

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TAMIRIS CAPELLARO FERREIRA

**PRODUÇÃO E CUSTOMIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO VOLUMÉTRICA *OFFSITE*:
ESTUDOS DE CASO NO REINO UNIDO**

SÃO CARLOS - SP

2024

TAMIRIS CAPELLARO FERREIRA

**PRODUÇÃO E CUSTOMIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO VOLUMÉTRICA *OFFSITE*:
ESTUDOS DE CASO NO REINO UNIDO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de doutora em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Paliari.

Coorientadora: Profa. Dra. Patricia Tzortzopoulos

São Carlos - SP

2024

FICHA CATALOGÁFICA

FERREIRA, Tamiris Capellaro

Produção e customização na construção volumétrica *offsite*: estudos de caso no Reino Unido. 2024.

324 p.: il.; 30 cm.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Paliari.

Banca Examinadora: Sheyla Mara Baptista Serra, Ercília Hitomi Hirota, Carlos Torres Formoso, José de Paula Barros Neto

1. Construção *offsite*. 2. Construção volumétrica. 3. Customização. 4. Produção.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Tamiris Capellaro Ferreira, realizada em 01/04/2024.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Jose Carlos Pallari (UFSCar)

Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra (UFSCar)

Profa. Dra. Ercilia Hitomi Hirota (UEL)

Prof. Dr. Carlos Torres Formoso (UFRGS)

Prof. Dr. José de Paula Barros Neto (UFC)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

DEDICATÓRIA

Ao grande arquiteto do universo, Deus; aos meus pais, Carlos e Heloísa, por todo o amor do mundo; à minha irmã, Marília, pelo companheirismo; à minha vó, Regina, pelas orações.

AGRADECIMENTOS

É com grande alegria que chego ao final dessa jornada, que me ensinou muito, me fez crescer e amadurecer pessoal e profissionalmente, me trouxe oportunidades e desafios únicos e me fez mais forte, ao buscar superá-los. Foi um processo longo, com altos e baixos, cheio de desafios, superações e aprendizados, do qual inúmeras pessoas fizeram parte de maneira direta ou indireta. Desta forma, registro meus agradecimentos às que estiveram mais próximas.

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, pela saúde, pelas oportunidades, por ter me permitido chegar até aqui, por me amparar em todos os momentos, onde quer que eu esteja, por me iluminar e inspirar nessa trajetória, e por me abençoar com minha família e amigos.

Aos meus pais, Carlos e Heloísa, por me amarem e apoiarem incondicionalmente, por torcerem por mim, por incentivarem a realização de todos os meus sonhos, mesmo os mais mirabolantes, por acreditarem em mim mais do que eu mesma, por se fazerem sempre muito presentes, mesmo quando a distância física é imensa, por me darem forças para seguir em frente a cada novo desafio, pelas oportunidades que me deram, por me incentivarem a estudar, por nunca deixarem faltar nada, e por todos os ensinamentos e pela paciência. À minha irmã, Marília, por me animar, por me apoiar, pelo eterno companheirismo, pelas críticas construtivas, pela praticidade e realismo, por compartilhar tudo comigo, a família, as alegrias e as tristezas. À minha família, por sempre estar presente, torcendo por mim. Em especial à minha avó Regina, pelas orações, pelo amor, pelas risadas e pelo carinho. Aos meus avós Ângelo, Yolanda e Luiz, e à minha bisavó Rosa, que apesar de infelizmente não estarem mais entre nós, tenho certeza de que, onde que quer que estejam, olham por mim, torcem e me mandam forças.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Carlos Paliari, uma pessoa muito honesta, humana, justa e sensata, a quem só tenho a elogiar e agradecer, pelo apoio e ajuda constantes, por acreditar em mim, por apoiar meu sonho de ter uma experiência de pesquisa no exterior e auxiliar em todos os desafios que apareceram para que este sonho fosse realizado, pelos ensinamentos, por sua experiência e conhecimentos compartilhados. Uma pessoa assim que a gente raramente encontra, alguém de quem jamais me esquecerei. Prof. Paliari, obrigada por tudo, por todas as oportunidades geradas em diversas ocasiões (como artigos, congressos, participação em eventos e aulas, doutorado sanduíche), e pelas experiências que o senhor me proporcionou.

À minha coorientadora, Profa. Dra. Patricia Tzortzopoulos, por ter aceitado me receber e orientar no Reino Unido, pelas inúmeras oportunidades, que têm mudado a minha vida, por acreditar no meu trabalho, por abrir portas para a minha estadia no Reino Unido, por facilitar e supervisionar meu crescimento profissional (na pesquisa e na docência), pelas críticas

construtivas, pelos conhecimentos compartilhados. Profa. Patricia, muito obrigada pelo apoio, jamais me esquecerei das oportunidades e experiências que você me proporcionou.

Aos amigos e colegas da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e da *University of Huddersfield*, que me acompanharam nessa jornada, em especial ao João, sempre solícito, por toda ajuda e apoio, pela amizade, pela paciência, por compartilhar suas experiências e conhecimentos na pesquisa e na docência, por todo o suporte e acolhimento, desde antes de eu chegar ao Reino Unido. Meu agradecimento também à Mari, sua esposa, pela amizade e ouvidos atentos, pelo carinho e pelo acolhimento. É muito bom ter em vocês um pedacinho do Brasil no Reino Unido, para compartilhar experiências e deixar o coração aquecido.

Ao Lee, a quem conheci na *University of Huddersfield*, no início da minha trajetória na docência no Reino Unido, e que tem me dado apoio e suporte desde então. Lee, obrigada pelo carinho, pela paciência, pelo acolhimento, pelos ouvidos atentos, por estar sempre perto e presente, pelos momentos de alegria, pela ajuda e apoio nos momentos de dificuldade, pelas experiências compartilhadas, pelas risadas, pelas brincadeiras e por tornar minha vida no Reino Unido mais agradável e feliz.

Às amigas do longínquo colegial e do curso de arquitetura e urbanismo, que continuam tão presentes em minha vida (fato pelo qual sou muito grata), pela torcida, pelo carinho e doçura, por estarem sempre dispostas a me ouvir, pelos momentos compartilhados, por fazerem a vida ser mais leve. Obrigada Stella, Maria Eugênia, Mariana, Daniela, Beatriz, Luara, Rachel, Yara, Camila, Maiara e Amanda.

Aos funcionários da UFSCar e da *University of Huddersfield*, pelo apoio e suporte ao longo do meu doutorado e durante o meu período de intercâmbio de pesquisa no Reino Unido, respectivamente. Ao corpo docente da UFSCar e da *University of Huddersfield*, pelos ensinamentos, por todas as contribuições ao meu desenvolvimento pessoal, acadêmico e intelectual, por compartilharem suas experiências e conhecimentos. Só tenho a agradecer por todas as pessoas incríveis que cruzaram meu caminho nestes pouco mais de quatro anos de doutorado.

À Universidade Federal de São Carlos, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, por me receber e por me proporcionar as condições básicas para cursar o doutorado, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos doze meses de incentivo ao desenvolvimento da pesquisa no exterior por meio do UFSCar PrInt, dentro do tema prioritário *Industry and Cities Revolution: Industry 4.0 and Smart Cities*.

*“Minha terra tem palmeiras,
Onde canta o sabiá;
As aves, que aqui gorjeiam,
Não gorjeiam como lá.”*
(DIAS, 1843)

FERREIRA, Tamiris Capellaro. **Produção e customização na construção volumétrica *offsite***: estudos de caso no Reino Unido. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024.

RESUMO

A construção volumétrica *offsite* é a que possibilita a realização de uma maior quantidade de atividades na fábrica, reduzindo o tempo de obra no canteiro, como uma forma potencial de melhorar a eficiência da construção. Ao longo dos anos a adoção da construção volumétrica *offsite* teve apenas aumentos marginais, devido, entre outros aspectos, às percepções negativas de muitos clientes, que se dão pelo alto grau de padronização necessário para reduzir os custos unitários na economia de escala. Neste contexto, a consideração de como as características da produção utilizada por uma empresa de construção volumétrica *offsite* pode influenciar a customização é fundamental. Assim, é na relação entre as diferentes características da produção adotadas por empresas de construção volumétrica *offsite* e sua estratégia para oferta de customização que se situa a lacuna de pesquisa deste trabalho. O entendimento desta relação também é de grande relevância prática, uma vez que algumas empresas podem não conseguir se manter no mercado por não vincularem adequadamente o sistema de produção utilizado com o nível de customização que desejavam oferecer aos clientes. Além disso, este trabalho tem relevância acadêmica na área de conhecimento da construção volumétrica *offsite*. Ele tem como objetivo principal propor um modelo que relacione as características da produção às estratégias de customização em empresas de construção volumétrica *offsite*. Para a elaboração do modelo, a principal estratégia utilizada foi a de estudos de casos múltiplos em seis empresas de construção volumétrica *offsite* inglesas. O modelo auxilia na compreensão da relação entre as diferentes características da produção adotadas por empresas de construção volumétrica *offsite* e a forma como elas ofertam customização. Ele pode auxiliar não apenas as novas empresas a escolherem as estratégias de customização adequadas às características da produção que adotam, para serem competitivas no mercado, mas também empresas que estão em processos de transição entre estratégias de customização ou entre características da produção a entenderem quais são os requerimentos de projeto e de produção que aumentam suas chances de sucesso no mercado.

Palavras-chave: construção *offsite*; construção volumétrica; customização; produção.

FERREIRA, Tamiris Capellaro. **Production and customization in offsite volumetric construction**: case studies in the United Kingdom. Thesis (Doctorate in Civil Engineering), Federal University of São Carlos, São Carlos, 2024.

ABSTRACT

Offsite volumetric construction makes it possible to carry out a greater number of activities in the factory, reducing work time on site, as a potential way of improving construction efficiency. Over the years, the adoption of offsite volumetric construction has seen only marginal increases, due, among other things, to the negative perceptions of many customers, which are related to the high degree of standardization necessary to reduce unit costs in economies of scale. In this context, considering how the characteristics of the production used by an offsite volumetric construction company can influence its approach to customization is fundamental. Thus, it is in the relationship between the different production characteristics adopted by offsite volumetric construction companies and their strategy for offering customization that the research gap in this work lies. Understanding this relationship is also of great practical relevance, since some companies may not be able to remain in the market because they do not adequately link the production system used with the level of customization they wish to offer to customers. Furthermore, this work has academic relevance in the area of knowledge of offsite volumetric construction. Its main objective is to propose a model that relates production characteristics to customization strategies in offsite volumetric construction companies. To develop the model, the main strategy used was multiple case studies in six English offsite volumetric construction companies. The model helps to understand the relationship between the different production characteristics adopted by offsite volumetric construction companies and the way they offer customization. It can help not only new companies to appropriately choose the customization strategies to the production characteristics they adopt, in order to be competitive in the market, but also companies that are in transition processes between customization strategies or between production characteristics to understand which are the design and production requirements that increase their chances of success in the market.

Keywords: offsite construction; volumetric construction; customization; production.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo das subdivisões da construção <i>offsite</i>	47
Quadro 2 - Resumo dos benefícios e desafios da construção volumétrica <i>offsite</i>	60
Quadro 3 - Benefícios e desafios da customização e massa	79
Quadro 4 - Resumo das principais características dos sistemas de produção	103
Quadro 5 - Alternativas de <i>layout</i> para cada tipo de sistema de produção	108
Quadro 6 - Algumas vantagens e desvantagens dos tipos básicos de <i>layout</i>	109
Quadro 7 - Níveis de automação	116
Quadro 8 - Profissionais entrevistados	140
Quadro 9 - Empresas nas quais os profissionais entrevistados atuam	142
Quadro 10 - Empresas analisadas nos estudos de caso	145
Quadro 11 - Tempo de entrevista com cada profissional	148
Quadro 12 - Dados coletados nos estudos de caso	152
Quadro 13 - Resumo dos dados coletados e analisados	154
Quadro 14 - Parâmetros para identificação do volume de produção	155
Quadro 15 - Códigos primários e secundários, número de entrevistados que os mencionou e número de referências a cada código	170
Quadro 16 - Códigos primários, secundários e terciários e número de entrevistados que mencionou cada um dos temas dos códigos terciários	171
Quadro 17 - Relações entre algumas respostas dadas por profissionais	199
Quadro 18 - Resumo das informações sobre a Empresa A	210
Quadro 19 - Resumo das informações sobre a Empresa B	223
Quadro 20 - 9 tipos de casas e suas variações – Empresa C	228
Quadro 21 - Opções disponíveis de cobertura – Empresa C	235
Quadro 22 - Resumo das informações sobre a Empresa C	250
Quadro 23 - Resumo das informações sobre a Empresa D	258
Quadro 24 - Resumo das informações sobre a Empresa E	262
Quadro 25 - Resumo das informações sobre a Empresa F	269
Quadro 26 - Resumos das empresas agrupados	269
Quadro 27 - Resumo dos objetivos específicos, da forma como foram eles alcançados e das contribuições que eles representam	293

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Afunilamento em subtópicos guiando ao foco da pesquisa	25
Figura 2 - Matriz dos sistemas de produção e seus resultados.....	28
Figura 3 - Estrutura para classificação do sistema de construção e dos resultados de manufatura.	29
Figura 4 - Diagrama para organização da literatura.....	33
Figura 5 - Diagrama com a terminologia associada à construção <i>offsite</i>	37
Figura 6 - Complexidade e escala da construção <i>offsite</i> - comparação entre abordagens	43
Figura 7 - Categorias dos MMC	43
Figura 8 - Relações entre as subdivisões da construção <i>offsite</i>	50
Figura 9 - Espectro de estratégias de padronização/customização	63
Figura 10 - Abordagem sequencial típica do CODP.....	66
Figura 11 - CODP e as operações de uma fábrica	67
Figura 12 - ETO, MTO, ATO e MTS a os diferentes níveis de customização.....	68
Figura 13 - Duas dimensões do CODP	69
Figura 14 - Especificação de processos na construção	70
Figura 15 - O modelo CODP em relação aos processos de uma empresa de pré-moldados ...	71
Figura 16 - Posicionamento do CODP na construção <i>offsite</i>	72
Figura 17 - Matrix volume e variedade para a diferenciação entre os sistemas de produção..	93
Figura 18 - Diferentes tipos de processo implicam em características distintas de volume e variedade	93
Figura 19 - Dependência entre os sistemas de produção, seus resultados e o posicionamento do CODP.....	94
Figura 20 - Disposição de equipamentos e fluxo no <i>layout</i> funcional.....	105
Figura 21 - Disposição de equipamentos e fluxo no <i>layout</i> celular	106
Figura 22 - Disposição de equipamentos e fluxo no <i>layout</i> em linha	107
Figura 23 - Diferentes <i>layouts</i> são adequados para diferentes combinações de volume e variedade	108
Figura 24 - Sistemas de produção e os resultados que eles propiciam	111
Figura 25 - Relações entre construção volumétrica <i>offsite</i> , customização e sistemas de produção.....	122
Figura 26 - Fases da pesquisa	134
Figura 27 - Profissionais que aceitaram participar da pesquisa	139

Figura 28 - Modelo da relação entre o posicionamento do CODP, os pré-requisitos incorporados aos produtos e o nível de customização.....	158
Figura 29 - Modelo teórico para a construção volumétrica <i>offsite</i> da relação entre as estratégias de customização e as características da produção	161
Figura 30 - Relações entre termos	200
Figura 31 - Modelo teórico revisado para a construção volumétrica <i>offsite</i> da relação entre as estratégias de customização e as características da produção	202
Figura 32 - Módulos com estrutura principal em aço e com painéis formados por perfis de aço leve revestidos com isolamento térmico – Empresa A.....	205
Figura 33 - Instalações elétrica e de incêndio – Empresa A.....	205
Figura 34 - Módulos acabados – Empresa A.....	205
Figura 35 - Detalhe de sistema para ligação entre os módulos – Empresa A.....	207
Figura 36 - Fábrica com <i>layout</i> posicional – Empresa A	208
Figura 37 - Montagem do chassi – Empresa A	209
Figura 38 - Módulo fixo durante a produção – Empresa A.....	209
Figura 39 - Rodízios para movimentação dos módulos – Empresa B.....	211
Figura 40 - Núcleo central (em rosa) com configuração em 3 ou 4 pavimentos e apartamentos adicionados (em azul) ao núcleo central – Empresa B.....	213
Figura 41 - Modelos típicos e configurações de módulos – Empresa B	215
Figura 42 - Apartamentos projetados para serem usados como habitações de interesse social – Empresa B	216
Figura 43 - Apartamentos projetados para serem usados como habitações para venda no mercado aberto – Empresa B.....	216
Figura 44 - Módulos típicos – Empresa B.....	217
Figura 45 - Chão de fábrica - Empresa B	218
Figura 46 - Terceira proposta para o <i>layout</i> da fábrica – Empresa B.....	221
Figura 47 - Pontes rolantes no chão de fábrica – Empresa B	222
Figura 48 - Materiais/componentes utilizados nos painéis de fechamento externo e nas divisórias – Empresa C.....	224
Figura 49 - Exemplos de casas espelhadas e de posicionamentos das casas – Empresa C....	227
Figura 50 - Casas tipos C, W e H – Empresa C	228
Figura 51 - Casas tipos D e T – Empresa C.....	229
Figura 52 - Casas tipos R e B – Empresa C	229
Figura 53 - Casas tipos N e L – Empresa C.....	229

Figura 54 - 3 tipos de módulos para o primeiro pavimento – Empresa C	230
Figura 55 - Módulo para o segundo pavimento de casas com entrada lateral e alterações – Empresa C	231
Figura 56 - Variações de módulos para o segundo pavimento de casas com entrada frontal – Empresa C	231
Figura 57 - Módulo para o segundo pavimento da tipologia de casa alongada com entrada frontal e variação – Empresa C	232
Figura 58 - Módulo para o sótão – Empresa C	232
Figura 59 - Tipologias de módulos e módulos espelhados – Empresa C	233
Figura 60 - Opções de janelas – Empresa C	234
Figura 61 - Opções de portas de entrada – Empresa C	235
Figura 62 - Detalhes ao redor das janelas – Empresa C.....	237
Figura 63 - Exemplos de detalhes da fachada – Empresa C	237
Figura 64 - Desenhos para manufatura – Empresa C.....	237
Figura 65 - Módulo antigo e módulo novo para o primeiro pavimento – Empresa C	238
Figura 66 - Ventilador posicionado para auxiliar na secagem da massa de acabamento – Empresa C	240
Figura 67 - Primeira estação de trabalho da Linha A: piso com hidráulica instalada - Empresa C.....	241
Figura 68 - Divisória sendo instalada com o auxílio de uma ponte rolante – Empresa C	242
Figura 69 - Instalação do teto com o auxílio de ponte rolante – Empresa C	242
Figura 70 - Acabamento externo do módulo em emboço e tijolos aplicados ao redor das janelas, como detalhe do acabamento – Empresa C	243
Figura 71 - Instalação do gabinete do banheiro, que já vem pronto e apenas deve ser encaixado ao módulo – Empresa C.....	243
Figura 72 - Módulo sendo empurrado por funcionários ao fundo – Empresa C	244
Figura 73 - Trilhos no chão e pranchas com rodízios sobre eles – Empresa C	244
Figura 74 - Plataforma para gerenciamento do chão de fábrica – Empresa C.....	245
Figura 75 - Fábrica com <i>layout</i> em linha – 3 linhas principais e 2 secundárias – Empresa C	246
Figura 76 - Produção do piso – Empresa C	247
Figura 77 - Máquina CNC para realização de cortes nas chapas OBS e nas chapas de gesso – Empresa C.....	247
Figura 78 - Montagem dos painéis de fechamento e das divisórias – Empresa C.....	248
Figura 79 - Equipamentos presentes no chão de fábrica – Empresa C	249

Figura 80 - Painéis de fechamento externo em estrutura de madeira empilhados – Empresa D	251
Figura 81 - Painéis de fechamento externo com estrutura em madeira e acabamento em chapa de gesso com revestimento metálico – Empresa D	251
Figura 82 - Edificação finalizada – Empresa D.....	252
Figura 83 - Projeto para edifício de balística – Empresa D.....	253
Figura 84 - Visão geral da fábrica – Empresa D	255
Figura 85 - <i>Layout</i> de fábrica - Empresa D	256
Figura 86 - Módulos lado a lado com funcionários executando o piso – Empresa D.....	257
Figura 87 - Atividades sendo realizadas de forma manual em diferentes módulos – Empresa D	257
Figura 88 - Visão geral dos galpões - Empresa E	260
Figura 89 - Máquinas - Empresa E.....	262
Figura 90 - Elementos de madeira a serem utilizados na estrutura dos módulos – Empresa F	263
Figura 91 - Visão geral da fábrica - Empresa F.....	265
Figura 92 - Montagem de elementos para formação do módulo volumétrico – Empresa F ..	266
Figura 93 - Instalação do acabamento externo do módulo – Empresa F.....	266
Figura 94 - Maquinário utilizado na fábrica - Empresa F	268
Figura 95 - Matriz para comparação entre as empresas	271
Figura 96 - Características da produção e das estratégias de customização utilizadas por empresas que possuem a flexibilidade como resultado da produção	272
Figura 97 - Características da produção e das estratégias de customização utilizadas por empresas que possuem a flexibilidade e produtividade como resultados da produção.....	273
Figura 98 - Características da produção e das estratégias de customização utilizadas por empresas que possuem a produtividade como resultado da produção	274
Figura 99 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa A	276
Figura 100 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa D.....	277
Figura 101 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa B	279
Figura 102 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa C	281
Figura 103 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa E	282
Figura 104 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa F.....	283
Figura 105 - Modelo final.....	286
Figura 106 - Matriz revisada	290

LISTA DE ABREVIATURAS

AdTO - Adapt-to-order

ATO - Assemble-to-order

CAD - Computer Aided Design (projeto assistido por computador)

CAM - Computer Aided Manufacturing (sistemas de manufatura assistida por computador)

CgTO - Configure-to-order

CIM - Computer Integrated Manufacturing (sistemas de manufatura integrada por computador)

CM - Customização em massa

CNC - Computerized Numerical Control (Controle Numérico Computadorizado)

CODP - Customer order decoupling point (ponto de desacoplamento do pedido do cliente)

CTO - Concept-to-order

DfA - Design for Assembly (projeto para montagem)

DfM - Design for Manufacture (projeto para manufatura)

DfMA - Design for Manufacture and Assembly (projeto para manufatura e montagem)

DTO - Design-to-order

ED - Engineering dimension (dimensão de projeto)

ETO - Engineer-to-order

ETS - Engineer-to-stock

FMS - Flexible Manufacturing System (sistema de manufatura flexível)

JIT - Just in time

MDO - Mão de obra

MMC - Modern Method of Construction (Métodos Modernos de Construção)

MTF - Make-to-forecast

MTO - Make-to-order

MTS - Make-to-stock

MyTO - Modify-to-order

OSB - Oriented Strand Board (Painel de Tiras de Madeira Orientadas)

PD - Production dimension (dimensão de produção)

STS - Ship-to-stock

SV - Select-variant

TI - Tecnologia da informação

LISTA DE SIGLAS

SINAT - Sistema Nacional de Avaliação Técnica

RIBA - Royal Institute of British Architects

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 CONTEXTO DA PESQUISA.....	23
1.2 LACUNA DE PESQUISA.....	27
1.3 OBJETIVOS.....	31
1.4 ORGANIZAÇÃO DO CONTEÚDO.....	32
1.5 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO.....	32
2 SÍNTESE DA LITERATURA	33
2.1 CONSTRUÇÃO <i>OFFSITE</i>	33
2.1.1 Terminologia associada à construção <i>offsite</i>	34
2.1.2 Breve histórico da construção <i>offsite</i>	37
2.1.3 Construção <i>offsite</i> no Reino Unido.....	39
2.1.4 Subdivisões da construção <i>offsite</i>	41
2.1.4.1 Elementos produzidos <i>offsite</i>	41
2.1.4.2 Porcentagem de trabalho realizado <i>onsite</i> e <i>offsite</i>	46
2.1.4.3 Combinação entre elementos produzidos <i>offsite</i> e porcentagem de trabalho realizado <i>onsite</i> e <i>offsite</i>	46
2.1.4.4 Resumo das subdivisões da construção <i>offsite</i>	46
2.1.5 Porcentagem do trabalho realizado em fábrica na construção volumétrica <i>offsite</i> ..	51
2.1.6 Transporte, dimensões, materiais e sistemas construtivos.....	51
2.1.7 Benefícios da construção volumétrica <i>offsite</i>	54
2.1.8 Desafios da construção volumétrica <i>offsite</i>	56
2.2 CUSTOMIZAÇÃO	60
2.2.1 Customização, variedade e flexibilidade	61
2.2.2 Diferentes níveis de customização.....	62
2.2.3 <i>Customer order decoupling point</i> na manufatura.....	64
2.2.4 <i>Customer order decoupling point</i> na construção.....	69
2.2.5 Customização em massa	73
2.2.5.1 Benefícios da customização em massa	77
2.2.5.2 Desafios da customização em massa	78
2.2.5.3 Modularidade	79
2.2.5.4 <i>Design for manufacture and assembly</i>	82
2.2.5.5 Plataforma	83

2.2.5.6 Adiamento	85
2.2.6 Customização completa ou customização em massa?	86
2.3 PRODUÇÃO	88
2.3.1 Classificações dos sistemas de produção	91
2.3.1.1 Processos de projeto	95
2.3.1.2 Sistema de produção de <i>jobbing</i>	95
2.3.1.3 Sistemas de produção em lotes	97
2.3.1.4 Sistemas de produção em massa ou em linha de fluxo.....	98
2.3.1.5 Sistema de produção em fluxo contínuo.....	100
2.3.1.6 Sistema de produção <i>just-in-time</i>	101
2.3.1.7 Sistemas flexíveis de manufatura	102
2.3.2 <i>Layouts</i> (arranjos físicos) da produção.....	103
2.3.2.1 <i>Layout</i> de posição fixa (ou posicional).....	104
2.3.2.2 <i>Layout</i> funcional	104
2.3.2.3 <i>Layout</i> celular	105
2.3.2.4 <i>Layout</i> em linha	106
2.3.2.5 Relação entre <i>layout</i> e sistema de produção.....	107
2.3.3 Qualificação da mão de obra	109
2.3.4 Resultados da produção.....	110
2.3.4.1 Custo e qualidade	112
2.3.4.2 Flexibilidade e inovação	112
2.3.4.3 Entrega e confiabilidade	113
2.3.4.4 Desempenho	113
2.3.5 Níveis de automação da produção.....	114
2.3.6 A produção e a construção <i>offsite</i>	117
2.4 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO.....	121
3 MÉTODO DE PESQUISA	123
3.1 ABORDAGEM DA PESQUISA	123
3.2 ESTUDO DE CASO.....	123
3.3 TÉCNICAS DE PESQUISA	125
3.3.1 Síntese de literatura	126
3.3.2 Entrevistas	126
3.3.3 Observação	129

3.3.4	Análise de documentos	130
3.3.5	Análise de conteúdo.....	131
3.3.6	Triangulação de dados	133
3.4	FASES DA PESQUISA	134
3.4.1	Fase 1: Compreensão do problema de pesquisa	135
3.4.2	Fase 2: Revisão do modelo teórico	136
3.4.3	Fase 3: Elaboração do modelo final.....	136
3.5	SELEÇÃO DE PARTICIPANTES	137
3.5.1	Profissionais entrevistados – Fase 1	137
3.5.2	Especialistas entrevistados – Fase 2	142
3.5.3	Estudos de caso – Fase 3	144
3.6	COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	145
3.6.1	Coleta de dados.....	145
3.6.2	Análise de dados	146
3.6.3	Fase 1 – Compreensão do problema de pesquisa	146
3.6.3.1	Síntese de literatura.....	146
3.6.3.2	Entrevistas com profissionais.....	146
3.6.4	Fase 2 – Revisão do modelo teórico	149
3.6.4.1	Entrevistas com especialistas	149
3.6.5	Fase 3 – Elaboração do modelo final.....	150
3.6.5.1	Coleta de dados dos estudos de caso.....	150
3.6.5.2	Análise de dados dos estudos de caso	153
3.7	PARÂMETROS PARA APLICAÇÃO DO MODELO TEÓRICO REVISADO	154
3.8	CONSIDERAÇÃO ACERCA DO MÉTODO.....	155
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	157
4.1	DESDOBRAMENTOS DA SÍNTESE DE LITERATURA.....	157
4.1.1	Modelo para as relações de customização	157
4.1.2	Classificação para os níveis de automação na construção volumétrica <i>offsite</i>	159
4.1.3	Modelo teórico relacionando customização e produção.....	160
4.2	REFINAMENTO DO MODELO TEÓRICO	164
4.2.1	Especialista A	164
4.2.2	Especialista B.....	165
4.2.3	Especialista C.....	166

4.2.4 Especialista D.....	167
4.2.5 Especialista E	168
4.2.6 Principais pontos a serem alterados no modelo teórico	168
4.3 ENTREVISTAS COM PROFISSIONAIS	169
4.3.1 Benefícios.....	173
4.3.1.1 Construção volumétrica <i>offsite</i>	173
4.3.1.2 Customização na construção volumétrica <i>offsite</i>	176
4.3.2 Desafios.....	177
4.3.2.1 Construção volumétrica <i>offsite</i>	177
4.3.2.2 Customização na construção volumétrica <i>offsite</i>	180
4.3.3 Construção volumétrica <i>offsite</i>	182
4.3.3.1 Transporte, dimensões, materiais e sistemas construtivos	182
4.3.4 Customização na construção volumétrica <i>offsite</i>	184
4.3.4.1 Estratégia de customização.....	184
4.3.4.2 Porcentagem de trabalho realizado na fábrica e adiamento	187
4.3.5 Produção na construção volumétrica <i>offsite</i>	189
4.3.5.1 <i>Layouts</i> de fábrica.....	190
4.3.5.2 Resultados da produção	191
4.3.5.3 Nível de automação	193
4.3.5.4 Qualificação da mão de obra	194
4.3.5.5 Sistema de produção	195
4.3.6 Considerações acerca das entrevistas com profissionais.....	196
4.4 MODELO TEÓRICO REVISADO	200
4.5 DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS	203
4.5.1 Empresa A	204
4.5.2 Empresa B	210
4.5.3 Empresa C	223
4.5.4 Empresa D	250
4.5.5 Empresa E	259
4.5.6 Empresa F.....	263
4.6 CLASSIFICAÇÃO DAS EMPRESAS	269
4.7 APLICAÇÃO DO MODELO TEÓRICO REVISADO	275
4.7.1 Empresas A e D.....	275

4.7.2 Empresa B.....	277
4.7.3 Empresas C e E.....	279
4.7.4 Empresa F.....	282
4.8 CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CUSTOMIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO VOLUMÉTRICA <i>OFFSITE</i>	284
4.9 MODELO FINAL.....	286
4.10 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO.....	290
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	291
5.1 Contribuições da pesquisa.....	293
5.2 Limitações da pesquisa.....	295
5.3 Sugestões para trabalhos futuros.....	296
REFERÊNCIAS.....	297
APÊNDICE.....	322

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são mencionados brevemente o cenário e delineamento da pesquisa, com ênfase no contexto atual da indústria da construção, seus desafios e oportunidades, incluindo a construção volumétrica *offsite*. São apresentadas as barreiras para a viabilização da construção volumétrica *offsite* e a possível aplicação de customização. Também são apresentados a lacuna de pesquisa, o objetivo principal, os objetivos específicos e a estrutura da tese.

1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

A indústria da construção é comumente vista como uma indústria de baixa inovação, com um histórico de descumprimento de cronogramas e orçamentos, elevado desperdício de recursos e grande número de acidentes de trabalho. Apresenta alta complexidade e baixa eficiência¹ e produtividade² (VRIJHOEF; KOSKELA, 2005). De acordo com Nicholas e Steyn (2017), não é incomum que projetos de engenharia excedam o orçamento em até 20%. Flyvbjerg, Holm e Buhl (2002) identificaram valores médios de excedentes de custo de 28%.

O atraso, assim como o excedente de custos, é um grande desafio na construção (KAZAZ; ULUBEYLI; TUNCBILEKLI, 2012; LINDHARD; WANDAHL, 2014). Assaf e Al-Hejji (2006) relataram aumentos de tempo de construção variando de 10 a 30%, enquanto Olawale e Sun (2010) afirmam que estes valores variam entre 10% e 40%. Hussin, Rahman e Memon (2013) relataram que 70% dos projetos de construção são afetados por excedentes de tempo, com 14% da soma do contrato do projeto consumida por excedentes de custo e 10% dos materiais do projeto acabando como resíduos. Sendo assim, ao se considerar a acirrada competição em um mercado particularmente focado em custos, torna-se relevante explorar oportunidades de melhoria do desempenho produtivo da construção civil e, conseqüentemente, da gestão e controle desta (LARSEN *et al.*, 2019).

A indústria da construção é bastante ampla e diversificada, incluindo construção *onsite*, que representa a forma mais tradicional de construção, em que a produção da edificação é feita

¹ O trabalho seminal de Farrell (1957), define eficiência como a capacidade de produzir a quantidade máxima de saída com quantidades mínimas de entrada.

² Färe, Grosskopf e Roos (1996) explicam a produtividade por fórmulas matemáticas, sendo que ela teria sido inicialmente definida como a razão entre um índice de produção e um índice de uso de insumos.

na posição final em que ela irá ficar no canteiro de obras (VIVAN, 2016), e construção *offsite*³, que representa a produção da edificação em um local diferente do que ela ficará, de forma que ela seja transportada e montada em sua posição final (GANN, 1996; GOODIER; GIBB, 2007). A construção *offsite* tem o potencial de melhorar a eficiência da construção. Ela pode trazer benefícios em relação à produção no canteiro, como independência das condições climáticas, redução no tempo de construção, nos desperdícios, nos custos, e aumento da segurança, da qualidade, da produtividade e do desempenho ambiental (ARASHPOUR *et al.*, 2015, KAMALI; HEWAGE, 2016, LARSEN *et al.* 2019). Além disso, Pearce (2004) destaca o papel que a construção *offsite* pode ter frente aos desafios ambientais contemporâneos e a necessidade de construir edificações mais sustentáveis.

Apesar dos benefícios, ao longo dos anos a adoção da construção *offsite* teve apenas aumentos marginais (WOOD, 2018). Os motivos disto incluem a associação entre construção *offsite* e edificações temporárias de baixa qualidade (RAMAJI; MEMARI, 2016), os exemplos anteriores malsucedidos (NADIM; GOULDING, 2011) e percepções negativas de muitos clientes, que se dão pelo alto grau de padronização necessário para reduzir os custos unitários na economia de escala (ISAAC; BOCK; STOLIAR, 2016). Isto ocorre porque os baixos custos unitários da produção em massa na manufatura são alcançados pela escala de produção, concentrando-se na fabricação de grandes quantidades de bens padronizados (TSENG; WANG; JIAO, 2017). Percebe-se que os desafios associados à construção *onsite* e *offsite* variam em natureza e não seria possível abordar todos eles em uma única pesquisa, sendo assim, devido às potencialidades da construção *offsite*, ela é o foco deste trabalho.

A construção *offsite* é bastante abrangente e foi subdividida de diversas formas, por vários autores. Tais subdivisões são explicadas e comparadas em detalhes posteriormente (no item 2.1.4). Kempton (2010), por exemplo, propõe uma subdivisão considerando a variação de elementos produzidos *offsite* em: submontagens e componentes, construção em painéis, construção volumétrica e construção híbrida. Para o autor, as submontagens e componentes se referem à fabricação de componentes de construção como serviços elétricos e hidráulicos pré-montados; enquanto a construção em painéis diz respeito a unidades de painéis planos, como paredes e piso; já a construção volumétrica se refere à construção de módulos que podem ter diferentes níveis de finalização, indo desde o envoltório básico até unidades totalmente

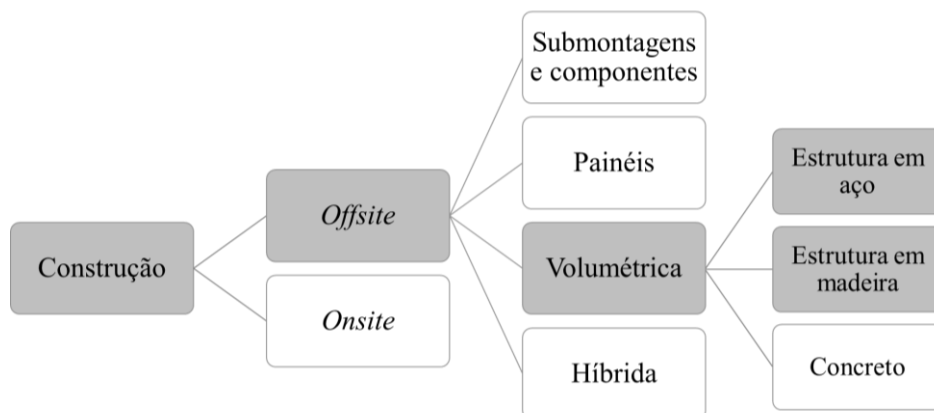
³ Na literatura, é possível encontrar a variação “*off-site*” para a grafia da palavra “*offsite*”, como pode ser visto em Arashpour *et al.* (2018). Nos trabalhos mais recentes (como Arashpour (2019)) encontrou-se a grafia “*offsite*”, então esta foi a forma adotada no presente trabalho.

equipadas, como banheiros e cozinhas; e a construção híbrida diz respeito à combinação de unidades em painéis e volumétricas, com instalações e unidades que se repetem.

Nahmens e Reichel (2013) observaram que a construção volumétrica *offsite* tem uma vantagem sobre a construção *offsite* em painéis devido ao seu potencial para melhorar o desempenho do projeto, sua qualidade e o uso eficiente de materiais e mão de obra. Além disso, os sistemas volumétricos são os que possibilitam a realização de uma maior quantidade de atividades na fábrica, quando comparados às outras categorias, reduzindo o tempo de obra no canteiro. De acordo com Smith (2016), em todo o espectro de produtos *offsite*, o volumétrico é o mais completo em acabamento feito na fábrica, podendo atingir até 95% em alguns casos, sendo enviado como unidades para instalação no canteiro de obras. Devido às possibilidades da construção volumétrica *offsite*, decidiu-se por adotá-la como foco deste trabalho.

Tem-se ainda, dentre as empresas de construção volumétrica *offsite*, uma diferenciação que diz respeito ao sistema construtivo utilizado na estrutura dos módulos, que pode ser em concreto, em aço⁴ ou em madeira⁵ (LACEY *et al.*, 2018; BERTRAM *et al.*, 2019). Segundo Lacey *et al.* (2018), os componentes da construção volumétrica *offsite* devem ser o mais leve possível, pois são transportados por longas distâncias. Neste sentido, Bertram *et al.* (2019) afirmam que os sistemas construtivos com estrutura em aço e em madeira são os mais comuns devido às vantagens de peso e logística. Sendo assim, este trabalho teve como foco os sistemas com estruturas em aço e em madeira. Na Figura 1 é representado, nas caixas de cor cinza, o afunilamento dos tópicos em subtópicos que guiam ao foco da pesquisa, que é a construção volumétrica *offsite* em sistemas construtivos baseados em estrutura em aço e em madeira.

Figura 1 - Afunilamento em subtópicos guiando ao foco da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

⁴ O termo em inglês normalmente utilizado para se referir à estrutura em aço é “*steel frame*”.

⁵ O termo em inglês normalmente utilizado para se referir à estrutura em madeira é “*timber frame*”, mas outro termo que também pode ser encontrado é “*wood frame*”.

Embora o termo “construção volumétrica *offsite*” esteja frequentemente vinculado a inovações na construção, sua utilização não é recente, sendo que seu marco inicial remonta a 1833, quando as primeiras casas pré-fabricadas documentadas foram feitas na Grã-Bretanha (STEVENS; NOGUCHI, 2019). O Reino Unido tem um longo histórico de uso de construção volumétrica *offsite*, por isso, foi escolhido como o local adequado para a realização desta pesquisa. No país, a construção volumétrica *offsite* foi aplicada para entregar casas após a Primeira Guerra Mundial, posteriormente a Lei de Habitação de 1944 impulsionou a aplicação de métodos de pré-fabricação para lidar com a escassez de moradias após a Segunda Guerra Mundial (GOULDING; NAHMENS; REICHEL, 2013; HAMMAD; SUTRISNA; ZAMAN, 2019). Em 1998, no relatório do governo britânico “*Rethinking Construction*” (EGAN, 1998), foram definidos objetivos para a melhoria da construção que incluíam o uso da construção *offsite*. Mais recentemente, em 2017, o governo britânico aderiu a uma série de medidas para melhorar o custo, a eficácia, a produtividade e pontualidade na entrega das obras de habitação, promovendo ainda mais a adoção da construção volumétrica *offsite*. Atualmente o país apresenta mais de 200 empresas de construção volumétrica *offsite* (THE DATA CITY, 2023).

Apesar dos possíveis benefícios da construção *offsite*, sua utilização é baixa, mesmo no Reino Unido, sendo que Savills (2020) estima que a construção tradicional represente atualmente mais de 90% da construção de residências no Reino Unido e que apenas 10% das habitações utilizem alguma forma de construção *offsite*. Taylor, Wamuziri e Smith (2003) e Darlow, Rotimi e Shahzad (2022) afirmam que a baixa adoção da construção *offsite* está relacionada a algumas restrições e dificuldades, sendo que Jonsson e Rudberg (2014) mencionam, entre elas, a flexibilidade reduzida, a necessidade de definir o projeto antes do início da produção, o nível inicial de investimento de capital necessário, os diferentes tipos de capacidades necessárias e a necessidade de altos volumes de produção.

Em termos de flexibilidade, a tendência à repetitividade tem sido destacada na construção *offsite* (ARDITI; ERGIN; GÜNHAN, 2000). Polat (2008) e Jaillon e Poon (2010) indicam que as variações no projeto são menos frequentes na construção volumétrica *offsite* devido às limitações de transporte que acabam por restringir os tamanhos dos módulos, gerando menor diversidade de produtos e pouca inovação no projeto (RAZKENARI *et al.*, 2020). Sendo assim, as empresas de construção volumétrica *offsite* devem tomar cuidado para evitar a percepção negativa de seu produto, para que ele não seja entendido como padronizado, monótono, caro e de baixa qualidade. Portanto, Halman, Voordijk e Reymen, (2008) afirmam que estas empresas devem aplicar conceitos que permitam maior customização, ao mesmo tempo em que garantam baixos custos unitários e alta qualidade do produto (PINE; VICTOR; BOYNTON, 1993).

Nesse sentido, a customização em massa (CM) se apresenta como uma estratégia de negócios que proporciona aos clientes uma gama de opções de produtos, com base em suas necessidades, com custos e tempo de entrega similares aos alcançados na produção em massa (PINE, 1993; HART, 1995). A implementação da CM, no entanto, ainda é um imenso desafio (GILMORE; PINE, 1997; SALVADOR; DE HOLAN; PILLER, 2009; FOGLIATTO; DA SILVEIRA; BORENSTEIN, 2012), porque requer que os fabricantes estejam prontos para alterar os produtos e seus processos de fabricação de forma eficiente. A CM requer processos estáveis, mas ainda flexíveis e responsivos, que são alcançados por meio de projetos de produtos e processos inovadores, incluindo digitalização e automação (FRANKE; PILLER, 2002).

Nem todas as empresas de construção volumétrica *offsite* estão preparadas para oferecer CM, e algumas não têm interesse em adotar tal estratégia, já que o projeto do produto afeta os processos de produção (PILLER; WANG, 2017). Neste sentido, as empresas de construção volumétrica *offsite* devem considerar suas particularidades, especialmente seus processos de produção, ao escolher sua estratégia para a oferta de customização. É na relação entre as diferentes características da produção adotadas por empresas de construção volumétrica *offsite* e a estratégia para oferta de customização que se situa a lacuna de pesquisa deste trabalho, como será explicado a seguir.

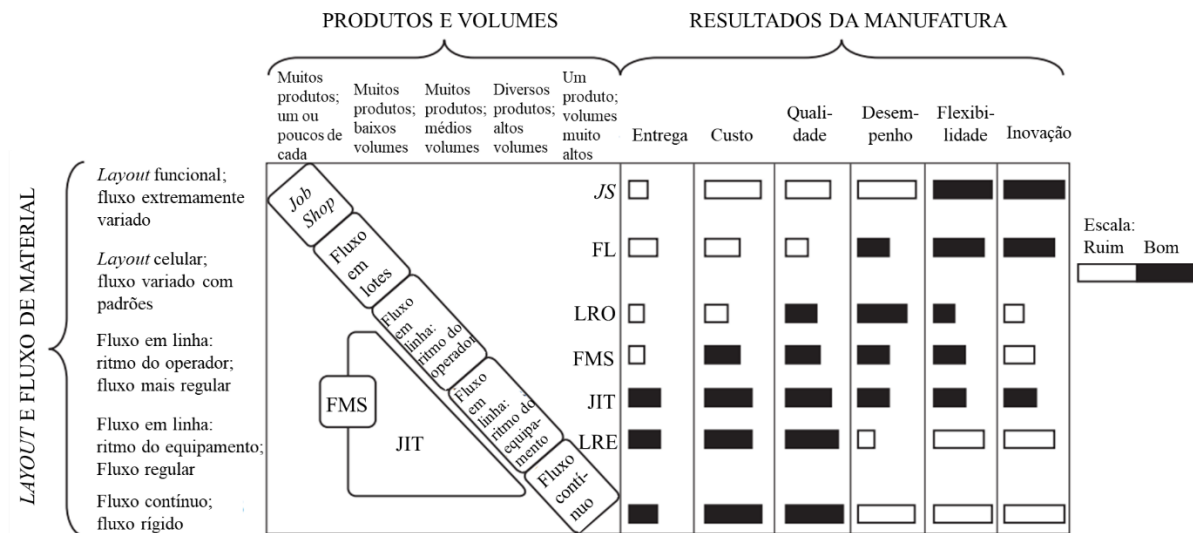
1.2 LACUNA DE PESQUISA

Miltenburg (2005) deixa clara a relação entre as diferentes características da produção (a citar: os sistemas de produção, os *layouts* de fábrica e os resultados da produção) e a oferta de customização na manufatura, ao mostrar que certos sistemas de produção, como o *job shop*⁶, são mais adequados para a fabricação de um elevado número de produtos diferentes, em pequenas quantidades; enquanto outros sistemas de produção, como o em fluxo contínuo são mais adequados para a fabricação de uma grande quantidade de um mesmo produto, como pode ser visto na Figura 2. Ainda é possível notar, nesta figura, que cada sistema de produção fornece diferentes resultados para a manufatura, indicados pelas barras pretas e brancas em uma mistura de melhor entrega, custo, qualidade, desempenho, flexibilidade e inovação (MILTENBURG, 2005). Nesta figura, as barras pretas indicam níveis altos ou bons; barras pretas longas indicam níveis mais altos ou melhores do que barras pretas curtas. As barras brancas indicam níveis

⁶ Neste trabalho utilizar-se-á os termos “*job shop*” ou “*jobbing*”, em inglês, uma vez que não foi encontrada na literatura correspondências em português para eles.

baixos ou ruins, sendo que as barras brancas longas indicam níveis mais baixos ou piores do que barras brancas curtas (MILTENBURG, 2005).

Figura 2 - Matriz dos sistemas de produção e seus resultados

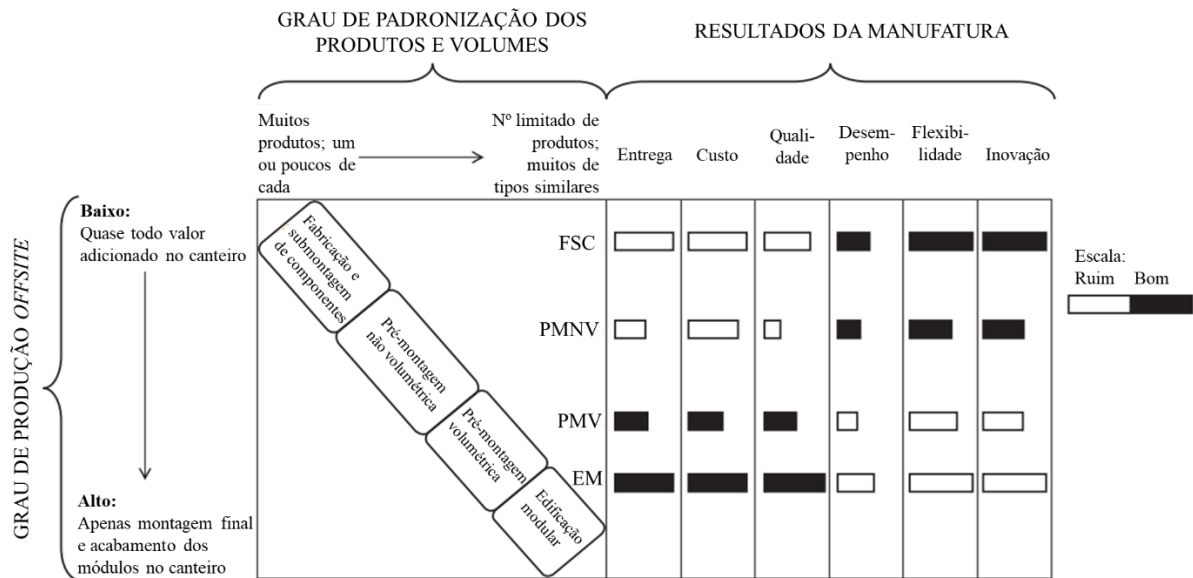


Uma vez que na construção volumétrica *offsite* a maior parte da produção é retirada do canteiro de obras e realizada em ambiente fabril (LAWSON; OGDEN; BERGIN, 2012), a matriz de Miltenburg (2005) poderia ser aplicada a ela. No entanto, a construção volumétrica *offsite* traz, em si, algumas restrições à customização: a necessidade de transporte dos módulos da fábrica para o canteiro de obras e de içamento destes no canteiro implica em limitações das dimensões e do peso dos módulos (KAMALI; HEWAGE, 2016; LACEY *et al.*, 2018; RAZKENARI *et al.*, 2020). Estes fatores devem ser considerados pelas empresas de construção volumétrica *offsite* quando elas ofertam customização e planejam seus sistemas de produção.

Jonsson e Rudberg (2014) reconhecem as diferenças e particularidades da construção *offsite* em comparação à manufatura e tentam adaptar a matriz de Miltenburg (2005) a seu contexto específico. No entanto, os autores consideram todo o espectro da construção *offsite* (que eles dividem em fabricação e submontagem de componentes; pré-montagem não volumétrica; pré-montagem volumétrica; e edificações modulares) e não apenas a construção volumétrica *offsite*, como pode ser visto na Figura 3. Nesta figura, é possível perceber que Jonsson e Rudberg (2014) relacionam os variados espectros da construção *offsite* com o grau

de padronização e o volume de fabricação dos produtos, e com diferentes resultados para a manufatura, em uma composição de melhor custo, qualidade, desempenho, entrega, flexibilidade e inovação.

Figura 3 - Estrutura para classificação do sistema de construção e dos resultados de manufatura.



FSC = Fabricação e submontagem de componentes

PMNV = Pré-montagem não volumétrica

PMV = Pré-montagem volumétrica

EM = Edificação modular

Fonte: Adaptado de Jonsson e Rudberg (2014).

Entretanto, pode-se contestar a matriz de Jonsson e Rudberg (2014) no sentido de que, dentro de cada um dos espectros da construção *offsite*, há a possibilidade de maior ou menor padronização/customização, com respectiva produção de maior ou menor quantidade de produtos, trazendo diferentes resultados para as empresas, a depender do sistema de produção empregado, como mostrado por Miltenburg (2005) para a manufatura.

Assim como Jonsson e Rudberg (2014), Duncheva e Bradley (2019) reconhecem as diferenças e particularidades entre as empresas de construção *offsite*. Como mostrado, Jonsson e Rudberg (2014) elaboraram um modelo que relaciona os diferentes espectros da construção *offsite* à oferta de customização, sem considerar os sistemas de produção das empresas. Já Duncheva e Bradley (2019) consideram especificamente a produção das empresas de construção volumétrica *offsite* em seu estudo, mas levam em conta apenas uma das características da produção, que é o seu nível de automação da fábrica, e não outras

características, como os diferentes sistemas de produção utilizados, nem a forma como as empresas ofertam customização.

Slack, Chambers e Johnston (2010) dizem que o projeto de produtos e o projeto dos processos que os fabricam são frequentemente tratados como atividades separadas, mas que eles estão claramente inter-relacionados. Desta forma, a consideração de como as características da produção utilizada por uma empresa de construção volumétrica *offsite* pode influenciar sua abordagem sobre customização é fundamental. Slack, Chambers e Johnston (2010) afirmam que é pouco aconselhável comprometer-se com o projeto de qualquer produto sem levar em conta como ele será produzido, uma vez que pequenas mudanças no projeto de produtos podem ter profundas implicações na maneira como a operação eventualmente os produzirá. O projeto de um processo de produção pode restringir a liberdade dos projetistas de produtos.

Assim, considerando: i) as restrições à customização inerentes a construção volumétrica *offsite*, ii) que não se deve desenvolver um produto sem levar em conta como ele será produzido, e iii) a escassez de trabalhos que abordem especificamente as empresas de construção volumétrica *offsite* e a forma como elas relacionam sua estratégia de customização às características de sua produção, a **lacuna de conhecimento** que se pretende reduzir com este trabalho diz respeito à relação entre as diferentes características da produção adotadas por empresas de construção volumétrica *offsite* e as estratégias de customização que elas utilizam. Como características da produção, são consideradas aquelas abordadas por Miltenburg (2005) e por Duncheva e Bradley (2019), ou seja, os sistemas de produção, os *layouts* de fábrica, os resultados da produção, o nível de automação da produção, além da qualificação da mão de obra empregada. Neste trabalho, parte-se do pressuposto que empresas de construção volumétrica *offsite* que adotam características de produção diferentes utilizam estratégias de customização distintas. Desta forma, a **questão de pesquisa** que emerge é a seguinte:

Quais são as relações entre as características da produção e as estratégias de customização em empresas de construção volumétrica *offsite*?

O entendimento da relação entre as características da produção e estratégia de customização também é de grande relevância prática, uma vez que Jonsson e Rudberg (2014) afirmam que algumas empresas analisadas em seus estudos de caso foram à falência por não conseguirem vincular adequadamente o sistema de produção utilizado com o nível de customização que desejavam oferecer aos clientes.

Além disso, o trabalho tem relevância acadêmica na área de conhecimento da construção volumétrica *offsite*. De acordo com Pan e Goodier (2012), apesar do crescente interesse acadêmico na construção *offsite*, são necessários estudos adicionais no nível organizacional em oposição ao estudo de projetos individuais.

Para responder à questão de pesquisa, foi elaborado um modelo que busca explicar a relação entre fatores, sendo estes as características da produção e as estratégias de customização em empresas de construção volumétrica *offsite*. Deve-se destacar que o termo “modelo”, segundo Ackoff e Sasieni (1968), indica uma representação simplificada da realidade, baseada na suposição de que muitas variáveis são necessárias para compreender um fenômeno com precisão, mas a seleção de algumas delas é suficiente para explicar a maior parte do fenômeno. De acordo com Fleury e Tereza Fleury (2007), o termo “modelo” geralmente refere-se a uma representação por meio da qual algumas características de um objeto, pessoa, processo ou estrutura podem ser caracterizadas. Para Hitomi (1996), um modelo é uma representação abstrata de uma situação ou comportamento real. Ele é, em geral, menos complexo do que a realidade, mas deve ser suficientemente completo para aproximar os aspectos da realidade a serem investigados (HITOMI, 1996). Modelos, assim como teorias e quadros conceituais, ajudam a organizar o pensamento e a ação, uma vez que estruturam ideias e práticas, estabelecendo sistemas de significado e criando padrões familiares que permitem a manipulação e o trabalho (FLEURY; TEREZA FLEURY, 2007). Desta forma, modelos podem auxiliar na tomada de decisões, pois muitas vezes são úteis para derivar sequencialmente a solução quase ótima (HITOMI, 1996).

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal **propor um modelo que relacione as características da produção às estratégias de customização em empresas de construção volumétrica *offsite***. O modelo visa auxiliar as empresas a selecionarem a estratégia de customização adequada para a produção que adotam. Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Propor uma classificação para os níveis de automação na construção volumétrica *offsite*;
- b) Identificar quais são, na prática, os principais benefícios e desafios da construção *offsite* e da customização na construção *offsite* inglesa;

- c) Identificar as principais restrições para a customização na construção volumétrica *offsite* inglesa;
- d) Propor uma classificação para as empresas de construção volumétrica *offsite*;
- e) Propor uma classificação para as diferentes estratégias de customização utilizadas pelas empresas de construção volumétrica *offsite*.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO CONTEÚDO

Este trabalho está organizado em outros quatro capítulos, além deste capítulo introdutório. No segundo capítulo é feita uma síntese da literatura, concentrando-se na investigação das áreas de relevância para a pesquisa e buscando criar um modelo teórico que guie o desenvolvimento do trabalho. Já no terceiro capítulo descreve-se o método utilizado para a realização da pesquisa, com as etapas de desenvolvimento do trabalho e das ferramentas utilizadas para sua execução. No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa, que estão subdivididos de acordo com as etapas do trabalho, culminando na proposta final do modelo. Finalmente, no quinto capítulo concentram-se as conclusões, com o exame do alcance dos objetivos da pesquisa e a apresentação de sugestões para estudos futuros. No apêndice são fornecidas informações adicionais relacionadas à pesquisa.

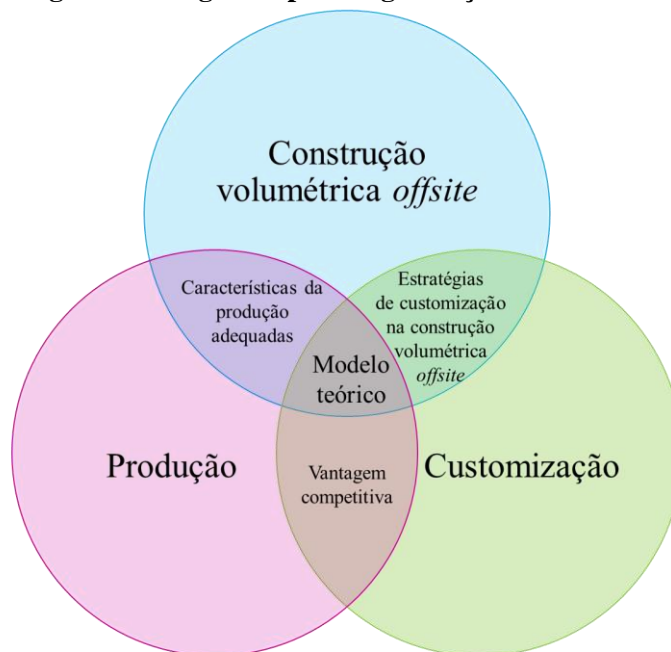
1.5 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

Apresentou-se neste capítulo uma introdução ao trabalho desenvolvido, com o contexto particular no qual é situado no âmbito da construção. Como visto, a pesquisa foca na construção volumétrica *offsite* e a explicação para a escolha do tema também foi apresentada neste capítulo, assim como os objetivos da pesquisa. O capítulo é encerrado com a forma como a tese foi organizada, para auxiliar em seu entendimento. No próximo capítulo é apresentada uma síntese de literatura, que fornece o conhecimento teórico necessário para embasar o desenvolvimento da pesquisa.

2 SÍNTESE DA LITERATURA

Neste capítulo apresenta-se a síntese da literatura, concentrando-se na investigação das áreas de estudo relevantes para o desenvolvimento da pesquisa. A síntese de literatura busca entender, no âmbito da construção volumétrica *offsite*, as restrições para a escolha de uma estratégia de customização e para a seleção de características da produção adequadas. Neste sentido, é importante entender quais são as principais características da produção. Além disso, também se faz relevante compreender o que é customização, quais são seus tipos e como uma estratégia de customização adequada é escolhida. A escolha da estratégia de customização e de características da produção adequadas darão à empresa a vantagem competitiva que a destacará no mercado. Após a realização da síntese de literatura, foi possível elaborar um modelo teórico que aglutina estas três áreas de estudo. Na Figura 4, a seguir, é apresentado um diagrama que mostra como a síntese da literatura foi organizada.

Figura 4 - Diagrama para organização da literatura



Fonte: Elaborado pela autora.

2.1 CONSTRUÇÃO *OFFSITE*

A indústria da construção apresenta muitas peculiaridades, como o fato de ter uma cadeia de suprimentos fragmentada, com muitos tipos diferentes de empresas, e pela heterogeneidade de seus produtos, resultando em alta complexidade e baixa eficiência (VRIJHOEF; KOSKELA,

2005). O trabalho de construção é geralmente caracterizado por erros, retrabalho, falta de entendimento do projeto e dos processos e conflitos. Além disso, os empreendimentos de construção estão sujeitos a alto risco em termos de desvio de prazo e excedentes de custos (ANDRIC *et al.*, 2019).

Ao mesmo tempo em que há uma crescente demanda global por novos edifícios, a indústria da construção enfrenta desafios de aumento dos custos de construção, redução da oferta de mão de obra e longos ciclos de desenvolvimento. Em resposta a este cenário, empresários do setor estão explorando o uso da construção *offsite*. Ela utiliza processos de produção adaptados da indústria de transformação (GANN, 1996) e segue uma abordagem de projeto-fabricação-montagem para entregar novos edifícios formados por componentes pré-fabricados que podem variar de elementos estruturais a módulos volumétricos.

Neste sentido, pode-se diferenciar a construção em *onsite* e *offsite*. A construção *onsite* também pode ser denominada como construção tradicional, sendo aquela realizada no canteiro de obras, em que o produto (a edificação) é fixo e operários, máquinas e materiais se movimentam em seu entorno (VIVAN, 2016). Em oposição à construção *onsite*, a construção *offsite* acontece fora do canteiro (GANN, 1996), sendo que a produção e a pré-montagem de componentes, elementos ou módulos de construção é feita em uma fábrica, previamente à instalação no canteiro de obras (GOODIER; GIBB, 2007). A principal característica da construção *offsite* é, portanto, a transferência da maioria das atividades do local da obra (canteiro) para um ambiente de fabricação externo mais controlado, que pode oferecer benefícios em comparação com a construção tradicional (ZHAI; REED; MILLS, 2014). A construção *onsite* e *offsite* não compartilham necessariamente as mesmas sequências de trabalho, tipos de materiais ou ferramentas operacionais (ZHANG *et al.*, 2020). Como dito anteriormente, devido às potencialidades da construção *offsite*, ela é o foco deste trabalho.

2.1.1 Terminologia associada à construção *offsite*

Os mais diversos termos têm sido usados por diferentes autores como sinônimos para a construção *offsite*, como produção *offsite*, manufatura *offsite*, construção industrializada, construção manufaturada, pré-fabricação, pré-montagem, etc. Alguns destes termos aparentemente podem, de fato, ser utilizados como equivalentes, mas em alguns casos foi possível encontrar na literatura definições que apresentam pequenas variações de conceitos entre eles.

Gibb (1999) afirma que a **construção *offsite*** é um processo que envolve o projeto e a fabricação de unidades ou módulos, geralmente distante do canteiro de obras, e sua montagem para formar as obras permanentes. Goodier e Gibb (2007) definiram construção *offsite* como a fabricação e pré-montagem de componentes, elementos ou módulos de construção previamente à instalação em seus locais finais. De acordo com Smith (2016), a construção *offsite* envolve o processo de planejamento, projeto, fabricação, transporte e montagem de elementos de construção para uma rápida instalação no canteiro de obras com maior grau de acabamento do que na construção tradicional *onsite*. Já segundo Smith e Quale (2017), na construção *offsite*, o planejamento, o projeto, a fabricação e a montagem de elementos de construção são executados em um local diferente ao de instalação para apoiar a construção rápida e eficiente de uma estrutura permanente.

Höök e Stehn (2008) definiram **construção industrializada** como aquela cuja produção é realizada em um ambiente de fábrica, em que apenas a montagem da edificação é realizada no canteiro de obras, ou seja, os autores utilizam o termo construção industrializada como sinônimo de construção *offsite*. Já Lessing e Stehn (2020) e Kedir (2020) fazem uma diferenciação entre construção industrializada e construção *offsite* ao afirmarem que o termo construção industrializada é usado de forma abrangente, incluindo conceitos como pré-fabricação, pré-montagem, construção modular, *offsite* e robótica e que, em geral, o termo construção industrializada é utilizado para descrever um modelo de negócios e uma orientação técnica que vincula projeto e fabricação usando um processo de construção integrado à estrutura organizacional. Sendo assim, a diferença entre construção *offsite* e construção industrializada seria o uso imperioso da automação, como já era mencionado por Warszawski (1999), que descreveu o uso de máquinas automatizadas para auxiliar na construção de elementos e componentes construtivos industrializados.

Alguns autores usam os termos **produção *offsite***, **manufatura *offsite*** ou **construção manufaturada**, e, neste caso, para diferenciar os termos é importante entender que a produção é um processo na função de manufatura, onde bens e/ou serviços são criados combinando material, trabalho e capital. Manufatura é um termo abrangente para um grupo de atividades e operações, ou seja, *marketing*, projeto, planejamento de produção, produção, controle de produção, gerenciamento e inspeção de qualidade do produto (CHISHOLM, 1990). Neste sentido, de acordo com Lawson *et al.*, (2005), a manufatura *offsite* descreve um processo de fornecimento e construção em que as principais partes de um edifício são produzidas em grandes quantidades em ambiente fabril, em vez de no canteiro de obras. Sendo assim, o termo

manufatura *offsite* se diferenciaria do termo construção *offsite* ao indicar a produção em grandes quantidades de partes da edificação.

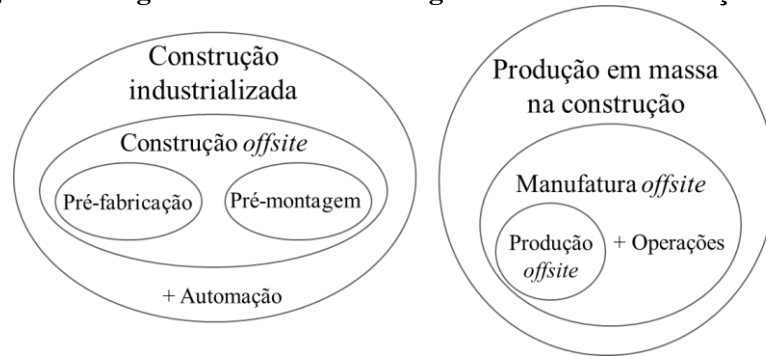
Tatum, Vanegas e Williams (1986) diferenciam **pré-montagem** e **pré-fabricação** e, considerando as definições apresentadas, nenhum dos dois termos é sinônimo de construção *offsite*. Os mesmos autores definem a pré-montagem como um processo pelo qual vários materiais, componentes pré-fabricados e/ou equipamentos são unidos em um local distante do local final de utilização para posterior instalação como uma subunidade. Enquanto, para os autores, a pré-fabricação é um processo de fabricação que geralmente ocorre em uma instalação especializada na qual vários materiais são unidos para formar um componente da instalação final. Sendo assim, de acordo com Killingsworth, Mehany e Ladhari (2021), por consequência, o termo “construção *offsite*” seria mais abrangente e usado quando ambas pré-fabricação e pré-montagem são feitas em um ambiente fabril. No entanto, Stevens e Noguchi (2019) em seu artigo, adotam o termo pré-fabricação como um sinônimo de construção *offsite*, explicando que a pré-fabricação é uma forma de realizar a construção externa ao canteiro de obras em que as partes e os componentes, ou unidades inteiras, são produzidas no ambiente controlado da fábrica. Após a montagem na fábrica, são transportados para o canteiro de obras, onde são erguidos. Esse processo de construção pode ser realizado rapidamente com um mínimo de mão de obra no canteiro de obras e sob diversas condições de clima e estação do ano.

Observando as possíveis terminologias, optou-se por adotar, neste trabalho, o termo construção *offsite*, uma vez que se considera este o mais utilizado atualmente para se referir ao processo de construção que acontece fora do canteiro de obras, incluindo projeto, fabricação e montagem de componentes, elementos ou módulos de construção em um ambiente fabril para seu posterior transporte ao local da obra, no qual serão instalados.

Considerando as definições mais restritivas relativas aos termos associados à construção *offsite*, foi possível elaborar os dois diagramas apresentados na Figura 5, a seguir, pelos quais se tenta diferenciar os termos estudados e agrupá-los em conjuntos, de modo a apresentar de forma visual as diferenças encontradas na literatura, facilitando seu entendimento. Pelos diagramas, é possível perceber que a construção industrializada é diferente da produção em massa na construção, sendo que a primeira representa a construção *offsite* com a presença obrigatória de automação. Observa-se que a construção *offsite* engloba a pré-fabricação e a pré-montagem. Já a produção em grandes quantidades na construção é representada pela manufatura *offsite*, que engloba a produção *offsite* e suas operações, ou seja, marketing, projeto, planejamento de produção, produção, controle de produção, gerenciamento e inspeção de

qualidade do produto (CHISHOLM, 1990). A manufatura *offsite* implica na produção em grandes quantidades de partes da edificação em ambiente fabril.

Figura 5 - Diagrama com a terminologia associada à construção *offsite*



Fonte: Elaborado pela autora.

2.1.2 Breve histórico da construção *offsite*

Embora atualmente o termo construção *offsite* esteja frequentemente vinculado a inovações na construção, a construção *offsite* existe há muito mais tempo, conhecida, provavelmente, sob o termo “pré-fabricação”. Segundo Stevens e Noguchi (2019), presumivelmente, o termo pré-fabricação é conhecido desde o início do século XX, embora o marco inicial remonte a 1833, quando as primeiras casas pré-fabricadas documentadas historicamente foram bem-sucedidas na Grã-Bretanha. Neste sentido, como método de construção, a “pré-fabricação” ainda pode ser vista como uma invenção da industrialização do século XIX.

No Reino Unido, ela foi aplicada para entregar um pequeno número de casas após a Primeira Guerra Mundial junto com o método tradicional de construção. A Lei de Habitação (Acomodação Temporária) de 1944 impulsionou a aplicação de métodos de pré-fabricação para lidar com a escassez de moradias após a Segunda Guerra Mundial no Reino Unido (GOULDING; NAHMENS; REICHEL, 2013; HAMMAD SUTRISNA; ZAMAN, 2019). Tentou-se implementar técnicas de pré-fabricação na construção para a produção de casas e apartamentos. Segundo Gann (1996), a construção pré-fabricada da primeira metade do século XX foi inspirada na linha de montagem de automóveis da Ford. De acordo com o autor, o sucesso da indústria da manufatura inspirou arquitetos como Le Corbusier, Walter Gropius, Bemis e Buckminster Fuller.

Durante o pós-guerra, a pré-fabricação de componentes de construção, particularmente concreto, madeira, aço e sistemas híbridos de estrutura, foi um meio de criar empregos, usar recursos de maneira mais eficaz e fornecer soluções para novas habitações (TAYLOR, 2015).

Na mesma época, a pré-fabricação também estava sendo implementada na América do Norte e em outras partes do mundo (NADIM; GOULDING, 2011; GIBB, 2001). O segundo período de construções pré-fabricadas surgiu em decorrência da escassez de moradias no entorno das cidades no final da década de 1950 (ANSON; KO; LAM, 2002). Portanto, sistemas pré-moldados industrializados de arranha-céus, como o sistema dinamarquês *Larsen-Nielsen* desenvolvido em 1948, foram usados de 1950 até 1960. No entanto, em 1968, o *Ronan Point*, em Londres, desabou devido a uma explosão de gás, o que resultou em muitas críticas aos sistemas pré-fabricados de arranha-céus, relacionadas à qualidade e aos custos de manutenção (ANSON; KO; LAM, 2002; LARSEN *et al.* 2019).

Os benefícios e a motivação para o uso de técnicas de construção pré-fabricadas naquela época eram os custos unitários mais baixos e o tempo de construção reduzido, o que era bastante relevante, uma vez que a Segunda Guerra Mundial havia infringido um grande déficit habitacional (ANSON; KO; LAM, 2002). No entanto, uma combinação de muita padronização para reduzir custos unitários, escassez de qualidade e altos custos de manutenção causou uma percepção negativa sobre a construção pré-fabricada (NADIM; GOULDING, 2011; LARSEN *et al.* 2019). Segundo Ramaji e Memari (2016), essa percepção de moradias baratas e de baixa qualidade em relação à construção pré-fabricada ainda existe.

No contexto contemporâneo, há muito se argumenta que a construção *offsite* pode melhorar fluxos na construção, além de promover benefícios como segurança e qualidade (RICS, 2018). No entanto, apesar dos benefícios, ao longo dos anos a adoção da construção *offsite* teve apenas aumentos marginais. Como mencionado, a crítica e o ceticismo em relação ao seu uso são até hoje muito comuns. Isaac, Bock e Stoliar (2016) argumentaram que as percepções negativas de muitos clientes se dão pelo alto grau de padronização necessário para reduzir os custos unitários na economia de escala. De acordo com Nadim e Goulding (2011), os exemplos anteriores malsucedidos do uso de técnicas de construção *offsite* resultaram na hesitação em adotá-las. Sendo assim, segundo Taylor (2022), o termo pré-fabricação estaria associado aos fracassos históricos da década de 1960 de tentar industrializar e modularizar as construções comerciais, educacionais e residenciais. Por isso, o setor experimentou um *rebranding* (reposicionamento de marca) significativo com fabricantes de produtos de construção usando os termos *offsite* ou *Modern Method of Construction (MMC)* em suas campanhas de marketing (TAYLOR, 2022). Talvez isto explique o fato de atualmente ser mais comum o uso do termo construção *offsite* ao invés do termo pré-fabricação, como uma forma de tentar disvincular o sistema construtivo dos erros do passado.

Outros aspectos da construção *offsite* que fazem com que ela não seja amplamente utilizada, de acordo com Hwang, Shan e Looi (2018), são: necessidade de coordenação e planejamento adicional, considerações extras com transporte e logística, e custos iniciais mais altos. Em termos de planejamento, Li *et al.* (2019) perceberam que o gerenciamento de restrições é de vital importância para a produção de edificações em ambiente fabril e Song *et al.* (2005) e Tam *et al.* (2007) notaram que uma implementação bem-sucedida da construção *offsite* requer tomada de decisão e análises antecipadas com base nas circunstâncias específicas do projeto. De forma geral, a construção *offsite* consiste em várias fases críticas: projeto; produção; logística; montagem no canteiro; e operação. Sendo assim, todo o sistema de produção precisa ser detalhadamente formulado para centenas de módulos, considerando logística, ritmo de produção, recursos disponíveis e restrições de processo (MCHUGH; DAVE; CRAIG, 2019).

O uso restrito da construção *offsite* pode ser uma questão cultural, uma vez que Linner e Bock (2012) afirmam que a construção *offsite* europeia de edifícios atende principalmente o segmento de baixo padrão, mas que, no Japão ela é abrangente e valorizada, se concentrando nos segmentos de médio e alto padrão. Sendo assim, apesar dos desafios apresentados para a implementação construção *offsite*, a consultoria Bryden Wood (WOOD, 2018) aponta que as condições agora são favoráveis para uma mudança na indústria da construção e sua utilização. Nos últimos 20 anos, a construção *offsite* tornou-se cada vez mais popular e ela tem crescido na China, Hong Kong, Austrália, Alemanha e Holanda (LAWSON; OGDEN; GOODIER, 2014; KAMALI; HEWAGE, 2016; FERDOUS *et al.*, 2019).

2.1.3 Construção *offsite* no Reino Unido

No Reino Unido, o Relatório do Governo intitulado “*Rethinking Construction*” (EGAN, 1998) abordou os *Modern Methods of Construction (MMC)*, termo em inglês que significa, em tradução livre, “Métodos Modernos de Construção”, que definem objetivos para a melhoria da construção. Os MMC têm impulsionado o setor de habitações, incluindo habitações para uma única pessoa e de interesse social. Em novembro de 2017, o governo do Reino Unido aderiu a uma série de medidas para reduzir o custo e aumentar a eficácia, a produtividade e pontualidade na entrega das obras, promovendo ainda mais a adoção dos MMC (WOOD, 2018). Um grupo de trabalho liderado por Mark Farmer, da *Cast Consultancy*, apoiado por representantes da *Buildoffsite*, *Homes England*, *National Home Building Council* e *Royal Institute of Chartered Surveyors* desenvolveu uma nova categorização para diferentes formas de construção

inovadoras. A intenção foi regularizar e refinar o termo MMC, definindo o amplo espectro de técnicas construtivas inovadoras aplicadas no mercado residencial, tanto agora quanto no futuro. Os MMC foram divididos em 7 categorias que abrangem uma variedade de técnicas para a construção de habitações, englobando a fabricação *offsite*, mas também técnicas de construção no canteiro de obras.

Além disso, o setor de construção *offsite* do Reino Unido tem uma organização estabelecida, conhecida como *Buildoffsite*, que promove a maior aceitação de técnicas de construção *offsite*. O desenvolvimento do registro de construção *offsite* operado pela *Lloyds Register* forneceu o primeiro plano reconhecido internacionalmente para fornecer confiança a organizações, clientes, usuários finais e seguradoras ao empregar sistemas de construção *offsite* executados por um provedor de serviços registrado (MUNDY, 2007).

De acordo com Savills (2020), estatísticas precisas são difíceis de obter, mas as estimativas são de que a construção tradicional represente mais de 90% da construção de habitações no Reino Unido. Os restantes 10% das casas usam MMC. Muitos fatores impactam a adoção do MMC, sendo os três principais deles o custo e disponibilidade de mão de obra, escassez de oferta de moradias e intervenção regulatória ou governamental. No Reino Unido, o número de novas casas construídas precisa aumentar em 24% para atingir 300.000 casas por ano. Espera-se que nos próximos 10 anos a proporção de residências construídas com MMC aumente dos atuais 6 a 10% para cerca de 20%.

Em 2020, Savills (2020) identificou cerca de 80 fábricas que atuavam no setor residencial. Estas incluíam fabricantes de módulos volumétricos de construção, de estruturas de madeira e aço, de painéis e montagens. Havia um aglomerado de fábricas atravessando o Noroeste, Yorkshire e Humber, sendo que a área abrigava um terço de todas as fábricas do Reino Unido, incluindo três dos maiores fabricantes. Não foi possível encontrar dados governamentais para o número de empresas de construção *offsite* existentes atualmente no Reino Unido; no entanto, uma pesquisa na ferramenta de buscas do Google e no *website* da empresa The Data City (2023), que busca mapear a economia emergente do Reino Unido, identificou que há em torno de 233 empresas de construção modular no país.

O governo brasileiro não adotou nenhuma ação semelhante à do governo britânico, no entanto, o déficit habitacional tem fomentado iniciativas, inclusive no âmbito governamental, para melhoria e modernização da construção. Um exemplo disso é o Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), proposto para suprir, provisoriamente, lacunas da normalização técnica prescritiva, avaliando novos produtos (PBQP-H, 2022). O SINAT, é uma iniciativa de mobilização da comunidade técnica nacional para dar suporte à operacionalização de um

conjunto de procedimentos reconhecido por toda a cadeia produtiva da construção, com o objetivo de avaliar novos produtos utilizados nos processos de construção (PBQP-H, 2021). O propósito do SINAT é estimular a inovação tecnológica, aumentando o leque de alternativas disponíveis para a produção habitacional, sem aumentar, todavia, o risco de insucesso no processo (PBQP-H, 2021). Sendo assim, o uso da construção *offsite* também pode expandir no Brasil e o país pode utilizar a experiência do Reino Unido como base para tomada de decisão.

2.1.4 Subdivisões da construção *offsite*

A literatura sobre construção *offsite* mostra que ela pode ser classificada ou subdividida de diferentes formas, sendo que alguns autores consideram nesta subdivisão a ampla gama de elementos que vai de componentes a edificações completas (GIBB, 2001; KEMPTON, 2010; BOYD; KHALFAN; MASQOOD, 2013); outros a classificam com base na quantidade realizada de trabalho *onsite* e *offsite* (LAWSON; OGDEN; GOODIER, 2014); e alguns autores, como Jonsson e Rudberg (2014), fazem uma combinação de ambas as classificações.

2.1.4.1 Elementos produzidos *offsite*

Gibb (2001) propõe uma classificação com base no tipo que elemento que é produzido *offsite*, subdividindo a construção *offsite* em: *component manufacture and sub-assembly* (fabricação e submontagem de componentes), *non-volumetric pre-assembly* (pré-montagem não volumétrica), *volumetric pre-assembly* (pré-montagem volumétrica) e *modular building* (edifício modular).

Para o autor, a categoria de fabricação e submontagem de componentes inclui todos os subconjuntos de pequena escala que não seriam considerados para montagem no canteiro, como portas, janelas e luminárias. A pré-montagem não volumétrica consiste na montagem de itens na fábrica antes de serem colocados em sua posição final, podendo incluir vários subconjuntos e constituir uma parte significativa do edifício ou estrutura, como painéis de parede, seções estruturais e montagens de tubulações. A pré-montagem volumétrica também considera a montagem de itens em uma fábrica, sendo que se diferencia da pré-montagem não volumétrica por possibilitar a criação de espaços utilizáveis que geralmente são instalados no canteiro dentro de um quadro estrutural independente, sendo que o autor traz como exemplos de pré-montagem volumétrica itens como banheiros completos, salas, escadas e poços de elevador. Já a categoria de edifício modular é semelhante às unidades volumétricas, mas neste caso as próprias unidades

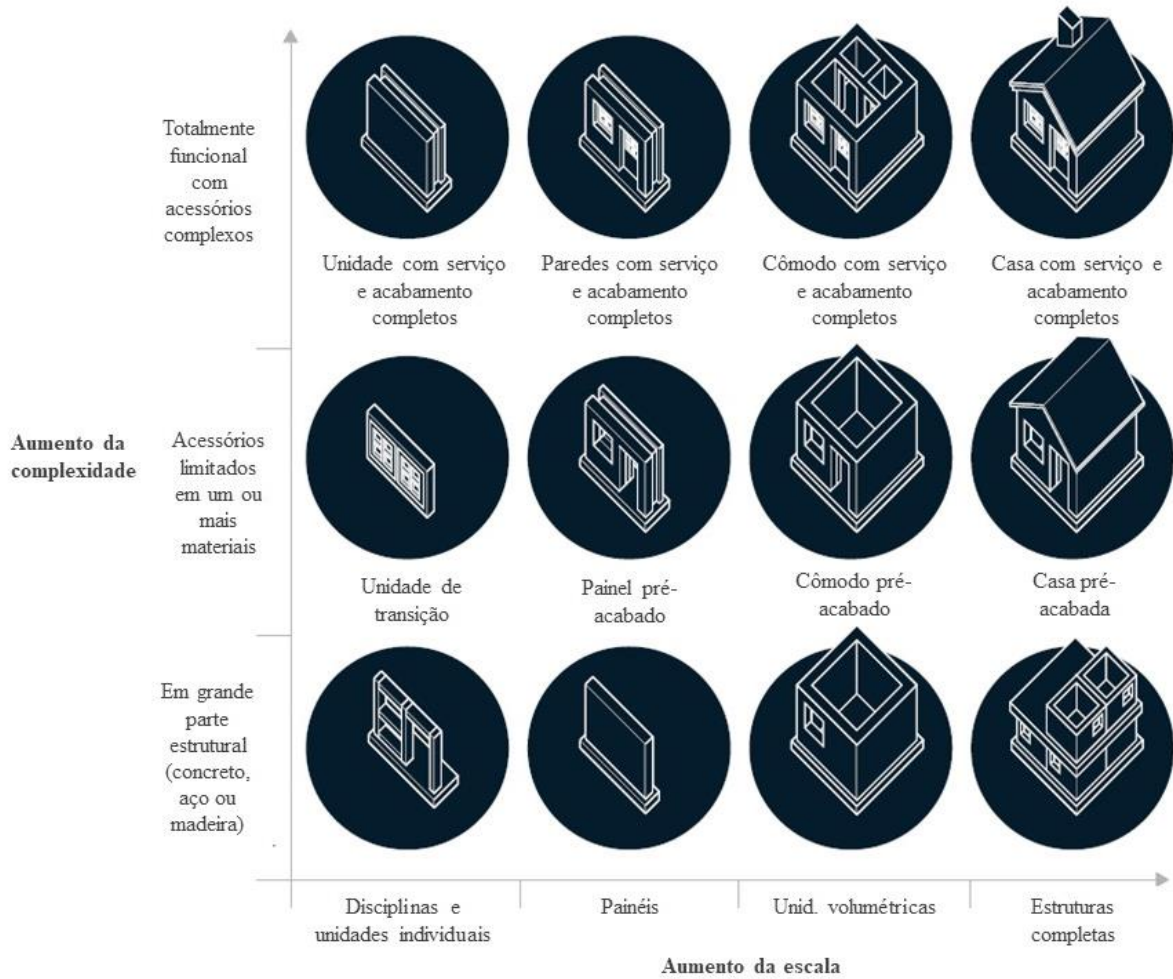
formam o edifício, além de delimitar o espaço utilizável, sendo que elas podem ser revestidas externamente no canteiro, como uma operação decorativa secundária, de forma que exemplos de edifícios modulares incluem estandes de venda, blocos de escritórios e hotéis, edificações prisionais e unidades modulares de concreto de vários andares usadas para blocos residenciais (GIBB, 2001).

Kempton (2010) propõe uma subdivisão com uma nomenclatura diferente, mas também considerando a variação de elementos produzidos *offsite: subassemblies and components* (submontagens e componentes), *panelised construction* (construção em painéis), *volumetric construction* (construção volumétrica), *hybrid* (híbrida). Para o autor, submontagens e componentes se referem à fabricação de componentes de construção que são inadequados para serem chamados diretamente de construção *offsite*, mas estão sob os conceitos da construção *offsite*, como estruturas de teto e piso e serviços mecânicos pré-montados; construção em painéis diz respeito a unidades de painéis planos abertos ou fechados, como paredes e piso; construção volumétrica se refere à construção de módulos que podem ter diferentes níveis de finalização, indo desde o envoltório básico até unidades totalmente equipadas, como banheiros e cozinhas; a construção híbrida diz respeito à combinação de unidades em painéis e volumétricas, com instalações e unidades que se repetem.

Boyd, Khalfan e Masqood (2013) também consideram os tipos de elementos produzidos *offsite* em sua subdivisão da construção *offsite* em: *offsite preassembly* (pré-montagem *offsite*), que corresponde à produção de componentes de construção, materiais e equipamentos, como treliças, escadas e elementos pré-moldados; *hybrid systems* (sistemas híbridos), que representam unidades totalmente pré-fabricadas com acabamentos completos, como banheiros e cozinhas; *panelised system* (sistema em painéis) que representam o uso de sistemas de enquadramento estrutural pré-fabricados, como portas, janelas, revestimento e estruturas em madeira; *modular buildings* (edificações modulares), que correspondem a unidades com vários cômodos que incluem acabamentos e instalações, como casas completas e blocos de apartamento.

Bertram et al. (2019) afirmam que a construção *offsite* compreende uma gama de abordagens e sistemas que variam dependendo da complexidade dos elementos que estão sendo acoplados, sendo que os sistemas mais simples são elementos únicos que são encaixados usando conexões e interfaces padrão. Mais adiante no espectro estão os painéis bidimensionais (2D), que podem ser abertos ou fechados, e exigem maior montagem no canteiro de obras, seguidos das unidades volumétricas tridimensionais (3D) com acessórios completos, apresentando maior complexidade, como mostrado na Figura 6, a seguir.

Figura 6 - Complexidade e escala da construção *offsite* - comparação entre abordagens



Fonte: Adaptado de Bertram *et al.* (2019).

Como mencionado anteriormente, o **Ministry of Housing, Communities and Local Government (2019)** subdividiu os MMC em 7 categorias que abrangem uma variedade de técnicas para a construção de habitações, englobando a construção *offsite* (categorias de 1 a 5), mas também técnicas de construção *onsite* (categorias 6 e 7), como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Categorias dos MMC



Fonte: Adaptado de Ministry of Housing, Communities and Local Government (2019).

De acordo com Ministry of Housing, Communities and Local Government (2019), o termo “pré-fabricação”, utilizado na definição das categorias dos MMC implica em processos executados fora do local final de utilização, incluindo fábricas remotas e fábricas no canteiro de obras, de uma forma que a produção seja feita em condições controladas antes da montagem/instalação final do elemento. Ainda segundo Ministry of Housing, Communities and Local Government (2019), as 7 categorias dos MMC são:

- Categoria 1 - *Pre-manufacturing (3D primary structural systems)* (Pré-fabricação (sistemas estruturais primários 3D)): construção volumétrica que envolve a produção de unidades tridimensionais em fábrica antes da instalação final. As unidades volumétricas podem ser desde uma estrutura básica (chassi estrutural) até uma unidade pronta, com todos os acabamentos internos e externos e serviços instalados. O sistema apresenta desempenho estrutural e miniunidades estruturais volumétricas podem incluir banheiros e similares.

- Categoria 2 - *Pre-manufacturing (2D primary structural systems)* (Pré-fabricação (sistemas estruturais primários 2D)): unidades de painel plano usadas para estruturas básicas de piso, parede e telhado de vários materiais que são produzidos em um ambiente fabril e montados no canteiro de obras para produzir uma estrutura tridimensional final. A abordagem mais comum é a utilização de painéis abertos, que consistem em um esqueleto estrutural; assim, serviços, isolamento e revestimentos são instalados no canteiro. Painéis mais complexos – chamados de painéis fechados – envolvem maior produção na fábrica e incluem materiais de revestimento e isolamento. O sistema inclui desempenho estrutural para paredes e pisos.

- Categoria 3 - *Pre-manufacturing components (non-systemised primary structure)* (Componentes pré-fabricados (estrutura primária não sistematizada)): elementos estruturais pré-fabricados de madeira, aço laminado a frio ou a quente ou pré-fabricados de concreto. Os elementos incluem vigas, colunas, paredes e lajes que não são substancialmente construídas no canteiro de obras. Esta categoria, embora focada em elementos de superestrutura, também inclui elementos de subestrutura, como blocos de estacas, estacas cravadas e estacas parafusadas.

- Categoria 4 - *Additive manufacturing (structural and non-structural)* (Fabricação aditiva (estrutural e não estrutural)): consiste na impressão remota ou no canteiro de obras de elementos da edificação. Pode ser feita em vários materiais com base em técnicas digitais de projeto.

- Categoria 5 - *Pre-manufacturing (Non-structural assemblies and sub-assemblies)* (Pré-fabricação (conjuntos e subconjuntos não estruturais)): diferentes abordagens de pré-fabricação que incluem sistemas de paredes não-estruturais, pisos ou conjuntos de acabamento de telhados,

kits elétricos ou hidráulicos e unidades mini volumétricas não-estruturais (às vezes chamadas de “*pods*”) usadas para áreas com muitas instalações e que se repetem com maior frequência, como cozinhas e banheiros.

- Categoria 6 - *Traditional building product led site labour reduction/productivity improvements* (Produtos tradicionais de construção feitos no canteiro de obras com redução de mão de obra/melhorias de produtividade): esta categoria inclui produtos tradicionais de construção fabricados em formato grande, elementos pré-cortados ou com recursos de junção fáceis para reduzir a mão de obra necessária para instalação.

- Categoria 7 - *Site process led site labour reduction/productivity/assurance improvements* (Processo realizado no canteiro que leve a redução do uso de mão de obra/maior produtividade/maiores garantias): esta categoria abrange abordagens que utilizam técnicas inovadoras de construção com base no canteiro de obras que aproveitam as melhorias do processo no local. Inclui técnicas de construção enxuta, realidade aumentada física e digital, robótica no canteiro de obras, exoesqueletos, drones, ferramentas de verificação e adoção de novas instalações e maquinários liderados por tecnologia.

GINIGADDARA et al. (2022) afirmam que a construção *offsite* pode ser amplamente dividida em não-volumétrica e volumétrica, sendo que cada uma destas divisões apresentaria subdivisões. Para os autores, a construção *offsite* não-volumétrica pode ser subdividida em: *components* (componentes), *panels* (painéis) e *foldable structure* (estruturas dobráveis), enquanto a construção *offsite* volumétrica pode ser subdividida em: *pods*, *modules* (módulos) e *complete buildings* (edificações completas). Nesta classificação, os componentes correspondem aos elementos não-volumétricos estruturais ou não estruturais de qualquer formato e tamanho, excluindo painéis, como treliças, caixas de escada, colunas e vigas. Os painéis representam elementos planos que não criam espaços utilizáveis, como pisos, divisórias e coberturas. As estruturas dobráveis são incomuns e consistem em painéis interligados por dobradiças. Os *pods* são espaços fechados, feitos repetitivamente, com alto nível de finalização, como banheiros, cozinhas e celas de prisão. Os módulos representam partes volumétricas que têm o potencial de formar um edifício completo, como escolas, casas e apartamentos. Os edifícios completos são uma unidade que serve a necessidades especiais, sendo que um único módulo pode constituir o edifício completo; exemplos desta subcategoria seriam alojamentos de canteiros de obras e edifícios para recuperação de desastres (GINIGADDARA et al., 2022).

2.1.4.2 Porcentagem de trabalho realizado *onsite* e *offsite*

Os autores **Lawson, Ogden e Goodier (2014)** classificam a construção *offsite* com base na porcentagem de trabalho realizado *onsite* e *offsite*, sendo que: *manufactured components* (componentes fabricados) correspondem à uma realização de construção *offsite* de 10% a 15%, tendo como exemplos os painéis de revestimento; *elemental/planar systems* (sistemas elementares/planares) representam uma realização de construção *offsite* de 15% a 25%, tendo como exemplos painéis e estruturas de aço/madeira; *modular and mixed construction systems* (sistemas construtivos modulares e mistos) se referem à uma realização de construção *offsite* de 30% a 50%, tendo como exemplos salas, poços de elevadores e escadas modulares e banheiros; *complete building systems* (sistemas construtivos completos) correspondem à uma realização de construção *offsite* de 60% a 70%, tendo como exemplos edifícios totalmente modulares.

2.1.4.3 Combinação entre elementos produzidos *offsite* e porcentagem de trabalho realizado *onsite* e *offsite*

Jonsson e Rudberg (2014) fazem uma combinação entre as classificações de tipos de elementos produzidos *offsite* e de porcentagem de trabalho realizado *onsite* e *offsite*. Os autores usam como base a subdivisão proposta por Gibb (2001), mas acrescentam a ela a quantidade de trabalho realizada no canteiro de obras, sendo que consideram que: na fabricação e submontagem de componentes praticamente toda a fabricação é feita *onsite*; na pré-montagem não volumétrica há uma menor quantidade de fabricação *onsite*; na pré-montagem volumétrica há uma maior quantidade de fabricação *offsite*; no edifício modular apenas a montagem final de módulos e os acabamentos são feitos no canteiro.

2.1.4.4 Resumo das subdivisões da construção *offsite*

No Quadro 1, a seguir, é apresentado um resumo das subdivisões da construção *offsite* feita por cada um dos autores mencionados anteriormente, com definições e exemplos. O preenchimento em cinza na tabela indica a subcategoria, entre cada autor, considerada para este trabalho. De acordo com Gibb (2001), Boyd, Khalfan e Masqood (2013) e Jonsson e Rudberg (2014), este trabalho tem como foco os edifícios modulares, para Ginigaddara *et al.* (2022), o foco seriam os módulos, já para Kempton (2010), o foco deste trabalho é a construção

volumétrica; para Lawson, Ogden e Goodier (2014), são os sistemas construtivos completos; para Bertram *et al.* (2019), as unidades volumétricas e as estruturas completas e para Ministry of Housing, Communities and Local Government (2019), os sistemas estruturais primários 3D. Nota-se, pelas diferentes classificações ou subdivisões da construção *offsite*, que diversos termos são utilizados para a construção volumétrica *offsite*, como construção modular, construção 3D, etc. Alguns destes termos aparentemente podem ser utilizados como sinônimos, mas em alguns casos é possível perceber pequenas variações de definições entre eles, como apresentado no Quadro 1. No presente trabalho, são usados os termos “construção volumétrica”, “construção modular” e “módulo” para se referir ao foco da pesquisa que são as unidades tridimensionais que apresentem estrutura própria e que são unidas para formar uma edificação, podendo ter maior ou menor nível de acabamento do envoltório e das instalações realizados na fábrica.

Quadro 1- Resumo das subdivisões da construção *offsite*

(continua)

Autor	Subdivisão	Definição	Exemplos
Elementos produzidos <i>offsite</i>			
Gibb (2001)	fabricação e submontagem de componentes	subconjuntos de pequena escala que não seriam montados no canteiro	portas, janelas, luminárias
	pré-montagem não volumétrica	parte significativa do edifício ou estrutura	painéis de parede, seções estruturais, montagens de tubulações
	pré-montagem volumétrica	cria espaços utilizáveis que são instalados em um quadro estrutural independente	banheiros completos, salas, escadas, poços de elevador
	edifício modular	unidades que formam o edifício	estandes de venda, blocos de escritórios e hotéis, edificações prisionais, unidades modulares usadas para blocos residenciais
Kempton (2010)	submontagens e componentes	fabricação de componentes inadequados para serem chamados diretamente de construção <i>offsite</i>	estruturas de teto e piso, serviços mecânicos pré-montados
	construção em painéis	unidades de painéis planos abertos ou fechados	paredes, piso
	construção volumétrica	módulos em diferentes níveis de finalização, do envoltório a unidades equipadas	banheiros, cozinhas
	híbrida	combinação de unidades em painéis e volumétricas, com instalações	banheiros

Quadro 1 - Resumo das subdivisões da construção *offsite*

(continua)

Autor	Subdivisão	Definição	Exemplos
Elementos produzidos <i>offsite</i>			
Boyd, Khalfan e Masqood (2013)	pré-montagem <i>offsite</i>	produção de componentes de construção, materiais e equipamentos	treliças, escadas, elementos pré-moldados
	sistemas híbridos	unidades totalmente pré-fabricadas com acabamento	banheiros, cozinhas
	sistema em painéis	sistemas de enquadramento estrutural pré-fabricados	portas, janelas, revestimento, estruturas em madeira
	edificações modulares	unidades com vários cômodos que incluem acabamentos e instalações	casas completas e blocos de apartamento
Bertram <i>et al.</i> (2019)	unidades individuais	elementos únicos que são encaixados usando conexões e interfaces padrão	disciplinas e unidades individuais
	painéis	exigem maior montagem no canteiro	painéis de paredes, teto e piso
	unidades volumétricas	acessórios completos, apresentando maior complexidade	Cômodos quase acabados ou acabados
	estruturas completas	acessórios completos, apresentando maior complexidade	Edificação quase acabada ou totalmente acabada
Ministry of Housing, Communities and Local Government (2019)	pré-fabricação (sistemas estruturais primários 3D)	unidades tridimensionais que apresentem estrutura própria	chassi estrutural, cômodos acabados, banheiro
	pré-fabricação (sistemas estruturais primários 2D)	unidades de painel plano montados no canteiro para produzir uma estrutura tridimensional final	estruturas básicas ou completas de piso, parede e telhado
	componentes pré-fabricados (estrutura primária não sistematizada)	elementos estruturais pré-fabricados	vigas, colunas, paredes, lajes, estacas
	fabricação aditiva (estrutural e não estrutural)	consiste na impressão em diversos materiais com base em técnicas digitais	unidade completa ou partes da edificação
	pré-fabricação (conjuntos e subconjuntos não estruturais)	uma série de diferentes abordagens de pré-fabricação não-estrutural	sistemas de paredes, pisos e telhados não-estruturais, unidades mini volumétricas não-estruturais, como cozinhas e banheiros, escadas, cômodos, kits elétricos/hidráulicos.
	produtos tradicionais de construção feitos no canteiro com redução de mão-de-obra/melhorias de produtividade	produtos tradicionais de construção fabricados de forma a reduzir o uso de mão de obra	Produtos em formato grande, elementos pré-cortados ou com junções fáceis
processo realizado no canteiro que leve a redução do uso de mão de obra/ maior produtividade/ maiores garantias	esta categoria abrange abordagens que utilizam técnicas inovadoras de construção com base no local que aproveitam as melhorias do processo do canteiro e que não estão incluídas nas categorias anteriores	construção enxuta, realidade aumentada, robótica, exoesqueletos, drones, ferramentas de verificação e maquinários liderados por tecnologia	

Quadro 1 - Resumo das subdivisões da construção *offsite*

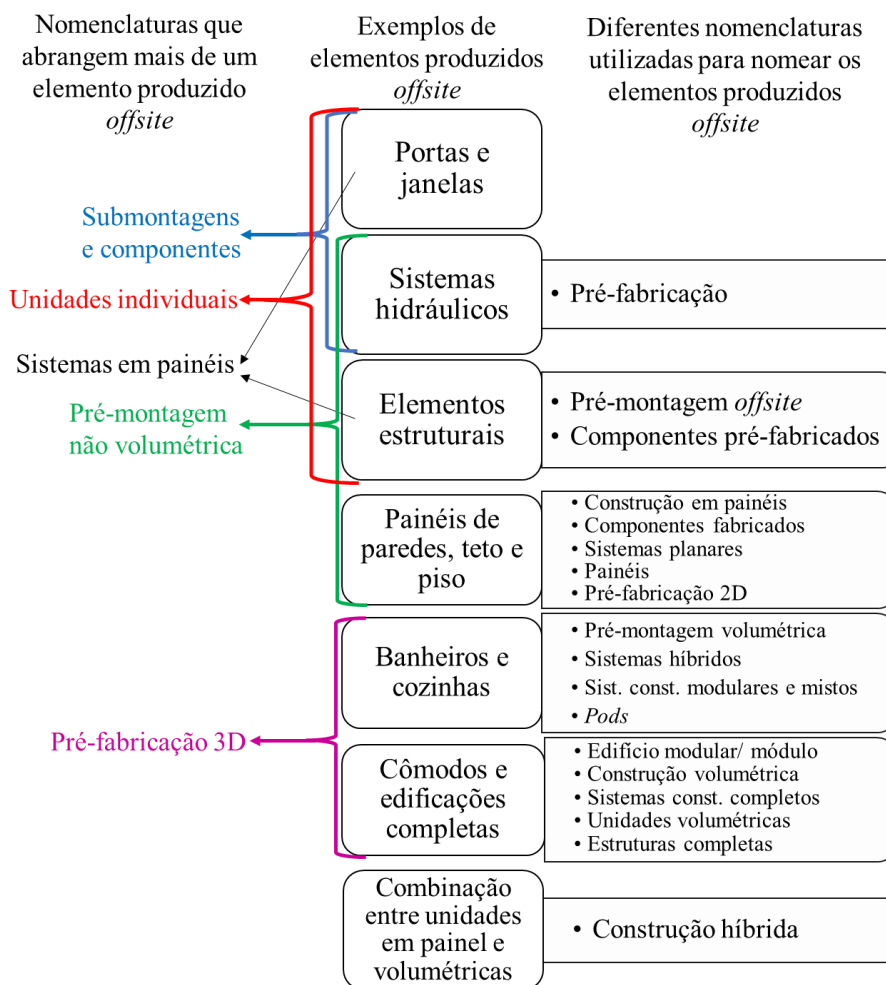
(conclusão)

Autor	Subdivisão	Definição	Exemplos
Elementos produzidos <i>offsite</i>			
Ginigaddara <i>et al.</i> (2022)	componentes	elementos não-volumétricos estruturais ou não estruturais de qualquer formato e tamanho, excluindo painéis	treliças, caixas de escada, colunas e vigas
	painéis	elementos planos que não criam espaços utilizáveis	pisos, divisórias e coberturas
	estruturas dobráveis	incomuns e consistem em painéis interligados por dobradiças	----
	<i>pods</i>	espaços fechados, feitos repetitivamente, com alto nível de finalização	banheiros, cozinhas e celas de prisão
	módulos	partes volumétricas que têm o potencial de formar um edifício completo	escolas, casas e apartamentos
	edifícios completos	uma unidade que serve a necessidades especiais, sendo que um único módulo pode constituir o edifício completo	alojamentos de canteiros de obras e edifícios para recuperação de desastres
Porcentagem de trabalho <i>onsite</i> e <i>offsite</i>			
Lawson, Ogden e Goodier (2014)	componentes fabricados	construção <i>offsite</i> de 10% a 15%	painéis de revestimento
	sistemas elementares/planares	construção <i>offsite</i> de 15% a 25%	painéis, estruturas de aço/madeira
	sistemas construtivos modulares e mistos	construção <i>offsite</i> de 30% a 50%	salas, poços de elevadores e escadas modulares, banheiros
	sistemas construtivos completos	construção <i>offsite</i> de 60% a 70%	edifícios totalmente modulares
Combinação entre elementos produzidos <i>offsite</i> e porcentagem de trabalho <i>onsite</i> e <i>offsite</i>			
Jonsson e Rudberg (2014)	fabricação e submontagem de componentes	subconjuntos de pequena escala que não seriam montados no canteiro, com praticamente toda a fabricação feita <i>onsite</i>	portas, janelas, luminárias
	pré-montagem não volumétrica	parte significativa do edifício ou estrutura, com menor quantidade de fabricação <i>onsite</i>	painéis de parede, seções estruturais, montagens de tubulações
	pré-montagem volumétrica	cria espaços utilizáveis que são instalados em um quadro estrutural independente, com maior quantidade de fabricação <i>offsite</i>	banheiros completos, salas, escadas, poços de elevador
	edifício modular	unidades que formam o edifício, em que apenas montagem final de módulos e os acabamentos são feitos no canteiro	estandes de venda, blocos de escritórios e hotéis, edificações prisionais, unidades modulares usadas para blocos residenciais

Fonte: Elaborado pela autora.

Considerando o resumo das subdivisões da construção *offsite* apresentado no Quadro 1, elaborou-se a Figura 8, na qual são apresentadas as relações entre elas. Partindo-se dos principais exemplos de elementos produzidos *offsite*, foram listados os diferentes termos utilizados para nomeá-los. Nesta figura, é possível notar que alguns termos englobam mais de um elemento. Nota-se também que alguns elementos apresentam diversas nomenclaturas. Entre estes, os que recebem a maior quantidade de nomenclaturas diferentes são os painéis de paredes, teto e piso, os banheiros e cozinhas, e os cômodos e edificações completas. Para os painéis de paredes, teto e piso há uma maior repetição dos termos “painéis” e a associação com um sistema plano, 2D. Para os banheiros e cozinhas não foi possível notar uma repetição de termos. Já para os cômodos e edificações completas, percebe-se a repetição dos termos “volumétrica” e “completos”. Sendo assim, fica claro que não há consenso entre os autores em relação à nomenclatura adotada para as subdivisões da construção *offsite*.

Figura 8 - Relações entre as subdivisões da construção *offsite*



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Bertram *et al.* (2019), para explorar a redução de custos e os benefícios de produtividade da construção *offsite*, é necessário otimizar a escolha de materiais, encontrar a solução certa entre painéis 2D, módulos 3D e construções híbridas, e superar desafios de projeto, fabricação, tecnologia, logística e montagem. Neste sentido, Richard (2005) afirma que inúmeras técnicas de produção *offsite* são usadas na indústria da construção hoje, sendo que a escolha da mais adequada depende dos requisitos e condições do projeto, como clima, disponibilidade e qualidade da mão de obra e transporte de elementos.

2.1.5 Porcentagem do trabalho realizado em fábrica na construção volumétrica *offsite*

Como dito anteriormente, este estudo tem como foco os módulos volumétricos, uma vez que eles são considerados os mais restritivos em termos de possibilidades de customização (JAILLON; POON, 2010), o que pode ser considerado como uma desvantagem da construção volumétrica *offsite*. Por outro lado, os sistemas volumétricos podem atender aos requisitos de muitos tipos de edificações, variando de residências uni e multifamiliares, a edificações educacionais, hospitalares ou arranha-céus (SCHOENBORN, 2012). Além disso, os sistemas volumétricos são os que possibilitam a realização de uma maior quantidade de atividades na fábrica, quando comparados às outras categorias, reduzindo o tempo de obra no canteiro. De acordo com Smith (2016), em todo o espectro de produtos *offsite*, o volumétrico, pode ser o mais completo em acabamento feito na fábrica, podendo atingir até 95% em alguns casos, sendo enviado e montado como unidades a serem instaladas no canteiro de obras. Segundo Smith e Rice (2015) em obras envolvendo construção modular desenvolve-se em média 70% das atividades em ambiente fabril e somente 30% da produção é realizada no canteiro de obras. Portanto, para tirar um maior proveito de obras realizadas com construção modular, deve-se fazer uso de técnicas avançadas de produção industrializada, aumentando assim a competitividade e a produtividade, comumente presentes em setores industriais.

2.1.6 Transporte, dimensões, materiais e sistemas construtivos

De acordo com Smith (2016), a construção *offsite* inclui uma variedade de materiais, escalas e sistemas, *softwares*, métodos de fabricação e inovações na integração social e tecnológica. Ainda segundo o autor, os módulos podem ser construídos a partir de muitos materiais diferentes, incluindo: estrutura de madeira (*timber frame*), estrutura de aço formado a frio (*steel frame*), aço laminado a quente, concreto pré-moldado ou uma combinação de

materiais. Os fabricantes tendem a se concentrar em um determinado tipo de construção para maximizar a eficiência da fábrica (SMITH, 2016), mas os componentes de construção *offsite* devem ser o mais leves possível, pois às vezes são transportados por longas distâncias (LACEY *et al.*, 2018).

Para Lacey *et al.* (2018), o sistema construtivo de módulos em aço é mais utilizado em projetos residenciais, comerciais e industriais, tendo como vantagens o fato de ser leve e adequado para edifícios altos. O sistema construtivo de módulos com estrutura em madeira é usado principalmente em projetos residenciais e educacionais que tenham até dois pavimentos; as vantagens da estrutura em madeira incluem a facilidade de fabricação e o fato de usar um material mais sustentável. Já módulos em concreto pré-moldado são mais utilizados para prisões, acomodações de segurança e hotéis, tendo como vantagens a resistência ao fogo, o isolamento acústico, o desempenho térmico e a alta massa, mas têm como desvantagens o peso e o potencial de ocorrência de rachaduras nos cantos.

Ramaji e Memari (2015) destacam que, quando o número de andares aumenta em um edifício modular, a economia de tempo diminui consideravelmente. Isso ocorre porque o sistema se torna mais complexo, causando mais desafios no projeto. Outras restrições no sistema de construção volumétrica *offsite* são as dimensões do módulo, a incapacidade de fazer alterações no canteiro de obras e o transporte, que são os fatores mais importantes que precisam ser considerados antes e depois do projeto da estrutura. Lacey *et al.* (2018) corroboram esta afirmação ao dizerem que as dimensões dos módulos são limitadas pela capacidade de transporte e os *layouts* internos são limitados pela exigência de elementos estruturais.

Kamali e Hewage (2016) mencionam que particularmente para a construção volumétrica *offsite*, o transporte é uma questão crítica que limita a dimensão e peso dos módulos, distância, modo de transporte e rotas. Os regulamentos de transporte variam entre países e entre estados dentro de um mesmo país. Portanto, o envio de um módulo do estado no qual foi fabricado para outro estado onde será instalado poderá representar o atendimento a normas de transporte diferentes, permissão, carros de escolta e várias taxas associadas. Cada projeto deve garantir que isso seja cuidadosamente considerado (SMITH, 2016). Sendo assim, permanece a necessidade de sistemas leves e eficientes que também sejam robustos (KAMALI; HEWAGE, 2016). Ao mesmo tempo, há a necessidade de desenvolver novos materiais leves para aplicação específica na construção volumétrica *offsite* (LACEY *et al.*, 2018).

Lacey *et al.* (2018) cita a atividade de transporte como um risco para as edificações modulares e afirma que outros riscos incluem explosão, colapso progressivo, incêndio e, em alguns países, ciclone e terremoto. Sendo assim, o desempenho estrutural e a resistência dos

elementos estruturais e não estruturais e as ligações utilizadas no sistema construtivo volumétrico *offsite* são importantes para o projeto dos módulos (NAVARATNAM *et al.*, 2019), visto que, além dos riscos mencionados, os módulos devem ser projetados para serem içados a partir de pontos de içamento designados. Os módulos geralmente são içados por um guindaste, embora empilhadeiras possam ser usadas no pátio da fábrica (LACEY *et al.*, 2018).

Em relação à estrutura, um estudo de caso realizado por Lawson, Ogden e Bergin (2012) recomendou que os seguintes fatores-chave fossem levados em consideração no projeto de edifícios modulares: a influência das excentricidades de instalação, as tolerâncias de fabricação nas forças e momentos adicionais nas paredes e a robustez a ações acidentais para sistemas modulares. Gunawardena, Ngo e Mendis (2016) destacaram que os efeitos de torção são um grande problema para os projetistas deste tipo de edifícios. Para Lawson, Ogden e Bergin, (2012), a resistência a forças horizontais, como cargas de vento, e a robustez a ações acidentais (também conhecida como integridade estrutural), tornam-se cada vez mais importantes com o aumento da altura do edifício. Os autores relatam que o comportamento estrutural de um conjunto de módulos é complexo devido à influência das tolerâncias no procedimento de instalação, às múltiplas interconexões entre os módulos e à forma como as forças são transferidas para os elementos estabilizadores.

Navaratnam *et al.* (2019) afirmam que há poucas pesquisas publicadas sobre os sistemas estruturais para construção volumétrica *offsite*, e dizem que isso se dá porque a maior parte dos sistemas consistem em elementos patenteados. Além disso, o desenvolvimento de sistemas estruturais para construção volumétrica *offsite* é geralmente realizado sob condições comerciais e confidenciais. Além disso, as tecnologias de análise, projeto e construção de edifícios modulares estão atualmente em desenvolvimento (LACEY *et al.*, 2018).

Ginigaddara *et al.* (2022) afirmam que materiais leves, como aço e madeira são os mais comuns na construção *offsite*. Para Guadanhim *et al.* (2015), os sistemas construtivos com estrutura em aço ou em madeira podem contribuir para a melhoria dos processos de fabricação e favorecer a construção *offsite*, em comparação ao concreto, visando à maior qualidade e produtividade. Os principais benefícios de seu uso no processo produtivo, segundo Guadanhim *et al.* (2015), são: 1) possibilidade de redução significativa do tempo de fabricação; 2) oportunidade de simplificar as tarefas realizadas no canteiro de obras; 3) redução de desperdício de material; e 4) inserção das instalações elétrica e hidráulica no espaço vazio entre dois painéis de vedação, o que evita retrabalho, elimina a interdependência entre as tarefas e reduz desperdícios, uma vez que não há a necessidade de recortes de paredes. Com estes atributos, os sistemas construtivos com estrutura em aço ou em madeira se caracterizam como

essencialmente de montagem, o que representa uma grande vantagem sobre sistemas construtivos baseados em concreto, por exemplo (VIVAN, 2016). Além disso, estes sistemas são mais leves, facilitando o transporte de edificações produzidas em uma fábrica. Estes benefícios ajudam na racionalização da produção, o que significa reduzir o tempo de trabalho afim de que se consiga melhor produtividade (RIBEIRO; MICHALKA JR., 2003).

2.1.7 Benefícios da construção volumétrica *offsite*

A construção volumétrica *offsite* é a forma mais eficaz de construção *offsite* (JELLEN; MEMARI, 2013; PAN; HON, 2020; THAI; NGO; UY, 2020). Ribeiro, Arantes e Cruz (2022) afirmam que a construção volumétrica *offsite* é o método de construção *offsite* mais sofisticado. Vários pesquisadores documentaram diversas vantagens da construção volumétrica *offsite* em comparação com a construção tradicional. Akinradewo *et al.* (2021) alegam que ela seja uma forma eficiente de construção, com potencial de reduzir o impacto ambiental e facilitar o gerenciamento do projeto e dos recursos humanos (JONSSON; RUDBERG, 2014), além de possibilitar a diminuição dos custos de projeto, da duração da obra, dos resíduos da construção e da poluição sonora ao redor do canteiro (SONG *et al.*, 2005; LAWSON; OGDEN; GOODIER, 2014). Esta abordagem de construção pode melhorar a qualidade geral do projeto, a produtividade do trabalho e o desempenho ambiental (O'CONNOR; O'BRIEN; CHOI, 2014; ARASHPOUR *et al.*, 2015, KAMALI; HEWAGE, 2016, LARSEN *et al.*, 2019). Ferdous *et al.* (2019) dizem ainda que ela possibilita uma melhor previsibilidade das metas de conclusão do projeto, exigindo menos trabalhadores no canteiro e oferecendo benefícios de sustentabilidade, como menor geração de resíduos e otimização de recursos (MINUNNU *et al.*, 2018).

A construção volumétrica *offsite* pode oferecer maior qualidade do produto; redução dos riscos de acidentes de trabalho; maior segurança na obra; redução do tempo gasto no canteiro de obras; independência das condições climáticas adversas; redução de poeira no entorno do local da obra (LU; KORMAN, 2010; BERTRAM *et al.*, 2019) e das perturbações nos edifícios adjacentes (LAWSON; OGDEN; GOODIER, 2014). Além disso, há muito tempo se argumenta que a construção volumétrica *offsite* pode reduzir a variabilidade e melhorar o fluxo nos projetos de construção (MCHUGH; DAVE; CRAIG, 2019). Já Lawson, Ogden e Bergin (2012) afirmam que as principais potenciais vantagens da construção volumétrica *offsite* são o aumento da possibilidade de geração de economia de escala na fabricação de várias unidades repetidas e de uso de técnicas de melhoria contínua (JONSSON; RUDBERG, 2014), velocidade de instalação no canteiro de obras e maior qualidade e precisão na fabricação. Razkenari *et al.* (2020)

mencionam a integração do processo de projeto como um benefício da construção *offsite*, uma vez que todos os envolvidos no projeto devem se engajar desde o início do processo.

Um dos principais benefícios esperados da construção volumétrica *offsite* é a redução do cronograma de construção no canteiro de obras pela sobreposição de atividades *onsite* e *offsite* (GIBB, 1999), já que os componentes são produzidos na fábrica ao mesmo tempo que a preparação do canteiro de obras é realizada (RAZKENARI *et al.*, 2020). Smith e Quale (2017) afirmaram que a construção *offsite* pode reduzir o tempo de construção entre 30 e 50% e Sutrisna, Ramnauth e Zaman (2022) observaram uma redução de 20 a 50% no tempo de conclusão do projeto resultante da produção de componentes em ambiente fabril suportado por processos simplificados e uso de máquinas. A redução do tempo de construção pode resolver problemas enfrentados pela maioria das partes interessadas do projeto. Por exemplo, os empreiteiros podem evitar possíveis problemas devidos ao não cumprimento das datas de conclusão acordadas e podem reduzir os custos de gerenciamento do canteiro de obras; enquanto o proprietário pode se beneficiar de um tempo de projeto mais curto, o que reduz os riscos relacionados a mudanças de mercado (GIBB; ISACK, 2003) e leva a um retorno antecipado do investimento (LAWSON; OGDEN; GOODIER, 2014).

Aspectos como segurança e qualidade podem ter seu aprimoramento facilitado na construção volumétrica *offsite* uma vez que a produção ocorre em um ambiente controlado, garantindo o bem-estar e a maior produtividade dos trabalhadores, um melhor controle e monitoramento da qualidade, segurança e progresso do trabalho, o melhor gerenciamento de resíduos, a possibilidade de inovação e de obter benefícios do uso de tecnologia industrial (RAZKENARI *et al.*, 2020). Além disso, o ambiente controlado de produção permitiria a redução de patologias durante o processo construtivo ou no período de uso da edificação (MCHUGH; DAVE; CRAIG, 2019). Gibb e Isack (2003) afirmaram que a qualidade dos produtos é a segunda razão mais citada para o uso de sistemas de construção *offsite*. A qualidade superior é alcançada por verificações pré-entrega (LAWSON; OGDEN; GOODIER, 2014). Além disso, como os procedimentos de controle e garantia de qualidade são mais facilmente aplicados em um ambiente fabril e os componentes fabricados são concluídos antes da instalação no canteiro de obras, há tempo adequado para inspecionar, identificar e corrigir quaisquer erros potenciais antes da entrega (GIBB, 1999). Ademais, como na construção *offsite* a quantidade de trabalho no canteiro de obras é reduzida, há a diminuição da exposição dos trabalhadores a riscos, como trabalho em altura (GIBB, 1999; JEONG *et al.*, 2019).

Em termos de sustentabilidade, a construção volumétrica *offsite* pode gerar menos resíduos e tem potencial para reciclagem e reutilização de componentes de construção (KAMALI;

HEWAGE, 2016; LOIZOU *et al.*, 2021; JANG; AHN; ROH, 2022). De acordo com Kamali e Hewage (2016), a menor geração de resíduos se dá por meio de uma abordagem precisa de compra, planejamento, corte de material e reciclagem. O ambiente fabril permite controlar, reutilizar e reciclar os resíduos gerados (KAWECKI, 2010). Além disso, potencialmente, os edifícios modulares podem ser desmontados e reutilizados, mantendo assim efetivamente seu valor patrimonial (LAWSON; OGDEN; BERGIN, 2012). A construção volumétrica *offsite* também possibilita a redução das emissões de gases de efeito estufa, como mostra Kim (2008), que previu uma redução de 4,6% no consumo de energia e uma redução de 3% nas emissões de gases de efeito estufa para o ciclo de vida de 50 anos dos projetos de construção modular.

Chauhan *et al.* (2022) observaram que a construção volumétrica *offsite* não apenas pode minimizar o custo do projeto, mas de todo o ciclo de vida da obra. Neste sentido, Gibb e Isack (2003) constataram que, embora os produtos da construção *offsite* possam ser mais caros do que os sistemas construtivos convencionais, outras economias, como ausência de andaimes, construção à prova de intempéries, uso eficiente de guindaste no canteiro de obras, redução trabalhos corretivos não planejados no canteiro de obras e menos congestionamento no canteiro podem compensar o custo adicional.

2.1.8 Desafios da construção volumétrica *offsite*

A prática atual da construção *offsite* ainda encontra muitos desafios e não atingiu todo o seu potencial em economia de tempo e custos, bem como produtividade da mão de obra (WANG *et al.*, 2020). Algumas pesquisas relataram que o tempo total desde o projeto até a montagem no canteiro pode ser mais longo do que da construção convencional (LIU *et al.*, 2018; BANIHASHEMI; TABADKANI; HOSSEINI, 2018). Outros estudos relataram que o custo da construção *offsite* é estimado em 26,3 a 72,1% maior do que o custo da construção tradicional (HONG *et al.*, 2018; ARASHPOUR *et al.*, 2018). Esses fatos indicam que muitos problemas precisam ser resolvidos para que se aproveite plenamente os potenciais benefícios da construção *offsite*.

Apesar dos possíveis benefícios, a utilização da construção volumétrica *offsite* é baixa, o que Taylor (2015) e Darlow, Rotimi e Shahzad (2022) afirmam estar relacionado a algumas restrições e dificuldades. Vários estudos analisaram os desafios e as barreiras para a implementação da construção *offsite*. Segundo Jonsson e Rudberg (2014) as barreiras mais mencionadas são: flexibilidade reduzida, necessidade de definir o projeto antecipadamente, alto nível inicial de investimento de capital, diferentes tipos de capacidades necessárias e

necessidade de altos volumes de produção ao investir em ativos fixos para produção. Já de acordo com Kamali e Hewage (2016), as principais barreiras são o esforço intensivo de planejamento, a dificuldade de colaboração, a falta de comunicação entre as partes envolvidas, e a complexidade da logística, que incluem as restrições do canteiro de obras e do transporte.

Para Pan, Gibb e Dainty (2007), uma cadeia de suprimentos fragmentada também pode inibir a aceitação da construção *offsite* entre os profissionais da indústria. Os autores Gan *et al.* (2018) realizaram uma revisão de literatura para identificar as barreiras à adoção da construção *offsite* e encontraram como questões mais críticas as políticas e regulamentos inadequados, a falta de conhecimento e experiência, a predominância do processo de projeto tradicional e a baixa padronização. Em sua pesquisa, Razkenari *et al.* (2020) identificaram que as cinco principais barreiras para a adoção da construção *offsite* são os requisitos regulatórios, o forte foco no menor preço quando são realizadas concorrências, a cultura conservadora da indústria, o alto investimento inicial necessário e a dificuldade em obter economias de escala.

Como se pode perceber, o custo de instalações fabril é citado por vários autores como uma das barreiras mais significativas para a implantação da construção *offsite* (LUO *et al.*, 2015; LU *et al.*, 2018). De acordo com Razkenari *et al.* (2020), há uma necessidade de grande investimento inicial, uma vez que é caro montar e manter as instalações fabris. Um estudo de Goodier e Gibb (2007) descobriu que o custo adicional da construção *offsite* em comparação com a construção tradicional restringe severamente os desenvolvimentos habitacionais *offsite* do Reino Unido. Mao *et al.* (2016) observam que os maiores custos da construção *offsite* estão atribuídos a vários fatores que não são importantes na construção convencional, pois se devem ao processo de fabricação, como custo de mão de obra qualificada, maquinário, configuração da fábrica, operação e manutenção e depreciação do maquinário. Além do mais, há os custos de aquisição de materiais, transporte, projeto e instalação da construção *offsite* (POLAT, 2008; MAO *et al.*, 2016).

A necessidade de profissionais qualificados com salários mais altos, bem como seu treinamento, também induz a custos mais altos da construção *offsite*, especialmente em países em desenvolvimento, onde a falta de mão de obra qualificada é comum (CHIANG; CHAN; LOK, 2006; ZHAI; REED; MILLS, 2014). A necessidade de espaço de armazenamento também torna a adoção da construção *offsite* mais cara (LU *et al.*, 2018). Além disso, a incerteza da demanda representa uma enorme dificuldade em obter retorno sobre altos investimentos iniciais na instalação fabril. Isso tem sido considerado como uma das barreiras para a ampla adoção da construção *offsite*, atribuída principalmente à não obtenção de efeitos de escala econômica (ARDITI; ERGIN; GÜNHAN, 2000; RAZKENARI *et al.*, 2020).

A questão da qualidade é um paradoxo na adoção da construção *offsite*. Embora a alta qualidade seja considerada um dos impulsionadores para promover sua adoção, existem no mercado produtos de baixa qualidade ou que apresentam falhas, que têm sido considerados um fator proeminente que impede que seu uso seja mais amplo (KAMALI; HEWAGE, 2016). Lovell e Smith (2010) argumentaram que a durabilidade não comprovada inibe a ampla adoção da construção *offsite*. Outros problemas de qualidade que afetam a demanda do mercado e causam disputas entre compradores e desenvolvedores incluem: rachaduras, vazamentos de água e isolamento acústico ruim (ZHANG; SKITMORE; PENG, 2014). Enquanto isso, a falta de suporte técnico, como pesquisa, laboratório de testes e profissionais qualificados, leva a um baixo desempenho em termos de qualidade (ZHANG; SKITMORE, 2012).

A falta de fabricantes e fornecedores, além de falta de conhecimento, experiência, e informação para a tomada de decisão também têm sido apontadas como grandes barreiras para a adoção da construção *offsite* (MAO *et al.*, 2015; RAZKENARI *et al.*, 2020). Isso ocorre principalmente porque o currículo atual dos cursos de engenharia civil e arquitetura raramente fornece uma cobertura completa sobre a construção *offsite*, especialmente em países em desenvolvimento (ARDITI; ERGIN; GÜNHAN, 2000). A falta de mão de obra qualificada leva a práticas de montagem inadequadas que afetam a estrutura (POLAT, 2010). De forma que a adoção da construção *offsite* exige a presença de trabalhadores da construção civil suficientemente qualificados (POLAT, 2010). Blismas e Wakefield (2009) ainda enfatizam a percepção adicional de riscos de segurança, porque a construção *offsite* é intensiva em guindastes e requer a utilização de componentes maiores e mais pesados, que podem aumentar as consequências ou impactos de determinados tipos de acidentes.

As questões de aceitação do público estão relacionadas com sua percepção negativa das habitações pré-fabricadas (LUO *et al.*, 2015). Edge *et al.* (2002) descobriram que potenciais compradores têm percepções negativas de casas pré-fabricadas do pós-guerra e muitas vezes resistem a qualquer produto que não se assemelhe a uma casa tradicional. Esta percepção negativa também pode existir entre arquitetos e engenheiros. A percepção do público é que as casas pré-fabricadas são apenas para habitação social de baixa renda (NADIM; GOULDING, 2011). Blismas e Wakefield (2009) afirmaram que a percepção cultural negativa em relação à construção *offsite* continua sendo uma restrição importante que se manifesta pela resistência à mudança. Isso pode levar ao ceticismo e resistência do cliente, reduzindo a demanda pela construção *offsite* (MAO *et al.*, 2015). Por ser uma inovação tecnológica na indústria da construção, a adoção de construção *offsite* muitas vezes atrai resistência, o que é atribuído ao protecionismo e conservadorismo inerentes à cultura da indústria, avessa ao risco (NADIM;

GOULDING, 2010). A relutância à inovação da indústria da construção foi relatada por Pan, Gibb e Dainty (2008).

De acordo com Luo *et al.* (2015), as políticas públicas e os instrumentos de regulação desempenham um papel crítico para facilitar a adoção da construção *offsite*. Para Razkenari *et al.* (2020) as normas e regulamentações são usualmente desenhadas para a construção tradicional e variam de acordo com o estado, o que impacta a construção *offsite*, em que as unidades geralmente são enviadas para diversas localidades.

Em relação à complexidade da logística de transporte, Kamali e Hewage (2016), afirmam que métodos de transporte, as rotas e as condições do canteiro de obras podem restringir tamanho, peso e dimensões dos produtos fabricados. Há também restrições logísticas e de operação no canteiro de obras devido ao uso intensivo de guindastes, à logística das instalações de produção e ao gerenciamento de estoque. Além de dificuldades relacionadas com o espaço de armazenamento limitado (TAM *et al.*, 2007; KAMALI; HEWAGE, 2016).

Em relação à estética dos edifícios, a tendência à repetitividade tem sido destacada na construção *offsite* (ARDITI; ERGIN; GÜNHAN, 2000). Como indicaram Jaillon e Poon (2010), as variações no projeto arquitetônico são menos frequentes quando se adota a construção *offsite*, pois existem limitações de projeto devido às restrições nos tamanhos dos módulos e nos tipos de conexões entre eles, gerando menor diversidade de produtos e pouca inovação no projeto (RAZKENARI *et al.*, 2020). A criatividade arquitetônica também pode sofrer devido às restrições de transporte quando uma quantidade significativa de componentes volumosos e pesados é necessária no projeto (POLAT, 2008). Outra limitação é a necessidade de definição do projeto antes da etapa de produção, o que acarreta baixa possibilidade de alterações (RAZKENARI *et al.*, 2020).

Sendo assim, as empresas de construção *offsite* devem tomar cuidado para evitar a percepção negativa da arquitetura modular, entendida como “semelhante a uma caixa” ou “padrão”, “cara” e de “baixa qualidade”. Portanto, Halman, Voordijk e Reymen, (2008) argumentaram que a indústria da construção precisa aplicar conceitos que permitam maior customização e é nesta dimensão dos desafios da construção volumétrica *offsite* que este trabalho busca atuar, na da customização. Uma abordagem de solução apropriada deve, idealmente, permitir maior customização, ao mesmo tempo em que garante baixos custos unitários e alta qualidade do produto (PINE; VICTOR; BOYNTON, 1993).

A seguir é apresentado o Quadro 2, com um resumo dos benefícios e desafios da construção volumétrica *offsite* em comparação com a construção tradicional. Percebe-se, como explicado

anteriormente, que, de forma contraditória, alguns pontos são apresentados tanto como benefícios quanto como desafios, como a qualidade do produto ou a variabilidade reduzida.

Quadro 2 - Resumo dos benefícios e desafios da construção volumétrica *offsite*

Benefícios da construção volumétrica <i>offsite</i>	Desafios da construção volumétrica <i>offsite</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Redução do impacto ambiental • Facilita o gerenciamento do projeto • Facilita o gerenciamento dos recursos humanos • Redução dos custos de projeto • Redução da duração da obra • Redução dos resíduos de construção • Redução da poluição sonora e da poeira ao redor do canteiro • Melhor qualidade geral do projeto • Melhor produtividade do trabalho • Melhor previsibilidade das metas de conclusão do projeto • Redução de trabalhadores no canteiro de obras • Maior sustentabilidade • Maior qualidade do produto • Redução dos riscos de acidentes de trabalho • Maior segurança na obra • Independência das condições climáticas adversas • Redução da variabilidade • Aumento da possibilidade de geração de economia de escala • Aumento da possibilidade de uso de técnicas de melhoria contínua • Melhor integração do processo de projeto • Redução dos custos de gerenciamento do canteiro de obras • Retorno antecipado do investimento • Maior reciclagem e reutilização de elementos de construção 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de suporte técnico e mão de obra qualificada • Necessidade de definir o projeto antecipadamente • Necessidade de profissionais qualificados com salários mais altos • Maior custo de construção • Tempo total desde o projeto até a montagem no canteiro pode ser mais longo • Tendência à repetitividade nos projetos • Complexidade da logística • Durabilidade não comprovada • Necessidade de espaço de armazenamento • Problemas na qualidade do produto • Riscos de segurança devido ao uso de guindastes • Políticas e regulamentos inadequados • Flexibilidade reduzida • Necessidade de altos volumes de produção (de alta demanda) • Cadeia de suprimentos fragmentada • Esforço intensivo de planejamento • Dificuldade de colaboração entre as partes envolvidas • Alto nível inicial de investimento de capital • Cultura conservadora da indústria

Fonte: Elaborado pela autora.

2.2 CUSTOMIZAÇÃO

As estratégias de customização partem do pressuposto de que os clientes possuem requisitos específicos e que atendê-los e aumentar o valor dos produtos criam uma vantagem competitiva (DA ROCHA, 2011). Tais estratégias são valorizadas por clientes que não buscam apenas custos reduzidos, mas desejam produtos que atendam às suas necessidades, mesmo que tenham um custo maior. Mercados nos quais os requisitos são únicos, significativos e variam entre os clientes são ambientes adequados para o desenvolvimento de estratégias de customização (PINE, 1993; HART, 1995; PILLER, 2004; DA ROCHA, 2011).

2.2.1 Customização, variedade e flexibilidade

O significado do termo **customização** foi abordado por Mintzberg (1988), que afirmou que um produto customizado é projetado especificamente para atender às necessidades de um determinado cliente. Pine, Pepper e Rogers (1995) corroboram com esta afirmação ao dizer que na customização há uma preocupação com o fornecimento de variedade de produtos em resposta às necessidades individuais dos clientes.

Considerando o conceito proposto por Pine, Pepper e Rogers (1995), é importante distinguir customização de variedade. Nesse sentido, Mintzberg (1988) afirma que a **variedade** proporciona escolha aos consumidores, mas não a capacidade de especificar o produto e Pine, Pepper e Rogers (1995) dizem que a variedade está relacionada à ampliação na gama de produtos oferecidos, não necessariamente motivada pelos requisitos dos clientes. Sendo assim, uma grande variedade no mercado pode satisfazer a maioria dos indivíduos e, portanto, substituir a customização; mas customização e variedade são conceitos distintos (DURAY *et al.*, 2000). Por exemplo, ter centenas de variedades de cereais na prateleira do supermercado é diferente de ter a possibilidade de especificar a formulação exata do cereal junto do fornecedor (DURAY *et al.*, 2000). De forma que fica claro que a diferença entre variedade e customização é que a segunda implica no envolvimento dos clientes na especificação do produto.

Relacionado aos termos customização e variedade, há ainda o termo flexibilidade. Upton (1994) define **flexibilidade** como a capacidade de reagir ou mudar com pequenas implicações em termos de custo, esforço e desempenho. O autor afirma que a flexibilidade pode ser vista tanto como um conjunto de capacidades, ou seja, o que uma organização é capaz de realizar, quanto como uma fonte de vantagem competitiva em um determinado contexto. Slack, Brandão e Corrêa (1999) explicam a flexibilidade como a capacidade de mudar uma operação de alguma forma, o que, para Slack, Chambers e Johnston (2010), pode significar mudar o que a operação faz, como ela está fazendo ou quando está fazendo. Para Paiva, Carvalho e Fensterseifer (2004), flexibilidade é a habilidade de um sistema assumir uma gama de estados. Considerando estas definições, o termo flexibilidade estaria mais relacionado às operações de uma organização do que aos seus produtos, de forma que, neste trabalho, adota-se o termo customização para falar da oferta de opções de produtos aos clientes considerando suas necessidades individuais.

2.2.2 Diferentes níveis de customização

Taube e Hirota (2017) realizaram uma ampla revisão de literatura e relataram que há diferentes níveis de customização, sendo que distintos autores consideram diversas subdivisões ou classificações que podem acontecer em vários pontos da cadeia de valor, desde as modificações feitas pelos próprios usuários após a entrega da edificação até a customização realizada nas etapas iniciais de desenvolvimento do projeto. Neste sentido, a seguir, são apresentados alguns níveis de customização relatados por diferentes autores.

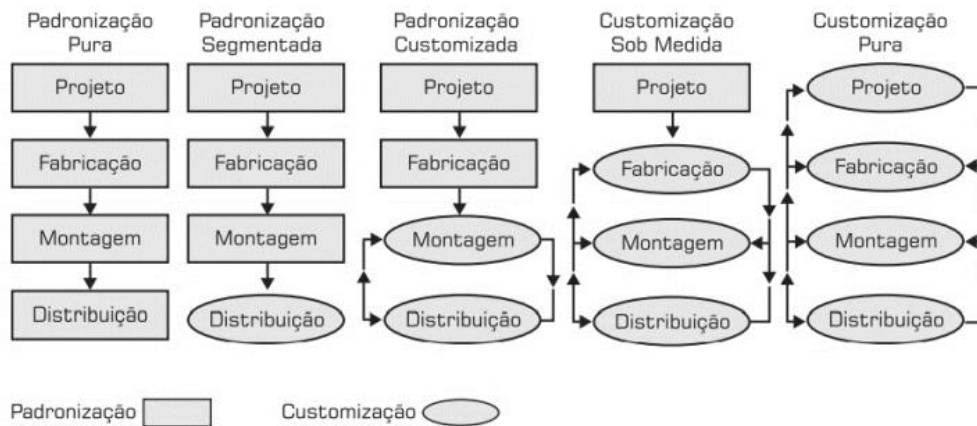
Para Ross (1996) há cinco níveis de customização: i) a customização feita pelo próprio cliente, em que o produto é customizado pelo cliente após o seu recebimento; ii) a customização do produto após a produção, em que o produto é customizado durante a fase de venda; iii) a customização da venda, em que o serviço de venda e não o produto é customizado; iv) a ampla variedade de produtos, em que o produto é customizado durante sua fase de montagem; e v) a customização do núcleo, em que o produto é customizado durante a fase de projeto.

Gilmore e Pine (1997) identificam quatro níveis de customização, sendo que mais de um deles pode ser aplicado ao mesmo tempo: colaborativa (há um diálogo com os clientes para ajudá-los a definir suas necessidades e posteriormente fazer produtos customizados para eles); adaptativa (a empresa oferece um produto padrão, mas que permita que a customização seja feita pelos próprios usuários); cosmética (apresenta um produto padrão de forma distinta para diferentes consumidores); e transparente (fornece bens/serviços exclusivos sem informar explicitamente os clientes sobre a customização) (HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009).

Outros autores propuseram abordagens distintas, sendo importante mencionar o trabalho seminal de Lampel e Mintzberg (1996) que considera a customização e seu oposto, que seria a padronização. De acordo com Ulrich e Eppinger (2016), a padronização está relacionada com o uso extensivo e repetitivo de uma solução que lida com problemas recorrentes. Já para Kasiri *et al.* (2017), a padronização é definida como o processo de estabelecer características uniformes para um determinado bem ou serviço. Considerando a customização e a padronização, Lampel e Mintzberg (1996) propuseram um espectro que vai de um extremo ao outro com possibilidades de estratégias intermediárias (como pode ser visto na Figura 9, a seguir). Os autores descreveram cinco estratégias de customização e padronização ao longo dos processos operacionais de manufatura (projeto, fabricação, montagem e distribuição) (LAMPEL; MINTZBERG, 1996): (i) padronização pura (*pure standardization*), (ii) padronização segmentada (*segmented standardization*), (iii) padronização customizada

(*customized standardization*), (iv) customização sob medida (*tailored customization*) e (v) customização pura (*pure customization*).

Figura 9 - Espectro de estratégias de padronização/customização



Fonte: Adaptado de Lampel e Mintzberg (1996).

Para Lampel e Mintzberg (1996), na padronização pura não há nenhuma forma de customização, sendo que o cliente não tem influência direta sobre as decisões de projeto, produção ou distribuição, já que ela é uma estratégia baseada em um produto direcionado ao maior grupo possível de compradores, produzido na maior quantidade possível, e distribuído para todos da mesma forma. Já a padronização segmentada é uma estratégia que representa a resposta da empresa às necessidades de diferentes grupos de compradores, assim, expandem-se as opções disponíveis para os clientes sem aumentar sua influência direta sobre as decisões de projeto ou produção. Um projeto básico é modificado e multiplicado para cobrir várias dimensões do produto, mas não a pedido de consumidores. A escolha individual é, portanto, antecipada, mas não atendida diretamente, sendo que, no máximo, pode haver uma tendência um pouco maior de customizar o processo de distribuição (LAMPEL; MINTZBERG, 1996).

Na padronização customizada, que também poderia ser chamada de “modularização” ou “configuração”, segundo Lampel e Mintzberg (1996), os produtos são feitos sob encomenda a partir de componentes padronizados, de modo que a customização acontece no processo de montagem. O projeto básico não é customizado e os componentes são todos produzidos em massa, de forma que cada cliente obtém assim a sua própria configuração, mas condicionada à gama de componentes disponíveis (LAMPEL; MINTZBERG, 1996). Na customização sob medida, a customização acontece no processo de fabricação, sendo que a empresa apresenta um protótipo de produto a um potencial comprador e depois o adapta a seus desejos ou necessidades. Muitos negócios tradicionais são conduzidos dessa maneira, como a construção

de casas, em que o construtor modifica um projeto padrão para atender a desejos particulares do cliente (LAMPEL; MINTZBERG, 1996). Na customização pura, as vontades do cliente permeiam o processo de projeto, de forma que o produto é realmente feito sob medida. Todas as etapas – projeto, fabricação, montagem e distribuição – são amplamente customizadas. Os autores dão como exemplo de customização pura o trabalho de um arquiteto que projeta de acordo com as especificações do cliente (LAMPEL; MINTZBERG, 1996). Nesse espectro, os processos de produção variam ao longo de uma escala de customização, indo desde a produção em massa totalmente padronizada até a produção artesanal totalmente customizada (LAMPEL; MINTZBERG, 1996).

Pela escala criada por Lampel e Mintzberg (1996), fica evidente que identificar o ponto de envolvimento inicial do cliente no processo de produção é fundamental para determinar o nível de customização (DURAY *et al.*, 2000). Isto mostra que customização e produção estão intrinsecamente conectadas, uma vez que as algumas das classificações sobre os diferentes níveis de customização apresentam o processo produtivo como base para diferenciação.

McCutcheon, Raturi e Meredith (1994) argumentam que a etapa da produção em que um produto é diferenciado é uma variável chave nas decisões sobre a operação. Por extensão, o ponto de envolvimento do cliente na especificação do produto também pode estar relacionado a escolhas sobre o processo de customização (DURAY *et al.*, 2000). Duray *et al.* (2000) consideram que o processo de produção é constituído por projeto, fabricação, montagem e uso, de forma que o ponto de envolvimento do cliente no processo de produção é um indicador do nível ou tipo de customização fornecido. Sendo assim, se os clientes estiverem envolvidos na fase de projeto, um produto poderá ser altamente customizado; mas se as preferências do cliente forem consideradas apenas na etapa de montagem, o nível de customização não será tão grande (DURAY *et al.*, 2000).

2.2.3 *Customer order decoupling point* na manufatura

Paralelamente aos estudos sobre customização, começou a se desenvolver uma corrente de literatura diferente, mas altamente relevante, sobre o *customer order decoupling point* (ponto de desacoplamento do pedido do cliente) (CODP), uma forma de considerar as gradações de customização possíveis, desenvolvida para facilitar o controle sobre o processo de produção (GOSLING; HEWLETT; NAIM, 2017). O CODP descreve a forma como os pedidos dos clientes permeiam as operações, indicando o quão profundamente um pedido entra no processo de produção (HOEKSTRA; ROMME, 1992). Ele foi concebido como um entreposto

estratégico que absorve as flutuações de demanda entre os pedidos dos clientes e a produção regular (NAYLOR; NAIM; BERRY, 1999), de modo que o CODP pode ser definido como o ponto nas operações de uma empresa que separa as decisões tomadas sob incerteza ou sob certeza em relação à demanda do cliente (RUDBERG; WIKNER, 2004).

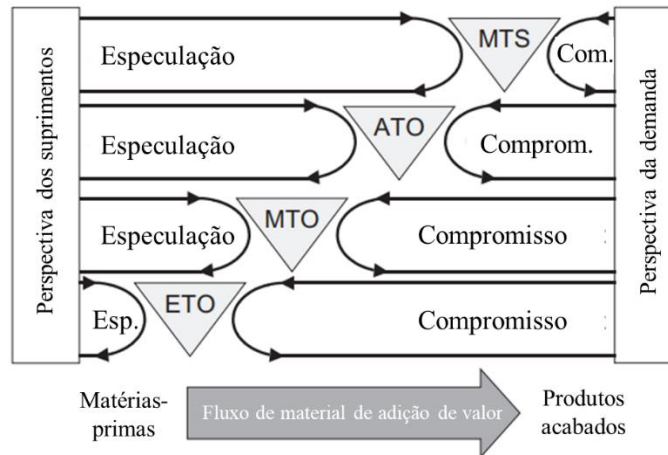
Diferentes autores usam termos variados para se referir ao CODP: Sharman (1984) utilizou a terminologia *decoupling point* (ponto de desacoplamento), Pine (1993) utilizou o termo *customization point* (ponto de customização), Feitzinger e Lee (1997) adotaram o nome *point of postponement* (ponto de adiamento), Olhager (2003) introduziu este conceito como *order penetration point* (ponto de penetração do pedido) (OPP), e Gupta e Benjaafar (2004) utilizaram o termo *delay of product differentiation* (adiamento na diferenciação do produto), apenas para citar alguns exemplos. Neste trabalho, no entanto, decidiu-se por adotar o termo *customer order decoupling point* (CODP), uma vez que ele destaca o envolvimento do cliente no pedido do produto (OLHAGER, 2003).

O CODP estabelece objetivos distintos a serem cumpridos pelas atividades realizadas a montante e a jusante dele (DA ROCHA, 2011), sendo que Rudberg e Wikner (2004) destacam a necessidade de diferentes abordagens de gerenciamento, dependendo do posicionamento do CODP. A montante do CODP, o sistema de produção funciona por previsão; as atividades são tipicamente especulativas, agregadas e padronizadas. A jusante do CODP, o sistema de produção trabalha de acordo com a demanda real; as atividades são tipicamente previsíveis, atreladas a pedidos conhecidos, individualizados e customizados. Sendo assim, quanto mais a jusante o CODP estiver posicionado, mais atividades de valor agregado devem ser realizadas sob incerteza (especulação), e quanto mais a montante o CODP estiver posicionado, mais atividades podem ser baseadas no compromisso do pedido do cliente, ou seja, informações precisas (LAMPEL; MINTZBERG, 1996; NAYLOR; NAIM; BERRY, 1999; OLHAGER, 2003; RUDBERG; WIKNER, 2004; GOSLING; HEWLETT; NAIM, 2017).

Quanto mais a jusante no fluxo de operações o CODP estiver posicionado, maior será a ênfase na produtividade, portanto o custo é normalmente a principal prioridade competitiva da empresa (HILL 2000; OLHAGER; RUDBERG; WIKNER, 2001). Por outro lado, ao posicionar o CODP mais a montante, uma empresa pode alcançar maior customização, atendendo aos requisitos específicos dos clientes (RUDBERG; WIKNER, 2004). Assim, o equilíbrio entre essas duas forças reflete a escolha estratégica da empresa, levando em consideração a customização e as condições tecnológicas tanto do produto quanto do processo (RUDBERG; WIKNER, 2004). Wikner e Rudberg (2005) observam que a maioria dos pesquisadores adota o que pode ser chamado de abordagem sequencial do conceito CODP,

como pode ser visto na Figura 10, que ajuda a clarificar os diferentes posicionamentos do CODP (RUDBERG; WIKNER, 2004).

Figura 10 - Abordagem sequencial típica do CODP



Fonte: Adaptado de Rudberg e Wikner (2004).

Considerando os diversos posicionamentos possíveis do CODP, ao longo do tempo, diversos autores desenvolveram classificações para empresas de manufatura baseadas no CODP. Uma revisão da literatura realizada por Wikner e Rudberg (2001) revela que quatro CODP são os mais usados: *engineer-to-order* (ETO), *make-to-order* (MTO), *assemble-to-order* (ATO) e *make-to-stock* (MTS). Hoekstra e Romme (1992) citam também a estrutura denominada *ship-to-stock* (STS).

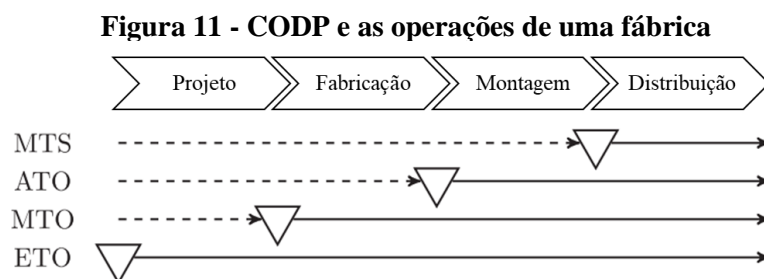
Para Naylor, Naim e Berry (1999), o ETO apresenta um longo prazo de entrega, uma vez que todos os produtos são exclusivos e fabricados a partir da demanda, que é variável; neste caso, as matérias-primas utilizadas são específicas para cada produto. Já o MTO tem um tempo de entrega inferior ao do ETO e apresenta a capacidade de fabricar produtos diferentes desde que sejam feitos a partir das mesmas matérias-primas. Por outro lado, no ATO, o estoque é maior, e, por isso, esta configuração é capaz de responder a uma maior variedade de produtos (NAYLOR; NAIM; BERRY, 1999). Tanto o MTO quanto o ATO permitem um certo grau de customização com base no nível de padronização de seus produtos (BONEV; WÖRÖSCH; HVAM, 2015).

De acordo com Bertrand e Muntslag (1993), tanto no ETO quanto no MTO, o pedido do cliente exerce função central nas operações, já que todas as atividades de produção são motivadas por ele, o que não acontece nas outras estruturas. Neste sentido, considera-se que o grupo de empresas que pode ser classificado como ETO ou MTO se enquadra na configuração tradicional de customização em sistemas de manufatura artesanais (RUDBERG; WIKNER,

2004); já os grupos de empresas que se enquadram nas demais classificações poderiam ser considerados como parte de uma abordagem de produção em massa.

O MTS fornece produtos padrões, que são fabricados e estocados com base na previsão de demanda, e são entregues ao cliente com prazo reduzido, em locais variados (NAYLOR; NAIM; BERRY, 1999). No MTS, o cliente entra no processo de produção em um estágio avançado de sua criação de valor (BONEV; WÖRÖSCH; HVAM, 2015). O STS, assim como o MTS, fornece produtos padrões, fabricados e estocados com base na previsão de demanda e entregues com prazo reduzido; no entanto, diferentemente do MTS, no STS os locais de entrega precisam ser pré-definidos (NAYLOR; NAIM; BERRY, 1999). Os riscos associados a investimentos, prazos de entrega e custos estimados serão diferentes entre os diversos posicionamentos possíveis do CODP (HOEKSTRA; ROMME, 1992).

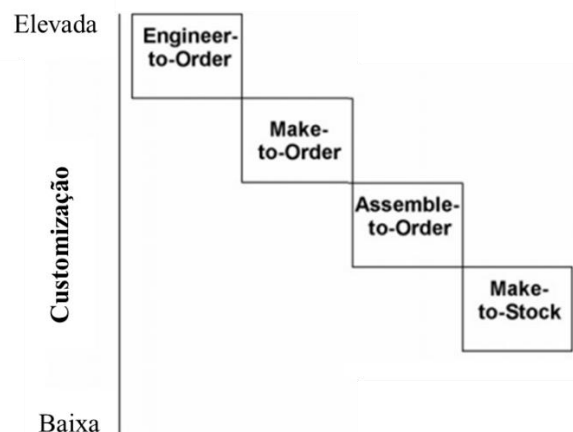
Para Olhager (2003), diferentes posições do CODP estão relacionadas não só as estratégias de ETO, MTO, ATO e MTS, mas também às operações da fábrica, como pode ser visto na Figura 11. Assim como Lampel e Mintzberg (1996), Olhager (2003) considera que as operações de uma fábrica estejam divididas em projeto, fabricação, montagem e distribuição. Na figura, os triângulos representam a posição do CODP nas operações, a linha tracejada representa as operações desenvolvidas sob incerteza e as linhas contínuas mostram as operações realizadas com base no compromisso do pedido do cliente.



Fonte: Adaptado de Olhager (2003).

Meredith e Akinc (2007) propõem uma escala que relaciona ETO, MTO, ATO e MTS a diferentes níveis de customização, como pode ser visto na Figura 12, a seguir. De acordo com os autores, há uma gradação entre elevada e baixa customização, sendo o ETO a estratégia que permite maior customização e o MTS a que permite menor customização.

Figura 12 - ETO, MTO, ATO e MTS a os diferentes níveis de customização

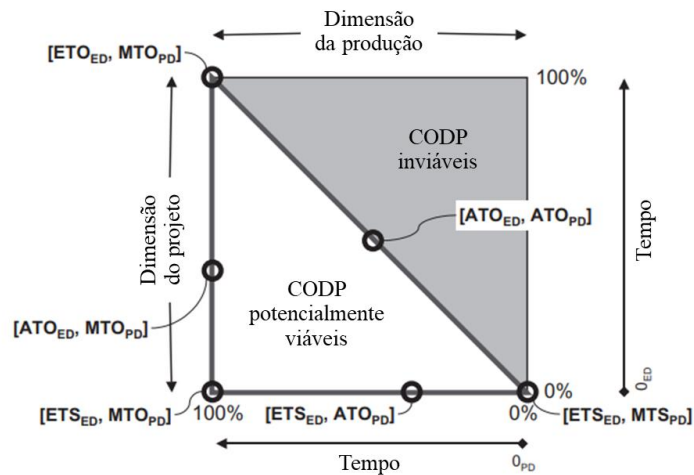


Fonte: Adaptado de Meredith e Akinc (2007).

Wikner e Rudberg (2005) observam que a maioria das pesquisas adota uma abordagem sequencial (ou linear) do conceito de CODP, o que não permite uma diferenciação entre as atividades relacionadas à produção e ao projeto (RUDBERG; WIKNER, 2004). Assim, Rudberg e Wikner (2004) mostram como o CODP pode ser utilizado para integrar recursos de projeto ao processo operacional. Para os autores, a dimensão da produção abrange os CODP tradicionais relacionados ao fluxo de materiais, ou seja, MTO_{PD} , ATO_{PD} e MTS_{PD} – nestas siglas, o subscrito “PD” é uma abreviatura de “dimensão de produção” (*production dimension*, em inglês). Já a dimensão de projeto teria como ponto extremo a situação em que um novo produto é projetado sob encomenda, denominado ETO_{ED} – nestas siglas, o subscrito “ED” é uma abreviatura para “dimensão de projeto” (*engineering dimension*, em inglês). O outro ponto extremo na dimensão do projeto seria a situação em que um produto é concebido antes de a empresa ter um cliente, o que poderia ser interpretado como se o projeto do produto fosse realizado para estoque, denominado pelos autores de ETS_{ED} (*engineer-to-stock*). Neste sentido, o ETO tradicional, para os autores, seria constituído pela dupla ETO_{ED} e MTO_{PD} .

Rudberg e Wikner (2004) afirmam que o envolvimento do cliente pode ocorrer tanto na dimensão de produção quanto na de projeto, ou em ambas. Segundo os autores, qualquer modificação de projeto deve ser concluída antes que qualquer atividade de produção dependente desta modificação específica possa ser iniciada. Portanto, o conjunto de configurações potencialmente viáveis contém duplas CODP que consideram a restrição “projeto antes da produção”, como apresentado na Figura 13, a seguir. Nesta figura, o extremo ETS_{ED} , MTS_{PD} representa a padronização pura e o extremo ETO_{ED} , MTO_{PD} corresponde à customização pura. Conceitualmente, as duplas CODP podem ser posicionadas em qualquer lugar ao longo da diagonal ou dentro dos limites do triângulo inferior esquerdo da figura.

Figura 13 - Duas dimensões do CODP



Fonte: Adaptado de Rudberg e Wikner (2004).

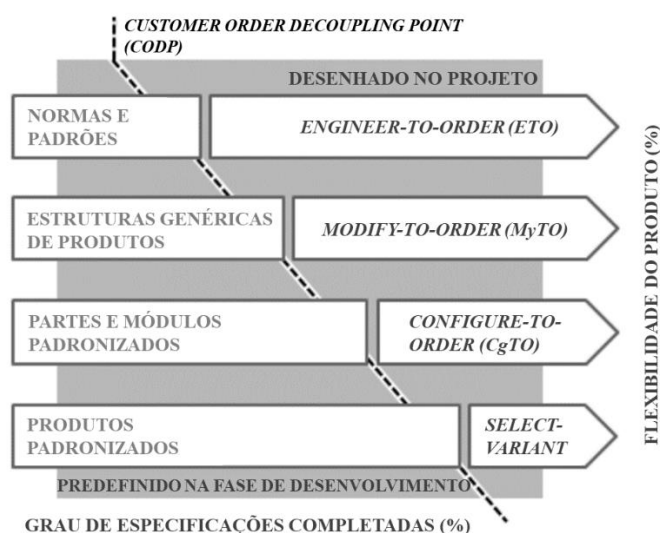
2.2.4 Customer order decoupling point na construção

Considerando as classificações relativas ao posicionamento CODP mais comumente utilizadas e aplicadas para a manufatura (ETO, MTO, ATO e MTS) (WIKNER; RUDBERG, 2001), Winch (2003) fez uma correspondência com o contexto da construção, tendo em conta o processo que vai do desenvolvimento inicial do conceito de um projeto até a entrega do produto ao cliente, e criou as seguintes categorias: i) *concept-to-order* (CTO), em que o cliente está envolvido já na fase conceitual inicial de um projeto de construção; ii) *design-to-order* (DTO), a empresa já tem um conceito básico de produto, mas um trabalho significativo de projeto é realizado para aquele cliente específico, tanto antes quanto após o contrato; iii) *make-to-order* (MTO), já existe um projeto totalmente detalhado que pode ser configurado para atender às necessidades específicas de um cliente – considerado pelo autor como customização em massa – ou em que nenhum projeto adicional precisa ser feito, mas o fluxo de operações não começa até que o cliente faça um pedido; iv) *make-to-forecast* (MTF), o produto é fabricado para estoque e vendido após sua produção ou, às vezes, durante ela (WINCH, 2003).

Outras classificações para a construção, tendo em conta o CODP, foram propostas também por outros autores. Na construção, além dos requisitos vindos diretamente do cliente, há uma série de requisitos das partes interessadas e regulamentos governamentais que também precisam ser cumpridos (STEVENS; MARTIN, 1995). Sendo assim, Hvam, Mortensen e Riis (2008) sugeriram uma classificação que considera o CODP e o grau de pré-engenharia envolvido na construção, como segue: *engineer-to-order* (ETO), *modify-to-order* (MyTO), *configure-to-*

order (CgTO)⁷ e *select-variant* (SV). Na classificação de Hvam, Mortensen e Riis (2008), o ETO seria adotado por empresas que projetam e produzem produtos complexos, sendo que, apenas normas e padrões são pré-requisitos incorporados aos produtos e as necessidades dos clientes são consideradas a partir do projeto (FORZA; SALVADOR, 2006). Já o MyTO seria menos complexo; os projetos são feitos com base em estruturas de produtos genéricos pré-definidos e em um conjunto de regras. Desta forma, as necessidades dos clientes são satisfeitas por certas variantes que influenciam as atividades de fabricação. O CgTO gera um produto via peças e módulos padrão e a forma como eles são montados é que atende aos requisitos do cliente. O SV seria o mais restritivo; as necessidades do cliente são atendidas por meio da seleção em catálogos de produtos acabados e diferentes formas de entrega (FORZA; SALVADOR, 2006). Um esquema desta classificação pode ser visto na Figura 14, a seguir.

Figura 14 - Especificação de processos na construção



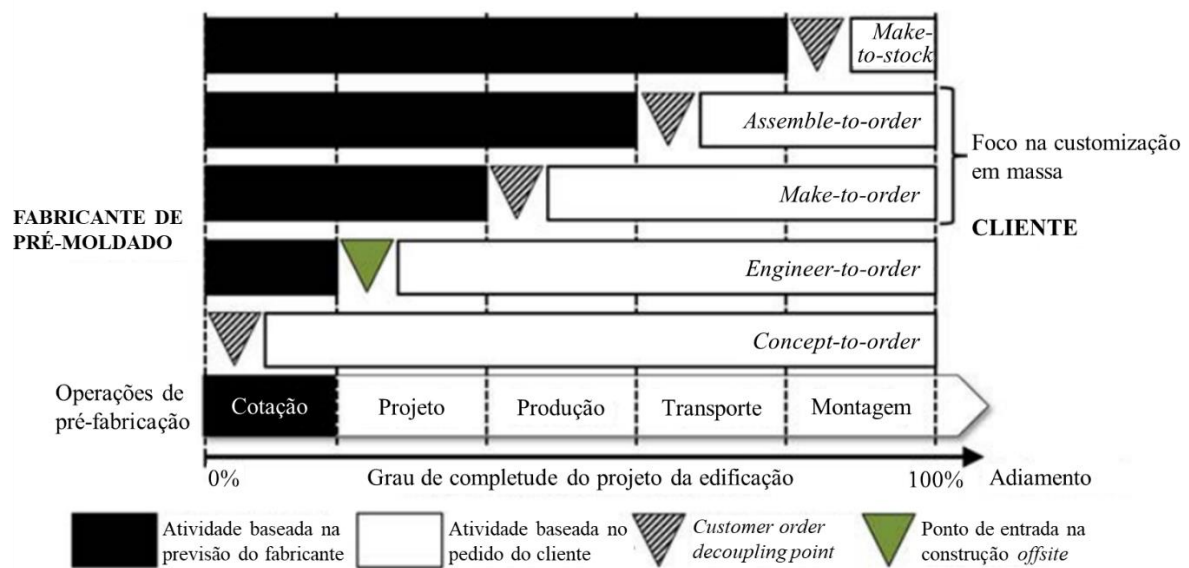
Fonte: Adaptado de Hvam, Mortensen e Riis (2008) e Jensen, Lidelöw e Olofsson (2015).

Em sua classificação proposta especificamente para a construção *offsite*, mostrada no esquema da Figura 15, Bonev, Wörösch e Hvam (2015) consideraram os processos de cotação, engenharia, produção, transporte e montagem e as categorias relativas ao CODP mais comumente utilizadas na manufatura (ETO, MTO, ATO e MTS) (WIKNER; RUDBERG, 2001), além da categoria CTO, proposta por Winch (2003). Os autores usam uma empresa de concreto pré-moldado como estudo de caso para exemplificar a construção *offsite*. Bonev, Wörösch e Hvam (2015) deixam claro que a customização em massa poderia acontecer em

⁷ Os termos “*modify-to-order*” e “*configure-to-order*”, aparecem no trabalho de Hvam, Mortensen e Riis (2008) com as abreviaturas *MTO* e *CTO*, respectivamente. No entanto, para diferenciá-los das abreviaturas utilizadas para os termos “*make-to-order*” e “*concept-to-order*”, neste trabalho decidiu-se adotar as abreviaturas *MyTO* e *CgTO*.

empresas que adotam o MTO e o ATO e afirmam que, em relação ao CODP, o fabricante de pré-moldados pode ser classificado como um ETO (ZABIHI; HABIB; MIRSAEEDIE, 2013). A representação da Figura 15 indica como, na construção *offsite*, o cliente entra na fase de projeto após a cotação do projeto. Todas as fases subsequentes (produção, transporte e montagem dos elementos de concreto no canteiro de obras) podem estar diretamente relacionadas a um determinado pedido de cliente (BONEV; WÖRÖSCH; HVAM, 2015).

Figura 15 - O modelo CODP em relação aos processos de uma empresa de pré-moldados



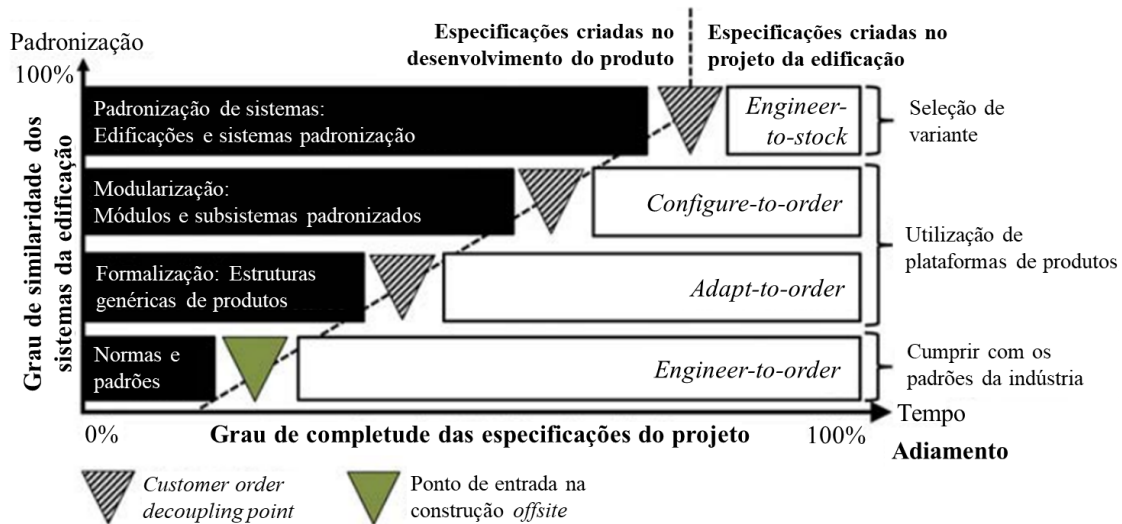
Fonte: Adaptado de Bonev, Wörösch e Hvam (2015).

Segundo Bonev, Wörösch e Hvam (2015) e considerando o modelo de Hvam, Mortensen e Riis (2008), os fabricantes de pré-moldados, caracterizados como ETO, usam a maior parte de seus recursos de engenharia para fazer especificações em projetos individuais, ao mesmo tempo em que cumprem com os padrões e normas específicos do setor da construção. Para ser *Adapt-to-order* (AdTO)⁸, a empresa precisaria criar um documento com as possíveis variações, cálculos e restrições para uma determinada família de produtos. Ao estabelecer um portfólio, o fabricante pode reutilizar o conhecimento do produto em cada projeto de construção de forma mais sistemática. Para ser CgTO, a empresa pode definir um conjunto padrão de módulos de construção ou variantes de subsistema, como diferentes tipos de fachadas. Os vários módulos e subsistemas seriam reconfigurados para cada projeto de construção. O ETS refere-se ao desenvolvimento de edifícios completamente padronizados. As empresas que oferecem casas a

⁸ O termo “*adapt-to-order*”, aparece no trabalho de Bonev, Wörösch e Hvam (2015) com a abreviatura ATO. No entanto, para diferenciar da abreviatura utilizada para o termo “*assemble-to-order*”, neste trabalho decidiu-se adotar a abreviatura AdTO.

partir de um catálogo são um bom exemplo de ETS. Na Figura 16 é representada a ligação entre o grau de padronização/customização de uma construção e o posicionamento do CODP (BONEV; WÖRÖSCH; HVAM, 2015).

Figura 16 - Posicionamento do CODP na construção *offsite*



Fonte: Adaptado de Bonev, Wörösch e Hvam (2015).

Em todos os esquemas apresentados, a escolha para o posicionamento do CODP depende de um equilíbrio entre o tipo de produto, o mercado, os processos da organização e as características de estoque (YANG; BURNS, 2003). Por suas implicações estratégicas, o CODP também deve estar alinhado à estratégia de negócios e aos critérios competitivos buscados por uma organização (DA ROCHA, 2011). Tradicionalmente, os clientes devem escolher entre preço baixo e produtos customizados. No entanto, argumenta-se que esta escolha pertence ao passado e que existem formas de fornecer produtos que atendam às necessidades específicas dos clientes a um preço baixo, garantindo, ao mesmo tempo, flexibilidade e produtividade para a empresa (FERDOWS; DE MEYER, 1990, COLLINS; SCHMENNER 1993, CORBETT; VAN WASSENHOVE, 1993). Isso se daria pelo uso da estratégia denominada customização em massa (RUDBERG; WIKNER, 2004). A introdução de uma estratégia de customização em massa requer uma mudança tecnológica que mova o CODP mais para a montante para fornecer maior flexibilidade para a empresa e, ao mesmo tempo, aumentar sua produtividade (RUDBERG; WIKNER, 2004).

2.2.5 Customização em massa

O termo customização em massa (CM) foi primeiramente previsto por Alvin Toffler, em 1970, que apontou que as tendências de diversificação da demanda do mercado e os avanços nas tecnologias contribuíram para o surgimento de tal abordagem (PINE, 1993; RADDER; LOUW, 1999; ULRICH; ANDERSON-CONNELL; WU, 2003; KUMAR; GATTOUFI; REISMAN, 2007). No entanto, o termo foi cunhado por Stan Davis em seu livro “Futuro Perfeito” de 1987, que descreveu a produção de bens e serviços customizados para um mercado de massa (PINE, 1993; RADDER; LOUW, 1999; DA SILVEIRA; BORENSTEIN; FOGLIATTO, 2001; ULRICH; ANDERSON-CONNELL; WU, 2003). Davis (1987) sugeriu que a tecnologia existente na época limitava as possibilidades de produtos customizados em massa, mas afirmou que o fenômeno prevaleceria no futuro (DURAY *et al.* 2000).

Antes do século XX, a produção artesanal era o modo de produção predominante, caracterizado, segundo Brown e Bessant (2003), por baixos volumes e alta variedade. No início do século XX, Henry Ford desenvolveu o sistema de produção de linha de montagem com o intuito de fabricar produtos padronizados em larga escala (PINE, 1994; CORRÊA; CORRÊA, 2011). Com o advento da produção em massa como paradigma dominante, as reduções de custos tornaram-se o principal critério competitivo (PAIVA; CARVALHO; FENSTERSEIFER, 2004). Este sistema foi predominante na manufatura até os anos 1970, quando se percebeu que a sociedade estava mudando, bem como as necessidades dos consumidores, que desejavam produtos customizados (PINE, 1994). O foco na variedade de produtos inspirou, já na década de 1920, a General Motors a adequar o seu processo produtivo para oferecer cinco modelos diferentes de carros. Desde o final da década de 1980, o progresso no desenvolvimento de sistemas flexíveis de produção, os avanços nos métodos de gestão, as novas tecnologias de informação e o aumento da demanda por variedade de produtos apoiaram o surgimento da CM, entregando maior customização a menor custo (PINE, 1993; KOTHA, 1995; DURAY *et al.*, 2000; DA SILVEIRA; BORENSTEIN; FOGLIATTO, 2001).

Na literatura, não há consenso a respeito do conceito de CM (TAUBE; HIROTA, 2017). No entanto, o termo tornou-se mais conhecido com a publicação de Pine (1993) no livro “Customização em Massa: a nova fronteira da competição dos negócios”, que mostra a CM como uma estratégia de negócios para a produção de bens e serviços em contextos altamente competitivos (PINE, 1993). De acordo com Pine (1993), o objetivo da CM é desenvolver, produzir, comercializar e entregar bens e serviços a custos acessíveis com variedade e customização suficientes para que quase todos encontrem exatamente o que desejam. Segundo

Pine, Pepper e Rogers (1995), CM significa entregar customização a custos reduzidos. Para Da Silveira, Borenstein e Fogliatto, (2001), a CM busca estabelecer uma variedade controlada de opções de customização, considerando o entendimento prévio dos requisitos do cliente e a capacidade produtiva da empresa. Além disso, os autores afirmam que a CM está relacionada à capacidade de fornecer produtos ou serviços customizados por meio de processos flexíveis em grandes volumes e a custos razoavelmente baixos (HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009).

Já MacCarthy e Brabazon (2003) alegam que a ideia central da abordagem da CM é fornecer algum grau de customização ao mesmo tempo em que se busca atingir os padrões de eficiência, custo e qualidade da produção em massa. Kumar (2004) reconhece a pluralidade de definições para a CM e sugere dois aspectos comuns à maioria delas: (i) o produto entregue é semelhante ao que o cliente deseja, implicando que existe algum grau de customização; e (ii) o custo desse produto não sofre aumento proporcional ao aumento do grau de customização (DA ROCHA, 2011). Sendo assim, os custos reduzidos e as menores possibilidades de customização seriam o que diferencia a customização em massa da customização completa (*full customization*), o que está de acordo com Salvador; De Holan e Piller (2009), que alegam que o que diferencia a CM da customização completa é ter um conjunto de opções para um número limitado de atributos. Na CM, os clientes não podem criar produtos completamente novos de acordo com seus desejos, como é comum na produção única (WANG *et al.*, 2017).

Historicamente, as empresas escolheram processos que apoiavam a fabricação de produtos artesanais customizados ou de produtos padronizados produzidos em massa (DURAY *et al.* 2000). Os produtos customizados geralmente são fabricados por meio de sistemas de produção com baixa capacidade em termos de volume, mas que lidam bem com uma grande variedade de produtos e com processos de projeto que permitem grande envolvimento do cliente na especificação do produto (DURAY *et al.* 2000).

Por outro lado, a produção em massa é escolhida para fabricar produtos padronizados em grande volume, em que maior atenção é dada à eficiência e à obtenção de economias de escala (DURAY *et al.* 2000). Neste ambiente, as reduções de custos decorrem das economias de escala, que, segundo Hayes e Wheelwright (1984), são geradas pela diluição dos custos fixos, pela revisão constante do processo produtivo para reduzir o tempo de ciclo, pela utilização de máquinas grandes ao invés pequenas, e pela melhoria do custo marginal por unidade, que decorre da capacidade ou experiência acumulada pela organização ao longo do tempo. De acordo com Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), o tempo de ciclo é o tempo médio de processamento de itens na produção.

Na produção em massa está implícito que o preço é um benefício valorizado pelos clientes, que aceitam produtos padronizados em troca de baixos custos (DA ROCHA, 2011). Além disso, na produção em massa não existe o envolvimento do cliente no projeto e suas necessidades são identificadas por meio de pesquisas de mercado que capturam os atributos do produto que tenham apelo ao maior número de pessoas (DURAY *et al.* 2000).

Assim, a CM representa um paradoxo ao combinar customização e produção em massa, oferecendo produtos únicos em um ambiente de produção em massa, baixo custo e alto volume (DURAY, 2002). Para Barman e Canizares (2015), a CM tem seu ponto de partida na economia de escala, no entanto, ela também depende da economia de escopo que, segundo Teece (1980), surge do compartilhamento de insumos entre produtos ou processos. De acordo com Barlow e Ozaki (2005), a economia de escopo envolve a introdução de processos que facilitam a fabricação de uma variedade de produtos usando os mesmos maquinários e materiais.

Desta forma, a abordagem da CM altera o *trade-off* (balanceamento) entre custo e diferenciação: a customização pode ser alcançada sem sacrifícios proporcionais em termos de custos (DA ROCHA, 2011). Os produtos podem ser fabricados com as especificações dos clientes, como na economia pré-industrial, mas com o custo de um item produzido em massa (DURAY *et al.*, 2000; DA SILVEIRA; BORENSTEIN; FOGLIATTO, 2001). A CM está fundamentada no pressuposto de que os clientes diferem em seus desejos, atitudes e preferências (ENGEL; BLACKWELL; MINIARD, 2000) e que atender às especificidades de cada indivíduo agregará valor ao produto e aumentará o grau de satisfação dos clientes (FRUTOS; BORENSTEIN, 2003; BARLOW; OZAKI, 2003).

A maior parte da literatura sobre a CM se concentra em casos em que as empresas fazem a transição da produção em massa para a CM e, como consequência, as definições de CM são um tanto unilaterais, focando apenas nesse tipo de transição (HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009). Isto se dá, provavelmente, porque no trabalho em que Pine (1993) começou a definir e popularizar o conceito de CM, o autor sugeriu uma progressão para uma empresa passar da produção em massa para a CM (DURAY, 2002). No entanto, tanto os fabricantes de produtos padronizados quanto os fabricantes de produtos customizados desenvolveram produtos customizados em massa (DURAY, 2002).

Em todo caso, a CM presume que o cliente esteja envolvido no desenvolvimento do produto e que os fabricantes utilizem a modularidade para obter eficiências de fabricação que se aproximem daquelas dos produtos padronizados produzidos em massa (DURAY *et al.* 2000). Para que o fabricante mantenha seu custo de produção baixo, é importante limitar as possibilidades de escolha dos clientes. Ter flexibilidade infinita e opções ilimitadas anula o

propósito da CM e leva de volta à produção artesanal com customização completa. Neste sentido, as opções oferecidas aos clientes devem ser pensadas para garantir a reutilização de partes de produtos para uma série de produtos diferentes (BRIÈRE-CÔTÉ; RIVEST; DESROCHERS, 2010). Para Duray *et al.* (2000) e Duray (2002), as empresas só fazem CM se atenderem às condições de utilização de modularidade e de envolvimento do cliente. Fabricantes que não envolvem o cliente no desenvolvimento do produto ou que não empregam modularidade não fazem CM. Sem algum grau de envolvimento do cliente, um produto não pode ser considerado customizado. Ao mesmo tempo, empresas que não usam modularidade também não fazem CM, mas customização completa, produzindo bens únicos sem as economias da manufatura repetitiva (DURAY *et al.* 2000; DURAY 2002).

Da Rocha e Miron (2018) afirmam que embora os objetivos da CM, de alta variedade de produtos e de eficiência da produção sejam claros, sua implementação pode não ser óbvia. Sendo assim, são necessários vários facilitadores para que esses objetivos aparentemente conflitantes sejam atingidos. As empresas que buscam a CM necessitam de um projeto de processo robusto e estável, que permita a reutilização ou recombinação dos recursos existentes na cadeia de valor organizacional para permitir alta flexibilidade e eficiência (PILLER; WANG, 2017). A CM deve acomodar ambientes de fabricação de alta variedade e baixo volume com foco na flexibilidade e capacidade de resposta, que são alcançados por meio de projetos de produtos e processos inovadores, incluindo digitalização e automação (PILLER; WANG, 2017). Sistemas flexíveis de manufatura reduzem o *trade-off* entre variedade e produtividade (FRANKE; PILLER, 2002).

De acordo com Salvador, De Holan e Piller (2009), as empresas que utilizam a CM devem apresentar ou buscar desenvolver três capacidades fundamentais: i) a de espaço de soluções, que representa a capacidade da empresa de identificar os diferentes requisitos dos clientes, especificamente os atributos do produto sobre os quais as necessidades dos clientes mais divergem, e definir claramente quais produtos oferecerá; ii) a de navegação de escolha, que é a capacidade de orientar o cliente na seleção ou configuração do produto que atenda às suas necessidades (configuração do produto); e iii) a de projeto robusto de processos, que significa a capacidade de reutilizar ou recombina recursos organizacionais e da cadeia de valor existentes para fornecer soluções customizadas com eficiência e confiabilidade similares à da produção em massa.

No contexto da construção, à primeira vista, a CM parece ser uma contradição, pois é da natureza de um projeto de construção ser único, enquanto a CM envolve a fabricação em linha de montagem com grande repetição (VIANA; TOMMELEIN; FORMOSO, 2017). No entanto,

a construção volumétrica *offsite* poderia facilitar a aplicação da CM (BIANCONI; FILIPPUCCI; BUFFI, 2019). A construção volumétrica *offsite*, mostrou que essa incompatibilidade deve ser fortemente contestada, pois possibilita que uma construção seja, ao mesmo tempo produzida em massa e customizada; o próprio conceito de modularidade pode implicar em customização (VIANA; TOMMELEIN; FORMOSO, 2017).

2.2.5.1 Benefícios da customização em massa

Os benefícios da CM são apresentados em sua própria definição, já que ela é uma estratégia que pode ser adotada para satisfazer tanto as necessidades de modernização, eficiência e produtividade das empresas, quanto as necessidades particulares dos usuários (FRUTOS; BORENSTEIN, 2003). Segundo Barman e Canizares (2015), a vantagem da CM é o uso da economia de escala para garantir um baixo custo unitário e, ao mesmo tempo, fornecer customização. No entanto, como dito anteriormente, embora a CM permita escolhas individuais, elas são limitadas e vinculadas a estruturas predefinidas (BERMAN, 2002).

Todavia, esta limitação das possibilidades de customização nem sempre é ruim. As opções modulares, predeterminadas de bens configuráveis tornam a venda e a especificação mais fáceis em comparação com o que costuma acontecer na customização completa (TIIHONEN *et al.*, 1998) e até permitem que os próprios clientes façam a especificação (SALVADOR; FORZA, 2004). Um benefício relacionado é que as opções predeterminadas, em comparação com a customização completa, reduzem o esforço de projeto exigido por cliente, o que libera recursos especializados de engenharia para outras tarefas, como o desenvolvimento de novos produtos (TIIHONEN *et al.* 1998; SALVADOR; FORZA, 2004).

Além disso, para uma empresa que oferece customização completa e caminha para a CM, os benefícios incluem a simplificação do processo de fabricação e a redução dos custos por produto fabricado (HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009). A mudança da customização completa para a CM pode permitir que as empresas usem bens configuráveis ao buscar um melhor controle de produção e qualidade dos produtos, prazos de entrega mais curtos (TIIHONEN; SOININEN, 1997; TIIHONEN *et al.*, 1998; SALVADOR; FORZA, 2004) e reutilização de conhecimento (TIIHONEN; SOININEN, 1997).

Já para os fabricantes de produtos em massa, uma motivação para mudar para a CM é tornar-se melhor em satisfazer os requisitos de determinados clientes, a fim de alcançar novos segmentos de mercado ou obter uma vantagem competitiva (HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009). Uma distinção importante entre empresas que fazem produção em massa e customização

completa que movem em direção à CM é que as primeiras aumentam a variedade de produtos e segundas diminuem a variedade de produtos (LAMPEL; MINTZBERG, 1996; HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009).

2.2.5.2 Desafios da customização em massa

Embora o conceito de CM seja conhecido há anos, sua implementação efetiva ainda é um imenso desafio (GILMORE; PINE, 1997; SALVADOR; DE HOLAN; PILLER, 2009; FOGLIATTO; DA SILVEIRA; BORENSTEIN, 2012), porque requer que os fabricantes estejam prontos para alterar os produtos e seus processos de fabricação de forma eficiente, bem como para selecionar as melhores soluções de acordo com diferentes critérios (economia, qualidade etc.). Huang, Kristal e Schroeder (2010) afirmam que a estrutura organizacional de uma empresa afeta suas capacidades de oferecer CM. Sem o aperfeiçoamento dos processos de planejamento, projeto do produto, preparação e controle da fabricação, o cumprimento eficaz das premissas da CM e a manutenção de seus resultados positivos não são possíveis (ZAWADZKI; ŻYWICKI, 2016).

Segundo Martinez, Tommelein e Alvear (2017), o desafio dos fabricantes de produtos em massa para a implementação da CM consiste em conseguir o equilíbrio entre oferecer variedade e manter o valor acessível, sem afetar a eficiência do processo produtivo (NAHMENS; BINDROO, 2011). Ao aumentar o número de opções oferecidas ao cliente, a complexidade da produção também é aumentada, devido à maior variação de materiais e à maior quantidade de informações necessárias para a fabricação do produto, sendo preciso um controle da produção mais eficaz (DA ROCHA; KEMMER, 2013; MARTINEZ; TOMMELEIN; ALVEAR, 2017).

Quando um fabricante de produtos em massa muda para a CM, o processo de fabricação torna-se menos padronizado e os erros mais prováveis de acontecer. Além disso, a distribuição dos produtos torna-se mais difícil, pois faz-se necessária uma comunicação mais direta com os clientes (HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009). Passar da produção em massa para a CM implica no aumento da complexidade da fabricação, exigindo maior planejamento e um processo de fabricação mais flexível. Porém, quando as tarefas flexíveis da fabricação podem ser limitadas, preços de produtos próximos aos da produção em massa podem ser alcançados (HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009).

Já para as empresas que fazem customização completa e decidem mudar para CM, o desafio é encontrar o equilíbrio entre flexibilidade e padronização (HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009). Fazer a transição para a CM, no caso de uma empresa de customização completa, implica

em uma simplificação dos projetos de produtos oferecidos. Segundo Berman (2002), a flexibilidade do projeto é reduzida em produtos customizados em massa para obter economias de escala na produção. Essa simplificação dos projetos de produtos pode trazer consequências infelizes como: perda da capacidade inovativa, maior chance de ter os produtos copiados pelos concorrentes e resistência organizacional devido à simplificação do trabalho (EDWARDS; LADEBY, 2005; HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009). Portanto, o sacrifício da flexibilidade de projeto precisa ser ponderado ao considerar a implementação de uma estratégia de CM.

No caso específico da construção *offsite*, um desafio extra para a implantação da CM é a aquisição de materiais, uma vez que a cadeia de suprimentos está estruturada para atender a projetos de construção tradicionais (LARSEN *et al.*, 2019). Considerando os desafios para a implantação da CM, vários capacitadores são propostos na literatura para apoiar os objetivos da CM. Isso inclui os conceitos de modularidade, plataforma e adiamento na diferenciação do produto (DA ROCHA; KEMMER; MENESES, 2016), temas que são abordados a seguir.

No Quadro 3 é apresentado um resumo dos benefícios e desafios da customização em massa em relação à customização completa.

Quadro 3 - Benefícios e desafios da customização e massa

Benefícios da customização em massa	Desafios da customização em massa
<ul style="list-style-type: none"> • Fornece, ao mesmo tempo, baixo custo unitário e customização • Venda e a especificação facilitadas • Menor esforço de projeto é requerido para cada cliente • Processo de fabricação mais simples • Melhor controle de produção • Melhor qualidade dos produtos • Prazos de entrega menores 	<ul style="list-style-type: none"> • Equilíbrio entre oferecer variedade e manter o valor acessível • Escolhas individuais limitadas e vinculadas a estruturas predefinidas • Mudanças necessárias na produção • Perda da capacidade inovativa • Maior chance de ter os produtos copiados pelos concorrentes

Fonte: Elaborado pela autora.

2.2.5.3 Modularidade

Pine (1993) argumenta que a modularidade é a chave para alcançar a CM. Vários autores buscaram definir modularidade e seus termos relacionados ao longo do tempo. De acordo com Sanchez e Mahoney (1996), um produto modular possui sistemas decomponíveis com alto grau de independência. Para Baldwin e Clark (1997), um projeto modular é composto por unidades que são projetadas de forma independente, mas que funcionam como um sistema integrado. Huang e Kusiak (1998) afirmam que a modularidade denota a utilização de unidades comuns para criar variantes de produtos, sendo que elas podem ser independentes, padronizadas ou intercambiáveis para satisfazer uma variedade de funções. Módulos também podem ser

definidos como um grande conjunto de componentes formando uma submontagem com uma interface padrão (MUFFATO, 1999). Para Duray *et al.* (2000), a modularidade fornece um meio para a produção repetitiva, pois permite que parte do produto seja feita em grande volume, como módulos padrão, e a distinção de produto é alcançada pela combinação ou modificação dos módulos. Salvador (2007) afirma que os módulos são uma parte física que pertence a uma ou mais variantes de produto. Assim, Gershenson, Prasad e Zhang (2003) afirmam que há independência e conexão entre os módulos, o que idealmente deveria permitir que eles fossem intercambiáveis. Baldwin e Clark (2006) indicam três propósitos da modularização no projeto: tornar a complexidade administrável; permitir o trabalho paralelo; e acomodar a incerteza futura.

Lu e Korman (2010), ao analisarem as definições dadas por vários autores, afirmam que todos os usos do termo “modular” referem-se de alguma forma a um componente autocontido de um sistema que tem uma interface bem definida em relação aos outros componentes. Os produtos, portanto, não diferem em sua estrutura básica, mas os módulos padronizados e individualizados são combinados para formar um produto específico para o cliente. Todos os componentes que não são considerados cruciais para a individualização são padronizados a fim de reduzir a complexidade. Os produtos podem ser adaptados às necessidades de diferentes clientes, adicionando, substituindo ou removendo módulos (TSENG; HU, 2014). Por meio dessa padronização, os custos podem ser reduzidos devido à economia de escala com a produção de módulos básicos em quantidades maiores (DURAY *et al.*, 2000). O fato de as peças ou módulos serem padronizados permite que produtos customizados em massa alcancem o baixo custo e a qualidade associadas à fabricação repetitiva. Assim, a modularidade pode ser vista como o aspecto crítico para ganhar escala na CM (DURAY *et al.* 2000).

Pine, Pepper e Rogers (1995) afirmaram que, para serem bem-sucedidas, as empresas que fazem CM devem empregar uma estratégia de produção que incorpore a modularidade em componentes e processos. Sendo assim, Duray *et al.* (2000) apresentam uma discussão sobre a modularidade do produto e a modularidade do processo. McCutcheon, Raturi e Meredith (1994) sugeriram que o projeto modular do produto seria a melhor maneira de alcançar variedade e velocidade, reduzindo assim a pressão sobre a capacidade de resposta na customização, que ocorre quando os clientes exigem simultaneamente maior variedade e tempos de entrega reduzidos. A modularidade do produto é um dos elementos primordiais das estratégias de CM; ela diz respeito ao uso de um conjunto limitado de módulos para criar diversas variantes de produtos (GERSHENSON; PRASAD; ZHANG, 2003). As diferentes combinações entre

módulos levam a uma alta variedade de produtos, enquanto o alto volume é alcançado pelo uso de um número limitado de módulos em uma grande variedade de produtos (PINE, 1993).

Baldwin e Clark (1994) discutiram a modularidade na produção como um meio de segmentá-la para permitir economias de escala e escopo dentre todas as linhas de produtos (GOLDHAR; JELINEK, 1983). A modularidade na produção (ou modularidade do processo), usada principalmente para fins de planejamento, descreve a decomposição de um processo em módulos para execução paralela (PARRAGUEZ *et al.*, 2019). Feitzinger e Lee (1997) propuseram três princípios para a modularidade do processo: padronização, sequenciamento e adiamento. A padronização do processo é feita por meio da sua segmentação em subprocessos padrão, que produzem unidades básicas padrão e customizam subprocessos das unidades básicas compartilhadas por produtos. O sequenciamento de processos significa a ordenação dos subprocessos para alcançar a ocorrência de subprocessos padrão em primeiro lugar e a ocorrência de subprocessos de customização por último. O adiamento do processo significa adiar os subprocessos de customização até que o pedido do cliente seja recebido (TAN *et al.*, 2022). O alinhamento da modularidade do produto e do processo traz vantagens no desenvolvimento e gerenciamento de soluções de adiamento na manufatura (FORZA; SALVADOR; TRENTIN, 2008). Os sistemas de manufatura flexíveis fornecem customização a um custo reduzido por meio do uso de alguma forma de modularidade (DURAY *et al.*, 2000).

Estudos anteriores investigaram a modularidade na construção, reforçando a relevância do tema para o setor (DA ROCHA; FORMOSO; TZORTZOPOULOS, 2015). Na construção, o conceito de modularidade tem se mostrado útil para reduzir a complexidade dos sistemas construtivos, uma vez que se pode adotar um conjunto limitado de componentes modulares para simplificar as decisões de projeto e padronizar diferentes tipos de processos (VIANA; TOMMELEIN; FORMOSO, 2017). Voordijk, Meijboom e Haan (2006) apontaram a importância de analisar a modularidade na construção sob três perspectivas: a do produto; a do processo; e a da cadeia de suprimentos. Ethiraj e Levinthal (2004) sugerem que os benefícios da modularidade podem ser aumentados se a construção *offsite* for adotada. Neste sentido, um edifício baseado na construção volumétrica *offsite* é, em si, composto por módulos construídos e pré-montados em uma fábrica (LU; KORMAN, 2010). Os conjuntos de regras que determinam o tamanho dos módulos na construção volumétrica *offsite* incluem, em geral, o sistema de construção selecionado e as restrições de transporte (STAIB; DÖRRHÖFER; ROSENTHAL, 2008).

2.2.5.4 *Design for manufacture and assembly*

Tradicionalmente, os projetistas no campo da manufatura consideram o projeto e a produção como elementos separados, com base na atitude “nós projetamos; você produz”, mas esta abordagem muitas vezes implica em um trabalho de redesenho, no caso de modificações do projeto na fase de fabricação ou montagem; nesses casos, a modificação do projeto é muito cara (JUNG; YU, 2022). O *Design for Manufacture and Assembly (DfMA)* (projeto para manufatura e montagem), foi formulado com o intuito de prevenir erros que possam ocorrer nas etapas de fabricação e montagem, examinando, na fase de projeto, várias ocorrências relacionadas à etapa de fabricação do produto (JUNG; YU, 2022). O termo originalmente se aplicava a componentes produzidos em massa que seriam montados e transformados em produtos maiores destinados a um usuário final. Com os avanços nas técnicas de produção, agora ele se aplica comumente à fabricação de produtos que podem ser adaptados em vários graus em um processo de CM (RIBA, 2021). Além de dar aos consumidores mais opções, a possibilidade da CM ampliou a relevância do *DfMA* para incluir o projeto de produtos mais complexos e com menor volume de vendas, como edifícios (RIBA, 2021).

Existem dois componentes do *DfMA*, o *design for manufacture (DfM)* (projeto para manufatura) e o *design for assembly (DfA)* (projeto para montagem) (BOGUE, 2012; OTTO; WOOD, 2001). No *DfM* preocupa-se principalmente com a fabricação de partes individuais, no *DfA* aborda-se as formas de montá-las (BOGUE, 2012). No *DfA* considera-se, na fase de projeto, as restrições de montagem, o que ajuda a evitar problemas de fabricação e montagem posteriores ao desenvolvimento do produto (EMMATTY; SARMAH, 2012). No *DfM*, por outro lado, busca-se projetar partes que sejam mais fáceis, baratas e eficientes de fabricar (EMMATTY; SARMAH, 2012). O *DfMA* foi rotulado como um método de revisão de projeto que identifica o projeto ideal de peças, a melhor escolha de materiais e as melhores operações de montagem e produção para fabricar um produto eficiente e econômico (ASHLEY, 1995; GAO; JIN; LU, 2020). No *DfMA* o processo de projeto e desenvolvimento de produtos são otimizados, considerando todos os requisitos de produção (CHEN; LIN, 2004; ORSHANSKY; NASSIF; BONING, 2008). Além disso, busca-se melhorar as medidas de desempenho na fabricação e montagem, incluindo, entre outros, tempo, custo e qualidade do projeto e do desenvolvimento do produto (AMBROGIO *et al.*, 2017; TESSAROLO *et al.*, 2017; ARASHPOUR, 2019).

Aplicado ao setor da construção, no *DfMA* busca-se encontrar formas de racionalizar o processo de projeto, melhorar a seleção de materiais e otimizar o planejamento e a logística da

construção. Em particular, busca-se explorar oportunidades para projetar edificações utilizando uma variedade limitada de componentes repetidos, de preferência padronizados, ou elementos que possam ser fabricados *offsite*, transportados para o canteiro de obras e montados com segurança, rapidez e simplicidade (RIBA, 2021). Entre os subsetores da construção, a construção *offsite* oferece um potencial significativo para a implementação do *DfMA*, pois, de forma semelhante ao que acontece na manufatura, o projeto do produto na construção *offsite* é seguido pelas operações de produção, montagem e instalação (ARASHPOUR, 2019). Adotar os princípios do *DfMA*, como reduzir o número e peso dos elementos, pode resultar na otimização do desenvolvimento do produto (SAVI; GONÇALVES FILHO; SAVI, 2010; ARASHPOUR, 2019).

No setor de construção do Reino Unido, o *Royal Institute of British Architects (RIBA)* destacou, em 2013, a necessidade da aplicação do *DfMA*, observando que isto gerará efeitos positivos na construção (RIBA, 2013). Posteriormente, o *RIBA* publicou a primeira edição do “*DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work*”, em 2016 e, em 2021, publicou uma edição revisada (RIBA, 2021), para apresentar as estratégias de aplicação do *DfMA* em cada etapa do processo de fabricação, considerando a construção *offsite* (JUNG; YU, 2022).

2.2.5.5 Plataforma

Como acontece com outros termos anteriormente apresentados, o termo plataforma ganhou diversas definições dadas por diferentes autores ao longo do tempo. Meyer e Lehnerd (1997) sugeriram que uma plataforma consiste não apenas em partes físicas, mas também em tecnologias de processo e capacidades organizacionais. Assim, para os autores uma plataforma de produto é um conjunto de subsistemas e interfaces compartilhados entre um grupo de produtos, a partir dos quais produtos derivados podem ser desenvolvidos. Robertson e Ulrich (1998) definem uma plataforma como um grupo de ativos, como componentes, conhecimento, pessoas, processos e relacionamentos, que são compartilhados em diferentes variantes de produtos. Já para Simpson (2004), uma plataforma de produto pode ser tida como um conjunto de elementos comuns (partes, componentes, processos, sequências, etc.) que definem a tecnologia trivial com base na qual um grupo de produtos pode ser desenvolvido e lançado com eficiência. Segundo WOOD (2018), plataformas são conjuntos de componentes que interagem de formas bem definidas para permitir a produção de uma série de produtos e serviços.

Robertson e Ulrich (1998) sugeriram que, ao compartilhar componentes e processos de produção em uma plataforma de produtos, as empresas podem desenvolver produtos diferentes

com eficiência, aumentar a flexibilidade e a capacidade de resposta de seus processos de fabricação e ganhar participação de mercado em relação aos concorrentes que desenvolvem apenas um produto por vez. Esses elementos compartilhados pelos produtos fazem parte da solução que reduz a complexidade do projeto e do desenvolvimento de variantes de produtos em um ambiente caracterizado por mudanças frequentes (ALGEDDAWY; ELMARAGHY, 2013). O termo plataforma foi apropriado das indústrias de *software* e manufatura, em que os sistemas baseados em plataformas apoiaram a inovação rápida e formaram uma base para o crescimento exponencial de seu valor (WOOD, 2018).

A abordagem de plataforma é complementar à modularidade no fornecimento eficiente de produtos customizados. As plataformas permitem que vários modelos sejam produzidos a partir de um projeto central, enquanto a modularidade permite que peças padronizadas sejam combinadas de diferentes maneiras, aumentando o número de variantes de produtos (ALFORD *et al.*, 2000). O projeto baseado em plataforma ajuda a indústria a se beneficiar do compartilhamento de tecnologia entre as gamas de produtos para atender às necessidades dos clientes. O benefício da plataforma de produto é significativo no caso de bens produzidos em massa (EMMATTY; SARMAH, 2012). No entanto, uma estratégia de projeto de família de produtos baseada em plataforma foi identificada como uma ferramenta eficaz para implementar CM, alcançar economia de escala e acomodar a proliferação de variantes de produtos customizados em diversos nichos de mercado (MEYER; LEHNERD, 1997). O projeto baseado em plataforma ajuda a colher os benefícios da CM com a eficiência da produção em massa, atendendo às necessidades de diversos segmentos de mercado (JIAO; TSENG, 1999).

Uma família de produtos é definida como um grupo de produtos que compartilham uma plataforma comum, satisfazendo segmentos alvo de mercado. Uma variante ou instância de produto é um produto individual dentro de uma família de produtos (EMMATTY; SARMAH, 2012). Uma plataforma também pode garantir certa flexibilidade por possuir componentes que permitem a evolução de famílias de produtos com o tempo (ALGEDDAWY; ELMARAGHY, 2013). A abordagem predominante para o desenvolvimento de plataformas é, portanto, a criação de métodos, ferramentas e algoritmos que deem suporte à modelagem da família de produtos (YIGIT; ULISOY; ALLAHVERDI, 2002). Emmatty e Sarmah (2012) mencionam que o uso de plataformas reduz o tempo de desenvolvimento do produto, os custos de produção e desenvolvimento e melhora a capacidade de atualização dos produtos, além de facilitar a simplificação deles, o que aumenta a eficiência da cadeia de suprimentos, resultando em melhores condições de negociação com fornecedores e reduções nos custos diretos e indiretos

de manufatura devido ao aumento da comunalidade entre os produtos (EMMATTY; SARMAH, 2012).

Na construção, as plataformas podem ser compostas por componentes (produtos ou subconjuntos fabricados por diversos fornecedores), com interfaces conhecidas, que poderiam ser combinados de forma consistente e bem definida para criar ativos de alto desempenho (WOOD, 2018). Assim, os edifícios podem ser configurados com componentes e partes de uma plataforma em produtos únicos, de modo que os benefícios são obtidos quando os componentes da plataforma são usados para produzir uma variedade de produtos com um conteúdo tecnológico comum (LESSING; STEHN, 2020). Bonev, Wörösch e Hvam (2015) também enfatizam a importância do uso de plataformas como vantagem competitiva na indústria da construção, constatando que vários projetos podem compartilhar plataformas comuns. Segundo os autores, além de sistematizar procedimentos e reutilizar especificações técnicas, em muitos setores, a estratégia de ter vários produtos sob uma mesma plataforma leva a vantagens adicionais de produtividade e flexibilidade (BONEV; WÖRÖSCH; HVAM, 2015).

2.2.5.6 Adiamento

O conceito de adiamento (*postponement*) foi introduzido na literatura em 1957 por Alderson, mas apenas recentemente a quantidade de pesquisas abordando o tema aumentou (YANG; BURNS; BACKHOUSE, 2004). O adiamento também é denominado na literatura como diferenciação postergada do produto (*delayed product differentiation*) (DA ROCHA; KEMMER; MENESES, 2016). Segundo Alderson (1957), o princípio do adiamento propõe que as mudanças na forma e na identidade do produto ocorram no último ponto possível do fluxo de operações. O adiamento visa postergar as tarefas que diferenciam um produto, permitindo que as variações do produto sejam entregues em um tempo relativamente curto (FEITZINGER; LEE, 1997).

De acordo com Yang, Burns e Backhouse (2004), o conceito de adiamento diz respeito ao atraso da realização de atividades até o último ponto possível no tempo. Em uma abordagem de adiamento, o processamento dos requisitos exclusivos de cada variante do produto é postergado o máximo possível, permitindo que economias de escala sejam exploradas sem comprometer a variedade dos produtos (ERNST, KAMRAD, 2000). A lógica por trás do adiamento é atrasar as atividades que diferenciam um produto até que as informações sobre os pedidos dos clientes possam ser claramente identificadas e, assim, o risco e a incerteza sobre as atividades podem ser reduzidos ou mesmo eliminados (YANG, BURNS, 2003; YANG; BURNS; BACKHOUSE,

2004). Antes do ponto de diferenciação dos produtos, suas partes devem ser comuns ao maior número possível de variantes de produtos (PILLER, KUMAR, 2006).

Segundo Feitzinger e Lee (1997), adiar a diferenciação de um produto até o último ponto possível na cadeia de valor é a chave para a CM efetiva. O adiamento envolve o atraso da fabricação final até que um pedido do cliente seja recebido, e é comumente considerado como uma abordagem de CM (SKIPWORTH; HARRISON, 2004). Além disso, o adiamento baseia-se no princípio de projetar produtos usando plataformas, componentes ou módulos comuns e montá-los somente quando os requisitos do cliente são conhecidos (CHRISTOPHER, 2000). O sucesso do adiamento está diretamente associado à relação que os produtos oferecidos por uma organização apresentam em si, diferenciando-se apenas em um número limitado de atributos (PILLER, KUMAR, 2006). O adiamento tem sido usado por profissionais como um princípio de projeto de operações para mitigar o impacto negativo da variedade de produtos no desempenho operacional (FEITZINGER; LEE, 1997; WALLER; DABHOLKAR; GENTRY, 2000).

Em uma abordagem de adiamento, os produtos são retidos em um estado neutro e não comprometido pelo maior tempo possível (YANG; BURNS; BACKHOUSE, 2004). Isto promove uma nova forma de pensar sobre o projeto do produto, do processo e sobre o gerenciamento da cadeia de suprimentos, incentivando as organizações a definirem quais componentes serão padronizados, quais serão customizados, quais atividades serão executadas com base em previsão, quais serão executadas com base na demanda, e onde os estoques são justificados (YANG, BURNS, 2003; DA ROCHA, 2011). Dessa forma, o adiamento divide as operações em duas etapas (PILLER; KUMAR, 2006): antes do ponto de diferenciação do produto, em que são produzidas as partes padronizadas, e após esse ponto, em que são adicionadas as partes customizadas. Essa abordagem abrangente permite que as organizações operem com máxima eficiência e atendam rapidamente aos pedidos dos clientes com quantidades mínimas de estoque (FEITZINGER; LEE, 1997; DA ROCHA, 2011).

2.2.6 Customização completa ou customização em massa?

A primeira revolução industrial se refere à produção artesanal, em que um número limitado de produtos era fabricado com base nos requisitos dos usuários a um alto custo; depois veio a produção em massa, em que produtos padronizados eram feitos a baixo custo e em larga escala, e atualmente utiliza-se o termo CM para tratar de uma produção flexível de alta produtividade, baixo custo e grandes variedades (WANG *et al.*, 2017). No entanto, todos estes tipos de

empresas continuam coexistindo na manufatura e a melhor solução não é necessariamente um comprometimento. Nos processos operacionais, algumas empresas se inclinam para um lado ou para o outro devido às necessidades dos clientes que escolhem atender, enquanto outras preferem posições intermediárias (LAMPEL; MINTZBERG, 1996).

No contexto atual da construção, vários estudos celebram o uso da CM, como os trabalhos de Barlow (1999); Roy e Cochrane (1999); Roy, Brown e Gaze (2003); Barlow *et al.* (2003) e Noguchi e Hernandez-Velasco (2005), que defendem a aplicação da CM na construção de habitações, pois ela pode oferecer produtos com valor agregado e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos negativos da customização na produção (DA ROCHA, KEMMER e MENESES, 2016). Foram encontrados poucos artigos sobre customização completa, como o de Da Rocha, Kemmer e Meneses (2016), que propõe um conjunto de diretrizes para gerenciar estratégias de customização considerando o fluxo de informações dos clientes e o escopo da customização. De acordo com Richard (2005), uma edificação pode ser dividida em cinco subsistemas: estrutura, envelopes, divisórias, serviços e equipamentos, sendo que todos eles podem ser customizados.

Especialmente na construção *offsite*, há muitos artigos que tratam a CM como a solução ideal para as empresas, como o trabalho de Jensen, Nielsen e Brunoé (2015), que parte do pressuposto de que as empresas de construção *offsite* dinamarquesas podem se beneficiar das vantagens inerentes ao uso da CM, ou o artigo de Khalili-Araghi e Kolarevic (2020), que trata do projeto automático para a CM de casas produzidas *offsite*. Estes artigos defendem o uso da CM, pois ela garantiria o aumento da produtividade, da qualidade do produto e permitiria que as empresas de construção volumétrica *offsite* continuassem a oferecer opções para os usuários, a baixos custos unitários (JENSEN; NIELSEN; BRUNOÉ, 2015; KHALILI-ARAGHI; KOLAREVIC, 2020). Entretanto, a CM implica em uma produção em escala e reconhece-se que isso não é necessariamente o objetivo de todas as empresas de construção *offsite* (VERNIKOS, 2013), sendo que algumas delas podem querer oferecer ao cliente somente o benefício da redução do cronograma de construção no canteiro de obras pela sobreposição de atividades *onsite* e *offsite* (GIBB, 1999), mas oferecendo produtos únicos (customização completa).

Pine, Victor e Boynton (1993) e Zipkin (2001) deixam claro que nem todos os mercados são apropriados para a CM. De modo que, deve-se explorar formas de oferta de customização, na construção *offsite*, sem necessariamente considerar o “massa” do termo, uma vez que a variação e a diferenciação da CM, bem como da sua extensão, dependem do tipo de produto ou serviço, além da viabilidade técnica e econômica para sua realização, que se configuram como

fatores limitadores do nível de customização (BLECKER *et al.*, 2003). Empresas de construção *offsite* que não produzem ou customizam em massa também podem existir no mercado, desde que atuem no nicho correto, usando o sistema de produção adequado, uma vez que, como mostrado por Jonsson e Rudberg (2014), algumas empresas foram à falência por não conseguirem vincular adequadamente o sistema produtivo utilizado com o nível de customização que desejavam oferecer aos clientes.

De acordo com Lampel e Mintzberg (1996), o grau adequado de customização depende do setor em que a empresa atua. Outros elementos como o escopo do negócio, produtos oferecidos, os clientes e os concorrentes, que não são definidos pela abordagem da CM, precisam ser considerados para o estabelecimento de uma estratégia de negócios e de customização (DA ROCHA, 2011). O contexto de cada organização desempenha um papel importante na definição da estratégia de customização a ser adotada: a aplicação da abordagem da CM e seus princípios relacionados devem estar alinhados com os objetivos e processos estratégicos de uma organização (DA ROCHA, 2011).

Barlow *et al.* (2003) estudaram empresas de construção *offsite* atuantes no setor habitacional no Japão e abordaram o uso de outras formas de customização, que não a em massa. Os autores descobriram que a empresa Sekisui Heim adota uma abordagem de padronização customizada em que módulos habitacionais baseados em quartos individuais são criados em fábricas, enquanto a empresa Sekisui House permite a participação do cliente na fase de projeto e adota uma abordagem de customização sob medida em que componentes padronizados e subconjuntos são configurados no canteiro de obras. Segundo Khalili-Araghi, Kolarevic (2020), em geral, as opções de customização incluem componentes de projeto do interior e do exterior, bem como arranjos espaciais que determinam a área total de uma casa. Com base na revisão da literatura, pesquisa de campo e discussão com especialistas, Hofman, Halman e Ion (2006) descobriram os atributos habitacionais que mais recebem customização, incluindo acabamentos internos, volume e exterior, planta, sistemas técnicos e ambiente.

2.3 PRODUÇÃO

Termos como “produção”, “manufatura” e “operações” são usados por diferentes autores, muitas vezes como sinônimos, assim como os termos “sistema” e “processo”. As diversas possibilidades de união destes termos em expressões como “sistema de produção”, “processo de produção”, “sistema de manufatura”, etc. também são bem comuns na literatura, sendo que em diversas ocasiões estas expressões são utilizadas como se tivessem o mesmo significado.

Desta forma, viu-se a necessidade de definir estes termos e entender as semelhanças e diferenças entre eles.

Produção, de acordo com Chisholm (1990), é um processo na função de manufatura, em que bens e/ou serviços são criados combinando material, trabalho e capital. Para Hitomi (1996), produção é a criação de algo novo, que pode ser tangível (produtos) ou intangível (serviços). Para o autor, a produção, em seu sentido mais restrito - ato físico de fazer o produto - pode ser entendida como a transformação de matérias-primas em produtos por meio uma série de aplicações de energia. Assim, a produção seria um sistema de entrada e saída, convertendo recursos de produção (mão de obra, materiais, máquinas, dinheiro e informações) em bens. Este sistema de entrada e saída pode ser chamado de sistema de produção, por meio do qual, as matérias-primas são convertidas em produtos acabados com valor agregado (HITOMI, 1996).

Manufatura, segundo Chisholm (1990), é um termo abrangente para um grupo de atividades e operações, ou seja, *marketing*, projeto, planejamento de produção, produção, controle de produção, gerenciamento e inspeção de qualidade do produto. Hitomi (1996) explica que, originalmente, o termo “manufatura” se referia ao ato de fazer as coisas à mão, mas que, o significado atual do termo foi bastante ampliado: manufatura é a conversão de um projeto em um produto acabado. O autor definiu manufatura como uma série de atividades e operações inter-relacionadas envolvendo projeto, seleção e aquisição de materiais, planejamento, produção industrial, estoque, garantia de qualidade, gerenciamento, distribuição, vendas e *marketing*. Observa-se que a definição de Hitomi (1996) ressalta a ligação do projeto com o sistema de manufatura.

Sistema é, de acordo com The Shorter Oxford English Dictionary (1973, p. 2227 apud Hitomi, 1996, p. 24 – tradução livre):

Um grupo organizado ou conectado de objetos; um conjunto ou reunião de coisas conectadas, associadas ou interdependentes, de modo a formar uma unidade complexa; um todo composto de partes em arranjo ordenado de acordo com algum esquema ou plano; raramente aplicado a um conjunto simples ou pequeno de coisas; [...]; um conjunto de princípios, ideias ou declarações pertencentes a algum departamento de conhecimento ou crença; um departamento de conhecimento ou crença considerado como um todo organizado; um corpo abrangente de doutrinas, conclusões, especulações, órteses; [...]

Processo, segundo Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), é um arranjo de recursos e atividades para transformar entradas em saídas que satisfazem as necessidades dos clientes externos ou internos. Os autores também definem processo como a organização de recursos para produção de uma variedade de produtos ou serviços. Qualquer negócio ou operação é

constituído de uma rede de processos, e qualquer processo é constituído de uma rede de recursos (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Sendo assim, para Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), **operações** são redes de processos. Já Slack, Chambers e Johnston (2010) afirmam que as operações produzem produtos e serviços por meio da transformação de insumos (“insumo-transformação-produto”). Assim, as operações seriam processos que absorvem um conjunto de recursos de entrada que são usados para transformar algo, ou são eles próprios transformados, em saídas de produtos e serviços. Para Slack, Chambers e Johnston (2010), as operações podem ser entendidas como uma função ou como uma atividade. As operações, quando compreendidas como uma função, dizem respeito à parte da organização que produz os produtos e serviços para os clientes externos. A função de operações é responsável por atender às solicitações de serviços dos clientes por meio da produção e entrega de produtos e serviços (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2010). Já as operações, quando entendidas como atividades, significam a gestão dos processos dentro de qualquer uma das funções da organização. Pela definição de Slack, Chambers e Johnston (2010), entende-se que a função de operações é, na verdade, a parte da empresa responsável pela produção em si, sendo que, neste trabalho, esta área da empresa será chamada de produção.

Em relação à união dos termos acima descritos em expressão, Hitomi (1996) afirma que um **sistema de produção** é geralmente constituído por diversas etapas de produção, nas quais uma série de operações (para produzir as saídas) são realizadas sucessivamente em estações de trabalho ou instalações da produção. Para Erdmann (2007), o sistema de produção é formado por subsistemas inter-relacionados. Um sistema de produção também é formado por um conjunto de elementos que trabalham juntos, entre os quais pode-se mencionar: máquinas, processos, gabaritos, ferramentas, trabalhadores, gerentes, sistemas de controle, etc. (HITOMI, 1996; MILTENBURG, 2005).

Mesmo após apresentar as definições e diferenças entre diversos termos, Hitomi (1996), em seu livro, usa as palavras “produção” e “manufatura” como sinônimos ao abordar os “sistemas de manufatura” ou “sistemas de produção”. O autor também utiliza os termos “sistema” e “processo” como sinônimos ao tratar dos “processos de produção” ou “sistemas de produção”. Diversos autores utilizam expressões diferentes para tratar do mesmo assunto. Woodward (1965) e Miltenburg (2005), por exemplo, utilizam a expressão “sistemas de produção” em seus trabalhos e Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) usam a expressão “processos de manufatura” em seu livro. Independente da expressão utilizada (“sistema de produção”, “sistema de manufatura”, “processo de produção”, “processo de manufatura”, etc) os autores, de forma geral, usam estes termos para se referir à forma como a empresa organiza

as atividades de conversão de recursos de produção em produtos, com o objetivo de agregar valor às matérias-primas (HITOMI, 1996). No presente trabalho, a expressão “sistema de produção” será adotada.

De acordo com Hitomi (1996), os sistemas de produção podem ser definidos por meio de três aspectos: estrutural, funcional e procedimental. O aspecto estrutural do sistema de produção diz respeito à estrutura espacial estática (*layout*) de uma fábrica, que influencia a eficácia do processo de transformação na produção. Com base no aspecto estrutural, o sistema de produção é considerado como um conjunto unificado de *hardware*, que inclui instalações de produção, máquinas, equipamentos de manuseio de materiais e trabalhadores. O aspecto estrutural tem atuação sobre os objetos de produção (matérias-primas e componentes) para gerar produtos com funções específicas para atender às demandas do mercado (HITOMI, 1996). Com base no aspecto funcional, o sistema de produção é definido como a conversão dos recursos de produção, principalmente das matérias-primas, em produtos acabados, visando a máxima produtividade. Esta definição considera o fluxo de materiais (HITOMI, 1996). A partir de uma definição procedimental, o sistema de produção é considerado como o gerenciamento da produção, que inclui planejamento, implementação e controle (HITOMI, 1996).

A produção apresenta diversas características. Neste trabalho, serão abordadas, a seguir, aquelas relativas aos sistemas de produção, aos *layouts* de produção, à qualificação da mão de obra, aos resultados da produção e aos níveis de automação.

2.3.1 Classificações dos sistemas de produção

O que neste trabalho chama-se de “sistemas de produção” pode ser classificado de diversas formas, por diferentes autores, a depender do aspecto da produção que se deseja salientar. Esmaeilian, Behdad e Wang (2016) fizeram uma revisão da literatura que revela que os sistemas de produção são classificados de formas diferentes de acordo com os distintos aspectos da produção investigados. Os autores mencionam que, do ponto de vista tecnológico, por exemplo, os sistemas de produção podem ser divididos em: sistemas que usam máquina de Controle Numérico Computadorizado (*Computerized Numerical Control - CNC*), sistemas de Manufatura Assistida por Computador (*Computer Aided Manufacturing - CAM*) e sistemas de Manufatura Integrada por Computador (*Computer Integrated Manufacturing - CIM*). Do ponto de vista do CODP os sistemas de produção podem ser classificados em quatro categorias: *make-to-stock*, *make-to-forecast*, *assemble-to-order* e *make-to-order* (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016), que foram amplamente exploradas neste trabalho anteriormente. Ainda, outros

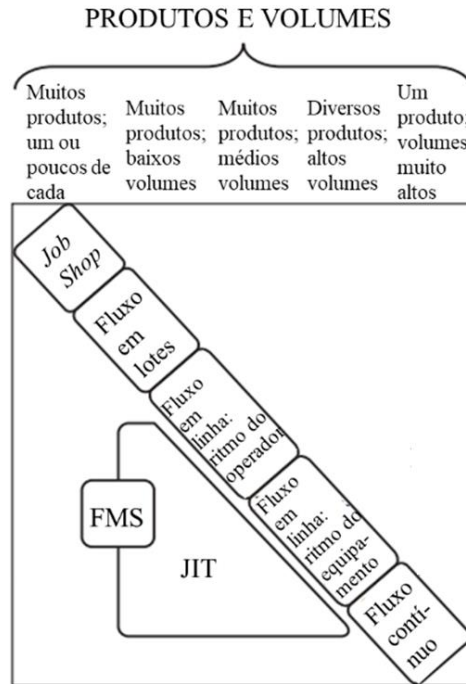
autores classificam a produção de acordo com a quantidade de produtos fabricados em um ano, como é o caso de Groover (2020), para quem a produção pode ser dividida entre baixas, médias e altas quantidades. Sendo assim, é um desafio determinar uma classificação unificada de sistemas de produção a partir da literatura.

Kim e Lee (1993) relatam que a primeira classificação de sistemas de produção foi proposta por Woodward (1965), considerando sua complexidade técnica ou sua continuidade. Esta tipologia inclui pequenos lotes, produção em massa e sistemas de produção de processo contínuo. Esta classificação de sistemas de produção forneceu um meio de comparar as operações de manufatura e de descrever como a tecnologia afeta o projeto organizacional (KIM; LEE, 1993). No mesmo sentido da tipologia proposta por Woodward (1965), outros autores desenvolveram suas classificações.

Hayes e Wheelwright (1979), por exemplo, apresentaram quatro categorias de sistemas de produção com base no fluxo, a citar: fluxo confuso (*job shop*), fluxo em linha desconectado (*batch*), fluxo em linha conectada (linha de montagem) e fluxo contínuo. No mesmo sentido, Miltenburg (2005) diferencia os sistemas de produção entre *job shop*, fluxo em lote (*batch flow*), fluxo em linha com ritmo do operador (*operator-paced line flow*), fluxo de linha com ritmo do equipamento (*equipment-paced line flow*), fluxo contínuo (*continuous flow*), *just-in-time (JIT)* e sistema de manufatura flexível (*flexible manufacturing system - FMS*). Já Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) apresentaram uma classificação dos sistemas de produção dividida em cinco categorias: processos de projeto, processos de *jobbing*, processos de lotes, processos em massa e processos contínuos.

Hayes e Wheelwright (1979) propuseram que os sistemas de produção normalmente deveriam ser distribuídos diagonalmente em uma matriz que combina os volumes de produção com um sistema de produção apropriado. Essa matriz tem sido a pedra angular de muitas estratégias de produção, como a proposta por Miltenburg (2005) (JONSSON; RUDBERG, 2015). Tanto a classificação proposta por Miltenburg (2005) quanto a descrita por Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) consideram as dimensões de volume e variedade para a diferenciação entre os sistemas de produção, como pode ser visto nas Figuras 17 e 18, adaptadas de Miltenburg (2005) e Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), respectivamente. As classificações dos sistemas de produção propostas por estes autores foram as adotadas na presente pesquisa e estão resumidas a seguir.

Figura 17 - Matrix volume e variedade para a diferenciação entre os sistemas de produção



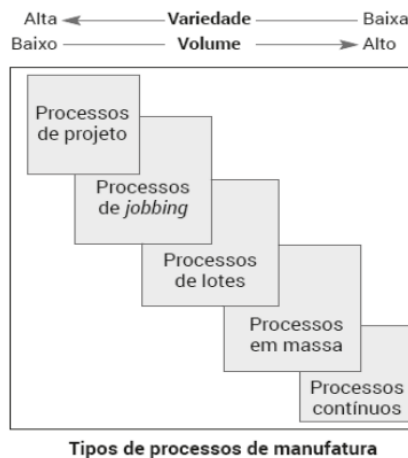
FMS = Flexible manufacturing systems (sistemas de manufatura flexíveis)

JIT = Just in time (sistema de manufatura enxuta)

Fonte: Adaptado de Miltenburg (2005).

O sistema de produção *JIT* ocupa uma grande região da Figura 17. Diferentes pontos dela correspondem a diferentes graus de implementação do *JIT*, uma vez que a implementação do *JIT* é uma jornada de muitos pequenos passos que, na indicação da região, começa no canto superior e termina no canto inferior direito (MILTENBURG, 2005).

Figura 18 - Diferentes tipos de processo implicam em características distintas de volume e variedade



Tipos de processos de manufatura

Fonte: Adaptado de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018).

Slack, Chambers e Johnston (2010) afirmam que a produção pode variar de um volume muito elevado até um volume muito baixo de produtos. Também pode variar desde a produção de uma variedade muito baixa até uma variedade muito elevada de produtos. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) explicam que, normalmente, as dimensões de volume e variedade, caminham juntas, mas de modo reverso. Sendo assim, as operações que apresentam baixo volume geralmente produzem grande variedade de produtos ou serviços, e as operações que apresentam alto volume normalmente produzem baixa variedade de produtos ou serviços. Desse modo, há um espectro que vai de baixo volume/alta variedade até alto volume/baixa variedade, no qual os sistemas de produção podem ser posicionados (como mostrado na Figura 18). No entanto, como os diferentes tipos de sistemas de produção se sobrepõem, as empresas podem escolher qual deles empregar (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2010).

De acordo com Olhager, Rudberg e Wikner (2001) e Peeters e Van Ooijen (2020), existe uma dependência entre os sistemas de produção, seus resultados e o posicionamento do CODP, como pode ser visto na matriz apresentada na Figura 19, a seguir. Nesta matriz, os autores consideram a flexibilidade e o custo como resultados da produção; o *jobbing*, o fluxo em lote, o fluxo em linha e o fluxo contínuo como sistemas de produção; além dos ETO, MTO, ATO e MTS como diferentes posicionamentos do CODP. Como pode ser visto na figura, a fabricação de baixo volume de produtos únicos e não padronizados é normalmente realizada em um sistema de produção em *jobbing*. Em tal ambiente ETO, o resultado típico é a flexibilidade. Na outra extremidade, itens padronizados de alto volume são normalmente fabricados em fluxo contínuos. Esses itens são normalmente feitos para estoque e o resultado predominante é o baixo custo (OLHAGER, RUDBERG, WIKNER; 2001).

Figura 19 - Dependência entre os sistemas de produção, seus resultados e o posicionamento do CODP

		Baixo volume, não padronizado, único	Baixo volume, muitos produtos	Alto volume, alguns produtos principais	Alto volume, padronizado, <i>commodity</i>
Sistema de produção	<i>Jobbing</i>				
	Em lote				
	Fluxo em linha				
	Fluxo contínuo				
Resultado típico		Flexibilidade	Flexibilidade (menor foco em custo)	Custo (menor foco em flexibilidade)	Custo
Posicionamento do CODP		<i>Engineer-to-order</i> (ETO)	<i>Make-to-order</i> (MTO)	<i>Assemble-to-order</i> (ATO)	<i>Make-to-stock</i> (MTS)

 Incidência crescente

Fonte: Adaptado de Olhager, Rudberg e Wikner (2001) e Peeters e Van Ooijen (2020).

A empresa deve usar o sistema de produção mais adequado para a fabricação da variedade e do volume de produtos demandados. Além disso, o sistema de produção também deve ser capaz de fornecer os resultados de produção esperados (custo, qualidade, desempenho, entrega, flexibilidade e inovação), uma vez que o sistema de produção tem uma implicação importante para a estratégia de manufatura (MILTENBURG, 2005). De acordo com Miltenburg (2005), não apenas o volume e a variedade irão influenciar na escolha do sistema de produção mais adequado, mas também o tipo de produto fabricado e os resultados de produção fornecidos. Entretanto, Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) afirmam que embora a ideia de tipos de sistemas de produção possa ser útil, pode ser também simplista, uma vez que, na realidade, não há fronteira clara entre os sistemas de produção.

A seguir estão descritas as classificações dos sistemas de produção propostas por Miltenburg (2005) e Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) e as adotadas nesta pesquisa.

2.3.1.1 Processos de projeto

Os processos de projeto apresentam baixo volume e alta variedade, sendo que lidam com produtos muito específicos, normalmente bastante customizados. Com frequência, cada tarefa tem início e final bem definidos, mas as atividades implicadas no processo podem ser incertas e pouco definidas. O tempo total para a conclusão de cada item geralmente é longo e os recursos para sua realização podem ter que ser organizados de forma específica, já que cada item é diferente. Como as atividades do processo de projeto normalmente envolvem significativo discernimento profissional, o processo pode ser complexo. Exemplos de processos de projeto que se pode citar são projetos de *software*, produção de filmes, a maioria das obras de construção e operações para grandes obras, como as de fabricação de turbogeradores (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

2.3.1.2 Sistema de produção de *jobbing*

O sistema de produção de *jobbing* (*job shop*) produz uma grande quantidade de produtos diferentes em volumes que variam de um a poucos itens de cada produto (MILTENBURG, 2005). Segundo Groover (2020), esta quantidade vai variar de acordo com o produto a ser fabricado, mas estaria em uma faixa de 1 a 100 unidades produzidas por ano. Diferentemente do que acontece nos processos de projeto, em que cada produto tem recursos mais ou menos exclusivamente dedicados a ele, no sistema de produção de *jobbing*, cada produto compartilha

os recursos da operação com muitos outros (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Muitos dos produtos provavelmente nunca serão fabricados mais de uma vez, ou seja, não há economia de escala em um sistema de produção de *jobbing* (MILTENBURG, 2005; SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Cada item produzido pode ser diferente em suas necessidades específicas, mas demanda atenção similar e utiliza os mesmos recursos. Ou seja, os recursos processam uma série de itens diferentes (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Os custos fixos, como edifícios e equipamentos, são baixos e os custos variáveis, como materiais e mão de obra, são altos. Equipamentos podem ficar ociosos, mas a mão de obra é usada com eficiência e materiais e mão de obra são rigorosamente controlados (MILTENBURG, 2005).

Os sistemas de *jobbing* podem ser relativamente complexos e demandar habilidade considerável, mas geralmente envolvem menos circunstâncias imprevisíveis do que os processos de projeto (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018; GROOVER, 2020). Um sistema de produção de *jobbing* normalmente usa um *layout* funcional. Neste *layout*, equipamentos do mesmo tipo ficam localizados próximos. Como muitos produtos diferentes são produzidos em volumes muito baixos, os equipamentos e as ferramentas são flexíveis e de uso geral. As equipes de trabalho são pequenas e os funcionários são altamente qualificados, capazes de operar as máquinas de uso geral que são o recurso mais importante em um sistema de produção de *jobbing* (HAYES; WHEELWRIGHT, 1979; MILTENBURG, 2005). O fluxo de material varia consideravelmente de produto para produto, e os materiais são amplamente manuseados devido à necessidade de mover os produtos entre as áreas da fábrica. Um roteiro de fluxo é desenvolvido para cada produto. O roteiro e um desenho do produto acompanham cada pedido pela fábrica (MILTENBURG, 2005). Sendo assim, o fluxo pela fábrica é confuso, as reconfigurações dos equipamentos são comuns (HOPP; SPEARMAN, 2011). Os materiais costumam ficar em espera por longos períodos até que os equipamentos fiquem disponíveis e, conseqüentemente, os prazos de entrega podem ser longos (MILTENBURG, 2005).

Os sistemas de *jobbing* são especializados na produção de produtos customizados (GROOVER, 2020). Sendo assim, estes sistemas têm como vantagem competitiva a possibilidade de fornecer altos níveis de flexibilidade e inovação, necessários para satisfazer as demandas dos clientes por uma ampla variedade de produtos existentes e novos (OLHAGER, RUDBERG, WIKNER; 2001). Um sistema de produção de *jobbing* fornece níveis relativamente baixos de outros resultados de manufatura como custo, qualidade, desempenho e entrega. Normalmente utiliza-se o sistema de produção de *jobbing* em situações em que os volumes são muito baixos e as diferenças entre os produtos são muito grandes (MILTENBURG,

2005). Exemplos de sistemas de *jobbing* são alfaiates que fazem roupas sob medida, operações de engenharia de precisão, como a fabricação de equipamentos especializados, oficinas de restauração de móveis e gráficas que imprimem ingressos para diversos eventos (HAYES; WHEELWRIGHT, 1979; HOPP; SPEARMAN, 2011; SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

2.3.1.3 Sistemas de produção em lotes

Os sistemas de produção em lotes ou bateladas (*batch flow*) produzem menor variedade de produtos em volumes maiores do que um sistema de *jobbing*, de modo que os custos fixos, como processamento de pedidos e reconfiguração de maquinário, são distribuídos por mais unidades. Os maiores volumes permitem que os benefícios da experiência sejam obtidos, então melhorias são feitas (MILTENBURG, 2005; SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Segundo Groover (2020), a quantidade fabricada vai variar de acordo com o produto, mas estaria em uma faixa de 100 a 10000 unidades produzidas por ano.

Como o nome indica, os produtos são produzidos em lotes. Um lote geralmente é um pedido de cliente, mas também pode ser um grupo de pedidos de clientes para produtos iguais ou similares (MILTENBURG, 2005). Um sistema em lotes produz mais de um item por vez. Portanto, cada parte do sistema apresenta períodos em que há repetição, pelo menos enquanto o mesmo lote está sendo produzido. Se os lotes forem grandes e, particularmente, se os produtos forem conhecidos, os processos poderão ser bastante repetitivos (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). *Layouts* funcionais ou celulares ou uma combinação entre eles pode ser usada. *Layouts* celulares são usados quando há o benefício econômico de colocar equipamentos diferentes na mesma área (chamada célula) para produzir famílias de produtos. Por serem muitos produtos, os equipamentos e ferramentas são, em sua maioria, de propósito geral, mas possuem alguma especialização quando os volumes de peças similares permitem a formação de células (MILTENBURG, 2005).

A utilização de equipamentos é mais importante em um sistema de produção em lotes do que em um sistema de *jobbing*. Para aumentar a utilização dos equipamentos, os pedidos de produtos similares são agrupados e fabricados em conjunto, o que reduz o custo de reconfiguração e gera eficiência. Muitos pedidos são produzidos simultaneamente, portanto, eles devem aguardar a disponibilidade de equipamentos e operadores. Mesmo assim, o número de reconfigurações de equipamentos é alto devido ao grande número de produtos diferentes e o ritmo de produção é lento (MILTENBURG, 2005; GROOVER, 2020). Um sistema de produção

em lotes depende de funcionários qualificados que são designados para uma célula de produção e treinados para operar todos os equipamentos dela. O fluxo de material varia de pedido para pedido, embora existam padrões de fluxo para famílias de produtos e lotes maiores. O fluxo de material é menos variado quando um *layout* celular é usado e mais irregular quando um *layout* funcional é utilizado (MILTENBURG, 2005).

Para o sistema de produção em lotes, algumas vantagens competitivas que podem ser citadas são a facilidade de fazer alterações de projeto em produtos existentes, de introduzir novos produtos e de alterar os volumes de produção. O sistema de produção é projetado para fornecer altos níveis de flexibilidade e inovação, necessários para atender às demandas dos clientes por uma ampla variedade de produtos e apresenta melhores níveis de custo e qualidade do que em um sistema de *jobbing*, pois o volume de cada produto é maior. Geralmente utiliza-se um sistema de produção em lotes quando muitos produtos são produzidos em volumes muito baixos para sistemas de produção em linha de fluxo (MILTENBURG, 2005). A maioria dos sistemas de produção na indústria se assemelha ao sistema em lotes (HOPP; SPEARMAN, 2011). Exemplos de sistemas em lotes são a fabricação de máquinas, a produção de alguns alimentos congelados e a fabricação da maioria das peças utilizadas em uma linha de montagem de produção em massa, como automóveis (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

2.3.1.4 Sistemas de produção em massa ou em linha de fluxo

Os sistemas denominados de produção em massa, por Slack, Brandon-Jones, Johnston (2018), de linhas de fluxo conectadas ou linha de montagem por Hopp e Spearman (2011) e de linha de fluxo por Miltenburg (2005) são a clássica linha de montagem móvel que ficou famosa com Henry Ford (HOPP; SPEARMAN, 2011). Os sistemas em linha de fluxo produzem bens em alto volume e em variedade relativamente baixa (a variedade pode existir, desde que não afete o processo de produção básico). De acordo com Groover (2020), o volume vai variar de acordo com o produto a ser fabricado, mas estaria em uma faixa de 10000 a milhões de unidades produzidas por ano.

Geralmente, as atividades dos sistemas de produção em massa são repetitivas e previsíveis (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Um sistema em linha de fluxo é apropriado quando o projeto do produto é estável e o volume de produção é suficientemente alto para fazer uso eficiente de uma linha dedicada (MILTENBURG, 2005). O produto é fabricado e montado ao longo de uma rota rígida conectada por um sistema estruturado de manuseio de materiais (HOPP; SPEARMAN, 2011). Equipamentos e processos são

especializados e organizados em uma linha (MILTENBURG, 2005). O sistema de produção em massa normalmente envolve máquinas padrão equipadas com ferramentas especiais, dedicando o equipamento à produção de um tipo de peça (GROOVER, 2020). Miltenburg (2005) subdivide o sistema de produção em linha de fluxo em sistemas de produção em linha de fluxo com ritmo do operador e com ritmo do equipamento, em que, respectivamente, os operadores ou os equipamentos definem a velocidade da linha.

Um sistema de produção em linha de fluxo com ritmo dos equipamentos produz pequena variedade de produtos em grandes volumes. Henry Ford desenvolveu este sistema de produção na década de 1920. Este sistema busca economias de escala, é intensivo em capital, usa extensa automação e os equipamentos e ferramentas utilizados são muito especializados. Os equipamentos da linha de produção são sincronizados, portanto não há gargalos. A utilização de equipamentos e a eficiência da mão de obra são altas. Existem procedimentos e padrões detalhados para todas as atividades, que são necessários para manter os custos baixos, a boa qualidade e a velocidade da linha. O alto volume cria benefícios de experiência e permite que melhorias sejam feitas (MILTENBURG, 2005).

Gargalo, em um processo, é a atividade ou estágio em que ocorre congestionamento devido à sobrecarga de trabalho. Sendo assim, esta atividade irá determinar a velocidade de todo o processo. Gargalos reduzem a eficiência de um sistema, pois enquanto a atividade gargalo está ocupada, os outros estágios estão abaixo da carga. O balanceamento da produção, que é a tentativa de equilibrar a alocação de trabalho em cada estágio do processo, nivela o fluxo e evita gargalos (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Um sistema de produção em linha de fluxo com ritmo dos operadores é usado quando a variedade de produtos é muito alta e os volumes de produção são muito variáveis para um sistema de produção em linha de fluxo com ritmo dos equipamentos. Uma linha controlada pelos operadores é mais flexível do que uma linha controlada pelos equipamentos e pode operar em várias velocidades. A velocidade depende do produto específico que está sendo produzido, do número de operadores atribuídos à linha e de quão bem eles trabalham em equipe. Os procedimentos e padrões de produção, necessários para sustentar a velocidade da linha e manter a qualidade do produto, são cuidadosamente desenvolvidos e aprimorados. Como a mesma linha é utilizada para a produção de muitos produtos, as reconfigurações dos equipamentos são frequentes (MILTENBURG, 2005).

Uma aplicação clássica do sistema de produção em linha de fluxo é uma fábrica automobilística, na qual as estruturas dos carros se deslocam ao longo de uma linha de montagem móvel entre as estações nas quais os componentes são conectados. Apesar da

familiaridade e do apelo histórico desse tipo de sistema, no entanto, as linhas de montagem automáticas são, na verdade, muito menos comuns do que os sistemas de produção em lotes (HOPP; SPEARMAN, 2011). Exemplos do sistema de produção em linha de fluxo são a produção de alimentos congelados, as linhas de embalagem automáticas, as montadoras de automóveis e as fábricas de televisão (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

2.3.1.5 Sistema de produção em fluxo contínuo

Os sistemas de produção em fluxo contínuo apresentam volumes muito altos e menor variedade de produtos do que os sistemas de produção em massa (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). De acordo com Groover (2020), o volume vai variar de acordo com o produto a ser fabricado, mas estaria em uma faixa de 10000 a milhões de unidades produzidas por ano.

O sistema de produção em fluxo contínuo é mais automatizado, especializado, intensivo em capital e menos flexível do que o sistema em linha de fluxo. Não há gargalo no sistema, porque todas as máquinas têm a mesma capacidade e operam na mesma velocidade (MILTENBURG, 2005). O sistema tem um fluxo altamente previsível (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018) e o produto flui automaticamente por uma rota fixa (HOPP; SPEARMAN, 2011). O sistema em fluxo contínuo, como o nome diz, funciona continuamente, geralmente 24 horas por dia, sete dias por semana, com pouca assistência do operador, a uma velocidade muito alta que não pode ser alterada. Um pequeno número de operadores monitora os equipamentos do processo produtivo (MILTENBURG, 2005). Mudanças no projeto do produto e introduções de novos produtos são raras. O produto é muitas vezes uma *commodity*, o que significa que seu projeto é estável e existem especificações padrão para todo o setor. A produção é feita para estoque e os produtos são fabricados de acordo com uma previsão (MILTENBURG, 2005). O sistema em fluxo contínuo permite alcançar alta eficiência e uniformidade do produto (HOPP; SPEARMAN, 2011).

Devido à combinação de alto volume, especialização e automação, a maior vantagem competitiva de um sistema de produção em fluxo contínuo é que ele oferece o menor custo, a maior qualidade e a entrega mais rápida possíveis (OLHAGER, RUDBERG, WIKNER; 2001). Por outro lado, este sistema fornece níveis muito baixos de flexibilidade e inovação (MILTENBURG, 2005). São exemplos de sistemas de produção em fluxo contínuo: centrais de tratamento de água, refinarias petroquímicas, refinarias de açúcar, usinas de eletricidade,

siderúrgicas e certas fábricas de papel (HOPP; SPEARMAN, 2011; SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

2.3.1.6 Sistema de produção *just-in-time*

Just-in-time (JIT) é uma filosofia de manufatura na qual a produção e a realização de melhorias são dois objetivos igualmente importantes (MILTENBURG, 2005). O sistema de produção *JIT* refere-se à produção e ao fornecimento do número necessário de peças quando demandado (HITOMI, 1996). Este tipo de produção também pode ser chamado de produção enxuta (*lean production*) (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018), uma vez que é esperado que os estoques e o trabalho em processo diminuam (até mesmo chegando a zero) (HITOMI, 1996). De acordo com Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), itens com trabalho em processo são aqueles que esperam para serem processados. O objetivo geral de um sistema *JIT* é a melhoria contínua da produtividade, da qualidade, da flexibilidade e da entrega, além da redução de custos (WHITE; PRYBUTOK, 2001). O meio utilizado para a melhoria contínua é a eliminação de desperdícios de todos os tipos (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

De acordo com Miltenburg (2005), é importante distinguir entre técnicas *JIT* e sistema de produção *JIT*, sendo que o sistema *JIT* é muito mais do que uma coleção de técnicas. Muitas técnicas são chamadas de *JIT*, como *kaizen*, trabalhadores com múltiplas habilidades (polivalentes), resolução de problemas, produção puxada, redução do tempo de reconfiguração, padronização, *kanban* e controle estatístico de qualidade. Essas técnicas também são chamadas de técnicas de produção enxuta e podem ser usadas para fazer melhorias em todos os sistemas de produção, de forma que a maioria das empresas usa algumas das técnicas *JIT* em seus sistemas de produção. No entanto, apenas um pequeno número de empresas usa um sistema de produção *JIT*, porque ele é o mais difícil de todos para projetar, implementar, gerenciar e operar. A Toyota precisou de mais de 20 anos para implementar o sistema *JIT* (MILTENBURG, 2005).

O *JIT* é um sistema de produção em linha de fluxo com duas características importantes: i) ele produz grande variedade de produtos em volumes baixos a médios, sendo que os outros sistemas de produção em linha de fluxo não conseguem atender este grau de variedade e baixo volume; ii) o sistema força a melhoria contínua pela identificação de desperdícios e pela obrigatoriedade de eliminá-los, o que leva a custos reduzidos, melhor qualidade e entrega mais rápida (MILTENBURG, 2005). Um sistema de produção *JIT* é o mais adequado para um ambiente em que os produtos são oferecidos em uma ampla variedade, adaptados para atender

às necessidades de pequenos nichos de mercado, e em que os clientes exigem altos níveis de custo, qualidade, desempenho e flexibilidade (MILTENBURG, 2005). Um sistema *JIT* tenta aproveitar ao máximo seus equipamentos e processos. Nele, os funcionários polivalentes operam várias máquinas, participam de reconfigurações, fazem manuseio de materiais, ajudam na manutenção, participam da resolução de problemas, fazem limpeza e realizam atividades de controle de qualidade (MILTENBURG, 2005).

Como vantagem competitiva, o sistema *JIT* fornece custo, qualidade e entrega nos mesmos níveis dos sistemas de produção em linha de fluxo, uma vez que ele também é um sistema de produção em linha de fluxo. Além disso, por produzir uma alta variedade de produtos, o sistema *JIT* oferece flexibilidade e inovação nos mesmos níveis de um sistema de produção em lotes, o que é possível devido às altas capacidades dos funcionários (MILTENBURG, 2005).

2.3.1.7 Sistemas flexíveis de manufatura

Os sistemas flexíveis de manufatura (*flexible manufacturing system – FMS*) consistem em equipamentos computadorizados sofisticados conectados a um sistema automatizado de manuseio de materiais, sendo tudo controlado por computadores. Um *FMS* funciona sem supervisão por longos períodos. As máquinas, o sistema de manuseio de materiais e os computadores são flexíveis, o que permite que um *FMS* produza muitos produtos diferentes em pequenos volumes em qualquer ordem aleatória. Um sistema de produção *FMS* é intensivo em capital, o custo de material é alto, o custo de mão de obra direta é baixo e os custos indiretos, especialmente aqueles associados a atividades de suporte, como engenharia e manutenção, são altos. Um pequeno número de operadores realiza tarefas de suporte, como colocar produtos em paletes, colocar peças em alimentadores automáticos de materiais e adicionar fluidos de resfriamento às ferramentas de corte (MILTENBURG, 2005; SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Como vantagens competitivas dos sistemas de produção *FMS* pode-se citar os melhores resultados de fabricação e os menores tempos de reconfiguração. O sistema *FMS* é uma alternativa aos sistemas de produção em lote; no entanto, ele fornece melhores resultados em termos de custo e qualidade. A alta qualidade resulta da utilização de equipamentos sofisticados e flexíveis que, apesar de serem de uso geral, podem fabricar produtos com especificações bastante restritas. Um *FMS* fornece um alto nível de flexibilidade, no entanto, o nível de inovação é menor do que o de um sistema de produção em lote (MILTENBURG, 2005).

No Quadro 4, a seguir, é apresentado um resumo das principais características dos sistemas de produção descritos anteriormente, de forma a facilitar a comparação entre eles.

Quadro 4 - Resumo das principais características dos sistemas de produção

Sistema de produção	Variedade de produtos	Volume de produção	Fluxo de materiais	Equipamentos	Mão de obra
Processos de projeto	Muito alta	Muito baixo	Muito variado	Flexível, de uso geral	Altamente qualificada
<i>Jobbing</i>	Muito alta	Muito baixo	Muito variado	Flexível, de uso geral	Altamente qualificada
Em lotes	Alta	Baixo	Variados com padrões	De uso geral com certa especialização	Polivalente
Em linha de fluxo	Baixa	Médio a alto	Regular	Especializado	Não-qualificada
Em fluxo contínuo	Muito baixa (padronizado)	Muito alto	Rígido	Especializado e muito automatizado	Não-qualificada
<i>Just-in-time</i>	Alta	Baixo a médio	Regular	De uso geral com especialização	Polivalente
Sistemas flexíveis de manufatura	Muito alta	Baixo	Regular	Flexível e muito automatizado	Não-qualificada

Fonte: Adaptado de Miltenburg (2005).

2.3.2 *Layouts* (arranjos físicos) da produção

O *layout* ou arranjo físico de uma produção diz respeito à forma como seus recursos são posicionados. Também trata, em sentido mais amplo, da aparência da produção. O *layout* da fábrica dita a segurança, a atratividade, a flexibilidade, eficiência da produção e o modo como os recursos transformados (materiais, informação e clientes) fluem por ela. O *layout* é importante porque, se não for bem desenvolvido, pode comprometer a eficácia geral da produção, acarretando fluxos muito longos ou confusos, filas de clientes, longos tempos de processo, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis, e altos custos (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Miltenburg (2005) identifica três tipos básicos de *layouts* de fábrica: *layout* funcional, *layout* celular e *layout* em linha. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) e Groover (2020), além destes três tipos de *layout*, apontam uma quarta forma básica, denominada *layout* de posição fixa (ou posicional). Estas quatro possibilidades de *layout* estão descritas a seguir. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) alertam que estes quatro tipos são chamados *layouts* básicos porque muitas fábricas, na realidade, utilizam arranjos físicos mistos ou híbridos, que combinam elementos de alguns ou de todos os *layouts* básicos, ou utilizam diferentes *layouts* básicos em cada uma das áreas da produção. Em todos os tipos de *layout*, no entanto, a alocação das etapas do processo de produção deve respeitar a precedência das tarefas individuais que

devem ser realizadas e que compõem o conteúdo total de trabalho a ser feito até a finalização da fabricação (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

2.3.2.1 *Layout* de posição fixa (ou posicional)

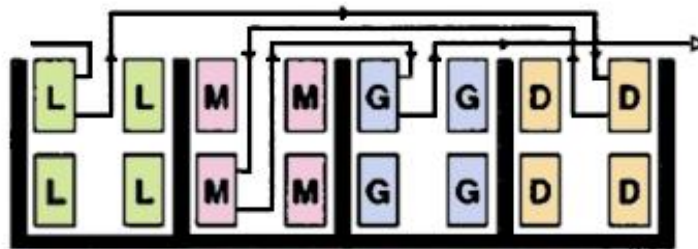
O *layout* de posição fixa (ou posicional) é, de certo modo, contraditório, já que os recursos transformados não se movem entre os de transformação. Os recursos que sofrem o processamento ficam fixos em um lugar enquanto pessoas, equipamentos, maquinários e instalações se movem até eles quando necessário. Isto é o contrário do que acontece nos outros *layouts*, em que os recursos a serem processados (materiais, informações ou clientes) fluem pela produção. O *layout* de posição fixa se justifica quando o produto ou o receptor do serviço é muito grande, muito pesado ou muito delicado para ser movimentado. A construção de uma rodovia, por exemplo, é um produto é muito grande para ser movido (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Assim, o produto permanece na mesma posição durante todo o processo de produção, como acontece na fabricação de navios, aeronaves e locomotivas. Na prática, esses itens são geralmente construídos em grandes módulos em locais únicos e, em seguida, os módulos completos são reunidos para montagem final por meio de guindastes de grande capacidade (GROOVER, 2020).

2.3.2.2 *Layout* funcional

No *layout* funcional, equipamentos semelhantes se localizam na mesma área da fábrica (como pode ser visto na Figura 20) (MILTENBURG, 2005), o que se justifica pela conveniência em agrupá-los ou pela melhoria no uso dos recursos de transformação (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Por exemplo, em uma oficina mecânica, os tornos estão em uma área, soldadores em outra e assim por diante (MILTENBURG, 2005; GROOVER, 2020). Diferentes peças, cada uma exigindo uma sequência de operação diferente, são encaminhadas pelos departamentos na ordem específica necessária para seu processamento (GROOVER, 2020). Isso significa que, quando produtos, informações ou clientes fluem pela operação, eles percorrem as áreas de produção conforme se faz necessário, o que implica em um complexo fluxo de produção, extremamente variado (Figura 20). Diferentes produtos ou clientes terão necessidade distintas e, portanto, percorrerão rotas diferentes (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Além disso, o fluxo dos materiais depende da disponibilidade de equipamentos e operadores; variando consideravelmente de pedido para pedido (MILTENBURG, 2005). O *layout* funcional é conhecido pela sua flexibilidade; ele pode acomodar uma grande variedade de sequências de operação para diferentes configurações de produtos. Sua desvantagem é que o maquinário e os métodos para produção não são projetados para alta eficiência (GROOVER, 2020). Operadores e supervisores trabalham em uma área e são altamente qualificados no tipo de equipamento contido nela. Equipamentos e ferramentas são de uso geral e podem realizar uma ampla gama de operações (MILTENBURG, 2005).

Figura 20 - Disposição de equipamentos e fluxo no *layout* funcional



Layout funcional

- Equipamentos similares (L, M, G, D) são agrupados
- O fluxo é extremamente variado para cada produto

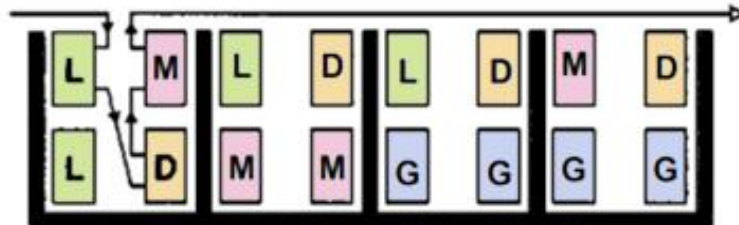
Fonte: Adaptado de Miltenburg (2005).

2.3.2.3 *Layout* celular

No *layout* celular, diferentes tipos de equipamentos e processos estão localizados na mesma área (como mostrado na Figura 21), de modo que todas as operações necessárias para produzir qualquer produto dentro de uma família relativamente grande de produtos possam ser realizadas nessa área. Essa área geralmente é chamada de célula de produção (MILTENBURG, 2005). No entanto, cada célula é projetada para produzir uma variedade limitada de configurações de produtos; isto é, a célula se especializa na produção de um determinado conjunto de partes semelhantes (GROOVER, 2020). Após serem processados em uma célula, os recursos transformados podem seguir para outra. A célula pode ser organizada em um *layout* funcional ou em linha (explicado a seguir) (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Em uma fábrica com *layout* celular, o fluxo é mais regular, pois cada produto ou família de produtos é sempre produzido em uma determinada área ou célula. Dentro da célula, no entanto, o fluxo de material (Figura 21) varia entre os pedidos, dependendo das operações necessárias e da carga de trabalho nas máquinas (MILTENBURG, 2005). Os funcionários são treinados para operar

todos os equipamentos em sua célula. Equipamentos e ferramentas são de uso geral, porque são usados para produzir todos os produtos de uma família de produtos; mas muitas vezes é possível especializá-los ligeiramente (MILTENBURG, 2005).

Figura 21 - Disposição de equipamentos e fluxo no *layout* celular



***Layout* celular**

- Uma célula para cada família de produto
- O fluxo é regular para cada família de produto, mas variado para cada produto dentro da família

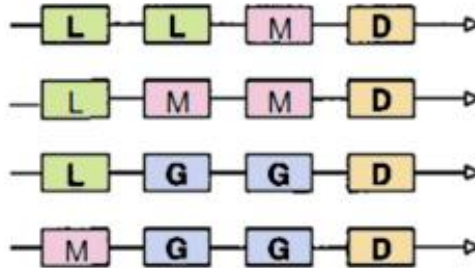
Fonte: Adaptado de Miltenburg (2005).

2.3.2.4 *Layout* em linha

No *layout* em linha, os diferentes tipos de equipamentos necessários para produzir um produto, ou uma pequena família de produtos, são organizados em uma linha (como pode ser visto na Figura 22) (MILTENBURG, 2005). Cada produto, informação ou cliente flui por uma rota predefinida. Nesta rota, os processos são posicionados na sequência exata de atividades requeridas para a transformação do recurso. Como o fluxo dos recursos é previsível, torna-se relativamente fácil controlá-lo. As estações de trabalho e equipamentos são projetados para maximizar a eficiência (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018; GROOVER, 2020). O fluxo de material é regular (Figura 22), mas pode haver pequenas variações quando os produtos são fabricados com diferentes opções. Equipamentos e ferramentas são específicos para o produto ou família de produtos que está sendo produzida. Um *layout* em linha é apropriado quando o volume de produção é alto o suficiente para utilizar totalmente uma linha dedicada e cara (MILTENBURG, 2005), de forma que é normalmente usada na fabricação de produtos que apresentam alta padronização (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Como os equipamentos fazem a maior parte do trabalho, os operadores executam tarefas relativamente simples (MILTENBURG, 2005). Vale ressaltar que nem todos os estágios necessários para a fabricação do produto podem ou precisam ser organizados em uma “linha única”, sequencial. Desde que atendam à precedência de atividades, as estações de trabalho podem ser organizadas em sequência, em paralelo, ou de forma intermediária entre estas

estratégias (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Em cada estação de trabalho, uma pequena parte do trabalho total é concluída (GROOVER, 2020).

Figura 22 - Disposição de equipamentos e fluxo no *layout* em linha



Layout em linha

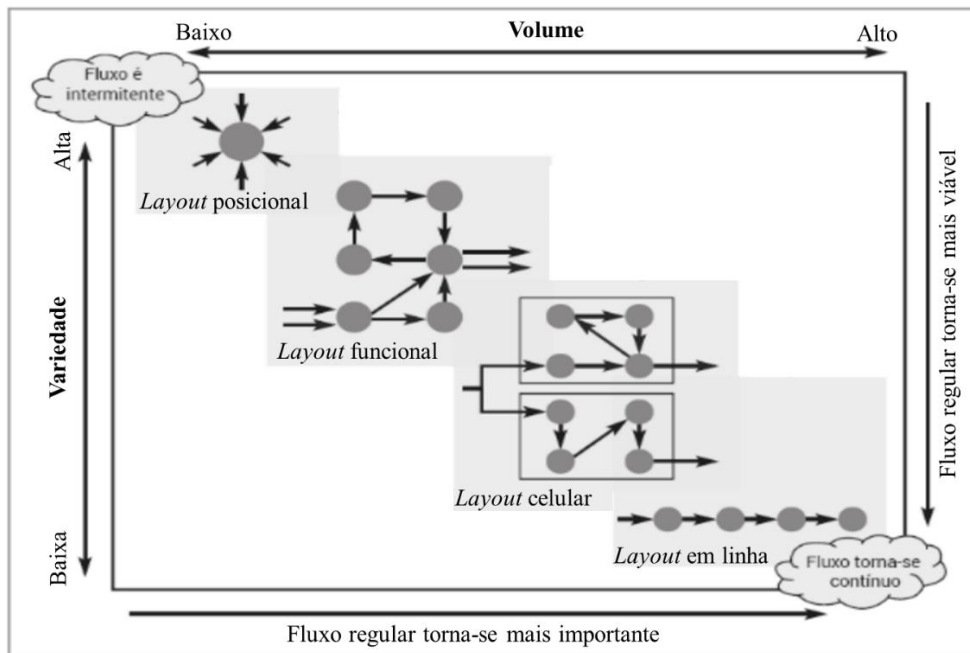
- Uma linha para cada produto ou família de produto
- O fluxo é regular

Fonte: Adaptado de Miltenburg (2005).

2.3.2.5 Relação entre *layout* e sistema de produção

Assim como as características de volume e variedade influenciam a escolha do sistema de produção adequado para uma fábrica, destas características também dependerá a importância que o fluxo terá para a operação. Quando o volume é muito baixo e a variedade é relativamente alta, o fluxo não é grande problema, então pode-se usar o *layout* de posição fixa. Com maior volume e menor variedade, o fluxo torna-se um problema. Entretanto, se a variedade ainda for alta, diferentes padrões de fluxo irão existir e o uso do *layout* funcional pode ser indicado. Quando a variedade de produtos é reduzida ao ponto em que necessidades similares para produção ficam evidentes, embora a variedade ainda não seja pequena, o *layout* celular pode ser apropriado. Quando a variedade é relativamente pequena e o volume alto, o fluxo pode ficar regularizado, e provavelmente que um *layout* em linha seja adequado (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). A relação entre os *layouts* e as diferentes combinações de volume e variedade pode ser vista na Figura 23.

Figura 23 - Diferentes layouts são adequados para diferentes combinações de volume e variedade



Fonte: Adaptado de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018).

Uma vez que ambos os sistemas de produção e os *layouts* têm relação com o volume e a variedade dos produtos fabricados por uma empresa, é possível fazer também uma relação entre os sistemas de produção e algumas possibilidades de *layouts* que podem ser aplicados a eles, como se observa no Quadro 5.

Quadro 5 - Alternativas de layout para cada tipo de sistema de produção

Sistema de produção		Layout
Processos de projeto		Posicional
Sistema de <i>jobbing</i>		Posicional ou funcional
Sistemas em lote		Funcional ou celular
Sistemas em linha de fluxo	Ritmo do operador	Em linha
	Ritmo do equipamento	Em linha
Sistema em fluxo contínuo		Em linha
Sistema <i>Just-in-time (JIT)</i>		Celular ou em linha
Sistemas flexíveis de manufatura (<i>FMS</i>)		Celular ou em linha

Fonte: Adaptado de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) e Miltenburg (2005).

Embora as características de volume e variedade de produtos reduzam a escolha a uma ou duas opções de *layout*, há outras vantagens e desvantagens associadas a cada um deles, como mostrado no Quadro 6. A importância dessas vantagens e desvantagens depende do tipo de produção realizado por uma empresa (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Quadro 6 - Algumas vantagens e desvantagens dos tipos básicos de *layout*

<i>Layout</i>	Vantagens	Desvantagens
Posicional	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade e variedade dos produtos muito alta • Produto ou cliente não é movido ou perturbado • Alta variedade de tarefas para a mão de obra 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos unitários muito altos • Planejamento do espaço ou das atividades pode ser difícil • Pode significar muita movimentação de equipamentos e pessoal
Funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Alta flexibilidade e variedade de produtos • Relativamente robusto em caso de interrupção de etapas • Supervisão de recursos de transformação relativamente fácil 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo nível de utilização de recursos fixos • Pode ter alto estoque em processo e filas de clientes • Fluxo completo pode ser difícil de controlar
Celular	<ul style="list-style-type: none"> • Pode dar um bom equilíbrio entre custo e flexibilidade para operações com variedade relativamente alta • Melhor movimentação do pessoal 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser caro reconfigurar o <i>layout</i> • Pode exigir capacidade adicional • Pode reduzir níveis de utilização de equipamentos
Em linha	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo unitário para altos volumes • Dá oportunidade para especialização de equipamentos • Movimentação conveniente de clientes e materiais 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ter baixa flexibilidade de produtos • Não muito robusto se houver interrupções • Trabalho pode ser repetitivo

Fonte: Adaptado de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018).

2.3.3 Qualificação da mão de obra

De acordo com Miltenburg (2005), cada sistema de produção demanda um tipo ou qualificação diferente de mão de obra. Segundo Quirino (1977), pela expressão “nível de qualificação” supõe-se que as ocupações diferem entre si nas habilidades necessárias para que uma pessoa as exerça. O autor considera o nível de qualificação como uma característica da habilidade do indivíduo relacionada com seu desempenho em funções específicas. Miltenburg (2005) classifica a mão de obra em altamente qualificada, polivalente e não-qualificada. Já Quirino (1977) a categoriza em qualificada, semiquificada ou treinada e não qualificada.

Para Quirino (1977), os operários qualificados apresentam um nível elevado de habilidade para um trabalho específico. Já para Abreu *et al.* (2023), eles têm apenas uma descrição de trabalho tradicional e os limites para o que devem desempenhar estão claramente definidos. Quirino (1977), afirma que os operários qualificados devem entender bem de uma máquina ou, às vezes, de um setor. Comumente, o conhecimento do funcionário se limita a uma categoria de máquinas e ao segmento do processo de produção que ele executa. A prática e a experiência são altamente valorizadas e aparecem como uma variável mais importante do que a dos conhecimentos específicos na mão de obra qualificada.

De acordo com Burleson *et al.* (1998), a mão de obra polivalente possui habilidades que não são restritas pelas descrições de cargos tradicionais, ou seja, é capaz de trabalhar em tarefas relacionadas a diferentes profissões em um mesmo projeto. Um exemplo de polivalência é

aquele funcionário que consegue trabalhar como carpinteiro e como pedreiro (ABREU *et al.*, 2023). Segundo Salvador, De Holan e Piller (2009), empresas que buscam flexibilidade precisam investir em capital humano adaptativo. Os funcionários e gestores têm de ser capazes de lidar com tarefas novas e ambíguas para compensar qualquer rigidez potencial incorporada nas estruturas e tecnologias de processos.

Quirino (1977) explica que os operários semiquualificados ou treinados seriam aqueles que desempenham, na maioria dos casos, a função de ajudantes, pois eles não possuem conhecimentos específicos, mas trabalham como assistentes de operários qualificados ou chefes de setor. Segundo o autor, os operários semiquualificados adquirem seus conhecimentos no dia a dia da fábrica, sendo que os que conseguem ultrapassar a fase de treinamento se tornam qualificados. Abreu *et al.* (2023) afirma que a melhoria das capacidades de trabalho pode ser obtida por meio de formação formal (treinamento) ou por meio de experiências compartilhadas entre a força de trabalho.

Já da mão de obra não qualificada, só são exigidas as capacidades mínimas para o exercício de trabalhos extremamente simples, sendo estes em muitas das vezes serviços braçais. Não há necessidade de conhecimentos específicos; o operário não-qualificado não tem especialização nem experiência prévia dentro da função que exerce (QUIRINO, 1977).

2.3.4 Resultados da produção

Miltenburg (2005) analisa os resultados (*outputs*, em inglês) da produção e os compara aos sistemas de produção. Segundo o autor os resultados representam aquilo que a fábrica proporciona ou o valor criado ao consumidor, sendo que cada sistema de produção favorece diferentes níveis de resultados de produção: custo, qualidade, desempenho, entrega, flexibilidade e inovação. Outros autores, como Olhager, Rudberg e Wikner (2001), apresentam outros elementos como resultados da produção, citando o custo, a velocidade de entrega, a confiabilidade e a flexibilidade como vantagens competitivas. Já Slack, Chambers e Johnston (2010) apresentam a qualidade, a velocidade, a confiabilidade, a flexibilidade e o custo como resultados possíveis da produção.

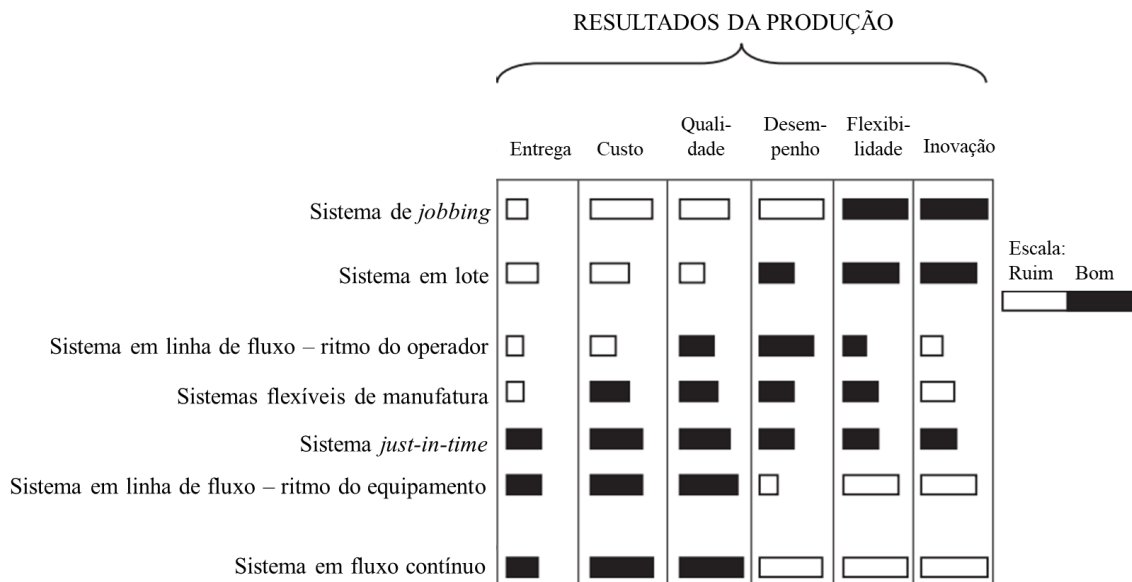
Para cada sistema de produção, um ou dois resultados são fornecidos nos níveis mais altos possíveis da indústria, enquanto os outros são fornecidos em níveis um pouco mais baixos. Os diferentes níveis de resultados proporcionam diferentes vantagens competitivas (MILTENBURG, 2005; SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON; 2010). Hayes *et al.* (2005) destacam que nenhum sistema de produção pode proporcionar todos os resultados nos níveis

mais altos possíveis. No entanto, o sistema *JIT* pode facilitar a obtenção de altos níveis de todos os resultados da produção, mas ele é o sistema de produção mais difícil de projetar e operar (MILTENBURG, 2005).

Como dito anteriormente, cada sistema de produção é adequado para uma combinação única de variedade de produtos e volumes de produção. Além disso, cada sistema fornece um conjunto específico de resultados de produção. Como estratégia de produção, uma empresa deve selecionar o melhor sistema para cada produto ou família de produtos (MILTENBURG, 2005). Slack, Chambers e Johnston (2010) destacam que, sem uma compreensão das exigências do mercado, é impossível garantir que a produção atinja o resultado certo para assegurar a competitividade.

Na Figura 24 são ilustrados os níveis de resultados de produção proporcionados pelos sistemas de produção descritos por Miltenburg (2005). Nesta figura, as barras pretas indicam níveis altos ou bons; as barras brancas indicam níveis baixos ou ruins. Barras pretas longas indicam níveis mais altos ou melhores do que barras pretas curtas. Barras brancas longas indicam níveis mais baixos ou piores do que barras brancas curtas. Muitas vezes é impossível fabricar o mesmo produto em sistemas de produção de extremos opostos da matriz proposta por Miltenburg (2005) e adaptada na Figura 24.

Figura 24 - Sistemas de produção e os resultados que eles propiciam



Fonte: Adaptado de Miltenburg (2005).

2.3.4.1 Custo e qualidade

Segundo Hayes *et al.* (2005), fábricas que buscam custo como resultado na verdade visam a capacidade de produzir a baixo custo. E sobre a qualidade, os autores a definem como a capacidade de produzir de acordo com as especificações e sem erros. O custo total de um produto depende do volume a ser produzido (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Em sistemas de produção em linha de fluxo ou em fluxo contínuo, como o volume é alto e a utilização de equipamento também é alta, o custo é o mais baixo possível. Além disso, a especialização dos equipamentos garante que todas as especificações do produto sejam atendidas, então a qualidade também é alta (MILTENBURG, 2005). Segundo Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), não é apenas o sistema de produção que tem influência no custo do produto, mas também o *layout* da fábrica, uma vez que os custos fixos tendem a aumentar à medida que passa de um *layout* de posição fixa para o funcional e para o celular até chegar ao *layout* em linha. Enquanto os custos fixos tendem a aumentar, os custos variáveis por produto, no entanto, tendem a diminuir (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

2.3.4.2 Flexibilidade e inovação

A flexibilidade pode ser definida como o grau em que os processos de uma operação podem mudar o que fazem, a forma como fazem e o momento em que algo é feito (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Para Hayes *et al.* (2005), a flexibilidade é a capacidade de alterar operações e pode compreender até quatro aspectos: i) a capacidade de alterar o volume de produção; ii) a capacidade de alterar o tempo necessário para produzir; iii) a capacidade de alterar a variedade de produtos ou serviços produzidos; iv) a capacidade de inovar e introduzir novos produtos e serviços. De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2010), um dos benefícios da flexibilidade é o aumento da capacidade da operação de fazer produtos diferentes para cada cliente. Portanto, a alta flexibilidade proporciona a capacidade de produzir uma grande variedade de produtos. Normalmente, isto significa custos elevados. Além disso, operações de alta variedade geralmente não produzem em grandes volumes.

Em sistemas de produção como o de *jobbing* e em lotes, as máquinas são de uso geral e os operadores são altamente qualificados, o que facilita a alteração do volume de produção, dos projetos dos produtos existentes e a introdução de novos produtos, sendo assim, estes sistemas proporcionam altos níveis de flexibilidade e inovação. É mais difícil para um sistema de produção em linha de fluxo ou em fluxo contínuo fazer essas mudanças, pois estes sistemas

estão orientados ao uso de máquinas, sendo que mudanças de projeto e introdução de novos produtos exigem grandes ajustes nos equipamentos (MILTENBURG, 2005).

2.3.4.3 Entrega e confiabilidade

De acordo com Hayes *et al.* (2005), a velocidade de entrega significa fazer algo rapidamente em resposta às demandas do cliente e, assim, oferecer prazos de entrega curtos entre o momento em que um cliente solicita um produto ou serviço e o momento em que o recebe. Para os mesmos autores, a confiabilidade seria a capacidade de entregar produtos e serviços de acordo com as promessas feitas aos clientes (por exemplo, em uma cotação ou outra informação publicada). O menor tempo de entrega e a melhor confiabilidade de tempo de entrega para um produto são fornecidos pelos sistemas de produção em linha de fluxo e em fluxo contínuo, porque eles operam em altas velocidades e estão dedicados à produção de um único produto ou família de produtos usando equipamentos e ferramentas especializados. Estes sistemas funcionam por longos períodos sem parar (MILTENBURG, 2005).

2.3.4.4 Desempenho

As empresas que conseguem consistentemente atingir um alto nível de desempenho utilizam sistemas de produção que não são extremamente orientados nem para o uso de máquinas, nem para o uso de pessoas (MILTENBURG, 2005). Em outras palavras, tanto um sistema técnico avançado quanto os trabalhadores qualificados são necessários para alcançar uma produção eficiente (FROHM *et al.*, 2008). Vale ressaltar que desempenho é diferente de produtividade. Um alto nível de desempenho requer um fluxo constante de novos produtos, melhorias nos produtos existentes e mudanças nos equipamentos e processos (MILTENBURG, 2005). Produtividade é a conversão efetiva (econômica e eficiente) dos recursos de produção em bens produzidos (HITOMI, 1996). Eficiência é a capacidade de executar uma determinada tarefa dentro do tempo padrão especificado (HITOMI, 1996). Produtividade também pode ser definida, de forma abstrata, como a relação entre insumo e produto, de forma que a produtividade seria a razão entre as saídas e as entradas da fábrica (produtividade = saída/entrada) (HITOMI, 1996).

Attingir um alto nível de desempenho é difícil para sistemas de produção rígidos, como os sistemas em linha de fluxo e em fluxo contínuo, pois é dispendioso trocar máquinas especializadas e automatizadas, treinar operadores não qualificados e mudar processos

(MILTENBURG, 2005). Frohm *et al.* (2008) corroboram com esta afirmação ao relatarem que níveis excessivos de automação podem resultar em baixo desempenho do sistema. Os autores firmam ainda que é importante não automatizar mais do que o necessário, pois além de os custos de investimento aumentarem rapidamente, o sistema pode se tornar inflexível (FROHM *et al.*, 2008). No sistema de *jobbing* há dificuldade em fornecer um alto nível de desempenho por um motivo diferente. O volume de produção é tão baixo que a empresa não consegue arcar com os custos de engenharia para projetar recursos avançados, sejam eles no produto ou nas estações de trabalho e processos (MILTENBURG, 2005).

2.3.5 Níveis de automação da produção

Inicialmente, é importante distinguir mecanização de automação. De acordo com Chiantella (1982) e Williams (1999), a automação seria integração entre mecanização e informatização. Para Frohm *et al.* (2008), informatização é a substituição de tarefas cognitivas, como processos sensoriais humanos e atividade mental. Isto incluiria, por exemplo, a coleta, o armazenamento, a análise e o uso de informações para controlar o processo de produção. De acordo com os mesmos autores, mecanização pode ser definida como a substituição da força muscular humana, como a transformação de materiais e energia (FROHM *et al.*, 2008).

Hitomi (1996) afirma que o termo automação foi criado em 1936 e que seu uso tem sofrido mudanças ao longo do tempo. Ao longo do século 20, as empresas de manufatura fizeram grandes esforços para desenvolver processos de produção automatizados com o objetivo de aumentar sua eficiência e manter uma produção de alta qualidade. O aumento da automação não estava preocupado apenas com os processos de produção, mas também com as tarefas de suporte, como manuseio de materiais, transporte e armazenamento (REVELIOTIS, 1999).

Inicialmente, a automação foi muito eficaz na produção automática de grandes quantidades de um único item; no entanto, atualmente, ela também é necessária para lidar com a produção de vários produtos e pequenos lotes (HITOMI, 1996). As demandas por customização e o aumento da complexidade do produto resultaram em sistemas de produção cada vez mais complexos, bem como em níveis e extensão de automação maiores (SATCHELL, 2018). Com o surgimento e o rápido crescimento da tecnologia da informação, a relevância dos sistemas que integram a tecnologia da informação e a tecnologia mecânica, aumenta (SATCHELL, 2018). Desta forma, atualmente computadores são usados para interpretar e registrar dados, tomar decisões e visualizar informações. Tais tarefas são consideradas automação (FROHM *et al.*, 2008).

A mecanização é frequentemente associada a máquinas e robôs individuais (GROOVER, 2016; DUNCHEON, 2002), mas as máquinas são compostas de subsistemas que podem ser automatizados individualmente. Um exemplo disso são as máquinas de Controle Numérico Computadorizado (*Computerized Numerical Control - CNC*), que são compostas por inúmeros subsistemas integrados e automatizados (FROHM *et al.*, 2008). Uma produção automática pode ser construída combinando máquinas ou equipamentos de alta flexibilidade e um sistema automatizado de manuseio de materiais, com um computador de controle. Isso é chamado de sistema de manufatura flexível (*FMS*) (HITOMI, 1996).

No entanto, nem a automação para atender aos requisitos de eficiência nem a automação para obter flexibilidade levam necessariamente aos resultados esperados (SHAPIRA; YOUTIE; URMANBETOVA, 2004), uma vez que níveis muito elevados de automação, na verdade, podem levar ao baixo desempenho do sistema. Assim, as decisões sobre automação não são triviais (FROHM *et al.*, 2008). Frohm, Lindström e Bellgran (2005) e Lindström, Frohm e Bellgran (2005) observaram que a maioria das tarefas na manufatura moderna envolvem uma mistura de mecanização e informatização. Por exemplo, para operar uma máquina de corte, estão envolvidas tarefas como controlar a ferramenta de corte (atividade computadorizada), manusear as peças de trabalho e executar o corte (atividade mecanizada) (FROHM *et al.*, 2008).

Frohm *et al.* (2008) relatam que a maioria dos sistemas de manufatura ainda é semiautomática, consistindo em combinações de tarefas automatizadas e manuais. Isso é especialmente visível nas operações de montagem, que têm sido, de forma geral, as mais difíceis de automatizar a um custo moderado (BOOTHROYD, 2005). Sendo assim, diversos autores propuseram classificações para os diferentes níveis de automação das empresas. Billings (2018) diz que o nível de automação vai do controle manual à operação amplamente autônoma, em que o papel humano é mínimo. Parasuraman, Sheridan e Wickens (2000) afirmam que o nível de automação é um espectro que vai das operações manuais até as totalmente automáticas. Segundo Groover (2016), o nível de automação pode ser dividido entre operado de forma manual, semiautomática ou totalmente automática.

De acordo com a Encyclopedia Britannica (2006) apud Frohm *et al.* (2008), as operações manuais são definidas como “trabalho manual e não por máquina”, e as máquinas são definidas como “instrumentos (por exemplo, uma alavanca) projetados para transmitir ou modificar a aplicação de energia, força ou movimento”. Desta forma, o termo manual pode ser entendido como o trabalho executado sem qualquer ferramenta ou auxílio, sendo que, o uso de ferramentas ou outra forma de auxílio para a realização de uma tarefa pode ser visto como um aumento no nível de automação (FROHM *et al.*, 2008).

Frohm *et al.* (2008) fizeram uma revisão de literatura na qual analisam diversas classificações para os níveis de automação e notaram que, para a maioria dos autores, os níveis de automação são vistos como um espectro que vai desde o nível mais baixo de desempenho totalmente manual (baseado nas capacidades do ser humano) até o nível mais alto de automação completa (sem qualquer envolvimento humano), passando por níveis intermediários em que o manuseio de materiais, por exemplo, é conduzido por funcionários, mas a atividade de transformação é feita por uma máquina (colaboração entre humano e máquina para realizar a tarefa). O nível de automação aumenta à medida que mais tarefas são executadas automaticamente (FROHM *et al.*, 2008). Considerando este espectro, Frohm *et al.* (2008) propuseram uma classificação de sete níveis de automação na manufatura, como pode ser visto no Quadro 7, a seguir.

Quadro 7 - Níveis de automação

Nível	Descrição do nível de automação
1	Totalmente manual - Trabalho totalmente manual, não são utilizadas ferramentas, apenas a força muscular do próprio funcionário.
2	Ferramenta manual estática - Trabalho manual com apoio de ferramenta estática. Exemplo: chave de fenda.
3	Ferramenta manual flexível - Trabalho manual com suporte de ferramenta flexível. Exemplo: chave inglesa ajustável.
4	Ferramenta manual automatizada - Trabalho manual com suporte de ferramenta automatizada. Exemplo: parafusadeira hidráulica.
5	Máquina/estação de trabalho estática - Trabalho automático realizado por uma máquina projetada para uma tarefa específica. Exemplo: torno.
6	Máquina/estação de trabalho flexível - Trabalho automático realizado por uma máquina que pode ser reconfigurada para diferentes tarefas. Exemplo: máquina CNC.
7	Totalmente automático - Trabalho totalmente automático, a máquina resolve sozinha todos os desvios ou problemas que ocorrem. Exemplo: sistemas autônomos.

Fonte: Adaptado de Frohm *et al.* (2008).

Do ponto de vista da tecnologia, a evolução das ferramentas de automação e tecnologias avançadas em sistemas de produção pode ser descrita como máquina de Controle Numérico Computadorizado (*Computerized Numerical Control - CNC*), Manufatura Assistida por Computador (*Computer Aided Manufacturing - CAM*) e Manufatura Integrada por Computador (*Computer Integrated Manufacturing - CIM*) (ESMAEILIAN; BEHDAD; WANG, 2016).

No que diz respeito à construção volumétrica *offsite*, Duncheva e Bradley (2019) afirmam que os níveis de automação diferem entre os países. No Japão, por exemplo, a produção de habitações *offsite* é altamente automatizada e a construção volumétrica é considerada o produto de mais alta qualidade no mercado imobiliário residencial, enquanto no Reino Unido observa-se uma automação mais moderada da construção *offsite* (HAIRSTANS, 2015; BUNTROCK, 2017).

Segundo Duncheva e Bradley (2019), as empresas de construção volumétrica *offsite* que utilizam automação por meio de uma combinação de projeto assistido por computador (*Computer Aided Design - CAD*) e manufatura assistida por computador (*CAM*) podem se beneficiar da qualidade do produto padronizado e da redução do retrabalho devido ao erro humano (GIBB, 1999). No entanto, os autores reconhecem que, em um mesmo país, os níveis de automação variam entre as empresas. Sendo assim, Duncheva e Bradley (2019) propuseram uma classificação para o nível de automação em empresas de construção volumétrica *offsite*:

1. Manual - os métodos tradicionais de construção são transferidos para o ambiente fechado da fábrica;
2. Aqueles com algumas aplicações de *CAM* (por exemplo, máquina para pregar madeira);
3. Tecnicamente extremo - as técnicas de fabricação digital automatizada e a eficiência de recursos são transferidas da indústria automotiva para o processo de produção *offsite* (DUNCHEVA; BRADLEY, 2019).

2.3.6 A produção e a construção *offsite*

Poucas publicações discutem sobre os processos de produção utilizados pelas empresas de construção volumétrica *offsite* e as que o fazem, geralmente apresentam uma abordagem superficial. Arif, Goulding e Rahimian (2012), por exemplo, comparam a construção *offsite* à manufatura, dizendo que a manufatura pode ser muito eficaz em cenários de produção em massa, mas que a construção *offsite*, dada a natureza personalizada da construção, deve utilizar um paradigma de fabricação que incorpore abertamente flexibilidade de projeto. Assim, é imperativo que os processos de produção forneçam informações logo no início do processo de projeto. Por outro lado, os processos de produção precisam ser mais flexíveis para acomodar as mudanças de projeto, envolvendo um sistema de produção tradicionalmente referido como processos de projeto (ARIF, GOULDING, RAHIMIAN, 2012).

Na manufatura, a flexibilidade dos sistemas de produção é alcançada por meio de trabalhadores e de máquinas com competências e habilidades multifuncionais, sendo que os operadores continuam a ser o recurso mais flexível (UPTON, 1995; BENKAMOUN, 2016), uma vez que eles são capazes de desempenhar diferentes funções e de executar procedimentos distintos através de treinamento e rotação do trabalho (MACHADO, 2005).

No entanto, Nuttpowell (1985) já criticava a utilização de processos essencialmente manuais na construção *offsite*. Para o autor, a razão fundamental para que a construção *offsite* não tenha atingido seu completo potencial é a utilização de processos essencialmente manuais

e notavelmente semelhantes aos da construção tradicional (em grande parte devido à semelhança de materiais e componentes), deixando de aproveitar as vantagens das tecnologias de manufatura modernas que podem gerar qualidade, tempo de ciclo e produtividade amplamente aprimorados (NUTTPOWELL, 1985).

Por outro lado, Nasereddin, Mullens e Cope (2007) afirmam que, embora manual, o processo de produção dos produtos da construção *offsite* é uma operação complexa que combina o movimento do produto em um sistema de produção em linha de fluxo com uma rede de precedência de atividade complexa e restrições físicas relacionadas à instalação fabril (NASEREDDIN; MULLENS; COPE, 2007). Desta forma, percebe-se que enquanto Nasereddin, Mullens e Cope (2007) defendem a utilização de um sistema de produção em linha na construção *offsite*, Arif, Goulding e Rahimian (2012) defendem o uso de um sistema de produção de processos de projeto.

Em termos do sistema de produção empregado por empresas de construção volumétrica *offsite*, Duncheva e Bradley (2019) analisaram empresas da União Europeia e do Reino Unido. De acordo com os autores, as empresas analisadas na União Europeia empregavam um sistema de produção em linha de fluxo, com *layout* em linha e uma média de quatro linhas de produção. Em contrapartida, as empresas de construção volumétrica *offsite* do Reino Unido usavam predominantemente um sistema de produção de processos de projeto, com *layout* posicional, ou seja, os módulos eram posicionados em um local fixo dentro de sua fábrica e os trabalhadores, ferramentas e materiais se moviam ou eram movidos até eles de acordo com a necessidade. Dentre as 3 empresas de construção volumétrica *offsite* do Reino Unido do estudo de caso realizado por Duncheva e Bradley (2019), apenas um havia estabelecido um sistema de produção em linha de fluxo, com *layout* em linha, no qual os módulos se movem de uma estação de trabalho para outra, com trabalhadores, ferramentas e materiais situados em cada estação conforme necessário (DUNCHEVA; BRADLEY, 2019).

Duncheva e Bradley (2019) em seu estudo, ainda observaram que as oportunidades para aplicação de automação se encontram principalmente nas etapas iniciais da produção, no manuseio de materiais, no corte e na instalação de portas e janelas. Segundo os autores, as ferramentas de produção mecanizadas poderiam reduzir os riscos de acidentes, principalmente ao eliminar a necessidade de levantamento de peso. Mesas borboleta, guindastes e máquinas a vácuo são exemplos de mecanização, de acordo com os autores. A ferramenta de montagem mecanizada com maior utilização foi o guindaste, que servia para levantar e transportar componentes e painéis entre as linhas de produção. As máquinas elevatórias a vácuo, que eram usadas para posicionar portas e janelas com precisão em seus caixilhos sem levantamento de

peso, foram observadas apenas em duas instâncias – na montagem do caixilho e nas etapas de montagem de janelas e portas (DUNCHEVA; BRADLEY, 2019).

Em seu trabalho Lawson *et al.*, (2005) observam que a economia subjacente à construção *offsite* e volumétrica, em particular, é bastante complexa e requer uma taxa de produção significativa de componentes que se repetem para ser totalmente econômica. A construção volumétrica *offsite* requer investimento de capital na infraestrutura de produção da fábrica, desenvolvimento de projeto, teste e certificação de produtos e despesas gerais de uma instalação fixa e espaço de fábrica. Para Lawson *et al.*, (2005), a lógica por trás da expansão da construção volumétrica *offsite* depende do investimento em maquinário controlado numericamente e *software CAD/CAM* integrado. Segundo os autores, até 30 estágios são necessários em uma linha de produção para construção volumétrica *offsite*.

Lawson, Ogden e Bergin (2012) também tratam da infraestrutura para a produção em fábrica e da economia na construção volumétrica *offsite*. Para os autores, a infraestrutura para produção fabril requer maior investimento do que para a produção no canteiro de obras, além da necessidade de repetibilidade para alcançar economia de escala na produção. Sendo assim, um modelo econômico de construção volumétrica *offsite* deve levar em conta os seguintes fatores: custos de investimento na unidade de produção; ganhos de eficiência na fabricação e no uso de materiais; volume de produção (economia de escala); proporção de construção no canteiro de obras; custos de transporte e instalação; benefícios na velocidade de instalação e custos reduzidos de pequenos reparos; economia na infraestrutura e gestão do canteiro de obras (LAWSON; OGDEN; BERGIN, 2012).

Mchugh, Dave e Craig (2019) fazem observações sobre as instalações fabris para a produção na construção volumétrica *offsite*. Segundo os autores, considerando a estrutura de fábrica instalada com todos os ajustes como uma unidade de produção final, todo o sistema de produção precisa ser formulado para centenas de módulos até micro detalhes, considerando logística, ritmo de produção, recursos disponíveis e restrições de processo.

Para Winch (2003), o sistema de produção apropriado para a construção *offsite* depende do subsetor que está sendo analisado, sendo que o sistema de produção em linha de fluxo, só pode ser aplicado de forma geral à habitação, porque este é o único setor em que os volumes são altos o suficiente para permitir que tal abordagem seja economicamente viável. No entanto, os requisitos cada vez mais diversificados do consumidor significam que é mais provável que as empresas adotem a customização em massa, em vez de uma abordagem totalmente padronizada de produção (WINCH, 2003). Neste sentido, Olhager e Rudberg (2002) alegam que no desenvolvimento de uma estratégia de produção, uma questão vital é a ligação entre as

características dos produtos oferecidos aos clientes e o processo de produção usado para produzi-los.

De acordo com Jonsson e Rudberg (2014), as referenciais para construção *offsite* encontradas na literatura negligenciam o importante vínculo entre as exigências do mercado (via oferta do produto) e o sistema produtivo. Para os autores, reconhecer esse vínculo e os diferentes resultados esperados é crucial ao desenvolver um processo de produção que garanta competitividade em determinados segmentos de mercado. Segundo Jonsson e Rudberg (2015), o potencial total da construção *offsite* nem sempre é realizado, o que pode ser explicado pela incompatibilidade entre o grau de customização do produto e o sistema de produção utilizado para produzi-lo (JONSSON; RUDBERG, 2015).

O artigo de Jonsson e Rudberg (2015) descreve o desenvolvimento de uma matriz que orienta o processo de tomada de decisão durante o desenvolvimento de sistemas de produção para a construção residencial *offsite*. Um aspecto importante do desenvolvimento foi equilibrar os resultados de produção que envolvem produtividade e flexibilidade para que os produtos possam ser produzidos de forma competitiva (JONSSON; RUDBERG, 2015). Segundo Nahmens e Bindroo (2011), o balanceamento entre capacidades relacionadas à produtividade (como custo e tempo de entrega) e flexibilidade (produto e processo) deve ser considerado no desenvolvimento de um processo de produção que permita competitividade no mercado. Nahmens e Bindroo (2011) argumentam que um dos maiores desafios na construção residencial *offsite* é fornecer customização sem afetar a eficiência básica do processo de produção.

Para Hayes e Wheelwright (1979), empresas que adotam sistemas de produção que não fazem correspondência com a variedade e o volume de elementos produzidos podem enfrentar problemas. Os autores acreditam que este tenha sido o caso de várias empresas que produziam casas pré-fabricadas nos anos 1970. Elas permitiram que seus sistemas de produção se tornassem demasiadamente caros e dependentes de uma produção estável em altos volumes, o que era incompatível com a demanda do mercado (HAYES; WHEELWRIGHT, 1979).

Nasereddin, Mullens e Cope (2007) explicam que a construção volumétrica *offsite* é uma combinação única de atividades gerais de construção sobrepostas em um sistema de produção em linha de fluxo. O módulo é movido periodicamente (a cada 2, 4 ou 8 horas, dependendo do tempo de ciclo da fábrica) entre estações de trabalho, para se aproximar dos recursos. Devido aos recursos, equipamentos e restrições de precedência, certas atividades devem ser realizadas em determinados locais. Por exemplo, o local onde o telhado é acoplado ao módulo é restringido pela presença do guindaste, que deve transportá-lo de sua área de montagem até o módulo. Para a maioria das atividades, entretanto, há flexibilidade para seu local de realização. As instalações

prediais, por exemplo, podem ser executadas em vários locais, a depender do tamanho e da complexidade do módulo. As relações de precedência entre as atividades são complexas. Por causa da natureza paralela das atividades de construção, é comum que várias equipes trabalhem no mesmo módulo simultaneamente (NASEREDDIN; MULLENS; COPE, 2007).

Nasereddin, Mullens e Cope (2007) auxiliaram no projeto de uma nova fábrica para umas das maiores empresas de construção residencial volumétrica *offsite* dos Estados Unidos. Os pesquisadores não puderam dar detalhes sobre a produção, devido ao acordo de sigilo que fizeram com a empresa, mas afirmam que a linha de manufatura típica consiste em uma série de 18 a 24 estações de trabalho. Ela pode assumir diversos *layouts*: reto, U, L, paralelo duplo e várias combinações dos anteriores. Uma gama abrangente e ampla de atividades de construção ocorre na linha. Existem normalmente entre 40 e 60 atividades em uma operação de construção *offsite*, sendo cada uma executada por uma equipe de trabalhadores. Algumas atividades são restritas a um único local devido à disponibilidade de equipamentos ou limitações de instalação (como é o caso da construção do telhado). Outras atividades, principalmente as de acabamento de interiores, podem ocorrer em qualquer lugar da linha. Algumas atividades abrangem várias estações de trabalho, devido à sua longa duração causada pela complexidade do projeto ou retrabalho (NASEREDDIN; MULLENS; COPE, 2007).

É possível perceber que alguns autores apontam o uso de sistema de produção em linha de fluxo, com *layout* em linha, na construção volumétrica *offsite*, como é o caso de Nasereddin, Mullens e Cope (2007), Winch (2003), e outros indicam o uso de sistemas de produção em processos de projeto, com *layout* posicional, como é o caso de Arif, Goulding e Rahimian (2012). Duncheva e Bradley (2019), no entanto, em seus estudos de caso, encontram empresas utilizando um ou outro sistema de produção, de forma que se pode dizer que não há um sistema de produção ideal para todas as empresas de construção volumétrica *offsite*, mas que a escolha do sistema de produção, como afirmam Jonsson e Rudberg (2015), vai depender grau de customização do produto oferecido.

2.4 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

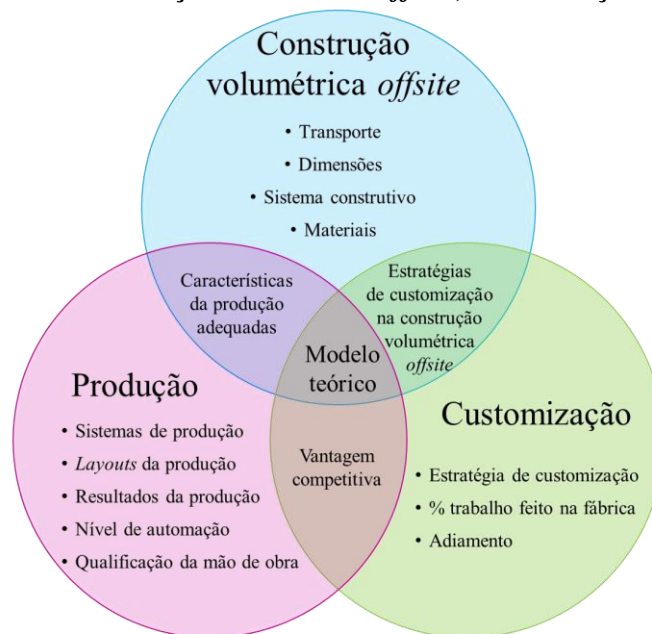
Ao final da elaboração do capítulo sobre a síntese da literatura, foi possível entender as restrições que a construção volumétrica *offsite* acarreta para a escolha de uma estratégia de customização e para a escolha das características de produção adequadas. Pode-se citar como restrição principal, inerente à construção volumétrica *offsite*, a necessidade de transporte dos módulos, que implicada em uma limitação das suas dimensões. Outras restrições dizem respeito

aos sistemas construtivos (que devem possibilitar agilidade) e aos materiais utilizados (que devem ser leves). A estratégia de customização utilizada pela empresa deve considerar estas restrições e ainda levar em conta os tipos de customização existentes, a porcentagem de trabalho que se pretende realizar na fábrica e no canteiro de obras e o adiamento da customização.

Já para a escolha das características da produção adequadas, a citar: o sistema de produção, o *layout* de fábrica, os resultados da produção, o nível de automação da produção e a qualificação da mão de obra, as empresas devem considerar as restrições mencionadas anteriormente e as grandes dimensões dos módulos (produtos). A estratégia de customização adotada em correta consonância com as características da produção dará às empresas de construção volumétrica *offsite* a vantagem competitiva que as destacará no mercado.

As relações entre construção volumétrica *offsite*, customização e produção podem ser vistas na Figura 25, a seguir, elaborada a partir do modelo que foi utilizado para a organização da síntese da literatura (Figura 4). Após a realização da síntese de literatura, foi possível elaborar o modelo teórico (Figura 29, que será apresentada no Capítulo 4) para a construção volumétrica *offsite* considerando a relação entre as estratégias de customização e as características produção.

Figura 25 - Relações entre construção volumétrica *offsite*, customização e sistemas de produção



Fonte: Elaborado pela autora.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo são descritos a abordagem, o método e as técnicas de pesquisa utilizadas no desenvolvimento deste trabalho. São apresentadas também as etapas seguidas para sua realização e as estratégias de coleta e análise de dados.

3.1 ABORDAGEM DA PESQUISA

Esta pesquisa apresenta uma abordagem qualitativa. De acordo com Berto e Nakano (1999), as abordagens de pesquisa procuram orientar o processo de investigação, condicionando e sistematizando as diversas atividades que o formam, como revisão bibliográfica, coleta de dados, discussão, análise dos resultados, etc. A investigação qualitativa visa explorar, descobrir e compreender os fenômenos (ANTWI; HAMZA, 2015). Lincoln e Guba (1985) sugerem que o critério fundamental para pesquisas qualitativas é a confiabilidade, sendo que elas devem basear-se numa lógica sólida que justifique a utilização do método escolhido e dos processos envolvidos na coleta e análise de dados (ANTWI; HAMZA, 2015).

A pesquisa qualitativa é utilizada quando pouco se sabe sobre um tema ou fenômeno e quando se deseja descobrir ou aprender mais sobre ele (ANTWI; HAMZA, 2015), como acontece neste trabalho. A adoção de uma abordagem qualitativa é pertinente para esta investigação uma vez que, como destacado por Silverman (1998), ela se concentra na prática real *in situ*, observando como as organizações operam rotineiramente, exatamente como feito neste trabalho. A abordagem qualitativa da pesquisa, segundo Triviños (1987), busca o significado dos dados baseado na percepção do fenômeno dentro do seu conjunto.

O pesquisador visa compreender as pessoas que está observando do ponto de vista dos participantes (ANTWI; HAMZA, 2015). Além disso, a pesquisa qualitativa procura captar não só a aparência, mas também a essência, a origem, tentando intuir as consequências (TRIVIÑOS, 1987), sendo capaz de proporcionar uma compreensão e uma visão melhores no contexto da problemática (MORESI, 2003). As técnicas qualitativas são usadas nos estágios de coleta e análise de dados de uma pesquisa (COOPER; SCHINDLER, 2016).

3.2 ESTUDO DE CASO

O método de pesquisa refere-se à estrutura para a condução da pesquisa (REMENYI *et al.*, 1998). Vários métodos de pesquisa estão disponíveis, no entanto, deve-se empregar aquele que

seja aplicável e relevante para a área de estudo (SEXTON, 2000). Para escolher um método correto, decisões sensatas devem ser tomadas considerando o propósito da pesquisa, as questões que estão sendo investigadas e os recursos disponíveis (ROBSON, 2002; TZORTZOPOULOS, 2004). Para entender a relação entre as características da produção e as estratégias de customização, julgou-se que o estudo de caso seria o método mais adequado. O método de pesquisa adotado se justifica porque, em uma investigação de abordagem qualitativa, o pesquisador busca, por meio da perspectiva dos participantes, entender o contexto em que se desenvolve o fenômeno estudado (BRYMAN, 2007).

Segundo Yin (2003), o estudo de caso é uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, sendo seu uso apropriado quando: a) os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos; b) o investigador tem pouco controle sobre os eventos; c) o enfoque está em um fenômeno contemporâneo no contexto da vida real. Como buscou-se, por meio desta pesquisa, o entendimento sobre algo que ocorre contemporaneamente nas organizações, considerando elementos sobre os quais a pesquisadora não tem controle, o estudo de caso foi considerado como o método adequado. Além disso, esta pesquisa refere-se a situações não completamente conhecidas, como a relação entre as características da produção e as estratégias de customização em empresas de construção volumétrica *offsite*.

Merriam (1998) enumera algumas características do estudo de caso:

1. Particularismo: o estudo se concentra em uma situação particular, proporcionando assim uma excelente via de análise prática de problemas da vida real;
2. Descrição: o resultado consiste na descrição detalhada de um assunto submetido a indagação;
3. Explicação: o estudo de caso ajuda a compreender aquilo que é analisado, de forma que um de seus objetivos é a obtenção de novas interpretações e perspectivas, assim como o descobrimento de novos significados e visões;
4. Indução: a maioria dos estudos de caso utiliza o raciocínio indutivo segundo o qual os princípios e generalizações emergem da análise dos dados particulares. Em muitas ocasiões, o estudo de caso pretende descobrir novas relações entre elementos.

Novamente, o estudo de caso se mostra adequado, uma vez que o trabalho visa descrever as estratégias de customização e as características da produção das empresas estudadas, além de explicar a relação entre estes dois elementos e induzir um modelo que seja aplicável ao contexto das empresas de construção volumétrica *offsite*.

O estudo de caso também foi a estratégia utilizada por outros pesquisadores que estudam a construção *offsite*, como Lessing e Brege (2018). Segundo os autores, a pesquisa focada na construção *offsite* é complexa e inclui uma combinação de aspectos integrados, sendo que requer um método que possa lidar com tal complexidade, e o estudo de caso é indicado para isso. O método de estudo de caso permite uma combinação de várias técnicas de coleta de dados dentro do estudo (MERRIAM, 1998), que juntas contribuem para a compreensão de fenômenos complexos estudados no seu contexto real (YIN, 2003). Yin (2003) afirma ainda que os estudos de caso têm a capacidade de lidar com uma ampla variedade de evidências – documentos, artefatos, entrevistas e observações. Sendo assim, o estudo de caso reúne, tanto quanto possível, informações numerosas e detalhadas para apreender a totalidade de um fenômeno.

Yin (2003) explica que os estudos de caso podem ser únicos ou múltiplos. Para assegurar resultados confiáveis e replicáveis, seis empresas foram analisadas nesta pesquisa, ou seja, foi realizado um estudo de casos múltiplos. Este método permite a comparação das análises realizadas em cada uma das empresas. De acordo com Yin (2003), para a análise do estudo de caso, uma das lógicas mais desejáveis a ser utilizada é a de “adequação ao padrão”. Ela visa comparar um padrão fundamentalmente empírico com outro de base prognóstica, como foi feito nesta pesquisa. Miles e Huberman (1994) afirmam que os estudos de casos múltiplos ajudam a apontar condições específicas sob as quais uma descoberta ocorrerá, e a formar categorias mais gerais de como essas condições podem ser relacionadas. Desta forma, os estudos de casos múltiplos permitem uma lógica de replicação, em que cada estudo de caso serve para confirmar ou refutar inferências extraídas de anteriores (YIN, 2003).

3.3 TÉCNICAS DE PESQUISA

Cooper e Schindler (2016) afirmam que a pesquisa qualitativa envolve um conjunto de técnicas interpretativas que procuram descrever, decodificar, traduzir e compreender o significado de certos fenômenos. Segundo os autores, técnicas qualitativas são utilizadas tanto nas fases de coleta quanto de análise de dados em uma investigação. Esta pesquisa foi dividida em diversas fases e etapas que serão descritas posteriormente. Cada etapa demandou o uso de uma técnica diferente para a coleta e para a análise dos dados qualitativos.

De acordo com Yin (2003), as evidências do estudo de caso podem vir de diversas fontes, entre as quais pode-se citar: documentos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos. Segundo o autor, nem todas as fontes de evidências serão utilizadas em todos os estudos de caso, mas um dos princípios fundamentais para qualquer

coleta de dados na realização de estudos de caso é o uso de múltiplas fontes de evidências (evidências de duas ou mais fontes), convergindo para os mesmos fatos ou descobertas.

Sendo assim, neste trabalho foram utilizadas seis técnicas distintas, sendo quatro para a coleta de dados: síntese de literatura, entrevistas (semiestruturadas e não estruturadas), observação direta e análise de documentos; e duas para a análise dos dados: análise de conteúdo e triangulação de dados.

3.3.1 Síntese de literatura

A síntese de literatura envolve uma revisão de livros, bem como de artigos de periódicos ou literatura profissional relacionados ao tema de pesquisa, ou seja, nela são analisados dados secundários (COOPER; SCHINDLER, 2016). A síntese de literatura é uma etapa fundamental da maioria das pesquisas (COOPER; SCHINDLER, 2016).

As etapas preliminares de um projeto de pesquisa envolvem a síntese da literatura pertinente ao tema em análise, uma vez que ela examina estudos de pesquisa recentes (ou historicamente significativos), dados de empresas ou relatórios do setor que servem de base para o estudo proposto, além de fornecer uma descrição e análise crítica do estado atual do conhecimento na área temática (JANKOWICZ, 2013; COOPER; SCHINDLER, 2016). A síntese da literatura também pode explicar a necessidade do trabalho proposto e avaliar as deficiências e/ou lacunas de informação nas fontes de dados secundários (COOPER; SCHINDLER, 2016). Neste trabalho, a síntese de literatura foi utilizada para a compreensão do problema de pesquisa, sendo que ela permitiu o entendimento teórico aprofundado dos temas da pesquisa e, conseqüentemente, auxiliou na definição da lacuna de pesquisa.

Além disso, como a síntese de literatura permite identificar e organizar os conceitos, terminologias e informações de interesse (SCHIRA, 1992), ela também foi usada para a elaboração do modelo teórico que relaciona as estratégias de customização às características da produção na construção volumétrica *offsite*.

3.3.2 Entrevistas

Em um estudo de caso, uma das mais elementares fontes de informação são as entrevistas (YIN, 2003). Burgess (2003) afirma que as entrevistas proporcionam uma oportunidade para o pesquisador descobrir novas pistas, abrindo novas dimensões de um problema, por meio de relatos baseados em experiências pessoais. A realização de entrevistas representa a coleta de

dados primários (COOPER; SCHINDLER, 2016). Neste trabalho, as entrevistas tiveram grande importância e foram realizadas em diversas etapas da pesquisa.

É importante diferenciar os dados primários dos secundários. Os dados primários correspondem a trabalhos originais de pesquisa ou dados brutos sem interpretação, sendo que, de forma geral, são coletados pelo pesquisador por meio de questionários, entrevistas, etc. (REMENYI *et al.*, 1998; COOPER; SCHINDLER, 2016). As fontes primárias são sempre as mais confiáveis porque a informação não foi filtrada ou interpretada por uma segunda parte (COOPER; SCHINDLER, 2016). Já os dados secundários são interpretações de dados primários, ou seja, são os dados que foram analisados por outros pesquisadores e incluem quase todos os materiais de referência, como livros publicados, relatórios, periódicos e anais de conferências (REMENYI *et al.*, 1998; COOPER; SCHINDLER, 2016).

Yin (2003) afirma que as entrevistas podem ser realizadas de diversas formas pelo pesquisador. Cooper e Schindler (2016) entendem que as entrevistas variam de acordo com o número de pessoas envolvidas, o nível de estrutura, a proximidade do entrevistador com o participante e o número de entrevistas realizadas durante a pesquisa. Em relação ao número de pessoas envolvidas, uma entrevista pode ser realizada individualmente (entrevista individual em profundidade) ou em grupos (COOPER; SCHINDLER, 2016).

Para Easterby-Smith, Thorpe e Lowe (1995), o mais fundamental de todos os métodos qualitativos é o da **entrevista em profundidade**. Sendo assim, este foi o tipo de entrevista realizado neste trabalho, em suas diversas etapas. Uma entrevista individual em profundidade é uma interação entre o entrevistador e um único participante, que deve ser um indivíduo envolvido com o problema (COOPER; SCHINDLER, 2016). Sua importância reside no seu potencial de fornecer um relato rico das experiências, conhecimentos, ideias e impressões do entrevistado (ALVESSON, 2003), além disso, o entrevistado também pode sugerir outras pessoas para serem entrevistadas, bem como outras fontes de evidências (YIN, 2003), o que aconteceu em vários momentos durante as entrevistas realizadas nesta pesquisa. As entrevistas individuais em profundidade geralmente levam entre 20 minutos e 2 horas para serem concluídas, dependendo dos assuntos de interesse (COOPER; SCHINDLER, 2016).

De acordo com Cooper e Schindler (2016), os participantes de entrevistas individuais em profundidade são normalmente escolhidos não por suas opiniões serem representativas da opinião dominante, mas porque as suas experiências e atitudes refletem a questão em estudo. As entrevistas individuais em profundidade geralmente são gravadas (áudio e/ou vídeo) e transcritas para fornecer ao pesquisador a riqueza de detalhes para a qual o método é utilizado

(COOPER; SCHINDLER, 2016). Neste trabalho, sempre que houve a concordância do entrevistado, as entrevistas foram gravadas e posteriormente transcritas.

No que diz respeito ao nível de estrutura da entrevista, segundo Cooper e Schindler (2016), ela pode ser:

- Não estruturada: sem perguntas específicas ou ordem de tópicos a serem discutidos, com cada entrevista personalizada para cada participante;
- Semiestruturada: geralmente começa com algumas perguntas específicas e depois segue as tangentes de pensamento do indivíduo com perguntas aprofundadas do entrevistador;
- Estruturada: muitas vezes usa um roteiro de entrevista detalhado semelhante a um questionário para orientar a ordem das perguntas e a forma específica como as perguntas são feitas, mas as perguntas geralmente permanecem abertas.

Cooper e Schindler (2016) afirmam que em pesquisas quantitativas, é mais interessante que o entrevistador siga um procedimento prescrito de entrevistas estruturadas, enquanto a pesquisa qualitativa depende de entrevistas não estruturadas ou semiestruturadas, uma vez que o indivíduo que conduz a entrevista precisa de uma compreensão mais completa do dilema e de como as percepções serão usadas. Sendo assim, foram utilizadas **entrevistas não estruturadas** e **semiestruturadas** em diferentes etapas desta pesquisa. Na etapa de entrevistas com profissionais, foram utilizadas entrevistas semiestruturadas. Já nas etapas de entrevistas com especialistas e de estudos de caso, foram realizadas entrevistas não estruturadas.

As entrevistas semiestruturadas foram utilizadas na etapa da pesquisa que tinha um propósito e um foco geral, já que buscaram auxiliar na compreensão do problema de pesquisa sob uma perspectiva prática, mas continuaram sendo suficientemente flexíveis para explorar questões emergentes (TZORTZOPOULOS, 2004). Já nas etapas de entrevistas com especialistas, que buscaram refinar o modelo teórico desenvolvido, e nas etapas de estudos de caso, que buscaram a compreensão das estratégias de customização e de produção das empresas, apesar de haver um foco geral, a flexibilidade era mais importante para que a maior quantidade de informações possível fosse extraída dos entrevistados, sendo assim, foram realizadas entrevistas não estruturadas.

Cooper e Schindler (2016) alegam que no caso de entrevistas não estruturadas e semiestruturadas deve-se confiar no desenvolvimento de um diálogo entre entrevistador e entrevistado, sendo que são requeridas do entrevistador criatividade e habilidades para extrair do entrevistado maior volume e variedade de dados possível. Yin (2003) diz ainda que, em muitos casos, as entrevistas ocorrem inclusive de forma natural. Isto aconteceu diversas vezes

nesta pesquisa, quando da realização dos estudos de caso, uma vez que eles implicaram em visitas a empresas e entrevistas espontâneas ocorreram com alguns funcionários.

Yin (2003) relata que em estudos de caso, a natureza da entrevista é muito mais aberta e o entrevistado pode não cooperar necessariamente totalmente para seguir a linha de perguntas do pesquisador, sendo este outro fato que ocorreu com frequência durante a realização desta pesquisa. Para o autor, embora o pesquisador siga uma linha consistente de investigação, o fluxo real de perguntas em uma entrevista de estudo de caso provavelmente será fluido e não rígido (YIN, 2003). Para atenuar esta limitação das entrevistas em estudos de caso, o autor reforça a importância de múltiplas fontes de evidências para a coleta de dados, exatamente como feito neste trabalho, em que foram coletados dados não só de entrevistas com mais de um funcionário de cada empresa estudada, mas também documentais e de observações.

Nesta pesquisa também foram realizadas entrevistas com especialistas, que são aquelas entrevistas realizadas com indivíduos conhecedores do problema ou de suas possíveis soluções (COOPER; SCHINDLER, 2016). Muitas entrevistas são realizadas pessoalmente, com o óbvio benefício de poder observar e gravar comportamentos não verbais e verbais. Entretanto, uma entrevista pode ser realizada por telefone ou *online*. As entrevistas telefônicas e *online* oferecem a oportunidade de realizar mais entrevistas no mesmo período e atrair participantes de uma área geográfica mais ampla. Essas abordagens também economizam as despesas de viagem (de movimentar entrevistadores ou participantes) (COOPER; SCHINDLER, 2016). Neste trabalho foram realizadas entrevistas pessoalmente, por telefone e *online*, a depender da preferência e disponibilidade do entrevistado, uma vez que Yin (2003) alega que para entrevistar pessoas chave, o pesquisador deve atender à agenda e disponibilidade do entrevistado.

3.3.3 Observação

Há diferentes formas de realizar observações em estudos de caso: observação participante, observação direta e observação indireta. Na observação participante, o pesquisador não é apenas um observador passivo, uma vez que ele influencia no fenômeno estudado (YIN, 2003). Na observação direta, o pesquisador está fisicamente presente e monitora e registra pessoalmente o que acontece (COOPER; SCHINDLER, 2016). Já a observação indireta é menos flexível do que a direta, pois nela observa-se não o fenômeno em si, mas um registro dele feito por meios mecânicos, fotográficos ou eletrônicos (COOPER; SCHINDLER, 2016). Segundo Yin (2003), como um estudo de caso deve ocorrer no cenário real do fenômeno estudado, a forma mais

adequada de observação a ser utilizada é a direta. Sendo assim, neste trabalho foi utilizada esta forma de observação.

A observação direta é uma técnica tradicional para coleta de dados e serve como mais uma fonte de evidência num estudo de caso (YIN, 2003; COOPER; SCHINDLER, 2016). Para Cooper e Schindler (2016), a observação direta é flexível, uma vez que permite ao observador reagir e relatar aspectos sutis de eventos e comportamentos à medida que ocorrem. Além disso, o pesquisador é livre para mudar de lugar, mudar o foco da observação ou concentrar-se em eventos inesperados, caso ocorram. As observações diretas são feitas no ambiente em que o fenômeno estudado ocorre, ou seja, são realizadas durante uma visita de campo e podem ser combinadas com a coleta de outras evidências e dados, como entrevistas (YIN, 2003; COOPER; SCHINDLER, 2016).

Nesta pesquisa, as observações diretas aconteceram em todas as empresas que participaram dos estudos de caso, sendo que todas as observações foram combinadas com entrevistas e, quando possível, com coleta de documentos. Foram observadas as instalações da empresa, o chão de fábrica (incluindo *layout* da fábrica, atividades em execução, ferramentas utilizadas, etc.) e os projetos das edificações em produção, quando disponíveis. Os elementos observados estão elencados em detalhes na seção de coleta de dados.

Para Yin (2003), a evidência observacional é frequentemente útil para fornecer informações adicionais sobre o tópico que está sendo investigado e, no caso específico de estudos em empresas, as observações de uma unidade organizacional acrescentam novas dimensões para a compreensão do contexto ou do fenômeno que está sendo analisado. No caso desta pesquisa, as observações foram de fundamental importância para entender as atividades que eram desenvolvidas no chão de fábrica, para a identificação do *layout* da fábrica e para a compreensão da customização realizada nos projetos.

De acordo com Yin (2003), as observações podem ser tão valiosas que o pesquisador pode considerar tirar fotografias que ajudarão a transmitir características importantes do local de estudo. Nesta pesquisa, sempre que autorizado pelas empresas, foram realizados registros fotográficos do chão de fábrica, dos projetos, dos módulos e das atividades que estavam sendo realizadas neles.

3.3.4 Análise de documentos

Para Yin (2003), os documentos desempenham um papel importante em qualquer coleta de dados durante a realização de estudos de caso. O autor alerta, no entanto, que apesar de úteis,

os documentos nem sempre são precisos e podem ser tendenciosos, assim, devem ser analisados com cuidado e não podem ser aceitos como registros precisos. Yin (2003) afirma ainda que para entender a utilidade e a precisão de um documento, é importante identificar para quem ele foi formulado e com qual intuito. O autor diz, em contrapartida, que as principais vantagens da utilização de documentos como fontes de evidência consistem no fato de eles serem fontes estáveis, que podem ser revistas repetidamente.

De acordo com Yin (2003), em estudos de caso, a principal função dos documentos é corroborar com outras fontes ou aumentar as evidências a respeito delas. Os documentos também podem servir para fazer inferências, de forma que o pesquisador encontre novas perguntas ou pistas de informações, que devem ser confirmadas com outras fontes de evidência (YIN, 2003). Neste trabalho, os documentos foram utilizados com estas duas funções principais: de corroborar com outras fontes de evidências e de fazer inferências que foram confirmadas por meio de entrevistas ou observações. Os documentos utilizados neste trabalho foram aqueles disponibilizados por algumas das empresas que participaram dos estudos de caso e estão descritos de forma detalhada na seção de coleta de dados.

3.3.5 Análise de conteúdo

Para a análise dos dados coletados, uma técnica utilizada nesta pesquisa foi a análise de conteúdo. De acordo com Bardin (2011), a análise de conteúdo pode ser definida como um conjunto de técnicas de análise de comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, permitindo a inferência de conhecimentos relativos às variáveis presentes nessas mensagens. A análise de conteúdo pode ser utilizada para examinar dados escritos, em formato de áudio ou vídeo, observações, dados secundários, entre outros (COOPER; SCHINDLER, 2016). Neste trabalho, a técnica de análise de conteúdo foi utilizada para analisar as transcrições das entrevistas semiestruturadas com profissionais e as transcrições das entrevistas não estruturadas com especialistas.

A análise de conteúdo pode ser aplicada tanto em pesquisas quantitativas como qualitativas, mas com enfoques diferentes, sendo que, no primeiro caso, observa-se a frequência com que certas características surgem nas mensagens, enquanto no segundo caso, o conteúdo da mensagem é que deve ser considerado (BARDIN, 2011), como aconteceu neste trabalho. Segundo Weber (1985) e Cooper e Schindler (2016), a análise de conteúdo segue um processo sistemático para examinar qualquer mensagem de comunicação escrita, verbal ou visual. Este processo possibilita a codificação e a elaboração de inferências.

Apesar de realizada de forma sistemática, a análise de conteúdo é flexível e amplamente aplicável para examinar o conteúdo semântico de uma comunicação por meio de contagens de palavras, categorizações, associações, interpretações, etc. (COOPER; SCHINDLER, 2016). Laville e Dionne (1999) afirmam que a análise de conteúdo é, na verdade, um processo acumulativo que se inicia com a coleta dos dados e materiais e sua primeira organização, pois esta coleta, guiada pelos objetivos da pesquisa, não é uma aglomeração cega ou mecânica de informações. À medida que as informações são coletadas, o pesquisador começa a elaborar sua percepção sobre o fenômeno, inclusive por vias nem sempre claramente balizadas.

Abbott e Monsen (1979) alegam que a análise de conteúdo consiste em codificar a informação qualitativa apresentada em formas anedóticas e literárias em categorias. A análise categorial funciona por operações de desmembramento do texto em unidades, e reagrupamento por temas, de forma que, para classificar os elementos em categorias é preciso identificar o que eles têm em comum (BARDIN, 2011). De acordo com Laville e Dionne (1999), um bom conjunto de categorias deve ser pertinente e exaustivo, sendo que as categorias não devem ser demasiadas, mas precisas e mutuamente exclusivas.

Para King (1998), os códigos devem representar os temas identificados nos dados, sendo que alguns deles podem ser definidas a priori, mas sofrer modificações e acréscimos à medida que os dados são interpretados. Para Flick (2009), as categorias são trazidas para o material empírico e não necessariamente desenvolvidas a partir deste, embora sejam, repetidas vezes, avaliadas em contraste a esse material e, se necessário, modificadas. Neste trabalho, quando a análise de conteúdo foi utilizada, categorias ou códigos foram definidos a priori, advindos das elaborações iniciais das percepções sobre os fenômenos, que aconteceram durante a coleta de dados, como indicado por Laville e Dionne (1999).

De acordo com Cooper e Schindler (2016), cada vez mais a análise de conteúdo é feita com o auxílio de *software*. Yin (2003) afirma que os *softwares* auxiliam na codificação e categorização de grandes quantidades de dados. No presente trabalho, o *software* NVivo 14 foi utilizado para auxiliar na realização da análise de conteúdo dos dados provenientes das entrevistas com profissionais (primeira fase da pesquisa). Algumas das vantagens da utilização de *softwares* de apoio à análise de conteúdo foram descritas por Robson (2002), que afirma que eles permitem o armazenamento de todo o material em um único local, possibilitando que o pesquisador manipule muitos documentos com facilidade. Os *softwares* ajudam a estabelecer regras de codificação e permitem que diferentes tipos de buscas sejam feitos automaticamente conforme as regras são estabelecidas (TZORTZOPOULOS, 2004).

3.3.6 Triangulação de dados

Triangulação de dados é o termo usado para descrever a combinação de várias fontes de evidências para o estudo do mesmo fenômeno (YIN, 2003; JACK; RATURI, 2006; COOPER; SCHINDLER, 2016). Segundo Yin (2003), uma das vantagens da coleta de dados em estudos de caso é a oportunidade de utilizar múltiplas fontes de evidências, o que permite a abordagem de uma gama mais ampla de questões. Entretanto, o maior benefício da utilização de múltiplas fontes de evidência é a possibilidade de desenvolvimento de linhas convergentes de investigação, ou seja, de realização de um processo de triangulação e corroboração (YIN, 2003).

A triangulação busca obter a confirmação dos resultados por meio da convergência de diferentes perspectivas, partindo do pressuposto de que a realidade é representada pelo ponto em que as perspectivas convergem (JACK; RATURI, 2006). Neste trabalho, utilizou-se a triangulação na etapa da pesquisa referente aos estudos de caso, sendo que foram coletados dados de observações diretas e de entrevistas com funcionários das empresas, corroborados, sempre que possível, pelos documentos fornecidos pelas empresas. Também houve uma comparação entre estes dados e aqueles vindos da síntese de literatura.

O uso de múltiplas fontes de evidência implica na utilização de diferentes técnicas de coleta de dados e a implementação destas diferentes técnicas é feita sob a suposição de que os pontos fracos inerentes a uma delas serão contrabalanceados pelos pontos fortes de outra (JACK; RATURI, 2006). Qualquer técnica de pesquisa terá falhas inerentes e limitará as conclusões que podem ser tiradas. Deste modo, é importante obter provas corroborativas por meio do uso de uma variedade de técnicas (JACK; RATURI, 2006). Assim, qualquer descoberta ou conclusão proveniente de um estudo de caso provavelmente será mais convincente e precisa se for baseada em diversas fontes de informações que a corroboram (YIN, 2003). Sendo assim, para garantir a confiabilidade desta pesquisa, foram utilizadas quatro técnicas diferentes para a coleta de dados, a saber: síntese de literatura, entrevistas (semiestruturadas e não estruturadas), observação e análise de documentos.

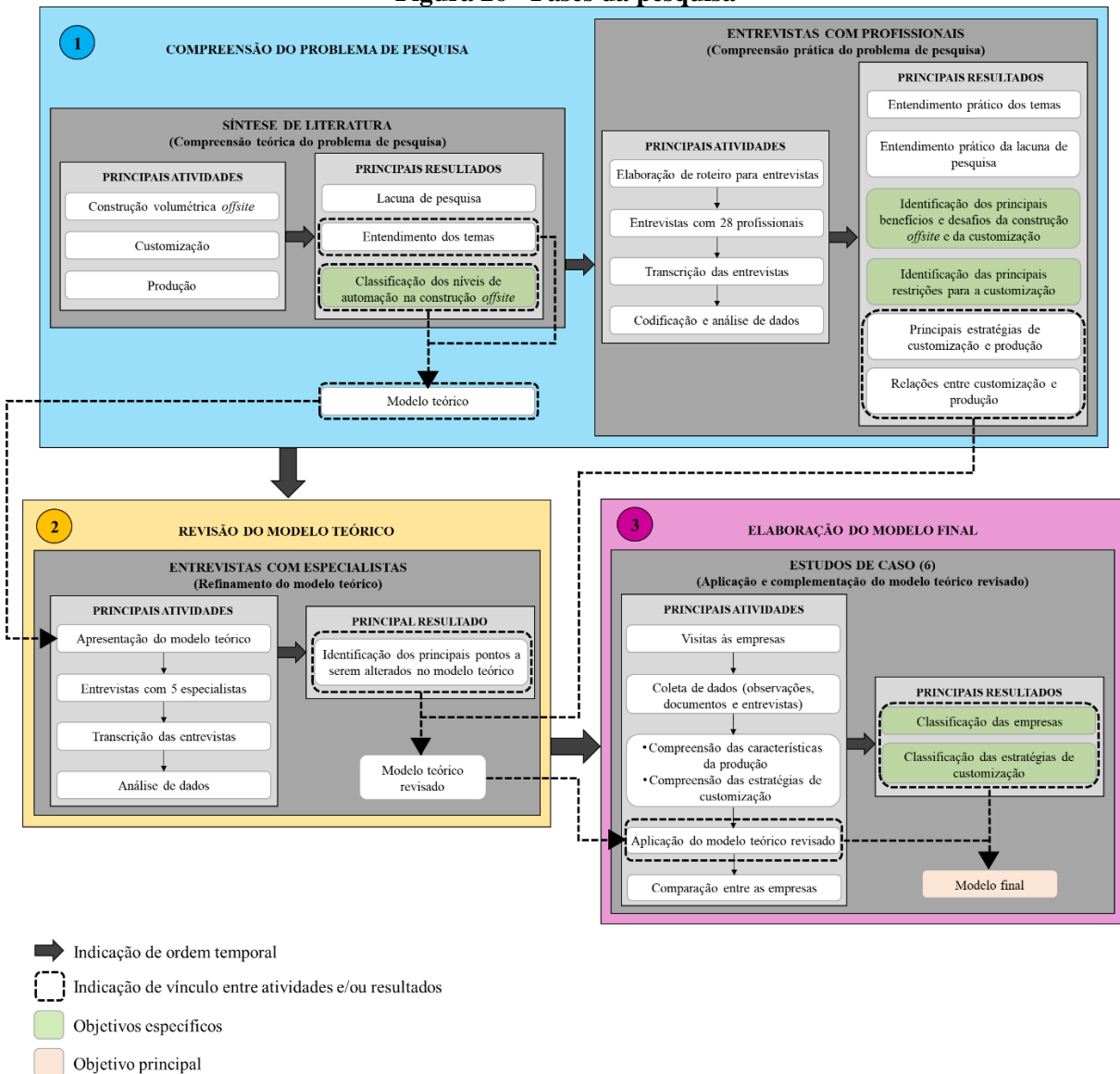
Yin (2003) destaca que a triangulação só pode acontecer se a coleta de dados for feita por meio de múltiplas fontes e com o objetivo de corroborar o mesmo fato ou fenômeno. Desta forma, quando há o uso de múltiplas fontes, mas cada uma delas diz respeito a um fato distinto e é analisada separadamente, não foi realizada uma triangulação de dados, mas uma comparação de conclusões das diferentes análises (YIN, 2003). Como as múltiplas fontes de evidência fornecem essencialmente informações sobre o mesmo fenômeno, com a triangulação de dados os potenciais problemas de validade podem ser reduzidos (YIN, 2003). Assim, a triangulação

deverá melhorar a capacidade dos pesquisadores em tirar conclusões dos seus estudos e poderá ocasionar em um conjunto de resultados mais robusto e generalizável (JACK; RATURI, 2006).

3.4 FASES DA PESQUISA

Esta pesquisa foi dividida em três fases, sendo que cada fase apresenta uma ou mais etapas para sua realização, como pode ser visto na Figura 26, a seguir. Nesta figura também são exibidas as principais atividades que foram realizadas em cada uma das etapas da pesquisa, assim como os principais resultados obtidos. A Figura 26 será explicada nos itens a seguir, que estão divididos de acordo com as fases da pesquisa.

Figura 26 - Fases da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4.1 Fase 1: Compreensão do problema de pesquisa

A primeira fase diz respeito à compreensão do problema de pesquisa tanto de uma perspectiva teórica quanto de uma perspectiva prática. Para que isto fosse possível, duas etapas foram realizadas: a de síntese de literatura e a de entrevistas com profissionais. Com a síntese de literatura buscou-se a compreensão teórica do problema de pesquisa. Esta etapa englobou como principal atividade o estudo dos três grandes temas da pesquisa, ou seja, da construção volumétrica *offsite*, da customização e da produção. Isto teve como principais resultados: o entendimento teórico aprofundado dos temas da pesquisa; a definição da lacuna de pesquisa e a classificação dos níveis de automação na construção volumétrica *offsite*. Este foi um passo fundamental para estreitar o escopo e os objetivos do estudo e para o desenvolvimento do roteiro a ser utilizado nas entrevistas. A partir da síntese de literatura, considerando o entendimento teórico aprofundado dos temas da pesquisa e a classificação dos níveis de automação na construção volumétrica *offsite*, foi possível elaborar um modelo teórico que relaciona as estratégias de customização às características da produção na construção volumétrica *offsite*.

A etapa de entrevistas com profissionais visou auxiliar na compreensão do problema de pesquisa sob uma perspectiva prática. Para a realização desta etapa, foi elaborado um roteiro que embasou as entrevistas semiestruturadas com 28 profissionais que trabalham em organizações inglesas que têm diferentes funções na cadeia de valor da construção volumétrica *offsite*. Estas entrevistas foram transcritas, codificadas e analisadas de forma a permitir: o entendimento prático dos temas estudados; o entendimento prático da lacuna de pesquisa; a identificação de quais são, na prática, os principais benefícios e desafios da construção *offsite* inglesa e da customização na construção *offsite* inglesa; a identificação das principais restrições para a customização na construção volumétrica *offsite* inglesa; a identificação das principais estratégias de customização e de produção utilizadas pelas empresas de construção volumétrica *offsite*; e a compreensão das relações entre as estratégias de customização e as características da produção em empresas de construção volumétrica *offsite*. Esta etapa auxiliou na definição de quais empresas deveriam participar dos estudos de caso e na identificação de aspectos relativos à customização e à produção das empresas de construção volumétrica *offsite*. A identificação destes aspectos auxiliou na revisão do modelo teórico.

3.4.2 Fase 2: Revisão do modelo teórico

A segunda fase da pesquisa corresponde à revisão do modelo teórico. Para a realização desta fase, foram feitas entrevistas com cinco especialistas com vistas ao refinamento do modelo teórico elaborado na fase anterior. A etapa de síntese de literatura, explicada anteriormente, culminou com a elaboração do modelo teórico que relaciona as estratégias de customização às características da produção na construção volumétrica *offsite*. Por ser teórico, no entanto, o modelo precisava ser analisado por especialistas. Durante as entrevistas, inicialmente foi feita uma apresentação do modelo teórico elaborado, depois solicitou-se que os especialistas avaliassem e criticassem tal modelo. As entrevistas foram então transcritas e analisadas, de forma que fosse possível identificar os principais pontos a serem alterados no modelo teórico. A partir destes pontos, da identificação das principais estratégias de customização e de produção utilizadas pelas empresas de construção volumétrica *offsite*, realizada na fase anterior da pesquisa, na etapa de entrevistas com profissionais, e da compreensão das relações entre as estratégias de customização e as características da produção em empresas de construção volumétrica *offsite*, também realizada na etapa de entrevistas com profissionais, foi feita uma revisão no modelo teórico, dando origem a um novo modelo, o modelo teórico revisado.

3.4.3 Fase 3: Elaboração do modelo final

A terceira fase diz respeito à elaboração do modelo final. Para que isto fosse possível, foram realizados seis estudos de caso (apresentados com mais detalhes no item 3.5.3), visando a aplicação e a complementação do modelo teórico revisado. Os estudos de caso permitiram ter uma visão geral das empresas, além da identificação das suas características de produção e das estratégias que elas utilizam para oferecer customização aos clientes. Das seis empresas de construção volumétrica *offsite* estudadas, três permitiram maior abertura para a realização da pesquisa, de forma que foi possível coletar informações mais aprofundadas tanto sobre as características da produção, em diferentes áreas do chão de fábrica, quanto sobre as estratégias de customização utilizadas, possível por meio da análise dos projetos executados pelas empresas.

Durante a realização dos estudos de caso, foram feitas visitas às empresas para a coleta de dados que incluíram observações, entrevistas com funcionários e coleta de documentos, quando possível. Isto permitiu a identificação e a compreensão das características da produção das

empresas e das estratégias de customização utilizadas por elas. A partir desta identificação e compreensão, foi possível aplicar o modelo teórico revisado (elaborado na segunda fase da pesquisa) e, por meio dele e das informações coletadas nas empresas, compará-las, a fim de identificar semelhanças e diferenças entre elas. Tendo como base a comparação entre as empresas, foi possível propor uma classificação para as empresas de construção volumétrica *offsite* e propor uma classificação para as diferentes estratégias de customização utilizadas pelas empresas de construção volumétrica *offsite*. A aplicação do modelo teórico revisado somada a estas classificações permitiu a complementação do modelo teórico revisado, dando origem ao modelo final.

Os critérios para seleção de profissionais e especialistas entrevistados e para a seleção das empresas que participaram dos estudos de caso, assim como as estratégias de coleta e análise de dados para cada uma das fases e etapas da pesquisa serão explicados em detalhes nos próximos itens do trabalho.

3.5 SELEÇÃO DE PARTICIPANTES

Neste item do trabalho buscou-se explicar detalhadamente como foram selecionados os profissionais e especialistas que participaram as entrevistas nas diferentes fases e etapas da pesquisa. Há também uma explicação detalhada de como as empresas que participaram dos estudos de caso foram selecionadas.

3.5.1 Profissionais entrevistados – Fase 1

Como dito anteriormente, a etapa de entrevistas com profissionais realizada na primeira fase da pesquisa visou auxiliar na compreensão do problema de pesquisa sob uma perspectiva prática. Como o foco da pesquisa é em construção volumétrica *offsite*, para a identificação de profissionais da área, primeiramente precisaram ser identificadas as empresas inglesas que tivessem relação com a construção volumétrica *offsite*.

Foram identificadas, via pesquisa *online* na plataforma de buscas Google, empresas inglesas que fizessem construção volumétrica *offsite*. Das 221 empresas encontradas, buscou-se por aquelas que tivessem mais informações em seus *websites*, como contato e localização e por aquelas cuja localização fosse acessível por meio de transporte público, uma vez que, em caso de entrevistas realizadas pessoalmente, a pesquisadora precisaria conseguir acessar as empresas. Ao todo foram selecionadas 48 empresas, com as quais fez-se contato via e-mail ou

por meio do próprio *website* da empresa, explicando a pesquisa e perguntando se seria possível a realização uma visita e de entrevistas com pessoas que ocupassem cargos de gerência.

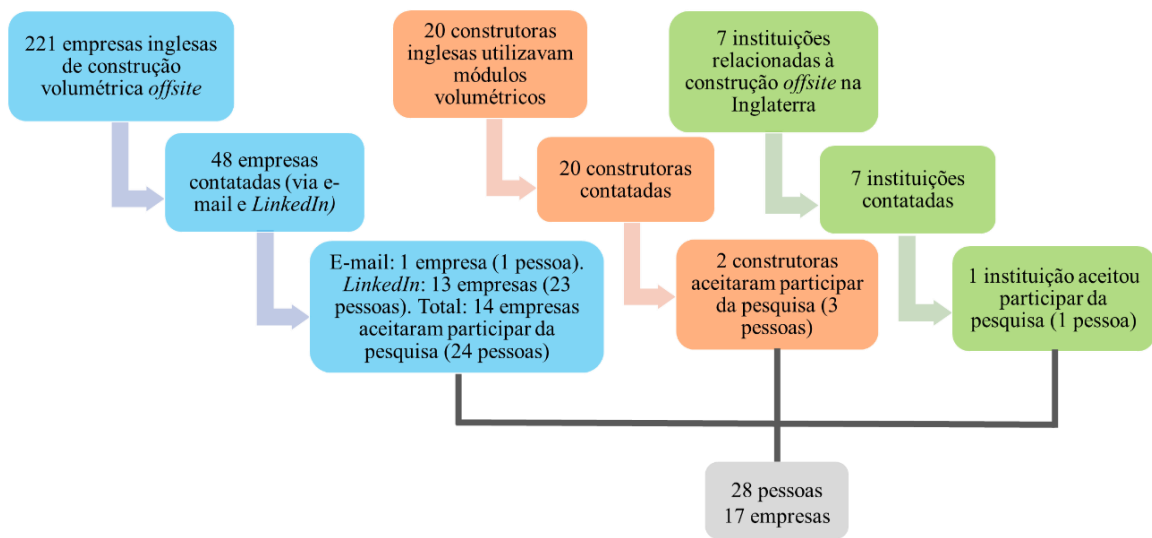
Para ter uma visão mais ampla sobre a construção volumétrica *offsite* na Inglaterra, foi feita também uma busca por construtoras inglesas que potencialmente utilizassem módulos volumétricos em suas obras e por instituições relacionadas à construção *offsite* na Inglaterra. Ao todo, utilizando a plataforma de buscas Google, foram identificadas 20 construtoras e 7 instituições relacionadas à construção *offsite*. Todas as construtoras e instituições identificadas foram contatadas via e-mail ou *website*, sendo que foi enviado um texto explicando a pesquisa e perguntando se seria possível a realização de entrevistas com pessoas que ocupassem cargos de gerência.

Do contato com as 75 organizações identificadas (englobando empresas de construção volumétrica *offsite*, construtoras e instituições), foram recebidas 17 respostas negativas e 4 respostas positivas sobre a possibilidade de visitas e/ou entrevistas. Apesar da insistência e das 3 tentativas de contato, 54 organizações não deram qualquer retorno. Desta forma, foram entrevistadas pessoas em cargos de gerência de 2 construtoras, de 1 empresa de construção volumétrica *offsite* e de 1 instituição relacionada à construção *offsite*. Uma das pessoas entrevistadas em uma das construtoras mediou o contato com um colega de trabalho, de forma que foram realizadas 5 entrevistas, sendo 2 com gerentes de áreas diferentes da mesma construtora.

Frente à dificuldade em conseguir entrevistas e/ou visitas a empresas, se fez necessária a utilização de uma nova estratégia para o contato com as empresas, que passou a ser feito via *LinkedIn*. O *LinkedIn* é uma plataforma de mídia social focada em negócios e empregos lançada em maio de 2003, sendo atualmente propriedade da *Microsoft*. Primeiramente criou-se um perfil em inglês com informações sobre a pesquisadora e a pesquisa. Então, foi feita uma busca no *LinkedIn* pelas 48 empresas de construção volumétrica *offsite* identificadas anteriormente e, por meio da página de cada empresa, foram encontrados funcionários em cargos de gerência que atuassem nas áreas de projeto, engenharia ou produção, uma vez que estas seriam as áreas de principal relevância para a pesquisa. Considerando diversos funcionários de cada uma das 48 empresas, um total de 155 pessoas foram contatadas por meio de uma mensagem que trazia uma breve explicação sobre a pesquisa e o convite para a entrevista. Das 155 pessoas contatadas, 15 delas, que trabalhavam em 13 empresas diferentes, aceitaram participar da entrevista. Em algumas situações, o primeiro entrevistado mediou o contato com outros membros da empresa, sendo que, ao todo, foram feitas 23 entrevistas, que foram transcritas e tiveram seu conteúdo analisado e agrupado por similaridade.

Desta forma, considerando os contatos via e-mail e via *LinkedIn*, um total de 28 profissionais aceitaram participar das entrevistas. Eles trabalham em 17 organizações inglesas que têm diferentes posições e funções na cadeia de valor da construção *offsite*. Todas as pessoas entrevistadas serão tratadas, para fins de simplificação, como profissionais ou entrevistados. Na Figura 27, a seguir, é apresentado um diagrama com o resumo do número total das buscas iniciais, do número de empresas contatadas e do número de empresas/pessoas que aceitaram participar da pesquisa.

Figura 27 - Profissionais que aceitaram participar da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 8, a seguir, é apresentada a lista de profissionais entrevistados (identificados por números cardinais), o cargo que ocupam, o tempo de trabalho na empresa e a função que desempenham. No Quadro 9, são trazidas informações sobre as empresas nas quais eles trabalham, incluindo número de funcionários das empresas, a idade da empresa e sua área de atuação (de acordo com a descrição dos *websites* das empresas). Para garantir confidencialidade, os nomes dos entrevistados e das empresas foram omitidos.

Quadro 8 - Profissionais entrevistados

(continua)

Identificação entrevistados	Cargo	Tempo de empresa	Função
1	Diretor geral regional	8 anos e 5 meses	Desenvolve e implementa planos estratégicos e políticas da empresa, supervisiona as operações diárias, enquanto desenvolve maneiras de ajudar a organização a crescer.
2	Gerente regional de projeto	15 anos e 5 meses	Coordena o trabalho de projeto necessário antes e durante a construção, ajudando a garantir a coordenação entre projetos e equipes e a entrega no prazo e orçamento.
3	Consultor em Métodos Modernos de Construção	5 anos	Trabalha para o governo inglês auxiliando nos estudos e na implementação dos MMC.
4	Gerente de projetos	3 anos e 7 meses	Faz a coordenação dos projetos antes e durante a construção, facilitando a compatibilização entre eles e garantindo que sejam entregues no prazo e dentro do custo esperado.
5	Diretor geral	2 anos	Ajuda a garantir o crescimento de uma empresa que fabrica habitações modulares no nordeste da Inglaterra.
6	Líder de sustentabilidade de projeto e engenharia	5 anos e 9 meses	Ajuda a organização a equilibrar seu impacto ambiental e seus objetivos de negócios, supervisionando a implementação de estratégias de sustentabilidade durante um projeto.
7	Arquiteto e urbanista sênior	2 anos	Garante que os projetos feitos para os sistemas tradicionais de construção, trazidos pelos clientes, sejam adequadamente adaptados para a produção <i>offsite</i> .
8	Gerente de desenvolvimento de negócios	2 anos e 7 meses	Fornecer consultoria interna e suporte aos tomadores de decisão da empresa, além de fomentar o engajamento de profissionais externos que desejam trabalhar com a empresa.
9	Cofundador e diretor geral	9 anos	Busca garantir que a empresa se mantenha atualizada, lucrativa e em crescimento. Se preocupa em oferecer uma solução completa em habitação, pronta para uso.
10	Gerente técnico	12 anos	Supervisiona o desenvolvimento, implementação e manutenção de sistemas e processos técnicos e tecnológicos da empresa.
11	Gerente de projeto de pré-construção	5 anos	Cria, lidera e desenvolve equipes para entregar o que é solicitado, além de aconselhar sobre questões críticas de negócios, para melhorar os resultados e retornos financeiros.
12	Gerente de operações	2 anos	Atua de forma a garantir a qualidade da produção, criando estratégias de melhorias de processos, produtividade e eficiência.
13	Diretor de operações	5 anos	Trabalha com os chefes de departamento para que todas as operações da empresa funcionem sem problemas e de acordo com as diretrizes.
14	Chefe de projeto	2 anos	Desenvolve e gerencia todos os aspectos do projeto e produção criativa. Garante que o projeto e as entregas estejam alinhados às expectativas das partes interessadas e executados dentro do orçamento e do prazo determinados.
15	Diretor executivo de operações	3 anos 9 meses	Responsabilidade executiva pela produção, qualidade de produtos e sistemas, manutenção, engenharia de fabricação, cadeia de suprimentos, design de produtos, logística e saúde e segurança.

Quadro 8 - Profissionais entrevistados

(conclusão)

Identificação entrevistados	Cargo	Tempo de empresa	Função
16	Diretor de operações	9 anos e 8 meses	Supervisiona as funções de fabricação, auxilia a alta administração no estabelecimento de metas que promovam o crescimento da empresa, trabalha em estreita colaboração com outros departamentos para promover a otimização eficiente da fábrica
17	Gerente de projetos	1 ano e 4 meses	Faz a coordenação dos projetos, considerando as necessidades do cliente e da produção na fábrica, garantindo que sejam entregues no prazo e dentro do custo esperado.
18	Chefe de operações	1 ano	Supervisiona a atividade diária da equipe, prepara orçamentos, cronogramas e outros relatórios organizacionais, gerencia as cargas de trabalho da equipe para cumprir metas e prazos, desenvolve planos para aumentar a eficiência e reduzir custos.
19	Diretor de operações	1 ano e 4 meses	Traz manufatura avançada e continuidade digital para a indústria para entregar casas bonitas, sustentáveis e de alta qualidade. Lidera equipes de projeto, cadeia de suprimentos, manufatura e digital para ampliar a plataforma de produção.
20	Mentor de manufatura e consultor de cadeia de suprimentos	2 anos e 2 meses	Contribui para as melhores práticas na indústria, supervisionando o desenvolvimento e a fabricação <i>offsite</i> .
21	Diretor de TI	1 ano e 3 meses	Responsável por todo o desenvolvimento da empresa no que diz respeito à digitalização e transferência de dados e informação.
22	Chefe de projeto	4 anos e 8 meses	Responsável pelo desenvolvimento de projetos de habitações e pelo processo de projeto para customização em massa e para fabricação e montagem.
23	Gerente de TI	1 ano e 6 meses	Responsável pelo desenvolvimento de <i>software</i> para controle de produção e comunicação entre as partes da empresa.
24	Fundador da empresa	43 anos	Fundou a empresa e possui conhecimento em todas as áreas, sendo responsável pela estabilidade e expansão do negócio. Responsável pelo processo de projeto.
25	Chefe de projeto	29 anos	Projeto os produtos oferecidos pela empresa, integrando-os às necessidades da área de produção e abastecimento.
26	Chefe de produção	15 anos	Responsável pela gestão da produção, considerando estratégias para melhorar eficiência e produtividade.
27	Gestor de projeto	2 anos	Responsável por gerenciar os módulos depois que eles saem da fábrica, o que inclui logística de transporte, içamento no local e instalação final.
28	Chefe de produção	3 anos	Responsável pelo gerenciamento da produção, incluindo produtividade e balanceamento da linha de montagem, contratação e treinamento de pessoal para o chão de fábrica.

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 9 - Empresas nas quais os profissionais entrevistados atuam

Identificação empresas	Identificação entrevistados	Nº de funcionários	Idade da empresa	Área de atuação
Empresa A	13, 14 e 17	51-200	15 anos	Construtora com uma fábrica <i>offsite</i> de módulos.
Empresa B	23, 27	1 - 100	6 anos	Fabricação <i>offsite</i> de habitações modulares.
Empresa C	15, 21, 22, 28	501-1.000	5 anos	Empresa <i>offsite</i> de construção modular de habitações.
Empresa D	18, 24, 25, 26	11-50	43 anos	Manufatura de construção modular.
Empresa E	6	1.001-5.000	61 anos	Empresa de construção volumétrica <i>offsite</i> , que opera em dez países europeus.
Empresa F	19	501-1.000	5 anos	Manufatura <i>offsite</i> de construção modular de habitações.
Empresa G	1 e 2	1.001-5.000	104 anos	Empresa construtora, especializada em engenharia civil, construção e gestão de instalações. Não é uma manufatura <i>offsite</i> , mas utiliza elementos pré-fabricados em suas obras.
Empresa H	3	501-1.000	5 anos	Agência de habitação e regeneração do governo.
Empresa I	4	1.001-5.000	125 anos	Construtora que faz novos projetos de construção, reforma e adequação em uma variedade de setores. Não é uma manufatura <i>offsite</i> , mas utiliza elementos pré-fabricados em suas obras.
Empresa J	5 e 12	0-50	8 anos	Manufatura de casas modulares.
Empresa K	7	0-50	6 anos	Empresa de construção <i>offsite</i> .
Empresa L	8	51-200	17 anos	Empresa de construção <i>offsite</i> .
Empresa M	9	0-50	9 anos	Empresa de construção <i>offsite</i> .
Empresa N	10	0-50	31 anos	Empresa de construção modular <i>offsite</i> .
Empresa O	11	0-50	14 anos	Empresa de construção <i>offsite</i> .
Empresa P	16	11-50	13 anos	Empresa <i>offsite</i> de construção modular de habitações.
Empresa Q	20	1-10	2 anos	Empresa de consultoria em Métodos Modernos de Construção.

Fonte: elaborado pela autora.

3.5.2 Especialistas entrevistados – Fase 2

Para o refinamento do modelo teórico elaborado a partir da síntese da literatura, foram selecionados professores ou profissionais, que aqui são denominados como especialistas. Foram selecionados professores que tivessem: i) conhecimento sobre construção volumétrica *offsite*; ii) conhecimento sobre as características da produção; iii) conhecimento sobre estratégias de customização; e vi) disponibilidade para a participação na pesquisa. Os profissionais, para serem selecionados, deviam: i) trabalhar ou ter trabalhado em um cargo de gerência nas áreas de projeto, engenharia, produção ou operações de uma empresa de construção volumétrica *offsite*; ii) já ter sido entrevistados na fase anterior da pesquisa, de modo que tivessem um conhecimento prévio sobre ela; e iii) ter disponibilidade para participação na

pesquisa. Foram realizadas entrevistas com 5 especialistas, sendo que o contato inicial com eles foi feito via e-mail. Os especialistas que aceitaram participar da pesquisa foram entrevistados por meio de vídeo chamada.

O Especialista A é engenheiro civil, formado há mais de 40 anos, com mestrado, doutorado e pós-doutorado na área. Ele é atualmente professor titular em uma universidade federal brasileira e coordena um grupo de pesquisa na área de gestão e economia da construção. Atua na área de gerenciamento na construção civil, principalmente nos seguintes temas: projeto e gestão de sistemas de produção, produção enxuta (*lean production*), gestão da segurança do trabalho, aprendizagem organizacional, medição de desempenho de empresas e empreendimentos de construção, habitação de interesse social, gestão do processo de desenvolvimento do produto e construção *offsite*. O especialista foi selecionado para participar da pesquisa devido à sua ampla experiência e reconhecimentos nacionais e internacionais na área de gestão de sistemas de produção, processo de desenvolvimento do produto e construção *offsite*.

O Especialista B (profissional 15 entrevistado na etapa anterior) é formado em engenharia de produção e tem especialização em administração. Ele atuou por 4 anos de 6 meses como diretor de operações em uma das maiores empresas inglesas de construção volumétrica *offsite* no setor habitacional, tendo posteriormente mudado de emprego para atuar também como diretor de operações em outra grande empresa inglesa de construção volumétrica *offsite* no setor habitacional. Quando foi entrevistado, o especialista B tinha um mês de atuação no novo cargo. Ele foi selecionado devido ao seu amplo conhecimento prático na área de operações (produção) de empresas de construção volumétrica *offsite*.

O Especialista C é arquiteto, com mestrado e doutorado na área, sendo atualmente professor associado em uma universidade australiana. Ele é o coordenador fundador de uma rede de pesquisa e transferência de conhecimento em temas relativos à customização em massa e à sustentabilidade no setor residencial, sendo estas suas principais áreas de pesquisa. O especialista C foi selecionado para participar da pesquisa devido à sua ampla experiência e reconhecimento mundial nas áreas de construção *offsite* e customização em massa.

O Especialista D é engenheiro de produção formado há 12 anos, com mestrado e dois doutorados na área, um tendo sido realizado no Brasil e o outro na Espanha. Ele é atualmente professor em uma universidade federal brasileira. O especialista D foi selecionado para participar desta pesquisa devido à sua atuação como professor e pesquisador nas áreas de sistemas de produção e de gestão organizacional.

O Especialista E é professor associado no departamento de engenharia de produção de uma universidade federal brasileira. Ele possui mestrado e doutorado em engenharia de produção. Seus interesses gerais de ensino, pesquisa e extensão estão voltados para as áreas de gestão de operações, logística e gestão da cadeia de suprimentos. Atualmente desenvolve pesquisas em tecnologias emergentes, como manufatura aditiva, internet das coisas, veículos autônomos, realidade aumentada e indústria 4.0.

3.5.3 Estudos de caso – Fase 3

Nesta pesquisa, foram utilizados estudos de casos múltiplos em que cada organização representa uma unidade de análise (caso). Na literatura não há consenso sobre qual seria o número ideal de casos a serem estudados quando se adota o método de estudo de casos múltiplos. Eisenhardt (1989) recomenda o estudo de quatro a dez casos, enquanto Yin (2003) afirma que o número de casos estudados deve refletir o número de replicações literais ou teóricas que o pesquisador gostaria de ter no estudo. A replicação literal diz respeito à escolha de casos que preveem resultados semelhantes, enquanto a replicação teórica refere-se à escolha de casos que procuram obter resultados contrastantes por razões previsíveis (YIN, 2003). Portanto, a decisão sobre o número de estudos é intuitiva e depende de quais novas informações podem resultar do estudo de outros casos (DYER JR; WILKINS, 1991).

Para seleção dos casos, o primeiro critério foi o fato de a empresa realizar construção volumétrica *offsite* e o segundo critério foi a possibilidade de acesso. Durante as entrevistas com funcionários de empresas de construção volumétrica *offsite*, realizadas na primeira fase da pesquisa, discutiu-se a possibilidade de uma visita às empresas. Com isto, seis visitas foram organizadas. Sendo assim, para a realização dos estudos de caso, seis empresas de construção volumétrica *offsite* foram analisadas. Das seis empresas de construção volumétrica *offsite* estudadas, três (Empresas B, C e D) permitiram maior abertura para a realização da pesquisa, de forma que foi possível coletar informações mais aprofundadas tanto sobre as características da produção, em diferentes áreas do chão de fábrica, quanto sobre as estratégias de customização utilizadas, possível por meio da análise dos projetos executados pelas empresas.

As empresas estudadas atuam em diferentes setores da construção volumétrica *offsite* e apresentam tamanhos variados, o que garante a replicação teórica dos estudos de caso, uma vez que eles abrangem diferentes condições teóricas (YIN, 2003). De acordo com Flyvbjerg (2006), esta abrangência dos estudos de caso aumenta a possibilidade de generalização dos resultados encontrados.

No Quadro 10, é apresentado um resumo das empresas estudadas, com sua identificação, seu setor de atuação, ano de fundação e número de funcionários. Deve-se ressaltar que as empresas são as mesmas mencionadas anteriormente, na Fase 1 do trabalho.

Quadro 10 - Empresas analisadas nos estudos de caso

Identificação	Setores de atuação	Fundação	Nº de funcionários
Empresa A	Educacional, residencial e comercial	2007	51-200
Empresa B	Residencial	2016	51-200
Empresa C	Residencial	2017	501-1.000
Empresa D	Saúde, construção, industrial, comercial e educacional	1979	11-50
Empresa E	Saúde, construção, industrial, comercial e educacional	1961	1.001-5.000
Empresa F	Residencial	2016	501-1.000

Fonte: Elaborado pela autora.

3.6 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Neste item são feitas breves explicações sobre o que são e como devem ser feitas a coleta e a análise dos dados para a pesquisa. Em seguida, são apresentados os dados que foram coletados em cada etapa da pesquisa, organizados de acordo com a fase do trabalho, e a forma como foram analisados.

3.6.1 Coleta de dados

De acordo com Yin (2003), os estudos de casos podem utilizar fontes distintas para a coleta de dados, dentre as quais se pode citar documentos, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos. Eisenhardt (1989) e Yin (2003) recomendam a utilização de diversas fontes de dados para aumentar a confiabilidade da pesquisa. Sendo assim, neste trabalho, ao longo de suas diversas fases e etapas, foram utilizadas várias fontes de evidências que combinaram dados primários e secundários. As fontes de evidências usadas serão descritas e detalhadas na sequência. O uso de múltiplas fontes permite a triangulação dos dados, aumentando a confiabilidade do estudo (LINCOLN; GUBA, 1990).

Um dos aspectos críticos do trabalho é a confidencialidade dos dados, para que não sejam divulgadas informações que venham a ferir os interesses dos participantes da pesquisa. Sendo assim, os nomes dos entrevistados e das empresas estudadas foram modificados de forma impedir a identificação. Além disso, houve o compromisso de que as informações coletadas ou relatadas sejam utilizadas exclusivamente na pesquisa.

3.6.2 Análise de dados

A análise dos dados, segundo Yin (2003), consiste no exame, categorização, tabulação, teste, classificação ou mesmo na recombinação das evidências para tirar conclusões com base empírica. Para Freitas e Jabbour (2011) o processo de análise dos dados de estudos de caso pode ser dividido em etapas sequenciais. Inicialmente deve ser feita uma transcrição fiel dos dados. Depois ocorre a descrição detalhada do caso ou dos casos, possibilitando a identificação de informações relevantes. Em seguida é feita a análise com base no referencial teórico, verificando convergências e divergências em relação à literatura. Por fim, deve-se realizar a compilação e o cruzamento das evidências de todos os casos com o objetivo de obter uma replicação teórica. Durante este processo de análise de dados, diferentes técnicas podem ser utilizadas, sendo que nesta pesquisa elas incluíram análise de conteúdo e triangulação de dados, descritas anteriormente.

3.6.3 Fase 1 – Compreensão do problema de pesquisa

Para a compreensão teórica do problema de pesquisa, foram coletados dados secundários para a realização da síntese de literatura. Já para a compreensão prática do problema de pesquisa, foram coletados dados primários com a realização de entrevistas com profissionais. Os dados primários foram analisados por meio da análise de conteúdo.

3.6.3.1 Síntese de literatura

Para a síntese de literatura foram utilizados textos de revistas nacionais e internacionais de alto impacto, textos de livros e de teses de doutorado. Os textos foram selecionados de acordo com os temas de interesse, depois lidos e resumidos. Estes resumos foram então analisados e interpretados, sendo que os pontos mais relevantes dos textos e as relações entre eles foram apresentados no capítulo de síntese de literatura deste trabalho. Ao correlacionar diversas fontes foi possível elaborar o modelo teórico que será apresentado posteriormente.

3.6.3.2 Entrevistas com profissionais

Foram realizadas entrevistas semiestruturadas com os profissionais, com questões abertas, guiadas pelo roteiro de entrevistas disponível no Apêndice. As entrevistas foram realizadas

entre abril e agosto de 2022 e começaram com uma apresentação da pesquisa, para contextualizar os profissionais que trabalham em organizações inglesas que têm diferentes funções na cadeia de valor da construção volumétrica *offsite*. Logo após, foram realizadas as perguntas do roteiro. A sequência de questões variou, conforme a dinâmica da conversa, sempre buscando abranger todos os itens presentes no roteiro, no entanto, quanto isto não foi possível devido à falta de disponibilidade de tempo do entrevistado ou à falta de abertura dada por ele, buscou-se fazer as perguntas que levariam à obtenção de respostas mais completas, a depender do contexto da empresa na qual o entrevistado trabalhava, do cargo do profissional entrevistado e de suas respostas iniciais. Nem todos os entrevistados responderam de forma objetiva ao que foi perguntado; mesmo que se buscasse resgatar o foco da conversa, alguns entrevistados foram evasivos e outros encaminharam suas falas para assuntos distintos, como já havia previsto Yin (2003), que afirmou que o entrevistado pode não cooperar necessariamente totalmente para seguir a linha de perguntas do pesquisador.

As entrevistas foram realizadas por videochamada, chamada telefônica ou pessoalmente, a depender da disponibilidade do entrevistado. Os entrevistados 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 28 participaram da entrevista por meio de videochamada, enquanto os entrevistados 9, 10, 11 e 13 participaram por chamada telefônica e os entrevistados 14, 15, 18, 19, 24, 25, 26, 27 participaram pessoalmente. O tempo das entrevistas com cada profissional variou bastante a depender de sua disponibilidade e da abertura concedida para o aprofundamento das perguntas. No Quadro 11, a seguir, são mostradas as identificações dos entrevistados, a forma de realização das entrevistas e o tempo de cada uma delas. O tempo total das entrevistas corresponde a 1473 minutos (24,55 horas). Todas as entrevistas foram gravadas com a autorização dos entrevistados e posteriormente transcritas, o que representou mais de 300 páginas de transcrição. Devido ao volume de transcrições, elas não estão anexadas a este trabalho. Além das gravações, durante ou logo após as entrevistas foram realizadas anotações dos aspectos mais relevantes relatados pelos entrevistados.

Quadro 11 - Tempo de entrevista com cada profissional

Identificação Entrevistados	Forma da entrevista	Tempo de entrevista
1	Videochamada	55 minutos
2	Videochamada	21 minutos
3	Videochamada	43 minutos
4	Videochamada	35 minutos
5	Videochamada	42 minutos
6	Videochamada	35 minutos
7	Videochamada	65 minutos
8	Videochamada	40 minutos
9	Chamada telefônica	12 minutos
10	Chamada telefônica	25 minutos
11	Chamada telefônica	23 minutos
12	Videochamada	46 minutos
13	Chamada telefônica	32 minutos
14	Pessoalmente	45 minutos
15	Pessoalmente	60 minutos
16	Videochamada	52 minutos
17	Videochamada	50 minutos
18	Pessoalmente	92 minutos
19	Pessoalmente	90 minutos
20	Videochamada	73 minutos
21	Videochamada	112 minutos
22	Videochamada	50 minutos
23	Videochamada	46 minutos
24	Pessoalmente	82 minutos
25	Pessoalmente	106 minutos
26	Pessoalmente	60 minutos
27	Pessoalmente	50 minutos
28	Videochamada	31 minutos

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a transcrição das entrevistas e de posse das anotações, passou-se à análise dos dados, que foi realizada por meio da técnica de análise de conteúdo. Esta foi conduzida com a ajuda de um esquema de codificação para discernir categorias fundamentais, realizada no *software* NVivo 14. O *software* auxiliou na estruturação, codificação e exibição dos dados, assim como no desenho das análises. As categorias foram criadas por meio da conformidade de adaptação dos termos, para chegar a uma linguagem comum, uma vez que cada entrevistado pode usar um vocabulário distinto para se referir ao mesmo termo ou conjunto de ideias, com significados iguais ou bastante similares.

O esquema de codificação foi subdividido em três categorias de códigos: primários, secundários e terciários, que vão dos temas mais amplos aos mais restritivos. A criação dos códigos primários e secundários foi realizada de forma dedutiva e teve como base os temas de relevância discutidos durante a revisão de literatura, sendo que a maioria deles está representada no modelo da Figura 25; no entanto também foram incluídos os temas relativos aos benefícios e desafios da construção volumétrica *offsite*. Os códigos terciários foram gerados a partir da

identificação de variáveis discutidas pelos profissionais durante as entrevistas, ou seja, de forma indutiva.

A abordagem dedutiva utiliza uma estrutura referida como lista inicial, antecipando que certos conceitos centrais estejam nos dados (AZUNGAH, 2018). Ela implica em passar do geral para o particular, como partir de uma teoria, derivar hipóteses dela, testá-las e rever a teoria (LOCKE, 2007; NOLA, SANKEY, 2007). A abordagem indutiva, por outro lado, envolve passar do particular para o geral, como quando são feitas observações empíricas sobre algum fenômeno de interesse e se formam conceitos e teorias baseados nelas (LOCKE, 2007). Ela utiliza principalmente leituras detalhadas de dados brutos para derivar conceitos e temas (THOMAS, 2006). A abordagem indutiva implica na análise minuciosa dos dados linha por linha e na atribuição de códigos a parágrafos ou segmentos de textos à medida que os conceitos relevantes para as questões da investigação se desdobram (CURRY, NEMBHARD, BRADLEY, 2009; AZUNGAH, 2018). A abordagem indutiva é um processo que envolve alternar entre a análise de dados e a literatura para dar sentido aos conceitos emergentes (NEELEY, DUMAS, 2016). Na análise indutiva, embora os resultados sejam influenciados pelos objetivos ou questões delineadas pelo pesquisador, eles emergem diretamente da análise dos dados brutos, e não de expectativas ou modelos a priori (THOMAS, 2006).

A análise foi executada por meio de ciclos em que a pesquisadora identificava variáveis (expressões utilizadas pelos entrevistados), as acrescentava ao código relevante ou elaborava um novo código, verificava os resultados e, em seguida, pesquisava novamente as variáveis relativas aos novos códigos. Esses ciclos ocorreram até que nenhum novo código fosse identificado (TZORTZOPOULOS, 2004).

3.6.4 Fase 2 – Revisão do modelo teórico

Para a fase de revisão do modelo teórico, foram coletados dados primários, que dizem respeito às entrevistas realizadas com especialistas para o refinamento do modelo teórico elaborado na primeira fase da pesquisa. As entrevistas foram analisadas por meio da análise de conteúdo.

3.6.4.1 Entrevistas com especialistas

Foram realizadas, entre agosto e outubro de 2023, entrevistas não estruturadas com especialistas, de maneira que eles avaliassem o modelo teórico elaborado após a realização da

síntese de literatura. As entrevistas começaram com uma apresentação da lacuna da pesquisa, dos objetivos, das estratégias de pesquisa e da síntese da literatura, enfatizando aquelas referências que embasaram a criação do modelo teórico. Apresentou-se também os resultados da síntese de literatura e o modelo criado a partir dela. Ao final da apresentação, solicitou-se que o especialista analisasse e comentasse o modelo proposto.

As entrevistas foram realizadas por videochamada e sua duração dependeu da disponibilidade do especialista e da abertura concedida para o aprofundamento das perguntas. A entrevista com o especialista A durou 60 minutos, enquanto as entrevistas com os especialistas B e C tiveram a duração de 30 minutos cada, a entrevista com o especialista D durou 43 minutos e a entrevista com o Especialista E teve duração de 40 minutos. Além das gravações autorizadas, durante ou logo após as entrevistas foram realizadas anotações dos aspectos mais relevantes relatados pelos entrevistados. De posse das entrevistas e das anotações, passou-se à análise dos dados, que foi realizada por meio da técnica de análise de conteúdo. Isto possibilitou a identificação dos principais pontos a serem alterados no modelo teórico, levando à reflexão a respeito dele e à realização de alterações de acordo com as orientações e os comentários dos especialistas, culminando na elaboração do modelo teórico revisado.

3.6.5 Fase 3 – Elaboração do modelo final

A fase de elaboração do modelo final implicou em extensa coleta e análise de dados durante a realização dos estudos de caso. Foram coletados dados primários e secundários e sua análise se deu por triangulação de dados e comparação entre os casos estudados. Detalhes sobre a coleta e a análise dos dados dos estudos de caso estão descritos na sequência.

3.6.5.1 Coleta de dados dos estudos de caso

Durante a realização dos seis estudos de caso, houve a possibilidade de coleta de dados primários por meio de observações diretas (visitas às empresas), e entrevistas não estruturadas com funcionários em cargos de direção ou gerência. Nas três empresas (Empresas B, C e D) que permitiram maior abertura para a realização da pesquisa, além de maior quantidade de visitas e entrevistas, também foram coletados dados secundários, correspondentes aos documentos fornecidos pelas empresas. Nestas três empresas, os funcionários que eram os contatos principais da pesquisadora puderam autorizar a coleta de dados e indicar os potenciais entrevistados que atenderiam aos perfis demandados pela pesquisa. Além disso, foi utilizado o

método da “bola de neve” em que as pessoas entrevistadas indicavam outras pessoas (BRYMAN, 2016).

As visitas às empresas e as entrevistas com funcionários em cargos-chave tiveram o objetivo de fornecer uma visão geral sobre elas e de identificar as características da produção das empresas e as estratégias de customização utilizadas por elas. Nas Empresas B, C e D, foi possível obter uma compreensão mais aprofundada e detalhada da organização das empresas, de seus projetos, de suas estratégias de customização e das características de sua produção, nas diferentes áreas da fábrica. Isto se deu devido à possibilidade de acesso a dados mais sigilosos, como projetos e etapas de produção, e ao acompanhamento da produção de um projeto em cada empresa entre agosto de 2022 e janeiro de 2023.

A coleta de dados das seis empresas foi realizada entre junho de 2022 e janeiro de 2023. Foram feitas visitas para observação do chão de fábrica em cada uma das seis empresas. Fotografias do chão de fábrica foram tiradas com permissão de um representante da empresa. Em alguns casos, a visita incluiu uma palestra com uma apresentação sobre a empresa. Nas Empresas B e D, foram permitidas várias visitas. Nestas duas empresas, todas as entrevistas foram realizadas pessoalmente e alguns documentos foram coletados em formato físico. Já na Empresa C, algumas entrevistas com funcionários foram realizadas por videochamada posteriormente à visita. A empresa, no entanto, forneceu grande quantidade de material em formato digital e se mostrou bastante disponível para esclarecer eventuais dúvidas da pesquisadora.

Durante as visitas às seis empresas foi realizado um total de 37 entrevistas, com durações variadas. Nem todos os entrevistados consentiram as gravações das entrevistas e, portanto, notas manuscritas foram feitas e utilizadas como fontes de dados; para garantir a acuracidade das informações, as notas foram escritas durante as entrevistas e completadas em até 24 horas após sua realização. As entrevistas que puderam ser gravadas foram posteriormente transcritas. A soma das entrevistas corresponde a um total de 1746 minutos (29,1 horas) de duração.

Os dados coletados em cada uma das empresas dos estudos de caso estão resumidos no Quadro 12, a seguir. Nele é possível ver a duração de cada uma das visitas, o que elas incluíram e a quantidade de entrevistas realizadas, com detalhes sobre o cargo do funcionário entrevistado (utilizado para identificá-lo) e sobre a duração das entrevistas, além dos documentos que foram fornecidos por algumas das empresas estudadas.

Quadro 12 - Dados coletados nos estudos de caso

(continua)

Tipo de informação	Dados coletados
Empresa A	
Observação	Visita de 3 horas à empresa que incluiu uma palestra do diretor de negócios sobre a empresa, visita ao chão de fábrica, entrevistas e registros fotográficos (41 fotos)
Entrevistas	- Diretor de operações: 32 minutos (gravados) - Diretor de projetos: 45 minutos (gravados) - Gerentes de projetos: 50 minutos (gravados)
Empresa B	
Observação	4 visitas de 7 horas e 4 visitas de 2 horas cada à empresa. Todas as visitas incluíram visita ao chão de fábrica para acompanhamento das atividades de produção e do desenvolvimento do projeto em estudo e entrevistas. Ao longo das visitas foi possível acompanhar as alterações no chão de fábrica. Foram permitidos registros fotográficos (30 fotos)
Entrevistas	- Gerente de TI: 46 minutos (gravados) - Diretor de operações: 3 entrevistas, totalizando 195 minutos (gravados) - Gerente de projeto: 50 minutos (gravados) - Gestor de projeto: 45 minutos (não permitiu gravação – foram feitas anotações) - Gerente de qualidade: 3 entrevistas, totalizando 150 minutos (não permitiu gravação – foram feitas anotações) - Gerente de logística: 50 minutos (não permitiu gravação – foram feitas anotações) - Analista de compras: 45 minutos (não permitiu gravação – foram feitas anotações) - Gerente de RH: 30 minutos (não permitiu gravação – foram feitas anotações) - Diretor de transformação de negócios: 2 entrevistas, totalizando 70 minutos (não permitiu gravação – foram feitas anotações)
Documentos	Planta do chão de fábrica com previsões de alterações; planejamento de atividades em cada estação de trabalho da fábrica, com previsão de número de pessoas e tempo por estação; caderno de projetos; planilha com a ordem das atividades e as atividades básicas que devem acontecer em cada estação de trabalho; fluxo de processos a partir do pedido do cliente; fluxo de processo do negócio; organograma da empresa; fluxo de controle da produção
Empresa C	
Observação	Visita de 3 horas à empresa que incluiu a visita ao chão de fábrica, entrevistas e registros fotográficos (29 fotos)
Entrevistas	- Diretor de operações: entrevista presencial - 60 minutos (gravados) - Diretor de suprimentos: entrevista presencial - 40 minutos (gravados) - Diretor de TI: 2 entrevistas por videochamada totalizando 122 minutos (gravados) - Gerente de projetos: entrevista por videochamada - 50 minutos (gravados) - Gerente de produção: entrevista por videochamada - 30 minutos (gravados)
Documentos	Caderno com projetos realizados pela empresa; caderno com o guia de projetos; caderno com as tipologias de casas; caderno sobre projetos inovadores da empresa; apresentação de <i>slides</i> sobre os projetos dos produtos (casas); caderno com o guia técnico da empresa
Empresa D	
Observação	1 visita de 3 horas à empresa que incluiu uma palestra do diretor de operações sobre a empresa, 4 visitas de 7 horas cada e 4 visitas de 2 horas cada à empresa. Todas as visitas incluíram visita ao chão de fábrica para acompanhamento das atividades de produção e do desenvolvimento do projeto em estudo e entrevistas. Foram permitidos registros fotográficos (19 fotos)
Entrevistas	- Diretor de operações: 5 entrevistas, totalizando 220 minutos (sendo 90 gravados – para os outros minutos, a gravação não foi autorizada, então foram feitas anotações) - Fundador da empresa: 2 entrevistas, totalizando 97 minutos (gravados) - Diretor de projetos: 46 minutos (gravados) - Gerente de projetos: 60 minutos (gravados) - Diretor de produção: 20 minutos (gravados) - Gerente de produção: 40 minutos (gravados) - Gerente de qualidade: 38 minutos (não permitiu gravação – foram feitas anotações)
Documentos	Requisitos para os 3 projetos que foram acompanhados; relatórios de ações corretivas para problemas enfrentados pela produção; planilha de “lições aprendidas”; lista com as principais etapas da produção e as principais atividades realizadas em cada uma delas

Quadro 12 - Dados coletados nos estudos de caso

(conclusão)

Tipo de informação	Dados coletados
Empresa E	
Observação	Visita de 1,5 horas à empresa que incluiu a visita ao chão de fábrica e uma entrevista. Registros fotográficos não foram permitidos.
Entrevistas	- Gerente de engenharia: 52 minutos de duração
Empresa F	
Observação	Visita de 3 horas à empresa que incluiu uma palestra do time de <i>marketing</i> sobre a empresa, visita ao chão de fábrica, uma entrevista e registros fotográficos (23 fotos)
Entrevistas	- Gerente de operações: 63 minutos de duração

Fonte: Elaborado pela autora.

3.6.5.2 Análise de dados dos estudos de caso

Seguindo as indicações feitas por Yin (2003) e por Freitas e Jabbour (2011), a análise dos dados foi dividida nas seguintes etapas sequenciais: i) transcrição das entrevistas; ii) descrição detalhada dos estudos de caso; iii) análise e triangulação dos dados; iv) cruzamento entre os casos.

A análise de dados foi inicialmente realizada para cada caso individual (análise intracaso), tendo sido elaborada de modo sistemático, a fim de manter um padrão para que todos os casos possuíssem o mesmo formato analítico. Em seguida, foi realizado o cruzamento dos dados dos múltiplos casos (análise intercasos), evidenciando similaridades e diferenças entre eles.

Após a coleta de dados, foi realizada a transcrição das entrevistas com os funcionários das empresas (devido ao grande volume de páginas transcritas, elas não fazem parte deste documento). Em seguida, foi realizada a descrição detalhada dos estudos de caso, agregando as informações coletadas a partir das observações, das entrevistas e documentos (para as Empresas B, C e D).

Na sequência, foi realizada uma análise dos dados de cada um dos estudos de caso, a fim de selecionar apenas aqueles que fossem relevantes para esta pesquisa. De posse das informações sobre as estratégias de customização e as características da produção de cada uma das empresas, foi possível realizar a triangulação destes dados com aqueles vindos da literatura. Sendo assim, as informações de cada uma das empresas foram inseridas no modelo teórico revisado, possibilitando a verificação de convergências e divergências.

Estas etapas foram realizadas para cada um dos casos estudados. Em seguida, foi realizado o cruzamento dos dados dos múltiplos casos, em que eles são comparados (YIN, 2003), sendo possível identificar similaridades e discrepâncias entre eles. A análise dos dados dos estudos de

caso permitiu chegar a resultados que informaram a complementação do modelo teórico revisado, culminando na elaboração do modelo final.

A seguir, é apresentado o Quadro 13, com um resumo dos dados coletados em cada etapa de cada fase da pesquisa e da forma como eles foram analisados.

Quadro 13 - Resumo dos dados coletados e analisados

Fases da pesquisa	Etapas de cada fase	Dados coletados	Análise dos dados
Compreensão do problema de pesquisa	Síntese de literatura	Dados secundários – textos de artigos, livros e teses	Análise dos dados
	Entrevistas com profissionais	Dados primários – entrevistas semiestruturadas com 28 profissionais	Análise de conteúdo (uso do <i>software</i> NVivo)
Revisão do modelo teórico	Entrevistas com especialistas	Dados primários – entrevistas não estruturadas com 5 especialistas	Análise de conteúdo
Elaboração do modelo final	Estudos de caso	- Observação: visitas a 6 empresas (dados primários) - Entrevistas: com um total de 26 funcionários (dados primários) - Documentos (dados secundários)	Triangulação de dados

Fonte: Elaborado pela autora.

3.7 PARÂMETROS PARA APLICAÇÃO DO MODELO TEÓRICO REVISADO

Para a realização da terceira fase do trabalho, no que se refere à aplicação do modelo teórico revisado para análise das empresas estudadas, foi necessário estabelecer alguns parâmetros, de forma que todas as aplicações fossem baseadas neles.

A identificação da estratégia de customização utilizada pelas empresas aconteceu por meio de uma comparação entre os conceitos apresentados por Lampel e Mintzberg (1996) e os dados coletados durante os estudos de caso. A identificação do posicionamento do CODP se deu pela comparação entre os conceitos apresentados por Hvam, Mortensen e Riis (2008) e Jensen, Lidelöw e Olofsson (2015) e os dados coletados nos estudos de caso.

Já a identificação do sistema de produção aconteceu por meio da relação entre volume e variedade, conforme descrito por Miltenburg (2005) e Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018). A identificação da variedade da produção foi uma consequência da distinção feita no que concerne à estratégia de customização utilizada pelas empresas. Já para a identificação do volume, foram utilizados os valores de produção fornecidos pelas empresas e foram tomados como base os valores de quantidade anual de produção descritos por Groover (2020), como pode ser visto no Quadro 14, a seguir.

Quadro 14 - Parâmetros para identificação do volume de produção

Produtividade	Sistema de produção	Volume de produção
1 módulo por dia - 1 a 250 módulos por ano	<i>jobbing</i>	baixo
Entre 2 e 3 módulos por dia – 251 a 1000 módulos por ano	em lotes	médio
Mais de 4 módulos por dia – mais de 1001 módulos por ano	linha de fluxo	alto

Fonte: Elaborado pela autora.

Deve-se ressaltar que a produção foi relatada por cada uma das empresas com uma unidade diferente. Sendo assim, foi necessário transformar todas elas para uma mesma unidade de medida, possibilitando a comparação. A unidade de medida adotada foi o número de módulos produzidos por dia, considerando que, no Reino Unido, um dia corresponde a 7,2 horas de trabalho e o ano possui 252 dias úteis de trabalho.

O *layout* de fábrica e o nível de automação foram identificados pelas observações realizadas durante as visitas as empresas. O nível de automação foi classificado segundo uma distinção entre baixo, médio e alto, que está explicada a seguir, no item 4.1.2. No caso do *layout*, para os estudos de caso realizados nas Empresas B, C e D, a identificação foi corroborada pelos documentos fornecidos pelas empresas. Os resultados da produção e a qualificação da mão de obra foram identificados por meio de dados coletados durante as entrevistas com funcionários das empresas.

3.8 CONSIDERAÇÃO ACERCA DO MÉTODO

Neste capítulo foram descritos o método e as técnicas de pesquisa utilizados no desenvolvimento desde trabalho, além das fases e etapas seguidas para sua realização e das estratégias para seleção de participantes, coleta e análise de dados. Vale destacar que neste trabalho foram utilizadas quatro técnicas distintas para a coleta de dados (síntese de literatura, entrevistas, observação e análise de documentos) e duas técnicas diferentes para a análise dos dados (análise de conteúdo e triangulação de dados), aumentando a confiabilidade da pesquisa.

Como mencionado anteriormente, para Lincoln e Guba (1985) a confiabilidade é o critério fundamental a ser atingido por pesquisas qualitativas. Segundo Remenyi *et al.* (1998), deve haver consistência e integridade no desenho do estudo. Para Antwi e Hamza (2015), a confiabilidade é alcançada por meio de uma lógica sólida que justifique a utilização do método escolhido e dos processos envolvidos na coleta e análise de dados, como foi feito neste trabalho e explicado em detalhes ao longo deste capítulo.

Embora Remenyi *et al.* (1998) afirmem que não é possível encontrar os mesmos resultados de estudos de caso por meio da replicação dos procedimentos porque cada organização é

diferente e cada investigador percebe o mundo através da sua própria perspectiva teórica (REMENYI *et al.*, 1998), ainda é importante garantir que o processo de coleta e análise de dados seja robusto (TZORTZOPOULOS, 2004). Sendo assim, a confiabilidade nesta pesquisa é atingida por meio de um método robusto e com a manutenção das evidências coletadas em um formato facilmente recuperável. Ademais, para garantir a confiabilidade, além de seguir um desenho de pesquisa estruturado, este trabalho utilizou múltiplas fontes de informação (YIN, 2003). No capítulo seguinte são apresentados os resultados alcançados em cada uma das etapas da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos em cada uma das etapas da pesquisa, são realizadas também discussões acerca de tais resultados, além de serem propostas relações e comparações entre eles.

4.1 DESDOBRAMENTOS DA SÍNTESE DE LITERATURA

A seguir, são apresentados os resultados provenientes da realização da síntese de literatura. Como desdobramentos desta etapa da pesquisa, foi possível propor novas terminologias para determinadas áreas estudadas e o modelo teórico que foi utilizado nas etapas seguintes da pesquisa.

4.1.1 Modelo para as relações de customização

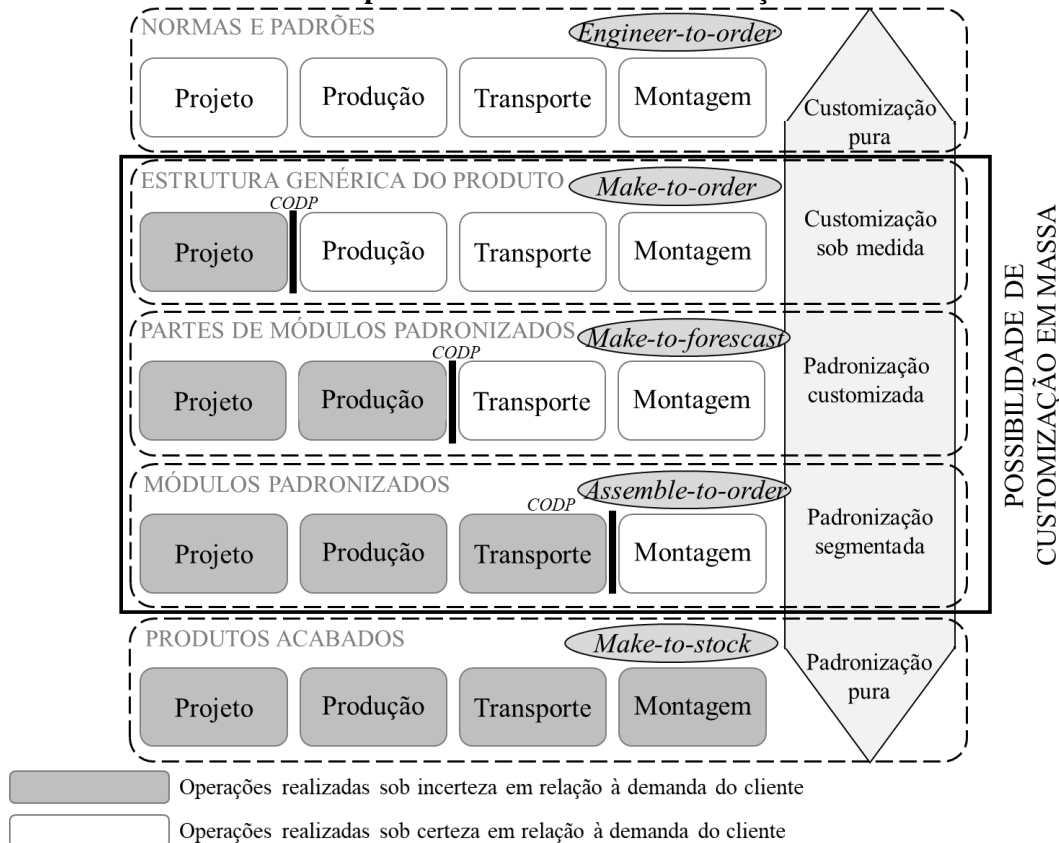
Para a elaboração desta parte do trabalho foram utilizados alguns conceitos definidos anteriormente, no capítulo de síntese da literatura, especificamente discutidos no item 2.2, sobre customização. Para a elaboração do modelo apresentado a seguir, na Figura 28, as operações foram divididas em **projeto, produção, transporte e montagem**, como descrito no trabalho de Bonev, Wörösch e Hvam (2015).

Tendo em conta os diversos posicionamentos possíveis do CODP, no modelo elaborado considerou-se que as empresas de construção volumétrica *offsite* podem ser classificadas em **engineer-to-order (ETO), make-to-order (MTO), make-to-forecast (MTF) assemble-to-order (ATO) e make-to-stock (MTS)**. Foram consideradas as definições destes termos trazidas por Naylor, Main e Berry (1999) para a manufatura, as adaptadas por Winch (2003) e Hvam, Mortensen e Riis (2008) ao contexto da construção e por Bonev, Wörösch e Hvam (2015) ao contexto da construção *offsite*. Além disso, foram incorporadas ao modelo as estratégias de customização e padronização propostas por Lampel e Mintzberg (1996).

Considerando estes aspectos, buscou-se amalgamar, no modelo apresentado na Figura 28, os conceitos apresentados por Lampel e Mintzberg (1996), Hvam, Mortensen e Riis (2008) e Bonev, Wörösch e Hvam (2015) e propor um modelo que relacione as possibilidades que se apresentam para as empresas de construção volumétrica *offsite* tendo em conta: o posicionamento do CODP (representado por uma linha vertical preta espessa) em relação às operações de projeto, produção, transporte e montagem, sendo que as empresas podem ser ETO,

MTO, MTF, ATO ou MTS; os pré-requisitos incorporados aos produtos como normas e padrões; e o nível de customização, que varia de customização pura à padronização pura. Nesta figura ainda são destacados os momentos em que a estratégia da CM poderia ser aplicada.

Figura 28 - Modelo da relação entre o posicionamento do CODP, os pré-requisitos incorporados aos produtos e o nível de customização



Fonte: Elaborado pela autora.

No modelo criado, cada segmento representa um conjunto de relação entre os conceitos:

- No primeiro segmento do modelo, as empresas são classificadas como **ETO**. Todos os produtos são exclusivos e fabricados a partir da demanda. Apenas **normas e padrões** são pré-requisitos incorporados aos produtos e as necessidades dos clientes são consideradas a partir do **projeto**. O pedido do cliente exerce função central nas operações, já que todas as etapas são motivadas por ele, sendo assim, as empresas adotam a estratégia da **customização pura**.

- No segundo segmento do modelo, as empresas são classificadas como **MTO**. Os projetos são feitos com base em **estruturas de produtos genéricos** pré-definidos e em um conjunto de regras, mas eles são produzidos de forma distinta para cada cliente específico. Desta forma, as necessidades dos clientes são satisfeitas por certas variantes que influenciam as

atividades de **produção**. Neste contexto, as empresas aplicam a estratégia da **customização sob medida**.

- No terceiro segmento do modelo, as empresas são classificadas como **MTF**. Os produtos são gerados por meio de **partes de módulos padronizados** e a forma como eles são **transportados** e montados é que atende aos requisitos do cliente. Assim, as empresas adotam a estratégia da **padronização customizada**.

- No quarto segmento do modelo, as empresas são classificadas como **ATO**. Os **módulos completos são padronizados** e fabricados para estoque, sendo que a forma como eles são **montados** é que permite o atendimento das necessidades do cliente. Desta maneira, as empresas aplicam a estratégia da **padronização segmentada**.

- No quinto segmento do modelo, as empresas são classificadas como **MTS**. As necessidades do cliente são atendidas por meio da seleção em catálogos de **produtos acabados**. Os produtos completamente padronizados são fabricados e estocados com base na previsão de demanda. Sendo assim, as empresas adotam a estratégia da **padronização pura**, em que não há nenhuma forma de customização.

No modelo, considera-se que o grupo de empresas que pode ser classificado como MTO, MTF ou ATO apresenta a possibilidade de adoção de uma estratégia de customização em massa. Para isso, as empresas precisam criar um documento (ou catálogo) com as possíveis variações e restrições para uma determinada família de produtos.

4.1.2 Classificação para os níveis de automação na construção volumétrica *offsite*

A classificação encontrada na literatura para os níveis de automação na construção volumétrica *offsite*, no trabalho de Duncheva e Bradley (2019), se mostrou superficial. Assim, considerando a classificação proposta por Frohm *et al.* (2008) para os níveis de automação na manufatura e a definida por Duncheva e Bradley (2019) para a construção volumétrica *offsite*, ambas apresentadas no item 2.3.5 deste trabalho, propõe-se aqui uma nova classificação para os níveis de automação em empresas de construção volumétrica *offsite*, que combina as definidas por estes autores, e está dividida em três níveis:

- **Baixo** – empresas de construção volumétrica *offsite* nesta classificação apresentam nenhum ou baixo nível de automação, sendo que podem aplicar apenas a mecanização. Os métodos tradicionais de construção são transferidos para o ambiente fechado da fábrica, como descrito por Duncheva e Bradley (2019); no entanto, além disso, o uso de equipamentos vai, na

escala proposta por Frohm *et al.* (2008), de totalmente manual, ou seja, sem uso de ferramentas, até a utilização de máquinas ou estações de trabalho estáticas, passando pelo uso de ferramentas manuais estáticas, flexíveis e automatizadas. Empresas neste nível geralmente aplicam apenas mecanização e possuem, em geral, máquinas para corte de madeira ou aço, sendo que há a necessidade de funcionários envolvidos fisicamente na operação destas máquinas ou na operação de ferramentas manuais (como furadeiras);

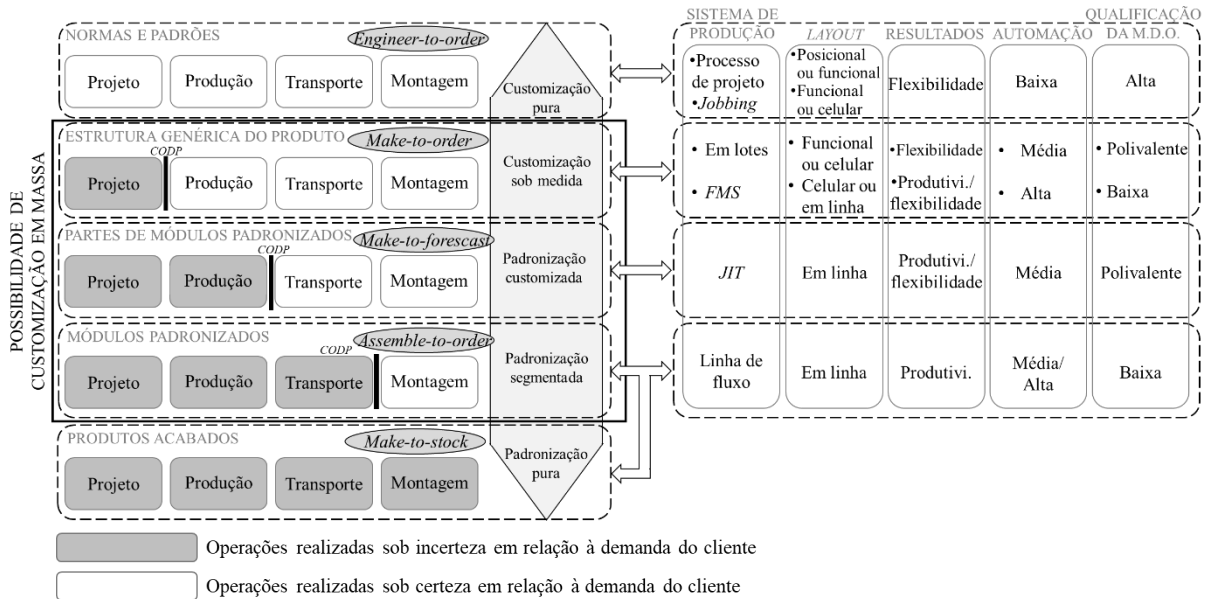
- **Médio** - empresas de construção volumétrica *offsite* com médio nível de automação utilizam máquinas ou estações de trabalho flexíveis, como propõe Frohm *et al.* (2008), o que significa que trabalho automático é realizado por uma máquina que pode ser reconfigurada para diferentes tarefas. Empresas com médio nível de automação apresentam, além de máquinas para corte de madeira ou aço e ferramentas manuais, máquinas CNC para a realização de algumas operações que geralmente incluem cortes de placas de madeira ou gesso, conexão entre partes ou materiais e fresa. As máquinas CNC envolvem programação e operação por um funcionário que não participa fisicamente no processo de operação, apenas na alimentação da máquina (colocação de materiais na posição correta);

- **Alto** - empresas de construção volumétrica *offsite* com alto nível de automação são aquelas que, como descrito por Duncheva e Bradley (2019), utilizam as técnicas de fabricação digital automatizada e de eficiência de recursos da indústria automotiva, ou seja, o trabalho é, como definido por Frohm *et al.* (2008), totalmente automático, sendo que a máquina resolve sozinha todos os desvios ou problemas que ocorrem. Empresas com alto nível de automação, além dos equipamentos mencionados anteriormente, possuem robôs realizando algumas atividades como solda e pintura.

4.1.3 Modelo teórico relacionando customização e produção

Ao modelo que relaciona o posicionamento do CODP, os pré-requisitos incorporados aos produtos e o nível de customização, apresentado na Figura 28, foram acrescentadas as dimensões relativas à produção, com base nas informações presentes nos trabalhos de Miltenburg (2005) e Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018). Este exercício deu origem ao modelo teórico apresentado na Figura 29, em que é mostrada, no âmbito da construção volumétrica *offsite*, a relação entre as estratégias de customização e as características da produção.

Figura 29 - Modelo teórico para a construção volumétrica *offsite* da relação entre as estratégias de customização e as características da produção



Fonte: Elaborado pela autora.

No modelo teórico, para a parte relativa à produção, vale recordar que tanto a classificação proposta por Miltenburg (2005) quanto a descrita por Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) consideram as dimensões de volume e variedade para a diferenciação entre os sistemas de produção, sendo que há um espectro que vai de baixo volume/alta variedade até alto volume/baixa variedade, no qual os sistemas de produção podem ser posicionados. Além disso, os sistemas de produção também devem ser capazes de fornecer os resultados de produção esperados (custo, qualidade, desempenho, entrega, flexibilidade e inovação), segundo Miltenburg (2005). No entanto, no artigo de Jonsson e Rudberg (2015), que busca orientar o processo de tomada de decisão durante o desenvolvimento de sistemas de produção para a construção *offsite*, são apresentados como relevantes para o setor apenas os resultados que envolvem produtividade e flexibilidade. Nahmens e Bindroo (2011) também afirmam que o balanceamento entre capacidades relacionadas à produtividade (como custo e tempo de entrega) e flexibilidade (produto e processo) deve ser considerado no desenvolvimento de um sistema de produção para construção *offsite*. Desta forma, apenas estas duas dimensões de resultados foram consideradas para a realização do modelo teórico.

Recorda-se que a flexibilidade é o grau em que os processos de uma operação podem mudar o que fazem, a forma como fazem e o momento em que algo é feito (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018), e que a produtividade é a conversão efetiva (econômica e eficiente) dos recursos de produção em bens produzidos (HITOMI, 1996). Além disso, no modelo, na coluna sobre o nível de automação, considerou-se a classificação proposta nesta

pesquisa, apresentada anteriormente (item 4.1.2), em consonância com a relação entre sistemas de produção e uso de equipamentos explicada por Miltenburg (2005). Considerando estes conceitos, no modelo elaborado, tem-se:

- No primeiro segmento, para as empresas que adotam a estratégia da customização pura, os sistemas de produção ideais a serem utilizados são o em **processo de projeto** ou de *jobbing*, uma vez que ambos apresentam volume de produção muito baixo e alta variedade, sendo que lidam com produtos muito específicos, normalmente bastante customizados. O sistema de produção em processo de projeto deve utilizar idealmente um **layout posicional ou funcional**. O sistema de produção de *jobbing* deve utilizar idealmente um **layout funcional ou celular**. No *layout* posicional, os recursos que sofrem o processamento ficam fixos em um lugar enquanto pessoas, equipamentos, maquinários e instalações se movem até eles quando necessário. No *layout* funcional, equipamentos semelhantes se localizam na mesma área da fábrica. No *layout* celular, diferentes tipos de equipamentos e processos estão localizados na mesma área. Estes *layouts* devem ser utilizados porque, como o volume de produção é muito baixo e a variedade é alta, o fluxo não é um problema e é bastante variado. Os sistemas de produção em processo de projeto ou de *jobbing* têm como resultado a **flexibilidade**, e, por ser flexível, ele deve apresentar **baixa automação**, mas **alta qualificação da mão de obra**. Estes sistemas de produção não poderiam ser aplicados, por exemplo, a empresas que adotam a estratégia de customização sob medida, uma vez que, devido à redução das possibilidades de customização, a variedade é reduzida e o volume de produção aumenta, sendo que o fluxo tem maior importância.

- No segundo segmento, para as empresas que adotam a estratégia da customização sob medida, os sistemas de produção ideais a serem utilizados são o **em lotes** ou *FMS*. Os sistemas de produção em lotes ou o *FMS* produzem menor variedade de produtos em volumes maiores do que um sistema de *jobbing*, de modo que os custos fixos, como processamento de pedidos e reconfiguração de maquinário, são distribuídos por mais unidades. O sistema de produção em lotes deve utilizar idealmente um **layout funcional ou celular**. O sistema de produção *FMS* deve utilizar idealmente um **layout celular ou em linha**. Os *layouts* funcional e celular foram lembrados acima. No *layout* em linha, os diferentes tipos de equipamentos necessários para produzir um produto, ou uma pequena família de produtos, são organizados em uma linha. Estes *layouts* devem ser utilizados porque, com maior volume e menor variedade, o fluxo torna-se um problema. Entretanto, como a variedade ainda é alta, diferentes padrões de fluxo irão existir e o uso do *layout* funcional pode ser indicado. Ao mesmo tempo, a variedade de produtos pode

ser reduzida ao ponto em que necessidades similares para produção ficam evidentes, embora a variedade ainda não seja pequena, assim, o *layout* celular pode ser apropriado. O sistema de produção em lotes tem como resultado a **flexibilidade**, e, para garanti-la, deve utilizar **média automação** e uma **mão de obra polivalente**, que tenha habilidade para manusear diversos equipamentos. Já o sistema de produção *FMS* tem como resultados tanto a **flexibilidade quanto a produtividade**, que são alcançadas pela **alta automação**, com **mão de obra pouco qualificada**. Estes sistemas de produção não poderiam ser aplicados, por exemplo, a empresas que adotam a estratégia de padronização customizada, uma vez que, devido à redução das possibilidades de customização, a variedade é reduzida ainda mais e o volume de produção aumenta, sendo que o fluxo tem grande importância.

- No terceiro segmento, para as empresas que adotam a estratégia da padronização customizada, o sistema de produção ideal a ser utilizado é o **JIT**. O sistema de produção *JIT* produzem alta variedade de produtos em baixos ou médios volumes. O sistema de produção *JIT* deve utilizar idealmente um **layout em linha**, lembrado acima. Este *layout* deve ser utilizado quando o fluxo de materiais é regular. O sistema de produção *JIT* tem como resultados tanto a **produtividade quanto a flexibilidade**. Apesar de a variedade de produtos ainda ser alta, o sistema *JIT* consegue obter alta produtividade por ser uma filosofia de manufatura na qual a produção e a realização de melhorias são dois objetivos igualmente importantes. Para garantir ambos os resultados de produção, o sistema deve apresentar **média automação** e uma **mão de obra polivalente**, que tenha habilidade para utilizar os diversos equipamentos. Devido à dificuldade de implementação, este sistema de produção não seria indicado para empresas que apresentam baixa variedade de produtos e podem adotar um sistema de produção de implementação mais simples, como o em linha de fluxo.

- No quarto e no quinto segmentos, tanto para as empresas que adotam a estratégia da padronização segmentada quanto para as empresas que adotam a estratégia de padronização pura, o sistema de produção ideal a ser utilizado é o em **linha de fluxo**. Os sistemas em linha de fluxo produzem bens em alto volume e em baixa variedade, devendo utilizar idealmente um **layout em linha**, lembrado anteriormente. Quando a variedade é relativamente pequena e o volume alto, o fluxo pode ficar regularizado, e um *layout* em linha é geralmente o mais adequado. O sistema de produção em linha de fluxo tem como resultado a **produtividade**, que é obtida por meio de **média ou alta automação** e **baixa qualificação da mão de obra**.

Vale destacar que, como todo modelo, o apresentado é uma simplificação da realidade e compreende apenas a situação ideal, descrita na literatura, como afirma Hitomi (1996). O autor

diz que um modelo é uma representação abstrata de uma situação ou comportamento real. Ele é, em geral, menos complexo do que a realidade, mas deve ser suficientemente completo para aproximar os aspectos da realidade a serem investigados (HITOMI, 1996). O autor afirma ainda que modelos podem auxiliar na tomada de decisões, pois muitas vezes são úteis para derivar sequencialmente a solução quase ótima.

Mesmo sobre os diferentes sistemas de produção, os próprios autores que os caracterizam, Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), afirmam que embora a ideia de sistemas de produção possa ser útil, pode ser também simplista, uma vez que, na realidade, não há fronteira clara entre os sistemas de produção. E a respeito dos *layouts* de fábrica, os mesmos autores alertam que muitas empresas, na realidade, utilizam *layouts* mistos ou híbridos, que combinam elementos de alguns ou de todos os quatro *layouts* básicos, ou utilizam diferentes *layouts* básicos em cada uma das áreas da produção.

4.2 REFINAMENTO DO MODELO TEÓRICO

Para o refinamento do modelo teórico apresentado anteriormente (Figura 29), foram entrevistados cinco especialistas, como descrito no Capítulo 3, sobre o método. Os principais comentários feitos por cada um dos especialistas para o modelo teórico estão apresentados na sequência.

4.2.1 Especialista A

De acordo com o Especialista A, as referências utilizadas para a criação do modelo teórico são clássicas e com propósito didático, de forma que são muito simplistas, uma vez que cada conceito, como os diferentes sistemas de produção, está delimitado por uma caixa, sendo que na realidade há um sombreamento ou uma sobreposição entre estas diferentes caixas ou linhas apresentadas no modelo teórico. Além disso, segundo o especialista, no modelo teórico não são consideradas questões importantes, como o escopo de atuação da empresa (ou seja, se a empresa, por exemplo, vai apenas produzir e entregar os módulos ou também gerenciar a obra).

Em relação à customização, o Especialista A ressalta que empresas podem ir à falência por não terem contato direto com o cliente, sendo que não sabem exatamente o que ele deseja. O especialista ainda alerta que a classificação adotada para ETO, MTO, MTF, ATO, MTS não parece adequada para a construção *offsite*, e que, além disso, ela apresenta diferenças quando

se refere ao projeto e à produção. O especialista recomendou retornar à literatura para encontrar uma classificação mais adequada.

Em relação à produção, o Especialista A destaca que sistemas de produção diferentes podem ser utilizados para a fabricação de partes distintas da edificação, uma vez que algumas partes podem sempre se repetir, como os banheiros, de forma que *kits* de banheiros podem ser produzidos; mas os módulos finais podem ser completamente diferentes.

Sendo assim, cada área da fábrica pode utilizar uma parte distinta do modelo teórico, e isto vai variar por projeto. De acordo com o especialista, geralmente, a parte de acabamentos é mais manual, mas na parte de produção da estrutura dos módulos pode haver uma estação de trabalho mais automatizada, seguida de outra mais manual.

Desta forma, de modo geral, o Especialista A afirma que o modelo teórico é válido como resultado da síntese de literatura, mas que ele deve ser revisitado e novamente analisado após a realização dos estudos de caso.

4.2.2 Especialista B

Como descrito anteriormente, a entrevista com os especialistas começou com uma apresentação do trabalho. Quando a lacuna de pesquisa foi apresentada e a matriz de Jonsson e Rudberg (2014) (Figura 3) mostrada ao Especialista B, ele afirmou que dentro de cada um dos espectros da construção *offsite* existe a possibilidade de maior ou menor padronização/customização, com a respectiva produção de maior ou menor quantidade de produtos, corroborando com o que foi apresentado neste trabalho. Além disso, o Especialista B disse que a matriz de Jonsson e Rudberg (2014) está incorreta em sua análise dos resultados da manufatura, uma vez que, segundo ele, a construção volumétrica *offsite* pode sim ter elevados desempenho, flexibilidade e inovação.

O especialista concordou com o modelo teórico apresentado, especialmente no que diz respeito à parte relativa às características da produção e às setas que ligam determinados níveis de customização a sistemas de produção específicos. Ele apenas ressaltou que mudaria um dos termos utilizados, sendo que ao invés de mão de obra com baixa qualificação deve-se dizer mão de obra treinada, uma vez que, sem o treinamento necessário, os funcionários não conseguiriam realizar as atividades requeridas.

Durante a entrevista, corroborando com o modelo teórico elaborado, o Especialista B explicou as relações entre as estratégias de customização e as características da produção. Segundo ele, a customização pura é o que acontece na construção tradicional, então empresas

que adotam esta estratégia se assemelham muito a ela. O especialista afirma que, em uma empresa que faz customização pura, cada produto é potencialmente diferente, sendo que a produção é geralmente realizada sem que o projeto completo do produto esteja disponível. Isto acontece porque não há volume suficiente de qualquer tipo de produto que justifique, num processo industrial, a realização de um projeto completo. Desta forma, a empresa depende da capacidade, do conhecimento e da habilidade de seus funcionários para preencher, durante a produção, as lacunas do projeto.

Por outro lado, se os mesmos produtos são fabricados repetidamente, é possível investir em seu projeto detalhado e a mão de obra não precisa ser especializada ou qualificada, uma vez que ela não necessita ter a habilidade de completar durante a produção o que ficou faltando do projeto. Neste caso, os funcionários podem ser treinados para fazer a mesma atividade repetidas vezes. Assim, há um grande investimento no projeto do produto, mas um menor investimento em mão de obra, já que ela não precisa ser especializada. Destarte, quanto mais próximo da padronização, menor habilidade é demandada da mão de obra. O mesmo se aplica à automação. Segundo o Especialista B, um alto nível automação pode ser muito útil quando o mesmo produto é produzido repetidas vezes, mas se cada produto é diferente, é mais difícil aplicar automação. No caso da padronização, como os produtos se repetem, há uma redução de custo por unidade e maior produtividade. Quando cada produto é diferente, isto não acontece.

4.2.3 Especialista C

O Especialista C também discordou da matriz de Jonsson e Rudberg (2014), inicialmente criticando a classificação ou subdivisão adotada pelos autores para a construção *offsite*. De acordo com o ele, mesmo a construção volumétrica *offsite* é formada por componentes e sistemas, sendo que ela deve ser considerada em seus elementos e não como um todo.

O Especialista C afirmou que, por ser arquiteto e por sua ampla experiência em customização em massa, com foco na área de projeto, poderia dar maior contribuição em relação à parte do modelo teórico referente às estratégias de customização. Ele concordou com as distintas estratégias de customização utilizadas para a elaboração do modelo. Ele também disse que o destaque relativo às estratégias que permitem a implementação da customização em massa foi realizado de forma adequada.

O especialista destacou, no entanto, que, na prática, um ponto de melhoria é a redução da segregação entre projeto e produção. Segundo ele, isto pode ser resolvido com a melhora na

eficiência da comunicação entre as áreas, destacando que a comunicação eficiente entre projeto e produção implicaria, inclusive, na possibilidade de uma maior oferta de customização.

O Especialista C questionou o fato de o sistema de produção *just-in-time* aparecer como um segmento do modelo, afirmando que a produção enxuta poderia ser utilizada para todos os sistemas de produção.

4.2.4 Especialista D

O Especialista D destacou a relevância da pesquisa realizada neste trabalho, enfatizando que a lacuna de pesquisa realmente precisava ser abordada por alguém.

O especialista julgou estar correta a relação apresentada no modelo criado entre a escala de customização (que vai de customização pura a padronização pura, passando por três outros níveis de customização) e a parte do produto que apresenta repetição (seja ela relativa apenas às normas e padrões, à estrutura genérica do produto, às partes de módulos padronizadas, aos módulos padronizados ou aos produtos acabados).

O Especialista D disse que seria mais adequado remover o sistema de produção em processo de projeto do modelo, uma vez que este tipo de sistema de produção é utilizado, geralmente, para “megaprojetos”, que são projetos únicos, de grande complexidade.

Quando questionado sobre o comentário feito pela Especialista C, de que a produção *just-in-time* poderia ser utilizada para todos os sistemas de produção, o Especialista D discordou, dizendo que é comum que haja uma confusão entre o que é o sistema de produção *JIT* e o que são as técnicas ou ferramentas *JIT*. Ele disse que algumas das técnicas *JIT* podem ser utilizadas em qualquer um dos tipos de sistemas de produção, para torná-lo mais eficiente, mas que isto não faz com que o sistema seja *JIT*. O sistema de produção *JIT* tem características únicas que o diferenciam dos outros sistemas de produção, sendo uma delas a necessidade de uma demanda mais ou menos constante, uma vez que o sistema de produção *JIT* não funciona muito bem quando a demanda é muito variável. Desta forma, nem todos os sistemas de produção poderiam ser substituídos pelo *JIT*. O trabalho de Miltenburg (2005), apresentado anteriormente, corrobora com a afirmação do Especialista D. Segundo o autor, é importante distinguir entre técnicas *JIT* e sistema de produção *JIT*, sendo que o sistema *JIT* é muito mais do que uma coleção de técnicas. Ainda em relação ao sistema de produção *JIT*, o Especialista D destacou que ele pode apresentar um *layout* celular, e não apenas em linha. Quando em linha, o *layout* no sistema de produção *JIT* pode ter o formato de um U.

No que diz respeito aos sistemas de produção, o Especialista D ressaltou que sua identificação é bastante subjetiva e que mesmo na literatura (o especialista cita o trabalho de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018)), há uma grande sobreposição entre os sistemas de produção, a depender do volume da produção e da variedade dos produtos fabricados. Desta forma, em alguns casos, o sistema de produção da empresa poderia ser classificado tanto como em *jobbing* quanto como em lotes, por exemplo.

Em relação à parte do modelo relativa aos resultados da produção, o especialista disse que não basta perguntar aos funcionários o que a empresa espera como resultado da fábrica, mas que é necessário também fazer observações para entender o que cada empresa realmente oferece como principal resultado de sua produção.

O Especialista D julgou adequado, de forma geral, o modelo teórico proposto, destacando que ele representa uma junção das principais literaturas da área, com as adaptações feitas da manufatura para a construção *offsite*. Ele ainda destacou que a elaboração deste modelo teórico tem relevância do ponto de vista prático e teórico. Teórico por aperfeiçoar a literatura estudada, representando uma contribuição da pesquisa. E prático devido à utilidade para as empresas de construção volumétrica *offsite*.

4.2.5 Especialista E

O Especialista E afirmou que, de forma geral, o modelo teórico está coerente e faz sentido. No entanto, assim como o Especialista A, o Especialista E resalta que o modelo teórico proposto é restritivo, por não mostrar sobreposições entre as estratégias de customização e entre as características da produção, uma vez que cada conceito está delimitado por um segmento, sendo que na realidade há sobreposição entre estes segmentos apresentados no modelo teórico. Além disso, o Especialista E afirmou que há uma confusão de conceitos no modelo teórico, sendo que o posicionamento do CODP na realidade se refere à produção e não às estratégias de customização. O especialista ressaltou ainda que a aplicação do modelo teórico vai mostrar incoerências e que o próprio modelo teórico poderá ser utilizado para explicar as incoerências encontradas nos dados empíricos.

4.2.6 Principais pontos a serem alterados no modelo teórico

Após as entrevistas com os especialistas para o refinamento do modelo teórico, foi possível identificar os principais pontos a serem alterados em tal modelo, indicados a seguir:

- O modelo teórico não mostra sobreposições entre as estratégias de customização e entre as características da produção, uma vez que cada conceito está delimitado por um segmento, sendo que na realidade há sobreposição entre eles, desta forma, a delimitação entre segmentos deve ser alterada (indicação dos Especialistas A, D e E).
- A classificação adotada para ETO, MTO, MTF, ATO, MTS deve ser revista, por não parecer adequada para a construção *offsite* (indicação do Especialista A).
- Deve ser realizada uma alteração do termo utilizado para descrever a qualificação da mão de obra (indicação do Especialista B).
- O sistema de produção em processo de projeto deve ser removido do modelo (indicação do Especialista D).
- O sistema de produção *JIT* também pode apresentar um *layout* celular, e não apenas em linha. Acrescentar ao modelo (indicação do Especialista D).
- Desvincular o posicionamento do CODP dos níveis de customização (indicação do Especialista E).

4.3 ENTREVISTAS COM PROFISSIONAIS

A etapa de entrevistas com profissionais visou auxiliar na compreensão do problema de pesquisa sob uma perspectiva prática. O Entrevistado 19 afirmou achar a proposta desta pesquisa com grande aplicação prática e muito interessante.

No Quadro 15, a seguir, são apresentados os códigos primários e secundários, assim como o número de entrevistados que mencionou os temas trazidos em cada um dos códigos, e o número de referências ao código, ou seja, o número de vezes que o tema foi mencionado pelos entrevistados. Para exemplificar, na terceira linha do quadro é possível ver que 16 entrevistados abordaram o tema relativo aos benefícios da construção volumétrica *offsite*, sendo que estes 16 entrevistados fizeram 45 menções (em sentenças diferentes) a este tema. Por meio do Quadro 15, é possível perceber que os temas mais abordados pelos entrevistados foram: os benefícios da construção volumétrica *offsite*, os desafios da construção volumétrica *offsite*, as estratégias de customização e os resultados da produção, sendo que cada um destes temas foi mencionado 40 ou mais vezes pelos entrevistados, e cada um destes temas foi mencionado por 16 ou mais profissionais. Desta forma, considera-se que estes temas têm não apenas grande relevância acadêmica, mas também grande relevância prática.

Quadro 15 - Códigos primários e secundários, número de entrevistados que os mencionou e número de referências a cada código

Códigos	Nº de entrevistados	Nº de referências ao código
1 Benefícios	17	47
1.1 Construção volumétrica <i>offsite</i>	16	45
1.2 Customização na construção volumétrica <i>offsite</i>	2	2
2 Desafios	25	90
2.1 Construção volumétrica <i>offsite</i>	25	59
2.2 Customização na construção volumétrica <i>offsite</i>	14	31
3 Construção volumétrica <i>offsite</i>	17	51
3.1 Transporte	12	25
3.2 Dimensões	5	6
3.3 Materiais	9	10
3.4 Sistemas construtivos	8	10
4 Customização na construção volumétrica <i>offsite</i>	26	100
4.1 Estratégia de customização	23	67
4.2 Porcentagem de trabalho realizado na fábrica e adiamento	18	33
5 Produção na construção volumétrica <i>offsite</i>	23	133
5.1 <i>Layouts</i> de fábrica	11	21
5.2 Resultados da produção	16	40
5.3 Nível de automação	13	25
5.4 Qualificação de mão de obra	8	14
5.5 Sistema de produção	16	33

Fonte: Elaborado pela autora.

No Quadro 16, a seguir, além dos códigos primários e secundários são mostrados os códigos terciários, com o número de entrevistados que mencionou cada um dos temas apresentados neles. Assim, é possível perceber que os temas que foram mencionados por um maior número de entrevistados diferentes foram: a customização completa como estratégia de customização na construção volumétrica *offsite* (13 menções); o desafio de ter o projeto finalizado antes do início da produção (10 menções); as limitações do transporte que geram restrições de projeto (10 menções); o uso de sistemas de produção em lote nas empresas de construção volumétrica *offsite* (9 menções); a maximização do que é produzido dentro da fábrica (8 menções); o uso de *layout* posicional nas fábricas (8 menções). Cada um destes temas foi mencionado por 8 ou mais profissionais diferentes. Desta forma, considera-se que estes temas têm grande relevância não apenas acadêmica, mas também prática.

Quadro 16 - Códigos primários, secundários e terciários e número de entrevistados que mencionou cada um dos temas dos códigos terciários

(continua)

Códigos	Nº de entrevistados que mencionou o tema
1 Benefícios	
1.1 Construção volumétrica <i>offsite</i>	
1.1.1 Precisão	2
1.1.2 Qualidade	5
1.1.3 Redução do tempo de obra no canteiro de obras	5
1.1.4 Velocidade	6
1.1.5 Redução do custo por metro quadrado	2
1.1.6 Maior lucratividade	3
1.1.7 Obtenção de mais produtos com menos recursos	1
1.1.8 Melhores condições de trabalho	2
1.1.9 Saúde e segurança	3
1.1.10 Melhor para o meio ambiente	4
1.1.11 Redução de desperdícios	3
1.1.12 Redução de perturbações no entorno da obra	2
1.1.13 Porcentagem de trabalho realizado na fábrica	1
1.1.14 Redução de custos no canteiro de obras	1
1.1.15 Uso de mão de obra não qualificada	2
1.2 Customização na construção volumétrica <i>offsite</i>	
1.2.1 Vantagem competitiva	1
2 Desafios	
2.1 Construção volumétrica <i>offsite</i>	
2.1.1 Projeto finalizado antes do início da produção	10
2.1.2 Risco de falência	2
2.1.3 Estigma do mercado	2
2.1.4 Falta de variabilidade	2
2.1.5 Alto investimento	4
2.1.6 Gerenciamento do processo	5
2.1.7 Cadeia de suprimentos	6
2.1.8 Garantir a demanda	4
2.1.9 Movimentação dos módulos	1
2.1.10 Entendimento do processo de fabricação para melhor desenvolvimento do produto	1
2.2 Customização na construção volumétrica <i>offsite</i>	
2.2.1 Necessidade de padronização	3
2.2.2 Alterações após a definição do projeto	3
2.2.3 Oferta de customização	6
2.2.4 Custo e tempo	5
2.2.5 Transferência de informação	4
2.2.6 Aplicação de princípios da manufatura	2
2.2.7 Restrições à customização	2
3 Construção volumétrica <i>offsite</i>	
3.1 Transporte, dimensões, materiais e sistemas construtivos	
3.1.1 Planejamento	6
3.1.2 As limitações do transporte geram restrições de projeto	10
3.1.3 Altura, comprimento e largura dos módulos são restringidos pelo transporte	7
3.1.4 As dimensões são restrições para o projeto	3

Quadro 16 - Códigos primários, secundários e terciários e número de entrevistados que mencionou cada um dos temas dos códigos terciários

(conclusão)

Códigos	Nº de entrevistados que mencionou o tema
3 Construção volumétrica <i>offsite</i>	
3.1 Transporte, dimensões, materiais e sistemas construtivos	
3.1.5 Capacidade de transporte dentro da própria fábrica e de içamento da grua	2
3.1.6 Dimensões da fábrica	3
3.1.7 Uso de materiais leves	1
3.1.8 Materiais que exigem cura ou secagem causam redução na velocidade de produção	1
3.1.9 Redução do número de partes	1
4 Customização na construção volumétrica <i>offsite</i>	
4.1 Estratégia de customização	
4.1.1 Customização em massa	7
4.1.2 O que está sendo mais usado no momento	1
4.1.3 Projetos mais populares no mercado	1
4.1.4 Customização completa	13
4.1.5 Solução híbrida	1
4.2 Porcentagem de trabalho realizado na fábrica e adiamento	
4.2.1 Maximizar o que é feito na fábrica	8
4.2.2 Fatores externos	5
4.2.3 Balanceamento entre o que é feito na fábrica e no canteiro de obras	7
4.2.4 Algumas atividades devem ser realizadas no canteiro de obras	3
5 Produção na construção volumétrica <i>offsite</i>	
5.1 <i>Layouts</i> de fábrica	
5.1.1 Posicional	8
5.1.2 Em linha	4
5.1.3 Combinados	4
5.2 Resultados da produção	
5.2.1 Produtividade	4
5.2.2 Produtividade e flexibilidade	1
5.2.3 Flexibilidade	2
5.2.4 Desempenho	1
5.3 Nível de automação	
5.3.1 Baixo	7
5.3.2 Médio	5
5.4 Qualificação da mão de obra	
5.4.1 Alta (especializada)	3
5.4.2 Polivalente	1
5.4.3 Treinada	3
5.5 Sistemas de produção	
5.5.1 Linha de fluxo	4
5.5.2 Balanceamento da linha	4
5.5.3 Em lotes	9
5.5.4 Ordem de produção	4

Fonte: Elaborado pela autora.

Nos itens a seguir, é feita uma discussão aprofundada sobre cada um dos temas apresentados nos códigos terciários, trazendo comparações entre eles, o número de entrevistados que mencionou cada tema e trechos das entrevistas. Além disso, as descobertas feitas durante a análise de conteúdo foram confrontadas com o referencial teórico, no sentido de refutar ou ratificar o que foi encontrado na literatura.

4.3.1 Benefícios

Este item está dedicado a descrever os principais benefícios, tanto da construção volumétrica *offsite* quanto da customização na construção volumétrica *offsite*, relatados pelos profissionais durante as entrevistas semiestruturadas.

4.3.1.1 Construção volumétrica *offsite*

Durante as entrevistas com profissionais, os principais benefícios citados para o uso da construção volumétrica *offsite* foram a **velocidade** (mencionada por 6 entrevistados, a citar 4, 7, 8, 17, 19 e 24) e a **qualidade** (mencionada por 5 entrevistados - 1, 2, 4, 7 e 19). A qualidade foi associada à **precisão** pelos entrevistados 1 e 4. A possibilidade de a construção volumétrica *offsite* oferecer maior qualidade do produto também foi abordada por Lu e Korman (2010) e Bertram *et al.* (2019). Gibb e Isack (2003) afirmaram que a qualidade dos produtos é a segunda razão mais citada para o uso de sistemas de construção *offsite*. De acordo com o Entrevistado 1, a construtora para a qual ele trabalha não constrói com menos qualidade e precisão do que a construção volumétrica *offsite*, mas é mais difícil alcançar estes requisitos no canteiro de obras, uma vez que as edificações estão espalhadas e o funcionário precisa se locomover para fazer checagens. Já na fábrica tudo está concentrado em apenas um local, o que facilita o controle e a inspeção. Segundo o Entrevistado 7, a alta qualidade é alcançada na construção volumétrica *offsite* quando há padronização e produção em grande volume de módulos que se repetem, garantindo o aprimoramento da produção.

O que alguns profissionais nomeiam como “velocidade”, os entrevistados 2, 6, 10, 14 e 24 chamam também de “**redução do tempo de obra no canteiro de obras**”, assim como descrito por Lu e Korman (2010) e Bertram *et al.* (2019). Segundo Gibb (1999) um dos principais benefícios esperados da construção volumétrica *offsite* é a redução do cronograma de construção no canteiro de obras pela sobreposição de atividades *onsite* e *offsite*. Os

Entrevistados 7 e 24 afirmam que na construção volumétrica *offsite* há uma redução do tempo de obra no canteiro de obras, porque não é necessário esperar até que as fundações estejam prontas para começar a construir os módulos na fábrica.

Outros benefícios da construção volumétrica *offsite* citados por 3 ou 4 entrevistados foram: **saúde e segurança** (Entrevistados 7, 8 e 19), relacionadas à **melhores condições de trabalho** (Entrevistados 4 e 7); **redução de desperdícios** (Entrevistados 7, 8 e 20); **maior lucratividade** (mencionada pelos Entrevistados 4, 6 e 24); e **melhor para o meio ambiente** (citado pelos Entrevistados 4, 6, 7 e 8) relacionado, entre outros, à **redução de perturbações no entorno da obra** (Entrevistados 7 e 8). Alguns destes aspectos encontram ressonância na literatura, uma vez que Lu e Korman (2010) e Bertram *et al.* (2019) afirmam que a construção volumétrica *offsite* pode reduzir os riscos de acidentes de trabalho e oferecer independência das condições climáticas adversas. Além disso, a redução do impacto ambiental foi um dos benefícios da construção volumétrica *offsite* mencionados por Akinradewo *et al.* (2021), assim como a redução da poluição sonora ao redor do canteiro de obras e o retorno antecipado do investimento (LAWSON; OGDEN; GOODIER, 2014).

No que diz respeito à saúde, segurança e condições de trabalho, o Entrevistado 4 relata que a Inglaterra é um país frio e que apresenta tardes sem luz solar durante os meses de inverno, o que faz com que a fábrica seja um ambiente melhor para trabalhar do que o canteiro de obras. Os entrevistados 4 e 7 afirmam que este fato, por si só, gera como consequência um produto de melhor qualidade na construção volumétrica *offsite*, uma vez que os funcionários trabalham no coberto e aquecidos; não congelando no canteiro de obras com seu chão lamacento. No mesmo sentido, o Entrevistado 20 afirma que na construção volumétrica *offsite* os funcionários trabalham em um ambiente controlado, protegidos das condições meteorológicas. Ademais, em relação às melhores condições de trabalho, o Entrevistado 7 afirma que a produção em fábrica aumenta a estabilidade na vida dos trabalhadores, pois não é esperado que eles se desloquem para locais diferentes, possibilitando-lhes morar perto do trabalho. Além disso, os Entrevistados 7 e 19 relatam que o trabalho em altura é praticamente inexistente na construção volumétrica *offsite*, o que a torna mais segura do que a construção tradicional. A redução da exposição a riscos, como trabalho em altura, também foi mencionada por Jeong *et al.* (2019).

Os Entrevistados 7, 8 e 20 citam a redução de desperdícios como um dos benefícios da construção volumétrica *offsite*. Kamali e Hewage (2016) também afirmam que este seja um dos benefícios potenciais desta forma de construção.

O Entrevistado 4 explica que mesmo sendo mais cara, a construção volumétrica *offsite* pode ser mais lucrativa, porque, devido à sua velocidade, seria possível produzir mais

edificações em um ano. O Entrevistado 6 diz que devido ao fato de a construção volumétrica *offsite* ser mais rápida do que a tradicional, o investidor pode começar a vender ou alugar as edificações mais cedo e, assim, ter um retorno do investimento também mais cedo.

Em relação ao meio ambiente, o Entrevistado 4 afirma que a construção volumétrica *offsite* produz edificações mais leves do que aquelas produzidas na construção tradicional. Desta forma, estas edificações requerem fundações que usam menos material e, conseqüentemente, são melhores para o meio ambiente. Neste sentido, os Entrevistados 6, 7 e 8 afirmam que, com o uso da construção volumétrica *offsite*, há uma menor quantidade de transporte para o canteiro de obras até a finalização de um empreendimento. Na construção tradicional uma grande variedade de materiais deve ser transportada até o canteiro de obras; já na construção volumétrica *offsite*, o módulo pode ir para o canteiro de obras finalizado, já com todos os materiais e acabamentos instalados. Os Entrevistados 7 e 8 afirmam ainda que a redução da quantidade de transporte para o canteiro de obras é positiva para o entorno da obra, uma vez que haverá menos tráfego, poeira e ruído, havendo menos perturbações para as pessoas que moram ou trabalham nas proximidades do canteiro de obras. Além disso, deve haver menos incidentes de trânsito, especialmente quando se está construindo ao redor de uma escola ou de um hospital.

Benefícios da construção volumétrica *offsite* citados por menos entrevistados foram: **redução do custo por metro quadrado** (Entrevistados 2 e 20) e **uso de mão de obra não qualificada** (Entrevistados 19 e 20). Em relação ao custo, o Entrevistado 20 afirma que a construção volumétrica *offsite* é mais barata do que a tradicional, porque pode-se utilizar mão de obra treinada para determinadas funções ao invés de mão de obra qualificada como de encanadores e eletricitas. No que diz respeito à qualificação da mão de obra, o Entrevistado 19 afirma que a construção volumétrica *offsite* permite o uso de mão de obra que não tenha vindo da construção tradicional. Estas pessoas são então treinadas para desempenhar funções específicas no chão de fábrica, como instalações de telhados e pisos. Desta forma, a empresa pode desenvolver as atividades com maior agilidade e qualidade, em um ambiente controlado.

Outros benefícios da construção volumétrica *offsite* citados, cada um deles por apenas um entrevistado, foram: **obter mais produtos com menos recursos** (Entrevistado 3), **porcentagem de trabalho finalizado na fábrica** (Entrevistado 10) e **redução de custo do canteiro de obras** (Entrevistado 10). O Entrevistado 3 afirma que a construção volumétrica *offsite* oferece a possibilidade de obter mais produtos com o uso de menos recursos, exemplificando que, dentro de uma fábrica com processos modernos, mais pode ser produzido com menos homens/ hora de trabalho. Já o Entrevistado 10 afirma que a construção volumétrica

offsite é vantajosa, pois permite que os edifícios sejam praticamente acabados antes de saírem da fábrica, reduzindo o tempo e os custos no canteiro de obras (em oposição aos edifícios em painéis, por exemplo).

4.3.1.2 Customização na construção volumétrica *offsite*

A **vantagem competitiva** foi o único benefício da customização na construção volumétrica *offsite* mencionado durante as entrevistas, o que vai ao encontro da afirmação de Da Rocha (2011) de que as estratégias de customização partem do pressuposto de que os clientes possuem requisitos específicos e que atendê-los e aumentar o valor dos produtos cria uma vantagem competitiva.

A estratégia de customização utilizada pelas empresas é escolhida em consequência do nicho de mercado em que elas querem atuar, sendo que duas estratégias de customização foram mencionadas pelos profissionais como vantagens competitivas nas empresas em que cada um atua: a customização completa e a customização em massa.

A **customização completa** foi citada como uma vantagem competitiva por 3 profissionais (Entrevistados 18, 24 e 25). De acordo com o Entrevistado 18, a oferta de customização completa é a vantagem competitiva da empresa em relação aos concorrentes que oferecem produtos customizados em massa. O Entrevistado 24, que trabalha para a mesma empresa, afirma que ela não foi projetada para fazer produção em massa, uma vez que nos estágios iniciais do seu desenvolvimento foi decidido que seu foco seria projetar e construir para atender aos requerimentos dos clientes. Segundo o entrevistado, o que a empresa oferece ao mercado é o que as grandes empresas que fazem produtos padronizados não conseguem oferecer. O Entrevistado 24 afirma ainda que a empresa consegue competir em preço por não ter grandes despesas gerais. O Entrevistado 25, que também trabalha para a mesma empresa, afirma que ela constrói de acordo com o projeto que for necessário, enquanto algumas outras empresas são bastante rígidas em termos dos produtos que oferecem, tendo apenas um determinado tamanho de módulo, por exemplo.

Por outro lado, a **customização em massa** foi citada como vantagem competitiva por 3 profissionais (Entrevistados 19, 21 e 23). Para o Entrevistado 19, a customização em massa é o que diferencia a empresa de seus concorrentes. O entrevistado relata acreditar que a única forma pela qual a construção volumétrica *offsite* pode ser bem-sucedida é por meio do uso da customização em massa. Tanto o Entrevistado 19 quanto o Entrevistado 21 afirmam que a aplicação da customização em massa começa na etapa de projeto. O Entrevistado 19 relata que

a empresa projeta as suas casas a partir de um núcleo comum e de uma biblioteca de detalhes padrão que, de forma paramétrica, aplica restrições de dimensões aos projetos. O Entrevistado 21 relata que os projetos das diversas residências oferecidas pela empresa usam os mesmos componentes reutilizáveis para, ao mesmo tempo, aumentar o número de opções para o cliente e obter eficiência na fábrica. A **importância da padronização de componentes que possam ser reutilizados nos projetos de módulos diferentes** também é relatada pelo Entrevistado 23.

4.3.2 Desafios

Este item busca descrever os principais desafios relatados pelos profissionais entrevistados em relação ao uso e à realização da construção volumétrica *offsite*, além dos desafios envolvidos em oferecer customização na construção volumétrica *offsite*.

4.3.2.1 Construção volumétrica *offsite*

Dos 28 profissionais entrevistados, 10 (Entrevistados 1, 2, 8, 9, 10, 14, 17, 21, 24 e 25) relataram que o principal desafio, tanto para o uso quanto para a realização da construção volumétrica *offsite*, é a necessidade de ter o **projeto finalizado antes do início da produção**. Este desafio também é mencionado na literatura, nos trabalhos de Jonsson e Rudberg (2014) e Razkenari *et al.* (2020). O Entrevistado 2, que trabalha em uma construtora, afirma que o que impede a empresa de usar a construção volumétrica *offsite* com maior frequência é a necessidade de que os processos de projeto e compra de materiais aconteçam muito cedo no ciclo de vida do projeto de construção, sendo que nem sempre a construtora está preparada para definir todo o projeto com tanta antecedência.

Já para os funcionários das empresas de construção volumétrica *offsite*, representados aqui pelas falas dos Entrevistados 8, 9 e 10, é fundamental que o projeto esteja definido semanas antes do início da produção devido à necessidade de compra de materiais e programação da fábrica. O Entrevistado 25 reforça que nada é produzido antes que o projeto esteja definido e assinado pelo cliente.

Outros desafios bastante citados pelos profissionais em relação à realização da construção volumétrica *offsite* foram a **cadeia de suprimentos** (mencionada por 6 Entrevistados - 13, 16, 17, 19, 25 e 28) e o **gerenciamento do processo** (citado por 5 Entrevistados - 12, 16, 20, 21 e 25). Kamali e Hewage (2016) mencionam, em seu trabalho, o esforço intensivo de planejamento

e a complexidade da logística, que inclui as restrições do canteiro de obras e do transporte, como duas das principais barreiras para a implementação da construção volumétrica *offsite*.

De acordo com o Entrevistado 17, grandes desafios são as flutuações de preço e a indisponibilidade de materiais, que dificultam o gerenciamento e a previsão do processo de produção. O Entrevistado 19 afirma que a cadeia de suprimentos não pode falhar, pois, diferentemente do que acontece na construção tradicional, em que os funcionários são pagos por etapa de trabalho realizado, na construção volumétrica *offsite* os custos são permanentes. Sendo assim, os atrasos na entrega de materiais são bastante prejudiciais, uma vez que, mesmo a fábrica estando parada, é preciso pagar o aluguel, os funcionários, a energia, etc. Já o Entrevistado 28 entende que o maior problema em relação à cadeia de suprimentos seja o fato de ela estar acostumada à construção tradicional e a trabalhar em dias, enquanto na fábrica necessita-se que as entregas sejam feitas com precisão de horas ou minutos para que a produção não pare.

Segundo o Entrevistado 12, deve haver um bom gerenciamento do processo para evitar a desconexão entre a fábrica e o canteiro de obras. De acordo com o Entrevistado 16, a empresa terá dificuldades para estocar os módulos caso eles estejam finalizados, mas não possam ser entregues devido ao atraso das atividades no canteiro de obras. Ao mesmo tempo, para o Entrevistado 20, a ordem de produção na fábrica deve seguir a ordem de instalação dos módulos no canteiro de obras. Ele destaca que se não houver um bom gerenciamento do processo há riscos de a empresa ter a qualidade da execução reduzida no canteiro de obras. O Entrevistado 21 afirma que um dos grandes desafios da construção volumétrica *offsite* é tentar garantir que os módulos saiam da fábrica quando as fundações estiverem prontas. Segundo o entrevistado, isto é difícil, pois exige muito planejamento e coordenação para entender quais módulos devem ser produzidos em qual momento. Se as fundações não estiverem prontas, mas os módulos sim, eles precisam ser armazenados e os custos de armazenamento são muito altos.

O **alto investimento** e a **garantia da demanda** também foram desafios para a realização da construção volumétrica *offsite* bastante mencionados pelos profissionais, tendo recebido 4 citações cada. O alto investimento foi apontado pelos Entrevistados 12, 18, 20 e 23, e a garantia da demanda foi mencionada pelos Entrevistados 13, 17, 18 e 27. O nível inicial de investimento foi um desafio também relatado por Jonsson e Rudberg (2014) e Razkenari *et al.* (2020), para a implementação da construção volumétrica *offsite*. Além disso, a incerteza da demanda representa uma enorme dificuldade em obter retorno sobre altos investimentos iniciais na instalação fabril (ARDITI; ERGIN; GÜNHAN, 2000; RAZKENARI *et al.*, 2020).

O Entrevistado 12 afirma que é necessário um alto investimento para instalar uma fábrica para construção volumétrica *offsite*, especialmente se a empresa tiver intenção de utilizar um *layout* em linha e algum tipo de automação. O Entrevistado 18 destaca que outro grande investimento é a compra ou o aluguel do terreno para a fábrica, sendo que o tamanho dela pode restringir a capacidade de produção e o próprio *layout* da fábrica, como destaca o Entrevistado 20. Além disso, o Entrevistado 20 explica que, geralmente, é necessário um grande investimento inicial que só terá retorno a longo prazo.

De acordo com o Entrevistado 13, um grande desafio é garantir a demanda, assegurando um fluxo de trabalho e projetos suficientes no momento certo. Segundo o entrevistado, este desafio decorre da volatilidade da indústria da construção e das partes interessadas.

Uma preocupação em relação ao uso da construção volumétrica *offsite* relatada por 2 profissionais (Entrevistados 1 e 2), funcionários de construtoras, é o **risco de falência**. O Entrevistado 1 afirma que muitas grandes empresas de construção volumétrica *offsite* foram à falência nos últimos anos no Reino Unido, gerando desconfiança nas construtoras. Segundo o entrevistado, a construtora para a qual ele trabalha não quer correr o risco de contratar uma empresa de construção volumétrica *offsite*, temendo que ela vá à falência e deixe o trabalho incompleto, como um grande problema para a construtora.

Outros desafios em relação à construção volumétrica *offsite* apresentaram menos citações entre os profissionais entrevistados, sendo que 2 (Entrevistados 3 e 22) mencionaram a **falta de variabilidade** como desafio. Além disso, os Entrevistados 3 e 5 citaram o **estigma do mercado** como desafio; o Entrevistado 20 mencionou a **movimentação dos módulos** e o Entrevistado 7 citou o **entendimento do processo de fabricação para melhor desenvolvimento do produto** como desafios. A flexibilidade reduzida para o projeto na construção volumétrica *offsite* também foi relatada por Jaillon e Poon (2010), Jonsson e Rudberg (2014) e Razkenari *et al.* (2020). Em relação ao estigma do mercado, Edge *et al.* (2002) descobriram que potenciais compradores têm percepções negativas de casas pré-fabricadas do pós-guerra.

O Entrevistado 3 relata que alguns planejadores urbanos afirmam que a construção volumétrica *offsite* não deveria ser permitida em sua área, porque ela faz com que todas as construções pareçam iguais, sem graça e não muito interessantes do ponto de vista arquitetônico. O Entrevistado 22 afirma que é possível ter variações nos projetos dos módulos, mas que elas são limitadas, uma vez que há apenas certa quantidade de variação que se pode ter quando se trabalha com uma caixa.

O Entrevistado 3 afirma que há um grande estigma acerca da construção volumétrica *offsite* devido às falhas sistêmicas que edificações pré-fabricadas apresentaram no passado. O

entrevistado afirma que o desafio da indústria atual é criar uma certificação de testes rigorosa e sistemas de acreditação que garantam que não haja qualquer tipo de falha sistêmica.

O Entrevistado 20 relata que algumas empresas apresentam desafios ao movimentar os módulos não só até o canteiro de obras, mas também dentro da própria fábrica, uma vez que a movimentação gera fissuras nos painéis de fechamento e divisórias.

O Entrevistado 7 afirma que o entendimento do processo de fabricação é fundamental para o melhor desenvolvimento do produto.

4.3.2.2 Customização na construção volumétrica *offsite*

Durante as entrevistas, 6 profissionais (Entrevistados 5, 21, 22, 23, 25 e 27) afirmaram que a **oferta de customização** na construção volumétrica *offsite* é em si um grande desafio. Neste sentido, 3 profissionais (Entrevistados 3, 7 e 23) ressaltam a **necessidade de padronização**. O Entrevistado 3 menciona que tudo que for possível deve ser padronizado. O Entrevistado 23 afirma que, para aumentar a produtividade da fábrica, deve existir alguma forma de padronização nos projetos, uma vez que a elevada customização influencia no balanceamento da produção e na produtividade da fábrica. Isto explica o desafio que a oferta de customização na construção volumétrica *offsite* representa. Segundo o Entrevistado 21, quanto mais customização a empresa oferece ao cliente, menor é a eficiência da fábrica, uma vez que novas opções envolvem novos processos, novos materiais, etc. Este aspecto também foi levantado por Da Rocha e Kemmer (2013) e Martinez, Tommelein e Alvear (2017).

O Entrevistado 7 afirma que a padronização garante economias de escala, sendo que o custo global é reduzido quando a produção é realizada em maior volume e para projetos já conhecidos pela empresa. Jonsson e Rudberg (2014) também alegam que uma das principais vantagens da construção volumétrica *offsite* é o aumento da possibilidade de geração de economia de escala na fabricação de várias unidades repetidas.

Desta forma, como afirma o Entrevistado 23, aumentar a produtividade e oferecer customização completa é um grande desafio. O Entrevistado 25 destaca que a realização de projetos customizados demanda tempo de aprendizado da mão de obra. A este respeito, o Entrevistado 27 explica que uma empresa que oferece módulos padronizados sabe exatamente quanto tempo cada módulo demorará para ser produzido, no entanto, no caso de empresas que oferecem customização, a mão de obra precisará passar por uma curva de aprendizagem para produzir o novo módulo, o que acarreta o aumento das horas de produção até que o aprendizado esteja consolidado e estas horas sejam reduzidas devido a prática e a repetição. Assim, o preço

final do módulo precisa considerar não apenas as horas de trabalho, mas também as horas de aprendizado da mão de obra.

Neste contexto, 5 profissionais (Entrevistados 3, 12, 17, 23 e 27) relataram que **custo e tempo** são os maiores desafios para a customização na construção volumétrica *offsite*. De acordo com os Entrevistados 12 e 17, para cada projeto customizado, em comparação com projetos padronizados, há sempre um custo extra com projeto, engenharia e materiais, e um tempo extra para que os projetos sejam desenvolvidos. O Entrevistado 27 destaca ainda os custos com testes e certificações, no caso de projetos customizados. Segundo ele, estes custos são bastante elevados e podem impedir a realização do projeto caso o número de módulos produzido não seja elevado o suficiente para garantir a diluição destes custos. Sendo assim, para o entrevistado, a realização de customização completa pode ser uma vantagem competitiva (como destaca Da Rocha (2011)) ao agregar valor ao produto, mas também pode representar um risco para as empresas.

Outro aspecto levantado por 4 profissionais (Entrevistados 13, 19, 23 e 24) como um desafio para a customização na construção volumétrica *offsite* foi a **transferência de informação**, especialmente entre a equipe de projeto e o chão de fábrica. Segundo o Entrevistado 13, a informação é diferente em cada projeto, portanto a equipe de produção deve ter informações suficientes emitidas em tempo hábil para permitir revisões dos métodos de construção e ferramentas. O Entrevistado 19 ressalta a importância de haver colaboração entre as equipes de projeto e de produção.

Desafios para a customização na construção volumétrica *offsite* mencionados com menos recorrência durante as entrevistas foram: **alterações após a definição de projeto** (apontado pelos Entrevistados 10, 14 e 21), **restrições à customização** (levantado pelos Entrevistados 22 e 23) e **aplicação de princípios de manufatura** (mencionado pelos Entrevistados 7 e 16).

Os Entrevistados 10 e 14 alertam que alterações ou customizações tardias podem adicionar custos e tempo desnecessários ao projeto. Segundo o Entrevistado 10, enquanto nos trabalhos de construção tradicional a customização pode ser feita tardiamente e não ter tanto impacto na obra, uma vez que a parte a ser customizada pode ainda não ter sido construída, na construção volumétrica *offsite* uma grande parte do edifício é concluída na fábrica. Isso significa que a parte que se deseja customizar pode já estar construída caso uma solicitação de alteração seja feita mais tarde no processo.

Segundo o Entrevistado 22, a construção volumétrica *offsite* apresenta restrições em termos de possibilidades de customização devido ao formato dos módulos e a maneira como eles são

conectados. O Entrevistado 23 afirma haver restrições de dimensões para o transporte, o que limita as possibilidades de customização.

De acordo com o Entrevistado 16, aplicar princípios de manufatura a um projeto completamente customizado é muito difícil, devido à complexidade do gerenciamento para garantir que todos os materiais sejam adquiridos a tempo, e devido à necessidade de que a mão de obra seja adaptável o suficiente para dedicar-se a novos processos e materiais. Neste sentido, o Entrevistado 7 afirma que é necessário um número mínimo de unidades (que varia de 200 a 250) para que a construção volumétrica *offsite* seja viável.

4.3.3 Construção volumétrica *offsite*

A construção volumétrica *offsite* em si apresenta particularidades que geram restrições à customização. Dentre elas, a principal é a necessidade de transporte dos módulos, que implica em limitações para suas dimensões e seu peso. Neste sentido, os materiais e sistemas construtivos utilizados devem satisfazer tais limitações e ainda facilitar os processos de manufatura.

4.3.3.1 Transporte, dimensões, materiais e sistemas construtivos

Para a construção volumétrica *offsite*, em relação ao transporte, 6 profissionais (Entrevistados 7, 8, 15, 20, 24 e 27) destacaram a importância do **planejamento**. Os Entrevistados 8 e 27 afirmam que o canteiro de obras deve ser visitado com antecedência para verificar os acessos possíveis, as dimensões e o entorno do canteiro de obras, a fim de determinar os tipos de caminhão e de grua que podem ser utilizados. Além disso, deve-se planejar o horário do transporte, uma vez que algumas cidades só permitem transporte por caminhão em determinados horários do dia. Os Entrevistados 15 e 27 ressaltam que alguns módulos, devido às suas dimensões, precisam de escolta policial para serem transportados, serviço que só está disponível durante algumas horas do dia e tem custo elevado.

O Entrevistado 27 afirma que o planejamento do transporte inclui: i) retirada de mobiliário urbano, se necessário, com a devida autorização dos órgãos responsáveis; e ii) as possíveis paradas para os módulos. O entrevistado explica que se estiver ventando ou chovendo muito, o guindaste não pode içar o módulo no canteiro de obras, por motivos de segurança. Neste cenário, se já existirem módulos no canteiro de obras aguardando içamento, e outros módulos a caminho, estes não terão espaço no canteiro de obras, sendo assim, devem ficar parados em

algum posto de serviço, o que envolve bastante planejamento, pois além de ser caro (principalmente se o módulo precisar passar a noite parado), nem todos os postos de serviços possuem a estrutura para receber um caminhão transportando algo tão grande. Além disso, um custo adicional para o transporte é o seguro para os módulos.

Ainda considerando o transporte, 10 profissionais (Entrevistados 7, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 23 e 24), assim como Kamali e Hewage (2016), afirmaram que **as limitações do transporte geram restrições de projeto**, no sentido de que as máximas **altura, comprimento e largura dos módulos são restringidas pelo transporte** via caminhão, de acordo com 7 profissionais (Entrevistados 7, 9, 10, 11, 13, 17 e 24), e como relatado por Lacey *et al.* (2018). Sendo assim, em decorrência do transporte, segundo 3 profissionais (Entrevistados 13, 15 e 23), **as dimensões são grandes restrições para o projeto**. Os Entrevistados 13 e 16 alertam, no entanto, que a **capacidade de transporte dentro da própria fábrica e de içamento da grua** para instalação dos módulos no canteiro de obras também implicam em restrições para o projeto dos módulos, especialmente considerando seu peso. O Entrevistado 19, assim como Kamali e Hewage (2016), destaca a necessidade de **uso de materiais leves** para que os módulos possam ser transportados e içados no canteiro de obras.

Outras restrições para o projeto, apontadas por 3 profissionais (Entrevistados 10, 16 e 24) são as **dimensões da fábrica**. Segundo os Entrevistados 10 e 24, as dimensões da própria fábrica ou do percurso que o caminhão faz até sua área externa podem restringir o tamanho dos módulos, uma vez que as unidades precisam ser transportadas pelo ambiente fabril. De acordo com o Entrevistado 16, as dimensões das portas da fábrica também podem restringir as dimensões dos módulos.

Em termos de produção, o Entrevistado 20 alerta que qualquer **material que exija cura ou secagem causa redução da sua velocidade**. Além disso, para garantir a eficiência da produção, segundo o Entrevistado 15, o objetivo da empresa deve ser **reduzir o número de partes** dos módulos. Para isso, o projeto precisa ser bem detalhado, permitindo saber, por exemplo, o número de juntas nas tubulações de sistemas prediais. A redução do número de partes colabora com a racionalização da produção, apontada por Ribeiro e Michalka Jr. (2003) como um fator que auxilia a fábrica a alcançar maior produtividade.

4.3.4 Customização na construção volumétrica *offsite*

Neste item são abordadas as diferentes estratégias de customização utilizadas pelas empresas de construção *offsite*, a porcentagem de trabalho realizado na fábrica e no canteiro de obras e o uso da abordagem de adiamento.

4.3.4.1 Estratégia de customização

Profissionais que trabalham em 13 diferentes empresas de construção *offsite* participaram das entrevistas. Destas empresas, 4 utilizam uma estratégia de customização em massa, 8 empresas usam uma estratégia de customização completa e 1 empresa considera a estratégia de customização completa, mas utilizando para isso uma solução híbrida para a construção. Desta forma, é possível perceber que a maioria das empresas de construção volumétrica *offsite* usa uma estratégia de customização completa, e não de customização em massa, como afirmado ser o ideal inúmeras vezes na literatura em trabalhos como o de Jensen, Nielsen e Brunoé (2015) ou de Khalili-Araghi e Kolarevic (2020).

A estratégia da **customização em massa** foi mencionada por 7 profissionais (Entrevistados 6, 9, 15, 19, 21, 22 e 28) que trabalham em 4 empresas diferentes. O Entrevistado 6 afirma que a Empresa E possui catálogos de módulos padrão que permitem um pouco de customização, como opções e cores de revestimentos e acabamentos, além de alguns *layouts* internos que podem ser alterados, mas a empresa tenta manter o produto o mais padronizado possível. O entrevistado deixa claro que mesmo para os aspectos que podem ser customizados, a empresa oferece um catálogo (com algumas opções de portas, por exemplo), e o cliente deve fazer suas escolhas baseado neste catálogo. A empresa possui uma equipe de projeto completa, com arquitetos e engenheiros.

O Entrevistado 9 afirma que o segredo da customização é possuir um catálogo de opções para o cliente, ao invés de permitir que ele escolha dentre todas as opções disponíveis no mercado. O Entrevistado 15 afirma que a Empresa C tem 10 tipos de casas, sendo que existe um catálogo por meio do qual o cliente pode escolher dentre uma ampla gama de opções que incluem acabamento externo, cozinha, banheiro, *layouts* internos, janelas (que variam em cor de estilo), portas, etc. O entrevistado destaca, entretanto, que se um cliente for comprar uma grande quantidade de casas e quiser um acabamento ou um equipamento doméstico que não esteja no catálogo, a solicitação passará por análise e, caso não interfira na produtividade da fábrica e na qualidade do produto, será realizada, mas o cliente deve arcar com os eventuais

custos extras. A empresa, no entanto, não faz alteração do *layout* interno dos módulos para nenhum cliente, segundo o Entrevistado 22, que trabalha para a mesma empresa.

Quando perguntado sobre como a empresa escolhe as opções que são colocadas no catálogo para o cliente, o Entrevistado 15 relatou que ela escolhe o que está sendo mais usado no momento e que estas opções são revistas anualmente ou a cada 18 meses, para que sejam mantidas atualizadas. No mesmo sentido, quando perguntado sobre como a empresa escolheu os 10 tipos de casas que são ofertados aos clientes, o Entrevistado 15 afirmou que, quando a empresa começou, ela estava associada à outra, de construção tradicional, com 20 anos de experiência no mercado, sendo que os tipos de casa foram copiados dos mais populares ofertados por esta empresa, já que ela havia trabalhado durante muitos anos para otimizar sua linha de produtos.

O Entrevistado 21, que também trabalha para a Empresa C, relata que ela fez algumas alterações nos tipos de casa que oferta aos clientes para que os mesmos módulos pudessem ser utilizados em diferentes tipos de casas. Desta forma, a empresa visou projetar componentes que fossem reutilizáveis, o que vai ao encontro da literatura, uma vez que Brière-Côté, Rivest e Desrochers (2010) afirmam que as opções oferecidas aos clientes devem ser pensadas para garantir a reutilização de partes de produtos para uma série de produtos diferentes.

Assim, a empresa tenta ter menos opções, mas que satisfaçam o maior número de clientes possível. O Entrevistado 22 afirma que a empresa busca ter a menor quantidade possível de tipos de módulos, sendo que, em breve, serão apenas 9 tipos de módulos que poderão ser combinados de diversas formas para criar 27 tipos de casas. O entrevistado ressalta ainda que estes 9 tipos de módulos serão provenientes de apenas 2 tamanhos diferentes de chassi padrão, sendo um mais curto e um mais longo, mas ambos com a mesma largura (hoje a empresa tem 3 tamanhos diferentes de chassi). O Entrevistado 22 relata que não há nenhum tipo de elemento estrutural nas divisórias internas, de forma que o *layout* interno possa ser modificado com maior facilidade.

O uso de um catálogo de opções é bastante aderente à afirmação de Da Silveira, Borenstein e Fogliatto (2001), de que a customização em massa busca estabelecer uma variedade controlada de opções de customização, considerando o entendimento prévio dos requisitos do cliente e a capacidade produtiva da empresa.

O Entrevistado 19 afirma que um aspecto importante da customização em massa para a Empresa F é a oferta de habitações que pareçam bem diferentes devido aos acabamentos - que podem ser de baixo a alto padrão, atraindo uma ampla gama de compradores - mas que apresentem um *layout* fundamentalmente igual. Segundo o entrevistado, a estrutura e o projeto

são basicamente sempre os mesmos; as tubulações estarão sempre no mesmo lugar, o vaso sanitário ficará sempre à esquerda e a banheira à direita, de forma a manter a variação baixa e ter um alto nível de repetição. Neste sentido, há um esforço de projeto de ter um número de itens diferentes reduzido. De acordo com o entrevistado, a empresa utiliza em torno de 600 itens diferentes para produzir uma habitação completa, e tem tentado reduzir esta quantidade. A empresa quer ter muitas opções diferentes para o que o cliente pode ver, como acabamentos de cozinha, de banheiro, portas e janelas, mas poucos itens diferentes na estrutura, nas tubulações de sistemas prediais (de água fria e quente, esgoto e águas pluviais, de gás) e no sistema elétrico. A empresa, no entanto, ainda não tem um catálogo de produtos, uma vez que o Entrevistado 19 afirma que ele está em desenvolvimento para os 29 tipos de casa ofertados pela empresa.

A estratégia da **customização completa** foi mencionada por 13 profissionais (Entrevistados 7, 8, 10, 11, 13, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26 e 27) que trabalham em 8 empresas diferentes. Para Duray *et al.* (2000), a customização completa se caracteriza pela produção de bens únicos sem as economias da manufatura repetitiva.

O Entrevistado 11 afirma que a Empresa O oferece customização completa, de forma que as dimensões dos módulos e seus *layouts* internos são projetados para atender às necessidades individuais do cliente. Já o Entrevistado 13 afirma que a Empresa A oferece customização completa para tudo com o que o cliente pode interagir, como janelas, cozinha, banheiros, acabamentos, etc., mas o sistema construtivo utilizado para a estrutura é sempre o mesmo.

O Entrevistado 16 relata que a Empresa P faz customização completa, mas que está desenvolvendo sua linha padrão de habitações, que poderá ter alguns elementos customizados para que elas se adequem ao terreno. De acordo com o entrevistado, a empresa está buscando ter módulos de banheiro padrão, assim como os componentes principais de uma casa, a fim de obter algum tipo de repetição para maximizar a produção e a compra de materiais.

De acordo com o Entrevistado 17, a Empresa A oferece customização completa, mas segue um conjunto padrão de princípios para as juntas entre os módulos. Segundo o entrevistado, em relação ao desenvolvimento do projeto, o cliente procura a empresa já com um projeto desenvolvido por um arquiteto para a construção tradicional. A empresa então adapta este projeto para que ele possa ser produzido dentro da fábrica. O mesmo acontece com a Empresa D, para a qual trabalham os Entrevistados 18 e 24. O Entrevistado 24 destaca, no entanto, que a empresa também pode desenvolver o projeto desde o início.

O Entrevistado 12 trabalha em uma empresa que considera a estratégia de customização completa, mas utilizando para isso uma **solução híbrida** (KEMPTON, 2010) para a construção *offsite*, ou seja, a Empresa J usa tanto módulos quanto painéis para a fabricação de habitações.

Segundo o entrevistado, as áreas molhadas (cozinha e banheiros) são feitas utilizando módulos e para o resto da casa a empresa entrega painéis no canteiro de obras, sendo que eles são encaixados nos módulos e toda a parte de acabamentos é feita de forma tradicional.

O Entrevistado 12 afirma que, mesmo utilizando uma solução híbrida, a empresa possui modelos padrão de casas que foram projetados para se adequar à sua produção. No entanto, segundo o entrevistado, se o cliente quiser uma casa que seja completamente customizada, e não as casas padrão da empresa, isto pode ser feito, desde que o cliente compre em grande quantidade, uma vez que há uma implicação de custo na realização de customização completa, e ela só faz sentido se este custo extra de projeto e engenharia for diluído em uma grande quantidade de casas. Para Lawson, Ogden e Bergin (2012), um modelo econômico de construção volumétrica *offsite* deve levar em conta, entre outros fatores, o volume de produção.

4.3.4.2 Porcentagem de trabalho realizado na fábrica e adiamento

Na construção volumétrica *offsite*, a porcentagem de trabalho realizado na fábrica e a abordagem de adiamento podem estar relacionadas intencionalmente ou não. O Entrevistado 14 afirma que quanto mais atividades são deixadas para o canteiro de obras, maiores são as oportunidades de customização (abordagem de adiamento). De acordo com Yang, Burns e Backhouse (2004), o conceito de adiamento diz respeito ao atraso da realização de atividades até o último ponto possível no tempo. O Entrevistado 6 relata que, em alguns casos, atividades como acabamentos são intencionalmente deixadas para serem realizadas no canteiro de obras, e não na fábrica, a fim de permitir maior customização. Por outro lado, atividades que deveriam acontecer na fábrica podem ter que ser realizadas no canteiro de obras devido a imprevistos como: projetos complementares não finalizados em tempo hábil, atraso na entrega de materiais e indecisão do cliente.

De acordo com 8 profissionais (Entrevistados 6, 7, 8, 15, 16, 18, 20 e 21), as empresas de construção volumétrica *offsite* devem buscar **maximizar o que é feito na fábrica**. Segundo Smith (2016), em todo o espectro de produtos *offsite*, o volumétrico pode ser o mais completo em acabamento feito na fábrica, podendo atingir até 95% em alguns casos. O Entrevistado 6 afirma que a Empresa E tenta maximizar o que é feito na fábrica, mas relata que, em alguns casos, os acabamentos externos podem ser instalados no canteiro de obras, para permitir maior customização, reforçando que isto não é o ideal para a empresa. Segundo o Entrevistado 7, o objetivo é reduzir o que é feito no canteiro de obras. O Entrevistado 16 relata que a maior quantidade possível de atividades deve ser realizada dentro da fábrica. O Entrevistado 15 afirma

que a Empresa C procura fazer a maior quantidade possível de atividades na fábrica, pois esta é a forma mais eficiente e barata para sua realização. O Entrevistado 21 relata que a empresa tenta reduzir ao máximo a quantidade de atividades realizada no canteiro de obras.

De acordo com o Entrevistado 8, a realização de uma maior quantidade de atividades na fábrica pode requerer altos investimentos da empresa. O entrevistado afirma que, para conseguir instalar os acabamentos externos na fábrica, a Empresa L teve que fazer um grande investimento em sua expansão, além de contratar mais funcionários para a realização de detalhamentos de projeto, para a instalação dos acabamentos e para a compra de materiais.

Segundo 5 profissionais (Entrevistados 11, 17, 19, 20 e 26), no entanto, mesmo quando se planeja que a maior quantidade possível de atividades seja realizada na fábrica, **fatores externos** podem impedir que isto aconteça. De acordo com o Entrevistado 11, se os projetos de hidráulica e elétrica ainda não estiverem completos quando os módulos forem ser produzidos na fábrica, as instalações elétricas e hidráulicas podem ser realizadas no canteiro de obras, posteriormente à instalação e montagem dos módulos. O Entrevistado 17 afirma que, em aproximadamente metade dos projetos realizados pela Empresa A, o cliente não consegue definir quais acabamentos serão utilizados na edificação em tempo hábil para a execução em fábrica. Neste caso, as atividades de acabamento são realizadas apenas após a instalação dos módulos no canteiro de obras, com um custo adicional.

O Entrevistado 20 relata que se o processo de produção não estiver corretamente balanceado, a empresa eventualmente precisa enviar os módulos incompletos para o canteiro de obras, o que representa um prejuízo para a empresa, já que ela terá que contratar funcionários para a finalização dos módulos na obra. O Entrevistado 26 relata que não é incomum ter casos em que alguns suprimentos, como janelas, têm sua entrega atrasada e, para que os módulos não fiquem parados dentro da fábrica por dias, atrapalhando a produção, eles são enviados ao canteiro de obras e a instalação destas janelas será feita na obra.

Para algumas empresas, realizar a maior quantidade possível de trabalho dentro da fábrica pode não ser vantajoso, sendo que 7 profissionais (Entrevistados 8, 10, 13, 14, 18, 24 e 25) relatam a importância do **balanceamento entre o que é feito na fábrica e no canteiro de obras**. Para Lawson, Ogden e Bergin (2012), um modelo econômico de construção volumétrica *offsite* deve levar em conta, entre outros fatores, a proporção de construção no canteiro de obras. O Entrevistado 14 afirma que deve haver um balanceamento entre o que vai ser produzido na fábrica e no canteiro de obras, considerando a capacidade da fábrica e o volume de pedidos. Neste cenário, quanto mais atividades são deixadas para o canteiro de obras, maiores são as oportunidades de customização.

De acordo com o Entrevistado 13, o que é feito na fábrica e no canteiro de obras pode ser ditado: i) pela necessidade de espaço na fábrica para a realização de novos projetos, ii) pela localização do terreno, e iii) pelo valor da mão de obra no local. Ele relata que a Empresa A permite que determinadas escolhas, como cores de pintura e carpete, sejam feitas posteriormente, uma vez que elas não são críticas para o processo de produção.

Os Entrevistados 18, 24 e 25, que trabalham para Empresa D, afirmam que em alguns projetos de alta complexidade apenas o envoltório dos módulos é feito na fábrica, ou seja, apenas a estrutura e os painéis de fechamento; todas as instalações, acabamentos, etc. são feitos no canteiro de obras. Segundo o Entrevistado 25, do ponto de vista do projeto, isto é vantajoso pois permite a customização tardia. De acordo com o Entrevistado 24, a vantagem disto para a empresa é que os módulos são produzidos rapidamente e despachados, liberando espaço na fábrica para o próximo projeto, o que representa para a empresa um maior volume de produção ao longo do tempo (mais módulos produzidos na fábrica por ano). Por outro lado, o Entrevistado 18 ressalta que, nestes casos, mais atividades são feitas no canteiro de obras do que na fábrica, o que implica em maior tempo para a entrega da obra. Segundo o Entrevistado 24, mesmo enviando apenas o envoltório dos módulos para o canteiro de obras, a velocidade de realização da obra ainda é maior do que seria na construção tradicional. Além disso, há o benefício de os funcionários do canteiro de obras já terem um local protegido de intempéries para trabalhar.

Seja a estratégia da empresa maximizar o que é produzido na fábrica ou balancear a produção entre fábrica e canteiro de obras, de acordo com 3 profissionais (Entrevistados 16, 17 e 21), **algumas atividades devem ser realizadas no canteiro de obras**. Os Entrevistados 17 e 21 afirmam que algumas atividades sempre deverão ser realizadas no canteiro de obras, como a conexão das instalações elétricas e hidráulicas entre os módulos e entre estes e o terreno, e o acabamento e a pintura nas junções entre módulos.

4.3.5 Produção na construção volumétrica *offsite*

Por meio das entrevistas foi possível perceber que há, entre os profissionais, uma grande confusão em termos de nomenclaturas e significados, especialmente no que diz respeito aos *layouts* de fábrica e aos sistemas de produção, sendo que os conceitos se misturam nas falas de vários entrevistados. A seguir estão apresentados os resultados da análise de conteúdo relativa aos termos relacionados à produção e algumas de suas características, tendo como base os conceitos apresentados na síntese de literatura.

De acordo com o Entrevistado 16, em 11 anos que ele está no mercado da construção volumétrica *offsite* no Reino Unido, ele viu várias empresas sendo criadas, com muitos sistemas de produção diferentes, cada uma procurando conquistar seu próprio nicho de mercado na área. Para o entrevistado, é interessante ver a eficiência de cada um desses sistemas, mas também é curioso notar que todas as empresas enfrentam restrições semelhantes.

4.3.5.1 *Layouts* de fábrica

Durante as entrevistas foi possível perceber que, de forma geral, as fábricas apresentam *layouts* **combinados** (Entrevistados 12, 16, 19 e 26), sendo diferentes para as áreas de corte e preparação de material e para a área principal, de produção do módulo. O Entrevistado 26 relata que os painéis de fechamento são montados em um local separado do chão de fábrica principal, que utiliza um *layout* celular, então são movidos para a área principal da fábrica, onde são agregadas à estrutura dos módulos, que ficam dispostos em um *layout* posicional. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) alertam que muitas fábricas, na realidade, utilizam diferentes *layouts* básicos em cada uma das áreas da operação. Para a área principal, o *layout* é, em sua maioria, **posicional** (segundo relatado por 8 profissionais - Entrevistados 11, 12, 13, 14, 18, 24, 25 e 26 – que trabalham em 4 empresas diferentes) ou **em linha** (de acordo com 4 profissionais - Entrevistado 15, 16, 19 e 21 – que trabalham em 3 empresas diferentes). De acordo Duncheva e Bradley (2019), as empresas da União Europeia empregam um *layout* em linha. Em contrapartida, as empresas de construção volumétrica *offsite* do Reino Unido usam predominantemente um *layout* posicional.

Os Entrevistados 11, 13 e 18 afirmam que, quando o espaço no chão de fábrica permite, os módulos são posicionados como serão montados no canteiro de obras, para garantir o alinhamento entre eles. Segundo o Entrevistado 12, a estrutura é montada em um local da fábrica que apresenta *layout* celular, mas depois é movida para a posição em que ficará durante a maior parte do processo de produção. Assim, os módulos ficam fixos dentro da fábrica, sendo que os materiais são trazidos até eles, ao invés de o módulo estar em uma linha e ser empurrado por várias estações de trabalho. O Entrevistado 25 relata que os módulos são montados no chão de fábrica na posição em que ficarão até que recebam acabamento e possam ser enviados para o canteiro de obras. O entrevistado afirma também que a mesma pessoa realiza a mesma atividade para todos os módulos.

O Entrevistado 15 relata que a Empresa C possui uma fábrica com *layout* em linha com 60 estações de trabalho. O entrevistado afirma que como o produto (módulo) é muito grande, não

há espaço suficiente na fábrica para que as estações fiquem alinhadas, então algumas são dispostas em paralelo. O Entrevistado 16 relata que os materiais são preparados e a estrutura erguida em seções da fábrica com *layout* celular e depois são movidos para uma área com *layout* em linha com 10 estações de trabalho. O Entrevistado 19 afirma que a fábrica apresenta um *layout* em linha em formato de U, sendo que os módulos são movidos por meio de uma esteira transportadora. O entrevistado ressalta, no entanto, que no espaço do chão de fábrica que correspondente ao interior do U, atividades que são independentes da linha, como de corte de madeira e montagem de *kits* para os módulos (*kits* de hidráulica, por exemplo), acontecem em um *layout* funcional. Isto permite que atividades sejam desenvolvidas previamente à sua montagem no local final do módulo, garantindo a velocidade da linha com a mesma qualidade de produção.

4.3.5.2 Resultados da produção

Durante as entrevistas quatro resultados da produção diferentes foram identificados: **produtividade** (mencionada pelos Entrevistados 6, 15, 21 e 28), **produtividade e flexibilidade** (citadas pelo Entrevistado 19), **flexibilidade** (indicada pelos Entrevistados 13 e 26) e **desempenho** (mencionado pelo Entrevistado 8). 5 profissionais (Entrevistados 10, 12, 16, 18 e 25) **não deixaram claro** quais seriam os resultados da produção nas empresas para as quais trabalham.

De acordo com o Entrevistado 6, a empresa quer garantir uma produção de 5 a 7 módulos por dia e não ficar fazendo alterações nos módulos padrão. O Entrevistado 15 afirma que a empresa tem trabalhado para aumentar sua produtividade, que era, no momento da entrevista, de 8 módulos por dia. Para isto, ela criou um segundo turno de trabalho na fábrica. De acordo com o Entrevistado 28, o objetivo da Empresa C é aumentar a produtividade. Segundo o Entrevistado 21, a oferta de mais opções nem sempre é benéfica, porque isso leva a uma redução na eficiência na produção e da qualidade. Desta forma, para o entrevistado, o desafio é oferecer opções suficientes para que o cliente fique satisfeito e sinta que é uma oferta muito customizada, ao mesmo tempo em que esta oferta é restrita o suficiente para que ainda seja eficiente, permita repetição e a confiabilidade da produção. Segundo Nahmens e Bindroo (2011), o balanceamento entre capacidades relacionadas à produtividade e à flexibilidade deve ser considerado no desenvolvimento de um sistema de produção que permita competitividade no mercado.

O Entrevistado 19 relata que, para cada novo projeto, a empresa precisa manter a taxa de produção de aproximadamente 3 módulos por dia, independentemente da customização. De acordo com o entrevistado, o que garante a produtividade, mesmo que a fábrica produza casas diferentes, é o fato de que os detalhes padrão serão sempre os mesmos, ou seja, o piso, os painéis de fechamento, as fixações, etc. serão sempre produzidos da mesma forma. Além disso, a realização de atividades (como *kits* de partes) previamente à sua montagem no local final no módulo garante a velocidade da linha. Por outro lado, para ter flexibilidade, a parte da produção relativa aos acabamentos dos módulos é muito semelhante à construção tradicional. De acordo com o Entrevistado 19, a fábrica é uma mistura entre manufatura e construção tradicional, automação e mão de obra qualificada, para permitir obter os resultados esperados (produtividade e flexibilidade). O entrevistado ressalta a necessidade de mão de obra qualificada para garantir a flexibilidade, uma vez que máquinas geralmente são adequadas para a execução de atividades repetidas. Este fato também foi encontrado na literatura: Upton (1995) e Benkamoun (2016) relatam que, na manufatura, a flexibilidade dos sistemas de produção é alcançada por meio de trabalhadores e de máquinas com competências e habilidades multifuncionais, sendo que os operadores continuam a ser o recurso mais flexível.

O Entrevistado 13 afirmou que a Empresa A deve manter sua fábrica relativamente flexível para que ela possa alcançar altos níveis de customização. Segundo ele, uma maior padronização geraria um produto mais rentável, mas este não é o nicho de mercado no qual a empresa atua. O entrevistado relata ainda que a fábrica produz, em média, 2,5 módulos por dia e que, para projetos altamente customizados, a produtividade é reduzida para em torno de 1,5 módulos por dia. O Entrevistado 26 afirma que, considerando o nicho de mercado da Empresa D, cada projeto sempre será diferente dos anteriores. Arif, Goulding e Rahimian (2012) relatam que, dada a natureza personalizada da construção, deve-se utilizar um paradigma de fabricação que incorpore abertamente a flexibilidade de projeto.

O Entrevistado 8 afirmou que a Empresa L tem alcançado um melhor desempenho a cada novo projeto por meio de lições aprendidas dos projetos anteriores e da colaboração entre os envolvidos.

Quando perguntado sobre o assunto, o Entrevistado 10 disse não saber se a Empresa N mede produtividade, mas afirmou que ela busca produzir 5 módulos por semana. No mesmo sentido, os Entrevistados 12 e 25 afirmaram que as Empresas J e D ainda estão tentando entender qual é a sua produtividade. O Entrevistado 16 relata que a Empresa P produz 4,5 módulos por semana. O Entrevistado 18 afirma que a produção da Empresa D é de aproximadamente 10 módulos por semana, a depender da complexidade dos módulos.

4.3.5.3 Nível de automação

Por meio das informações dadas pelos entrevistados, entendeu-se que as empresas de construção volumétrica *offsite* inglesas apresentam majoritariamente um **baixo** nível de automação, sendo que 7 profissionais (Entrevistados 10, 11, 12, 13, 16, 18 e 24), que trabalham em 6 empresas diferentes, relataram características do chão de fábrica que apontam nesta direção. Por outro lado, 5 profissionais (Entrevistados 8, 15, 19, 20 e 21), que trabalham em 3 empresas diferentes, descrevem características do chão de fábrica que apontam na direção do **médio** nível de automação. Isto diverge da literatura, uma vez que Duncheva e Bradley (2019) afirmam que no Reino Unido observa-se uma automação moderada da construção *offsite*.

O Entrevistado 10 afirma que a Empresa N utiliza ferramentas elétricas e plataformas elevatórias eletrificadas no chão de fábrica, mas não possui máquinas CNC. O Entrevistado 11 afirma que tudo é construído manualmente com o auxílio de ferramentas elétricas e plataformas elevatórias. Os Entrevistados 12, 16, 18 e 24 relatam que os processos realizados no chão de fábrica são majoritariamente manuais, o que, de acordo com, Duncheva e Bradley (2019), significa que os métodos tradicionais de construção são transferidos para o ambiente fechado da fábrica. Segundo o Entrevistado 12, o nível de investimento requerido para a implementação de automação é muito elevado. O Entrevistado 18 ressalta que, apesar da produção manual da Empresa D poder ser vista como arcaica, ela está no mercado há 45 anos, sendo que neste período muitas outras empresas de construção volumétrica *offsite*, com muito mais automação, abriram e logo fecharam as portas. O Entrevistado 24 afirma que a Empresa D não usa automação por não produzir o mesmo módulo repetidas vezes, ou seja, por fazer customização completa.

O Entrevistado 8 afirma que a produção da Empresa L conta com máquinas CNC que permitem bastante flexibilidade nos cortes dos materiais. Segundo Hitomi (1996), atualmente a automação é necessária para lidar com a produção de vários produtos e pequenos lotes. O Entrevistado 15 afirma que a Empresa C usa automação para gerar aprimoramentos no processo de forma a atingir um melhor desempenho na fábrica. O Entrevistado 19 afirma que a Empresa F investe em tecnologia e automação para poder fazer customização em massa. O chão de fábrica conta com máquinas CNC que cortam chapas de madeira e gesso acartonado no tamanho desejado e fazem os furos necessários para permitir a passagem da tubulação hidráulica e da fiação elétrica. Além disso, as máquinas CNC pregam e grampeiam as chapas entre si e estas à estrutura de madeira. No entanto, quem alimenta estas máquinas e posiciona as chapas a serem cortadas são os funcionários. O Entrevistado 20 afirma que a automação e a digitalização

permitem que as empresas sejam mais eficientes. Frohm, Lindström e Bellgran (2005) e Lindström, Frohm e Bellgran (2005) observaram que a maioria das tarefas na manufatura moderna envolvem uma mistura de mecanização e informatização.

4.3.5.4 Qualificação da mão de obra

A **alta** qualificação da mão de obra, que pode ser entendida como uma mão de obra especializada, foi destacada por 3 profissionais (Entrevistados 18, 23 e 24). O Entrevistado 18 afirma que a Empresa D emprega mão de obra especializada, com um nível de habilidade muito alto. Para o entrevistado, o conhecimento e a experiência dos funcionários é o que faz a produção funcionar. De acordo com o Entrevistado 23, o que diferencia a Empresa B de seus concorrentes é a experiência e a alta qualificação dos funcionários que trabalham no chão de fábrica. O entrevistado afirma que a empresa emprega marceneiros e construtores altamente qualificados que conseguem interpretar projetos e melhorá-los de acordo com sua experiência. Segundo o entrevistado, esta é provavelmente a razão pela qual a Empresa B consegue oferecer customização completa, sendo que um desafio seria fazer o mesmo com uma mão de obra menos qualificada. O Entrevistado 24 revela a preocupação de a Empresa D depender, em alguns casos, como o corte de madeira, de apenas uma pessoa que é muito experiente.

O Entrevistado 25 aponta para o emprego de uma mão de obra **polivalente** ao relatar que no chão de fábrica da Empresa D qualquer funcionário consegue fazer qualquer atividade.

A mão de obra **treinada** foi apontada por 3 profissionais (Entrevistados 16, 19 e 28). O Entrevistado 16 afirma que a Empresa P emprega alguns encanadores, eletricitas, gesseiros e carpinteiros com experiência prévia na construção, mas que a maioria das pessoas que trabalha no chão de fábrica inicia na empresa com média, baixa, ou às vezes nenhuma experiência anterior, então as pessoas são treinadas para desempenhar determinadas atividades. O Entrevistado 16 ressalta ainda que a empresa não tem maquinário, mas tem muitos funcionários, que são um recurso bastante adaptável. O Entrevistado 19 afirma que a Empresa F contrata pessoas com diferentes habilidades e experiências anteriores, como garçons e vendedores, e então as treina para desempenhar determinadas atividades, como instalação de telhado. O Entrevistado 19 ressalta que a empresa mistura automação e pessoas, porque os funcionários são o recurso que garante a flexibilidade. Upton (1995) e Benkamoun (2016) também destacam o emprego de automação e trabalhadores como forma de atingir a flexibilidade dos sistemas de produção, sendo que os trabalhadores são o recurso mais flexível. O Entrevistado 28 afirma que a força de trabalho da Empresa C tem experiências anteriores diversas, nem sempre na área da

construção, de forma que as pessoas que são treinadas para fazer determinadas atividades não possuem a habilidade de improvisar. Sendo assim, a empresa precisa ter um processo a ser seguido muito bem definido.

Os relatos dos Entrevistados 16, 19 e 28 sobre empresas que contratam pessoas com diferentes experiências anteriores, como garçons e vendedores, refuta a afirmação de Polat (2010) de que a adoção da construção *offsite* exige a presença de trabalhadores da construção civil suficientemente qualificados.

4.3.5.5 Sistema de produção

De acordo com Duncheva e Bradley (2019), as empresas de construção volumétrica *offsite* do Reino Unido usam predominantemente um sistema de produção de processos de projeto. Dentre as 3 empresas de construção volumétrica *offsite* do Reino Unido do estudo de caso realizado pelos autores, apenas uma havia estabelecido um sistema de produção em linha de fluxo. Neste trabalho, dentre as 13 empresas de construção *offsite* entrevistadas, 3 utilizam um sistema de produção em linha de fluxo e 6 usam um sistema de produção em lotes. Infelizmente, não foi possível identificar o sistema de produção utilizado pelas demais empresas.

Desta forma, pode-se perceber que, como dito por Duncheva e Bradley (2019), a maioria das empresas de construção volumétrica *offsite* do Reino Unido não utiliza um sistema de produção em linha de fluxo. No entanto, diferentemente da afirmação feita pelos autores, identificou-se que a maioria das empresas utiliza um sistema de produção em lotes, e não em processos de projeto. Isto porque, de acordo com Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), os processos de projeto se aplicam a produtos muito específicos e geralmente únicos. Entende-se que, como a construção volumétrica *offsite* implica em restrições de projeto, os produtos sempre apresentarão algo similar, de forma que não são tão únicos e específicos.

Durante as entrevistas, pelas descrições feitas por 4 profissionais (Entrevistados 9, 15, 19 e 21), que trabalham em 3 empresas diferentes, entende-se que as empresas possuem um sistema de produção em **linha de fluxo**. De acordo com o Entrevistado 21, a fábrica possui um sistema de produção em linha de fluxo muito bem estruturado. Diferentes atividades são realizadas em cada estação da linha, mas em uma mesma estação as atividades são repetitivas. Assim, os funcionários conseguem se familiarizar com o processo, mas também recebem instruções sobre como desenvolver cada atividade. A empresa possui procedimentos operacionais padrão para tentar garantir que todos estejam fazendo as atividades da maneira correta.

No sistema de produção em linha de fluxo, o **balanceamento da linha** é fundamental (Entrevistados 15, 19, 20 e 21). O Entrevistado 15 afirma que a linha de fluxo está balanceada para produzir qualquer unidade disponível no catálogo da Empresa C. Segundo o Entrevistado 19, como a quantidade de atividades necessárias para a construção de andares diferentes varia, para manter o balanceamento da linha, a Empresa F faz térreo, depois primeiro andar, então térreo novamente e primeiro andar, sempre alternando a sequência, para garantir que a fábrica tenha aproximadamente a mesma quantidade de trabalho todos os dias. O Entrevistado 20, que trabalha para uma consultoria, afirma que para fazer o balanceamento da linha é necessário elencar todas as atividades que devem ser realizadas e suas precedências. A seguir, é preciso cronometrar o tempo de execução de cada atividade e tentar distribuí-las igualmente entre as estações de trabalho, considerando as precedências, as possíveis uniões entre atividades, os tempos de espera e os tempos de secagem e cura de materiais. O Entrevistado 21 destaca que é importante também considerar a qualificação das pessoas em cada estação de trabalho. O Entrevistado 21 relata que a fábrica da Empresa C possui três linhas diferentes e que a primeira alimenta a segunda e a terceira. Para que isso seja possível, a primeira linha deve ter o dobro da velocidade das outras duas linhas.

Pelas descrições feitas por 9 profissionais (Entrevistados 8, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 24 e 25), que trabalham em 6 empresas diferentes, entende-se que as empresas possuem um sistema de produção **em lotes**, devido à grande variação da produção e ou baixo número de módulos produzidos em cada projeto.

Quando perguntados sobre a produção, os Entrevistados 12, 14, 20 e 21 afirmaram que a **ordem de produção** dos diferentes módulos vai depender da programação do canteiro de obras, de forma que os módulos são produzidos na fábrica de acordo com a ordem em que serão instalados no canteiro de obras.

4.3.6 Considerações acerca das entrevistas com profissionais

Após as entrevistas com os profissionais, conclui-se que, do ponto de vista prático, o principal benefício da construção volumétrica *offsite* é a maior velocidade de execução da obra; e o maior desafio para a realização da construção volumétrica *offsite* é ter o projeto finalizado antes do início da produção. Além disso, em termos de customização na construção volumétrica *offsite*, as principais restrições de projeto vêm das limitações impostas pelo transporte em rodovias. Ademais, por meio das entrevistas é possível concluir que a estratégia de customização completa é a mais utilizada por empresas inglesas de construção volumétrica

offsite, e que o sistema de produção mais utilizado é o em lote. O *layout* posicional é o mais comum entre as empresas de construção volumétrica *offsite* inglesas, e elas, em sua maioria, apresentam baixo nível de mecanização.

Como dito anteriormente, a etapa de entrevistas com profissionais visou auxiliar na compreensão do problema de pesquisa sob uma perspectiva prática. Neste sentido, as entrevistas ajudaram a entender como as empresas realmente trabalham e a refutar algumas informações encontradas na literatura. A grande maioria dos trabalhos que aborda a customização na construção *offsite* enaltece o uso da customização em massa como o ideal, no entanto, por meio das entrevistas foi possível descobrir que a maioria das empresas de construção volumétrica *offsite* inglesas na verdade adota a customização completa como estratégia e, mesmo fazendo o oposto do “recomendado” pela literatura, as empresas estão competitivas no mercado.

Outra divergência encontrada nas entrevistas em comparação à literatura foi em relação ao nível de automação das empresas de construção volumétrica *offsite* inglesas. Duncheva e Bradley (2019) afirmam que as empresas que observaram no Reino Unido apresentavam uma automação moderada da construção *offsite*, no entanto, as entrevistas mostraram que a maioria das empresas apresenta, na verdade, um baixo nível de automação. Além disso, os mesmos autores afirmam que as empresas de construção volumétrica *offsite* do Reino Unido observadas usam predominantemente um sistema de produção de processos de projeto. Entretanto, considerando a definição de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), os processos de projeto se aplicam a produtos muito específicos e geralmente únicos e, como entende-se que a construção volumétrica *offsite* implica em restrições de projeto que levam a produtos com algumas similaridades, é possível afirmar que a maioria das empresas observadas utiliza, na verdade, um sistema de produção em lotes, e não em processos de projeto.

Considerando que as empresas construção volumétrica *offsite* inglesas apresentam um baixo nível de automação e adotam a customização pura como estratégia, é bastante coerente que o principal benefício apontado pelos profissionais seja a maior velocidade de execução da obra, uma vez que, por utilizar sistemas de produção essencialmente manuais e não empregar as tecnologias disponíveis, as empresas acabam não atingindo outros benefícios possíveis para a construção volumétrica *offsite*, como a obtenção de mais produtos com menos recursos. Isto está em consonância com o que foi destacado por Nuttpowell (1985). O autor relata que as empresas de construção *offsite* deixam de aproveitar as vantagens das tecnologias de manufatura atuais que podem gerar qualidade, tempo de ciclo e produtividade amplamente aprimorados.

O Quadro 17, a seguir, foi elaborado para auxiliar na visualização das relações entre as respostas dadas pelos profissionais. No quadro é apresentada, na primeira coluna, a identificação das empresas, seguida da identificação dos entrevistados, na segunda coluna. As colunas seguintes trazem alguns dos temas levantados durante a análise dos dados. Deve-se ressaltar, no entanto, que nem todos os temas e nem todos os entrevistados foram apresentados no quadro. Nele, são apresentados apenas os entrevistados que trabalham em empresas de construção volumétrica *offsite*; os profissionais que trabalham em construtoras ou instituições relacionadas à construção volumétrica *offsite* não foram mencionados. Além disso, os entrevistados foram agrupados no quadro de acordo com as empresas em que trabalham. Isto facilitou a análise não apenas entre as respostas dadas por cada um dos entrevistados, mas também a comparação entre as respostas dadas por funcionários da mesma empresa.

Pela análise dos dados apresentados no Quadro 17, é possível dizer que há uma relação entre a estratégia de customização e a maximização do que é feito na fábrica ou o balanceamento entre o que é produzido na fábrica e no canteiro de obras. Neste sentido, as empresas que usam a estratégia da customização em massa tentam maximizar o que é produzido na fábrica, enquanto empresas que oferecem customização completa geralmente tentam balancear o que é feito na fábrica e no canteiro de obras. Também pode-se relacionar a estratégia de customização ao sistema de produção empregado, sendo que a oferta de customização completa geralmente implica no uso de um sistema de produção em lotes. Por outro lado, o emprego de uma estratégia de customização em massa implica no uso de um sistema de produção em linha de fluxo. Há também, de forma geral, uma coerência entre os sistemas de produção utilizados e as características da produção. Nota-se ainda que, em geral, empresas com baixa automação oferecem customização completa e preferem balancear a produção entre fábrica e canteiro de obras para permitir ao mesmo tempo a customização tardia e a liberação de espaço no chão de fábrica para a produção de novos módulos.

Assim, fica ainda mais clara a relevância prática do modelo proposto neste trabalho, que relaciona características da produção às estratégias de customização em empresas de construção volumétrica *offsite*. O modelo visa auxiliar as empresas a selecionarem a estratégia de customização adequada para a produção que adotam. Neste sentido, o modelo pode auxiliar não apenas as novas empresas a escolher a estratégia de customização e as características da produção adequadas, mas também empresas que estão em processos de transição entre estratégias de customização ou entre sistemas de produção a entenderem quais são os requerimentos de projeto e de produção que aumentam suas chances de sucesso no mercado.

Quadro 17 - Relações entre algumas respostas dadas por profissionais

Empresa	Entrevistado	Customização em massa	Customização completa	Max. o que é feito na fábrica	Balanceamento da fábrica	Posicional	Em linha	Produtividade	Flexibilidade	Baixa automação	Média automação	MDO altamente qualificada	MDO treinada	Linha de fluxo	Em lotes
A	13		X		X	X			X	X					X
	14				X	X									X
	17		X												
B	23		X									X			
	27		X												
C	15	X		X			X	X			X			X	
	21	X		X			X	X			X			X	
	22	X													
	28	X						X					X		
D	18		X	X	X	X				X		X			X
	24		X		X	X				X		X			X
	25		X		X	X									X
	26		X			X			X						
E	6	X		X			X								
F	19	X					X				X		X	X	
J	5														
	12					X				X					X
K	7		X	X											
L	8		X	X	X						X				X
M	9	X												X	
N	10		X		X					X					
O	11		X			X				X					X
P	16		X	X			X			X			X		X

Max. = maximizar

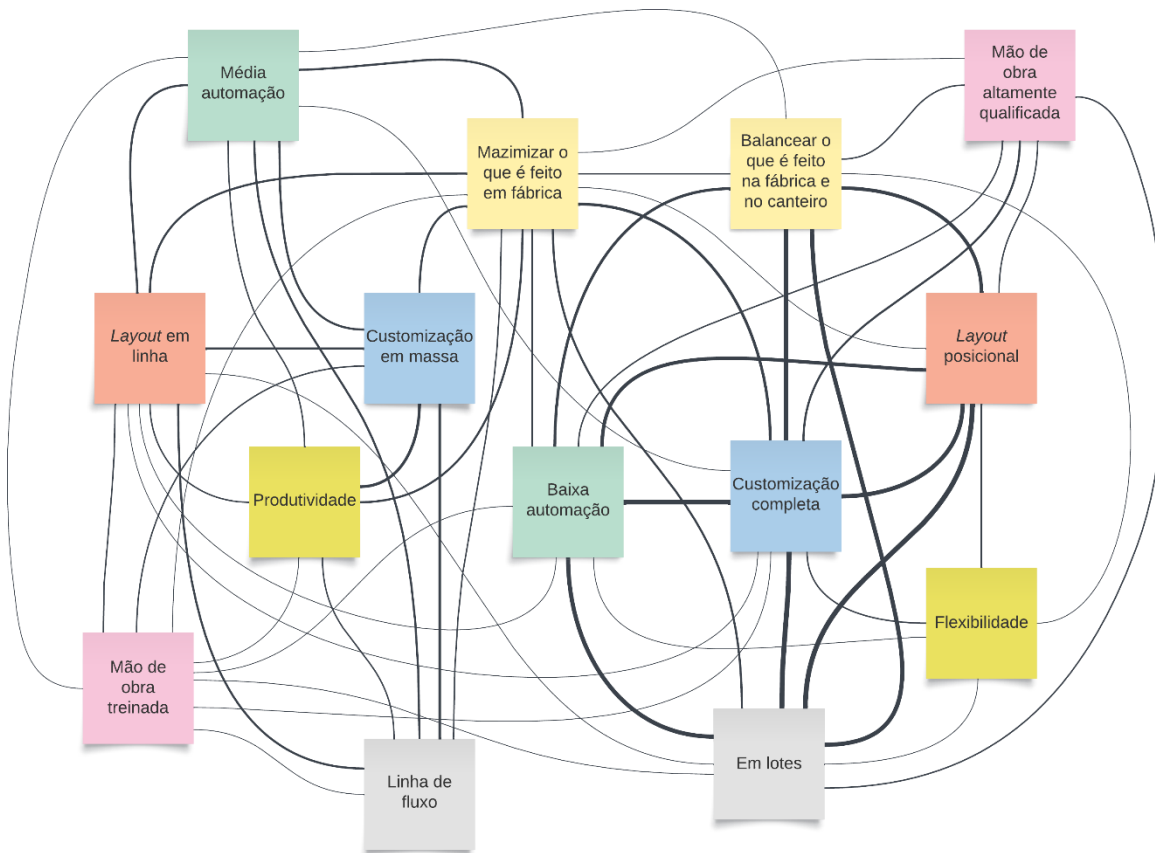
MDO = mão de obra

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir do Quadro 17, foi elaborada a Figura 30, a seguir. Na figura estão os termos analisados no Quadro 17 e as relações entre eles, representadas pelas linhas que os conectam. A espessura da linha varia de acordo com a quantidade de entrevistados que citaram os termos. A Figura 30 permite perceber, de forma bastante visual, que as conexões mais fortes estão entre os seguintes pares de termos: “Sistema de produção em lotes e baixa automação”, “Sistema de produção em lotes e customização completa”, “Sistema de produção em lotes e *layout* posicional”, “Sistema de produção em lotes e balancear o que é feito na fábrica e no canteiro de obras”, “Baixa automação e customização completa”, “Baixa automação e *layout* posicional”, “Customização completa e *layout* posicional”, “Customização completa

e balancear o que é feito na fábrica e no canteiro de obras”, “*Layout* posicional e balancear o que é feito na fábrica e no canteiro de obras”. Assim, é possível perceber uma forte relação entre a customização completa com um sistema de produção em lotes, que apresenta majoritariamente *layout* posicional e baixa automação, e com a necessidade de balancear o que é feito na fábrica e no canteiro de obras. Devido à espessura das linhas, fica claro que estas são as características da maioria das empresas inglesas de construção volumétrica *offsite*.

Figura 30 - Relações entre termos



Fonte: Elaborado pela autora.

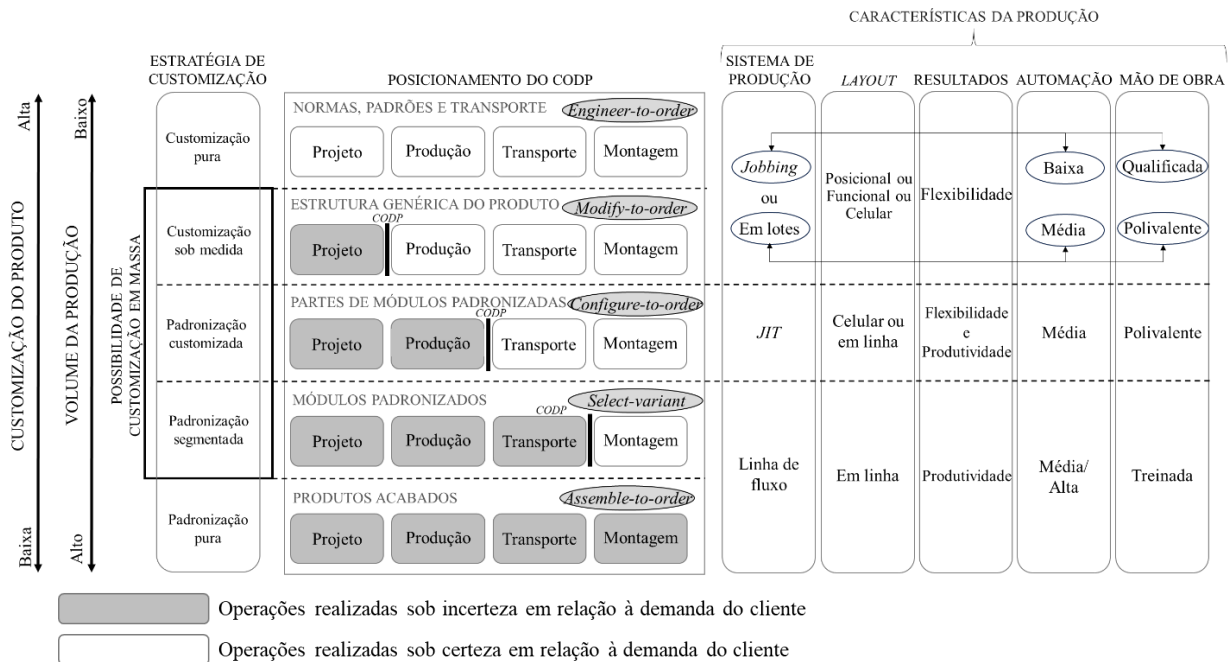
4.4 MODELO TEÓRICO REVISADO

Após as entrevistas com os especialistas e com os profissionais, foi feita uma revisão do modelo teórico, como apresentado na Figura 31. Como tanto o Especialista A quanto os Especialistas D e E afirmaram que deveria haver uma sobreposição entre os diferentes segmentos apresentados no modelo teórico, este ponto foi contemplado no modelo teórico revisado, de forma que as estratégias de customização e as características da produção não estão mais divididas em linhas, mas apresentadas em uma escala de maior ou menor customização

do produto e do volume de produção (como indicado na lateral esquerda da figura). As linhas tracejadas apresentadas no modelo teórico revisado indicam esta possibilidade de sobreposição, ao mesmo tempo em que indicam quais seriam as relações ideais entre estratégias de customização e características da produção, de acordo com a literatura. O que permanece em “caixas” são os diferentes conceitos, agora separados, uma vez que o Especialista E afirmou que eles haviam sido agrupados de forma incorreta.

Foi revisada também a classificação relativa ao posicionamento do CODP, como indicado pelo Especialista A. No modelo teórico revisado, foram retiradas as classificações relativas a estoque de módulos, por entender-se que, devido às suas dimensões, as empresas não teriam espaço para estocá-los. Neste sentido, as empresas de construção volumétrica *offsite* seriam classificadas em *engineer-to-order (ETO)*, *modify-to-order (MyTO)*, *configure-to-order (CgTO)*, *select-variant (SV)* e *assemble-to-order (ATO)*, em uma adaptação da classificação apresentada por Hvam, Mortensen e Riis (2008) e Jensen, Lidelöw e Olofsson (2015). As estratégias de customização e padronização propostas por Lampel e Mintzberg (1996) continuam no modelo, sem alterações. No modelo teórico revisado, as opções de sistemas de produção para a construção volumétrica *offsite* foram reduzidas por entender-se, por meio das entrevistas com os profissionais, que nem o processo de projeto nem a *FMS* seriam aplicáveis ao seu contexto. O especialista D também indicou a remoção do sistema de produção em processo de projeto do modelo teórico. O processo de projeto não seria aplicável, porque ele implica na produção de itens únicos e de alta complexidade e entende-se que na construção volumétrica *offsite* sempre há restrições que fazem com que os módulos sigam determinados limites de dimensão e peso, de modo que não sejam tão únicos ou complexos. A *FMS* também não seria aplicável, uma vez que a construção volumétrica *offsite* ainda não atingiu o nível de automação necessário para a implantação deste sistema de produção, uma vez que, como visto nas entrevistas com os profissionais, as empresas no máximo atingem, de forma geral, um nível médio de automação. Os termos utilizados para a classificação da mão de obra também foram revistos, seguindo a indicação do Especialista B.

Figura 31 - Modelo teórico revisado para a construção volumétrica *offsite* da relação entre as estratégias de customização e as características da produção



Fonte: Elaborado pela autora.

Sendo assim, para o modelo teórico revisado, considera-se que nas empresas que adotam a estratégia da **customização pura**, as necessidades do cliente são consideradas deste a fase de projeto, sendo que elas podem ser tidas como **ETO**. Nas empresas que adotam a **customização sob medida**, os projetos são feitos com base em estruturas de produtos genéricos pré-definidos e em um conjunto de regras. Desta forma, as necessidades dos clientes são satisfeitas por certas variantes que influenciam as atividades de fabricação e as empresas podem ser consideradas como **MyTO**. Em ambos os casos, os sistemas de produção ideais a serem utilizados são o de **jobbing** ou **em lotes**, uma vez que ambos apresentam baixos volumes de produção e alta variedade, mas os custos fixos, como processamento de pedidos e reconfiguração de maquinário, são distribuídos pelas unidades produzidas. Tanto o sistema de produção de **jobbing** quanto o em lotes devem utilizar idealmente um **layout funcional ou celular**. No entanto, devido às grandes dimensões do produto da construção volumétrica *offsite*, entende-se que o **layout posicional** também possa ser utilizado em ambos os sistemas de produção. Os sistemas de produção de **jobbing** e em lotes têm como resultado a **flexibilidade**, e, por serem flexíveis, eles devem apresentar **baixa ou média automação**, além de uma **mão de obra qualificada ou polivalente**. Estas características de produção não poderiam ser aplicadas, por exemplo, a empresas que adotam a estratégia de padronização customizada, uma vez que,

devido à redução das possibilidades de customização, a variedade é reduzida e o volume de produção aumenta, sendo que o fluxo tem maior importância.

As empresas que adotam a estratégia de **padronização customizada** podem ser classificadas como *CgTO*, uma vez que os produtos são gerados a partir de partes de módulos padronizados e a forma como eles são transportados e montados é que atende aos requisitos do cliente. Para estas empresas, o sistema de produção ideal a ser utilizado é o *JIT*. O sistema de produção *JIT* produz alta variedade de produtos em baixos ou médios volumes, assim deve utilizar idealmente um **layout celular ou em linha** (como apontado pelo Especialista D) e tem como resultados tanto a **produtividade** quanto a **flexibilidade**. Apesar de a variedade de produtos ainda ser alta, o sistema *JIT* consegue obter alta produtividade por ser uma filosofia de manufatura na qual a produção e a realização de melhorias são dois objetivos igualmente importantes. Para garantir ambos os resultados da produção, o sistema deve apresentar **média automação** e **mão de obra polivalente**, que tenha habilidade para utilizar os diversos equipamentos. Devido à dificuldade de implementação, este sistema de produção não seria indicado para empresas que apresentam baixa variedade de produtos e podem adotar um sistema de produção de implementação mais simples, como o em linha de fluxo.

As empresas que aplicam a estratégia da **padronização segmentada** são classificadas como *SV*. Os módulos completos são padronizados, sendo que os clientes os selecionam em um catálogo. A forma como os módulos são montados é que permite o atendimento das necessidades do cliente. Já as empresas adotam a estratégia da **padronização pura** podem ser classificadas como *ATO*. As necessidades do cliente são atendidas por meio da seleção em catálogos de produtos acabados e padronizados, sendo que nem a montagem dos módulos apresenta variação entre os projetos ou clientes; não há nenhuma forma de customização. Tanto para as empresas que adotam a estratégia da padronização segmentada quanto para as empresas que adotam a estratégia de padronização pura, o sistema de produção ideal a ser utilizado é o em **linha de fluxo**. Este sistema produz bens em alto volume e em baixa variedade, devendo utilizar idealmente um **layout em linha**, sendo que o resultado é a **produtividade**, que é obtida por meio de **média ou alta automação** e de uma **mão de obra treinada**.

4.5 DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS

Neste item, são apresentadas e descritas as seis empresas que participaram dos estudos de caso. Destaca-se que para três destas empresas foi possível ter um acesso maior a informações

e funcionários, o que permitiu coletar uma maior quantidade de dados, então sua descrição está mais detalhada.

As informações apresentadas neste item estão organizadas com base no diagrama mostrado na Figura 25. Elas dizem respeito:

- i) à construção volumétrica *offsite* em si, incluindo o sistema construtivo utilizado pela empresa, os materiais e as dimensões dos módulos, além das restrições impostas pelo transporte;
- ii) à customização, considerando a estratégia adotada pela empresa (o que inclui a análise dos projetos ofertados e a forma como eles são desenvolvidos), a porcentagem de trabalho realizada na fábrica e no canteiro de obras e o adiamento;
- iii) à produção da empresa, incluindo o sistema de produção utilizado, o *layout* de fábrica, os resultados da produção, o nível de automação e a qualificação da mão de obra.

Deve-se observar que não foi possível ter acesso a todas estas informações de todas as empresas, mas todas as informações que elas disponibilizaram a respeito destes tópicos estão apresentadas a seguir.

4.5.1 Empresa A

A Empresa A participou dos estudos de caso, tendo sido visitada em junho de 2022. Ela foi fundada em 2007 e é uma construtora com uma fábrica *offsite* de módulos, ou seja, ela pode atuar como responsável pela entrega do empreendimento, de modo que todos os trabalhos relacionados ao canteiro de obras possam ser entregues como parte de um serviço completo. A empresa pode realizar desde o desenvolvimento do conceito inicial até os trabalhos no canteiro de obras, a depender do pacote de serviços adquirido pelo cliente. Ela atua nos setores residencial, educacional e comercial, sendo que o primeiro lidera o crescimento da empresa (60% das vendas são destinadas ao setor residencial). Os principais clientes da empresa são departamentos governamentais, prefeituras e desenvolvedores; a empresa não vende para o cliente final.

I) Construção volumétrica *offsite*:

a) Sistema construtivo e materiais/componentes:

Os módulos possuem uma estrutura principal em aço e os painéis de fechamento externo e as divisórias possuem estrutura em aço leve (*light gauge steel frame*) que recebe materiais tradicionais, como isolamento e chapas de fechamento, sendo que 95% de todos os

revestimentos externos e 100% dos acabamentos internos podem ser feitos utilizando os mesmos materiais usados na construção tradicional. A abordagem da empresa pode ser híbrida, utilizando mais de um método de construção. Algumas partes do sistema construtivo e dos materiais utilizados podem ser vistas nas Figuras 32, 33 e 34, a seguir.

Figura 32 - Módulos com estrutura principal em aço e com painéis formados por perfis de aço leve revestidos com isolamento térmico – Empresa A



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 33 - Instalações elétrica e de incêndio – Empresa A



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 34 - Módulos acabados – Empresa A



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

b) Transporte e dimensões:

No projeto arquitetônico, a edificação é dividida em módulos da melhor forma possível para ser produzido na fábrica, com dimensões que são restringidas pela logística, considerando as vias pelas quais os módulos deverão passar para chegar ao local da obra. O peso dos módulos é restringido pela capacidade dos equipamentos presentes na própria fábrica e pela dimensão e capacidade do guindaste que será usado no canteiro de obras. De forma geral, os módulos devem pesar menos de 20 toneladas e ter dimensões máximas de 4m de altura, 4m de largura e 20m de comprimento. A empresa considera que a principal restrição de projeto é a altura dos módulos, uma vez que a altura de pontes e viadutos geralmente é de 5m e a carroceria do caminhão já tem uma altura de 90cm. A largura também é uma restrição importante, uma vez que, na Inglaterra, qualquer módulo com mais de 4m e até 4,6m de largura deve ser transportado por motorista autorizado (com licença específica para isso), e a empresa deve notificar as autoridades locais de que a carga (o módulo) passará por determinada zona. Qualquer módulo com mais de 4,6m de largura é considerado como carga especial e precisa de escolta policial para ser transportado, sendo que a escolta só pode ser realizada em algumas horas do dia. Em termos de projeto, a largura e o comprimento dos edifícios podem ser resolvidos adicionando mais módulos, mas existe um desafio econômico quando são feitos muitos módulos pequenos.

II) Customização:

a) Estratégia de customização:

Os projetos dos módulos são desenvolvidos pela equipe de projetos de acordo com as necessidades do cliente. No entanto, o que acontece mais comumente é a empresa receber um projeto pronto do cliente, desenvolvido para a construção tradicional, e adaptá-lo, para que ele possa ser produzido na fábrica, em módulos. A empresa possui uma equipe interna de projetos que às vezes trabalha com arquitetos externos. Os módulos podem ser fabricados em qualquer grau de finalização especificada: desde módulos que sejam apenas o envoltório (estrutura mais envoltório, chamado, em inglês, de *shell*) até módulos que tenham acabamento completo e mobiliário, prontos para serem entregues no canteiro de obras e instalados. Os retoques finais e o paisagismo sempre são realizados na obra. Apesar de fazer customização completa, como a empresa usa sempre o mesmo sistema construtivo, alguns detalhes padrão se repetem para todos os módulos, como o sistema de ligação entre eles (Figura 35).

Figura 35 - Detalhe de sistema para ligação entre os módulos – Empresa A



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

b) Porcentagem de trabalho feita na fábrica:

A porcentagem de trabalho feita na fábrica e na obra varia bastante, sendo que os módulos podem ser feitos com qualquer grau de finalização especificada. No entanto, em geral para casas, 80% da produção é feita na fábrica e o resto é feito no canteiro de obras. Destaca-se, entretanto, que esta porcentagem pode mudar, uma vez que a empresa busca balancear o que vai ser feito na fábrica e no canteiro de obras, a depender da necessidade de espaço na fábrica, da localização do canteiro de obras e dos custos para produção neste canteiro. Além disso, quanto mais atividades são deixadas para serem feitas no canteiro de obras, maiores as oportunidades de customização tardia oferecidas aos clientes.

c) Adiamento:

Algumas vezes, certa customização é deixada para mais tarde, para ser feita no canteiro de obras, como pintura, carpetes, etc., pois estas são atividades menos críticas para a produção.

III) Produção:

a) Sistema de produção:

Como não foi possível obter informações aprofundadas sobre o volume de produção da empresa, por isso é difícil identificar qual seria seu sistema de produção, mas considera-se que a empresa utilize um sistema de produção em *jobbing* ou em lotes, devido à grande variedade e ao baixo volume de produção.

A empresa inicia o processo de produção com a montagem da estrutura do piso do chassi em aço, depois monta os pilares da estrutura do chassi, então instala o piso, os painéis de fechamento e progrida para os acabamentos. Após a conclusão dos módulos, eles são verificados, embalados e carregados em veículos para entrega no canteiro de obras. A empresa possui seu próprio gerente de obras no canteiro de obras, assim como gerentes de contrato e de projeto, mas a força de trabalho é normalmente de subordinados. Geralmente duas pessoas

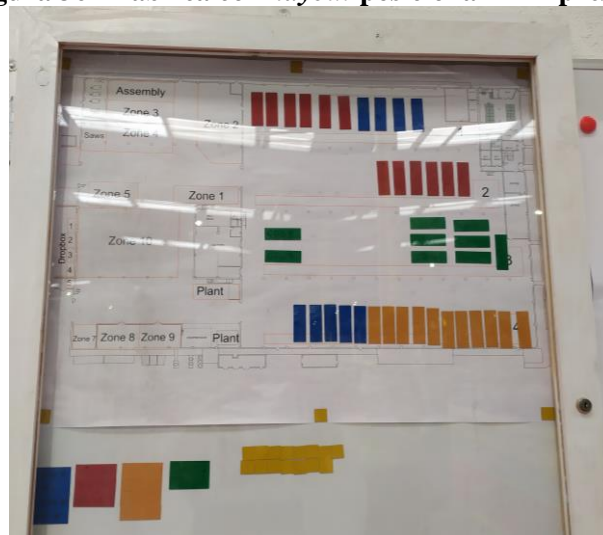
trabalham no módulo por vez e os mesmos funcionários vão mudando de módulo em módulo, fazendo sempre as mesmas tarefas. A ordem da produção é governada pelo planejamento ou pela necessidade do canteiro de obras.

b) Layout da fábrica:

O *layout* da fábrica se baseia em módulos que ficam fixos durante a maior parte do tempo, ou seja, o *layout* é posicional. Os chassis metálicos são montados em uma parte separada da fábrica, com *layout* celular, depois são posicionados nos locais em que ficarão ao longo de todo o processo produtivo, sendo que materiais e pessoas se deslocam até o local em que o módulo está. Na fábrica, os módulos são dispostos lado a lado, na posição final em que ficarão no local da obra, para garantir os alinhamentos.

Na Figura 36, a seguir, é possível ver o *layout* posicional da fábrica, sendo que cada retângulo colorido representa um módulo e cada cor representa um projeto diferente. Na Figura 37 é possível ver o chassi sendo montado e na Figura 38 vê-se o módulo já posicionado no local em que ele ficará durante o resto do processo produtivo na fábrica, com alguns materiais a serem usados para isolamento.

Figura 36 - Fábrica com *layout* posicional – Empresa A



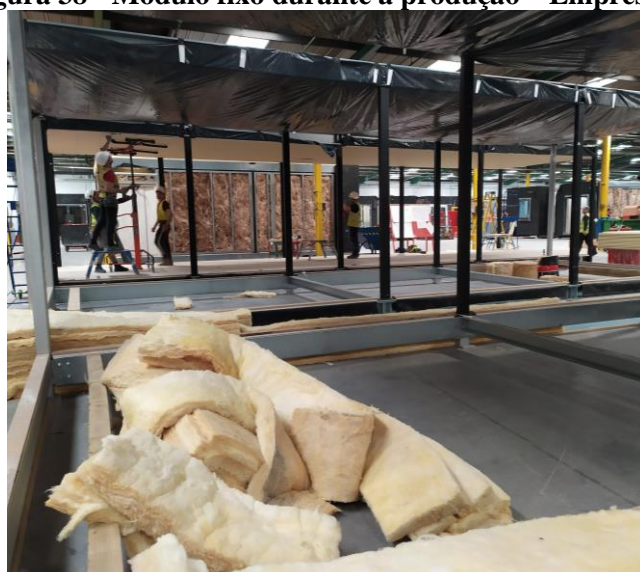
Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 37 - Montagem do chassi – Empresa A



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 38 - Módulo fixo durante a produção – Empresa A



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

c) Resultados da produção:

A empresa mantém a sua fábrica relativamente flexível para atingir elevados níveis de customização. Uma maior padronização geraria um produto com melhor custo-benefício, mas não se adequaria ao nicho de mercado que a empresa pretende atingir. Em termos de produtividade, a empresa é capaz de produzir 2,5 módulos por dia. No entanto, projetos altamente customizados reduzem a produtividade para 1,5 módulos por dia. Considerando que o ano, na Inglaterra, possui 252 dias úteis de trabalho, a empresa deve produzir, aproximadamente, entre 380 e 630 módulos por ano. Em geral, são necessários 4 dias para a montagem da estrutura do chassi. São aproximadamente 40 dias úteis do início ao fim da montagem do módulo.

d) Nível de automação:

Baixo nível de automação, sendo que o processo construtivo é muito similar ao tradicional. A seguir, apresenta-se no Quadro 18, o resumo das principais informações sobre a empresa.

Quadro 18 - Resumo das informações sobre a Empresa A

Empresa	A	
Setor de atuação	Residencial (casas e apartamentos), educacional, comercial	
Sistema construtivo	Estrutura principal em aço e estruturas dos painéis de fechamento externo e das divisórias em aço leve	
Customização	Cliente	Departamentos governamentais, prefeituras e desenvolvedores
	Equipe de projeto	Interna + externa (quando necessário)
	Desenvolvimento do projeto	Projeto adaptado
	Possibilidades de customização	Projetos desenvolvidos de acordo com a necessidade do cliente
	Repetição	Sistema construtivo e detalhes padrão, como ligação entre módulos
	Grau de finalização dos módulos	Variado (de apenas o envoltório à completamente acabado)
	Porcentagem de trabalho feita na fábrica	Variada. A depender da necessidade de espaço dentro da fábrica, da localização do canteiro de obras e dos custos para produção no canteiro de obras
	Adiamento	De atividades que não sejam críticas para a produção
Produção	Sistema de produção	Em <i>jobbing</i> ou em lotes
	Layout de fábrica	Posicional, com exceção da montagem do chassi, que apresenta <i>layout</i> celular
	Resultado da produção	Flexibilidade
	Produtividade	De 1,5 a 2,5 módulos por dia (entre 380 e 630 módulos por ano)
	Nível de automação	Baixo
	Mão de obra	Não informada

Fonte: Elaborado pela autora.

4.5.2 Empresa B

A Empresa B participou dos estudos de caso entre junho de 2022 e janeiro de 2023. Foram feitas visitas à empresa para o acompanhamento da produção e para a realização de entrevistas com responsáveis de diversas áreas. A Empresa B é uma fábrica *offsite* de módulos que atua no setor residencial. Ela foi fundada em 2016, mas passou por uma recuperação judicial em 2021 e foi reaberta, em outro local, com outro nome. Por conta disso, teve que recomeçar e, durante o estudo de caso, pôde-se acompanhar diversas etapas e mudanças na produção decorrentes da reestruturação da empresa, que ainda estavam em andamento quando o estudo de caso foi encerrado. De acordo com alguns entrevistados, a empresa tem crescido muito e de forma desorganizada, com grande rotatividade de funcionários, sendo que um dos empregados mais antigos tinha 14 meses de empresa em setembro de 2022. Na mesma data, a empresa contava com 84 funcionários, considerando os do escritório mais os do chão de fábrica, e estava em processo de contratação de novas pessoas para trabalharem no chão de fábrica. Os principais clientes da empresa são incorporadores imobiliários e associações de habitação.

I) Construção volumétrica *offsite*:

a) Sistema construtivo e materiais/componentes:

A empresa utiliza um sistema construtivo em madeira tanto para a estrutura principal quanto para as estruturas dos painéis de fechamento externo e das divisórias. Para as outras partes da edificação, diferentes materiais/componentes são utilizados, mas a empresa estava tentando reduzir as quantidades e tipos de materiais usados, para diminuir a complexidade.

Segundo o gerente da área de qualidade, a empresa tem alguns problemas com determinados materiais/componentes devido à movimentação dos módulos de uma estação de trabalho para a outra, sendo que isto pode gerar, por exemplo, fissuras nos painéis de fechamento e divisórias, porque há uma torção dos componentes durante a movimentação. Na linha de produção, os módulos são colocados sobre rodízios (Figura 39) para que possam ser movidos de uma estação de trabalho para a outra.

Figura 39 - Rodízios para movimentação dos módulos – Empresa B



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

b) Transporte e dimensões:

As dimensões dos módulos são restringidas por questões relacionadas ao transporte. Sendo assim, ainda durante a etapa de estudo de viabilidade do projeto, são identificadas as rotas que os módulos devem seguir para chegar ao canteiro de obras, os embargos destas rotas, e os desafios depois da chegada do módulo ao canteiro de obras. De acordo com o gerente de logística, na Inglaterra, o veículo para transporte dos módulos não pode ter mais do que 4,3m de largura e 27,4m de comprimento para fazer o transporte sem escolta, embora isto ainda exija notificação às autoridades rodoviárias. O tamanho do caminhão determina o tamanho máximo do módulo e este fator deve ser considerado no projeto.

Além disso, o guindaste que será utilizado para a instalação dos módulos no canteiro de obras também deve ser considerado no momento do desenvolvimento do projeto. Há guindastes

que conseguem içar módulos de diferentes pesos e instalá-los em diferentes distâncias em relação ao guindaste, mas quanto maior o guindaste, maior o custo. A empresa tenta usar o guindaste com a maior eficiência possível, devido ao custo do equipamento.

II) Customização:

a) Estratégia de customização:

A empresa geralmente recebe do cliente um projeto pronto e o adapta para que ele possa ser produzido na fábrica, em módulos. Quando este não é o caso, a empresa projeta as moradias de acordo com as especificações do cliente. Os módulos podem ser finalizados em qualquer grau especificado. A empresa possui uma equipe de projetos interna que às vezes trabalha com arquitetos externos. A equipe de projetos deve garantir que o projeto e os desenhos atendam às normas de construção, às certificações e aos requisitos do processo de fabricação. O ideal é que o projeto esteja pronto com uma antecedência de 6 meses em relação ao início da produção para que todas as checagens sejam feitas, os materiais sejam comprados e cheguem a tempo na fábrica.

O gerente de projetos afirma ainda que, como os projetos são completamente customizados, geralmente é possível criar padrões e repetições dentro de um mesmo projeto, mas isto não se repete em projetos diferentes. A empresa, no entanto, usa sempre o mesmo sistema construtivo em estrutura em madeira e tenta apenas assinar contratos com clientes que queiram grandes quantidades de habitações semelhantes, para que alguma repetição seja garantida no projeto. Além disso, a empresa busca fazer um protótipo antes de dar início à produção.

O objetivo da empresa para o futuro é desenvolver seus próprios projetos de casas e apartamentos que serão oferecidos aos clientes com algumas possibilidades de alterações e escolhas de acabamentos. De acordo com o gestor de projetos, diversas empresas de construção volumétrica *offsite* que atuam no setor residencial começam sua trajetória oferecendo projetos completamente customizados e depois tentam desenvolver seus próprios produtos com customizações restritas. Segundo ele, isto acontece porque os projetos completamente customizados geram mais valor para o cliente, mas também implicam em maiores riscos para a empresa, sendo que em projetos com customização restrita, os riscos são reduzidos e os clientes continuam tendo opções.

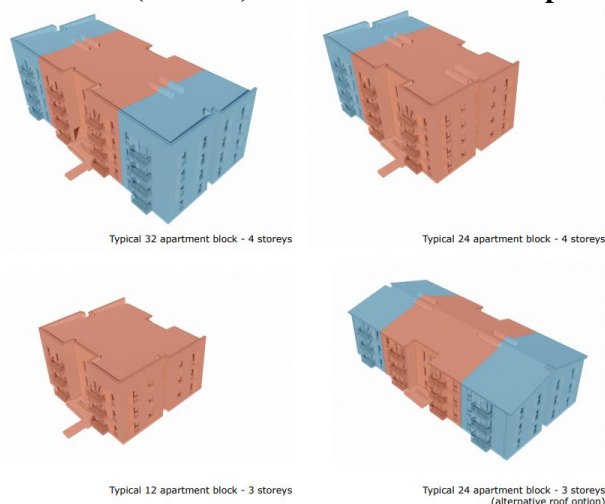
Durante o período em que o estudo de caso foi realizado, a empresa estava produzindo 2 blocos de apartamentos de 4 pavimentos para uma incorporadora, sendo 32 apartamentos em cada bloco (totalizando 64 apartamentos), o que representa a produção total de 176 módulos (considerando os dois blocos de apartamentos e tendo em conta que cada apartamento é

formado por dois módulos ou mais). Os apartamentos são produzidos como módulos volumétricos, no entanto, os corredores que os unem são produzidos como painéis 2D e enviados para montagem na obra.

No empreendimento, são ao todo 5 blocos de apartamentos e a incorporadora os estava produzindo em sua própria fábrica *offsite* na Estônia, mas como os custos de logística subiram muito, o transporte dos módulos para a Inglaterra não estava sendo viável, de forma que a incorporadora decidiu contratar uma fábrica *offsite* inglesa para a produção dos dois últimos blocos de apartamentos. Desta maneira, a Empresa B herdou o projeto que já estava sendo produzido anteriormente, ou seja, o projeto de arquitetura foi desenvolvido pela própria incorporadora e já estava dividido em módulos.

Teve-se acesso ao caderno de projetos desenvolvido pela incorporadora e que deu origem não apenas aos 5 blocos de apartamentos do empreendimento citado anteriormente, mas também a outros blocos de apartamentos construídos em outros empreendimentos ao redor da Inglaterra. No caderno de projetos é apresentada uma gama de produtos que pode ser utilizada tanto para habitações de interesse social quanto para venda no mercado aberto. Diferentes configurações de edifícios são possíveis para proporcionar flexibilidade na obtenção de diferentes combinações de unidades, que podem ter de 12 a 32 apartamentos. O produto é composto por apartamentos padrão agrupados em torno de um núcleo central padrão (como pode ser visto na Figura 40). É previsto que os edifícios tenham 3 ou 4 pavimentos e no máximo 8 apartamentos por pavimento (devido à distância máxima permitida de cada apartamento até a saída de incêndio).

Figura 40 - Núcleo central (em rosa) com configuração em 3 ou 4 pavimentos e apartamentos adicionados (em azul) ao núcleo central – Empresa B



Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa B.

De acordo com o caderno de projetos, procurou-se maximizar o grau de padronização dos módulos e eles devem chegar ao local totalmente equipados internamente. Sempre que possível, o revestimento externo, a cobertura e quaisquer varandas também devem ser instalados na fábrica para obter todos os benefícios de tempo e custo do sistema de produção *offsite*, minimizando a extensão do trabalho realizado no canteiro de obras. Os projetos dos módulos são fixos e não podem ser modificados. Há flexibilidade na configuração dos módulos para atingir diferentes tamanhos e alturas de edifícios, mas não há flexibilização dos módulos. Na Figura 41 estão representados todos os modelos típicos e configurações de módulos que podem ser usados. Na parte inferior desta figura encontra-se a legenda para cores e siglas, mostrando como exemplo a sigla “2C2_3”. Os números “2”, tanto antes quanto depois da letra “C” representam o tamanho do apartamento adicionado à esquerda ou à direita do módulo padrão central, sendo que este número pode ser “2” para apartamentos formados de 2 módulos, ou “3”, para apartamentos formados por 3 módulos. A letra “C” representa o módulo padrão central. O número “3”, na extrema direita da sigla, representa o número de pavimentos do bloco (que pode ser 3 ou 4). O módulo padrão central (canto superior esquerdo desta figura) pode ter duas configurações diferentes, sendo a primeira formada por 3 apartamentos de 2 quartos e 1 apartamento de 1 quarto, e a segunda formada por 4 apartamentos de 1 quarto.

Figura 41 - Modelos típicos e configurações de módulos – Empresa B



Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa B.

Os apartamentos foram projetados para serem usados tanto como habitações de interesse social (Figura 42) quanto como habitações para venda no mercado aberto (Figura 43). Pelas figuras pode-se perceber que o projeto para uso do apartamento como habitação de interesse social possui 3 variações, sendo 2 apartamentos de 2 quartos, formados por 3 módulos e 1 apartamento de 1 quarto, formado por 2 módulos. Nesta gama de produtos, pode-se notar a existência de 8 possibilidades diferentes de módulos e deve-se considerar que os apartamentos podem ser espelhados, dando origem a novas 8 variações de módulos, o que, só nesta gama de produtos, totalizaria 16 possibilidades diferentes de módulos.

Nos apartamentos para venda no mercado aberto, percebe-se que, em relação aos apartamentos de interesse social, há alterações no primeiro módulo do primeiro apartamento de 2 quartos, de forma que o espaço para armazenamento seja transformado em banheiro; o mesmo acontece para o primeiro módulo da segunda opção de apartamento de 2 quartos; o primeiro módulo do apartamento de 1 quarto também sofre pequenas alterações, no posicionamento da janela. Sendo assim, a gama de apartamentos para venda no mercado aberto apresenta 3 novos tipos de módulos, que podem ser espelhados, dando origem a um total de 6 novos tipos de módulos. Se somados às 16 possibilidades de módulos anteriores, têm-se um total de 22 possibilidades diferentes de módulos.

Figura 42 - Apartamentos projetados para serem usados como habitações de interesse social – Empresa B



Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa B.

Figura 43 - Apartamentos projetados para serem usados como habitações para venda no mercado aberto – Empresa B

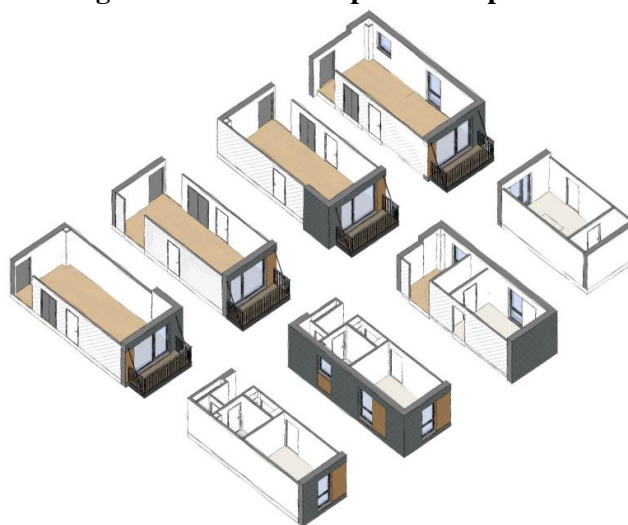


Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa B.

De acordo com a equipe de projetos, os módulos também variam dependendo do pavimento em que serão instalados. Os módulos do pavimento térreo, por exemplo, recebem um tratamento especial no piso e os módulos do último pavimento devem receber um tratamento diferente

dependendo do tipo de cobertura. Além disso, os módulos dos pavimentos intermediários são diferentes dos módulos do pavimento térreo e do último pavimento. Desta forma, pode-se dizer que das 22 variações de módulos mencionadas anteriormente, têm-se mais 22 variações para o pavimento térreo e 22 variações para o último pavimento, em um total de 66 variações de módulos. Pelas plantas dos apartamentos, é possível notar que alguns componentes se repetem, como o banheiro, que é igual nos dois primeiros modelos de apartamentos, para as duas gamas de produtos. Na Figura 44 são apresentados os 8 módulos típicos.

Figura 44 - Módulos típicos – Empresa B



Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa B.

Além das possibilidades para os diferentes apartamentos, o caderno de projeto também deixa claras as opções disponíveis de formatos de coberturas (telhado de duas águas e plana) e de materiais de acabamento, sendo que, apesar de as opções não se limitarem às apresentadas no caderno, novas opções devem ser discutidas em detalhes com a equipe de projetos antes de serem consideradas.

b) Porcentagem de trabalho feito na fábrica:

Para o projeto acompanhado durante a realização do estudo de caso, 85% do trabalho estava sendo feito na fábrica e o restante no canteiro de obras, incluindo instalação dos módulos, dos painéis que compunham os corredores, das sacadas, das caixas de escada em ferro, e o acabamento externo da edificação. De acordo com os funcionários, sempre que possível, partes prontas, como *kits* de hidráulica e cozinhas pré-montadas, são compradas de outras empresas para que sejam apenas instaladas na fábrica. No entanto, para o projeto acompanhado, tudo estava sendo produzido desde o início na fábrica, inclusive as instalações hidráulicas e as cozinhas.

c) Adiamento:

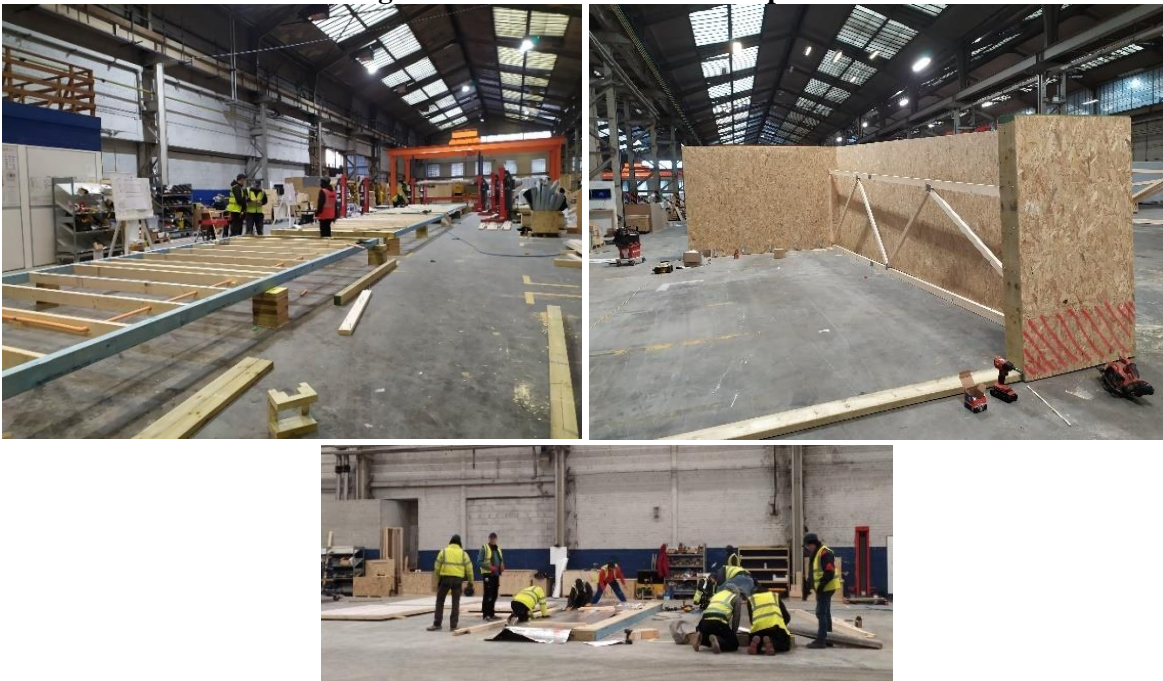
Algumas atividades devem ser realizadas no canteiro de obras, como a instalação de varandas ou a construção de uma parede acústica adicional a cada 10 apartamentos. Alguns testes da edificação também devem ser feitos no canteiro de obras, para garantir que nada foi danificado durante o transporte. Nenhuma possibilidade de customização foi deixada para a etapa de obra no canteiro.

III) Produção:

a) Sistema de produção:

A Empresa B busca fazer projetos que incluam uma grande quantidade de módulos para a produção, sendo assim, há alguma repetição dentro de um projeto. Considera-se, então, que a empresa utilize um sistema de produção em lotes. No entanto, como dito anteriormente, ela estava em processo de reestruturação e o sistema de produção sofria mudanças. A produção da Empresa B se assemelhava muito à produção tradicional, no canteiro de obras, como pode ser visto na Figura 45, a seguir.

Figura 45 - Chão de fábrica - Empresa B



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Durante a visita realizada em novembro de 2022, observou-se que muitas das estações de trabalho não possuíam operários, sendo que outras tinham 5 ou 6 operários trabalhando na mesma parte do módulo. A produção de alguns módulos estava atrasada em relação ao

cronograma devido ao fato de as estações de trabalho não estarem funcionando exatamente como planejado.

Entre dezembro de 2022 e janeiro de 2023, a fábrica ficou quase um mês parada, por falta de materiais/componentes, em especial janelas e portas. Durante a última visita à empresa, realizada em janeiro, observou-se que a fábrica estava muito mais organizada e a produção parecia fluir melhor, com os materiais/componentes e as ferramentas necessários próximos às estações de trabalho. Em relação aos funcionários que executam cada atividade, algumas equipes são mais fixas em determinados estágios da produção e outras são mais móveis.

De acordo com alguns funcionários, para garantir a produtividade, a fábrica deve ter um sistema de produção bem balanceado e o mapeamento do processo bem definido, sendo que ambos estão intrinsecamente conectados, uma vez que o mapeamento do processo dita a sequência em que as atividades devem ser desenvolvidas (não é possível instalar o carpete se o piso não estiver pronto, por exemplo) e esta sequência deve ser dividida em atividades de mesma duração para que o sistema de produção fique balanceado. Além disso, o mapeamento do processo de produção deve ser capaz de mostrar quais atividades podem acontecer em paralelo, por não terem interdependências.

A produção de um módulo com quartos é mais rápida do que a produção de um módulo com banheiros, mas pode ser que os dois módulos precisem ser entregues no canteiro de obras ao mesmo tempo, por exemplo; então eles precisam estar prontos, idealmente, ao mesmo tempo e o balanceamento do sistema de produção deve garantir isso. De acordo com a gerente de qualidade, cada estação de trabalho deve ser balanceada para garantir que as atividades demorem o mesmo tempo, mas o sistema de produção deve ser flexível o suficiente para realocar o conteúdo do trabalho quando algum problema acontece. Além disso, certas atividades, como pintura, demandam tempo de secagem. Sendo assim, para conseguir o balanceamento do sistema de produção, a empresa quer ter uma linha rápida e uma linha lenta, para as atividades que demoram mais.

No entanto, quando as visitas foram feitas, o sistema de produção não funcionava de forma balanceada; algumas atividades, como a instalação da cozinha, demoravam muito mais do que o previsto, o que implica em ter um tempo de produção bem maior para determinados módulos do que para outros. Na tentativa de balancear o sistema de produção, a equipe de engenharia fazia constantes alterações nas quantidades de estações de trabalho e nas suas localizações. Isto indica que a empresa não tinha um mapeamento claro do processo produtivo, considerando atividades que devem ser desenvolvidas em sequência ou que podem ser feitas em paralelo, nem um mapeamento do tempo que cada atividade demorava para ser executada, sendo que

algumas estações de trabalho apresentavam muitos funcionários e outras nenhum, já que os funcionários estavam executando um serviço atrasado.

A decisão da ordem de produção do projeto acompanhado durante o estudo de caso foi tomada levando em consideração a sequência de instalação no canteiro de obras, mas também a repetição e a dificuldade de produção dos módulos. A empresa iniciou o processo produzindo todos os módulos que faziam parte do pavimento térreo, mas, ao mesmo tempo, produzia os módulos do primeiro pavimento que possuíam banheiro e cozinha e, na sequência, os módulos do segundo pavimento que possuíam banheiro e cozinha, para só então produzir os módulos do primeiro pavimento que possuíam quartos, uma vez que a produção de banheiros e cozinhas demora mais do que a produção de quartos. O cliente paga pelos módulos em etapas, considerando a porcentagem de atividades concluídas.

b) Layout da fábrica:

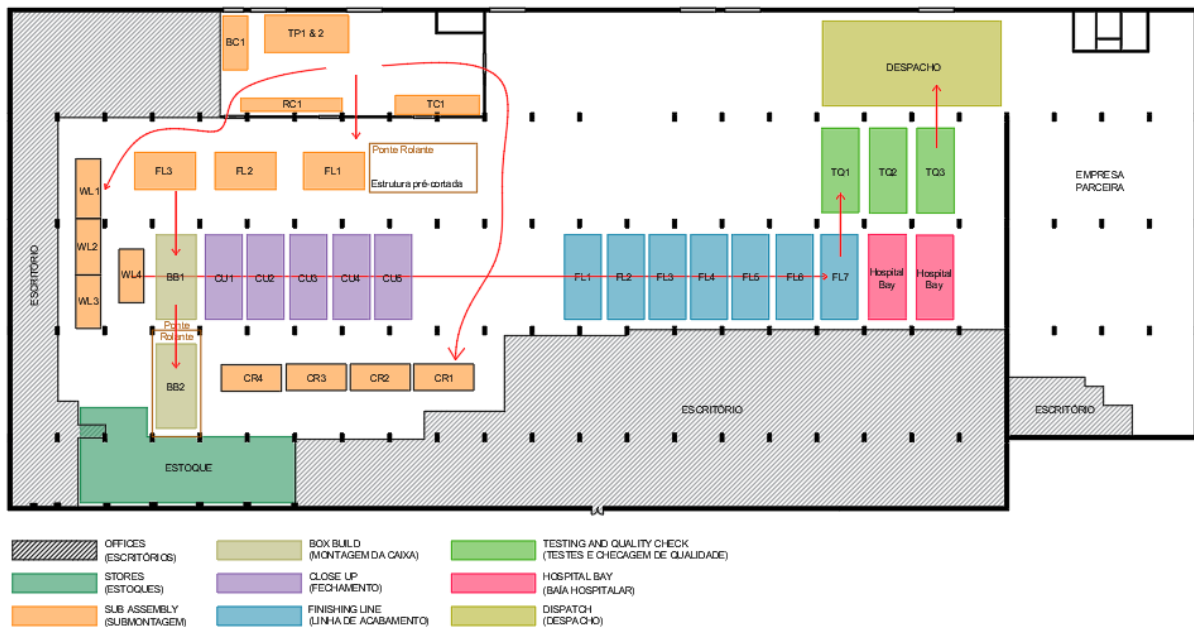
Durante as duas primeiras visitas, observou-se que a empresa utilizava um *layout* de fábrica posicional, sendo que materiais e pessoas se deslocavam até o local em que o módulo estava. Entretanto, a empresa desenvolvia um projeto de *layout* de fábrica em linha, que seria implementado logo em seguida. Em outubro de 2022, a empresa estava implementando o *layout* em linha, entretanto, 4 projetos eram produzidos simultaneamente, o que causou atrasos na implantação. A decisão de mudança no *layout* de fábrica foi tomada visando a padronização do processo produtivo, com o intuito de melhorar a eficiência e a produtividade da fábrica. Com os módulos fixos, o processo de produção mudava a cada projeto; com o *layout* em linha a empresa esperava ter etapas que não se alterassem, mesmo que os projetos produzidos sejam todos diferentes.

Em novembro de 2022, dois dos projetos que eram produzidos nas duas primeiras visitas foram concluídos e enviados para o canteiro de obras, então foi possível acompanhar, nas visitas seguintes, a implementação e algumas das mudanças ocorridas na linha de produção que começou a ser implementada em outubro, para a produção do projeto descrito anteriormente, constituído de 2 blocos de apartamentos.

O projeto inicial da linha foi feito pelo diretor de operações, com base em sua experiência e em dados que ele trouxe de uma empresa anterior na qual trabalhou. Os dados englobam as atividades necessárias para a produção de um módulo habitacional em estrutura de madeira, a sequência destas atividades, o tempo e a quantidade de funcionários necessários para a realização de cada uma das atividades. No entanto, a empresa na qual o diretor trabalhou anteriormente possuía uma linha de produção já balanceada e mais consolidada.

A Figura 46 mostra a terceira proposta desenvolvida para o *layout* em linha, implantada pela empresa entre em outubro e dezembro de 2022, com um total de 33 estações de trabalho, sendo 18 estações em linha e 11 acontecendo em paralelo. As outras estações de trabalho apresentam um *layout* celular. Nesta figura, as estações de trabalho foram divididas em blocos de atividades, representados por cores diferentes, e cada estação de trabalho recebeu uma sigla, representando a atividade principal a ser realizada. Além das estações para produção, a proposta da linha apresenta estações destinadas a arrumar eventuais problemas de difícil solução que possam ocorrer com os módulos (*hospital bays*).

Figura 46 - Terceira proposta para o *layout* da fábrica – Empresa B



Fonte: Elaborado pela autora com base em arquivo fornecido pela Empresa B.

Com a linha de produção funcionando, os materiais passaram a ficar dispostos próximos ao local em que seriam utilizados. Em janeiro de 2023, alterações na linha de produção continuavam a ser implementadas, uma vez que a empresa ainda tinha problemas com algumas estações de trabalho (a fábrica estava demorando 16 horas para instalar cada cozinha, por exemplo, sendo que a atividade devia ser feita em 4 horas).

c) Resultados da produção

A empresa quer aumentar a sua produtividade e sua eficiência, no entanto, de acordo com diversos entrevistados, como o gerente da área de TI, conseguir algum tipo de padronização, seja de componentes, de etapas de produção ou de detalhes construtivos, é um ingrediente chave para isso. Os funcionários afirmam que as próprias restrições de dimensões devidas ao transporte ajudam a estabelecer certa similaridade entre projetos e que há alguma repetição,

relativa aos materiais/componentes utilizados e à forma de montagem e instalação de itens. Eles também relatam a necessidade de uma produção que garanta flexibilidade, uma vez que fazem projetos completamente customizados para cada cliente. No momento da realização dos estudos de caso, a empresa apresentava a flexibilidade como resultado. Neste sentido o balanceamento da produção é um grande desafio.

Para o projeto acompanhado durante o estudo de caso, a fábrica estava conseguindo entregar 2 módulos por dia. A produção de novos módulos começava a cada dois dias, sendo que eram necessários 8 dias úteis para a produção completa de cada módulo.

d) Nível de automação:

Entende-se que a empresa apresenta um baixo nível de automação. No chão de fábrica havia algumas máquinas para corte de madeira. Ao longo do período de realização do estudo de caso, observou-se que a empresa comprou novos equipamentos para agilizar o processo produtivo, entre os quais destacam-se macacos hidráulicos para elevar os painéis de piso e teto, e pontes rolantes (Figura 47), para posicionamento do painel de teto acima dos painéis de fechamento do módulo.

Figura 47 - Pontes rolantes no chão de fábrica – Empresa B



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

e) Qualificação da mão de obra:

De acordo com a gerente de qualidade, o que diferencia a empresa de seus concorrentes é o fato de os funcionários do chão de fábrica serem muito experientes e altamente qualificados. São marceneiros e construtores que conseguem interpretar um desenho, ter suas próprias ideias e realizar a atividade. Segundo ela, essa é provavelmente uma das razões pelas quais a empresa consegue oferecer customização completa.

A seguir, apresenta-se no Quadro 19, o resumo das principais informações sobre a empresa.

Quadro 19 - Resumo das informações sobre a Empresa B

Empresa		B
Setor de atuação		Residencial - casas e apartamentos
Sistema construtivo		Estrutura principal e estruturas dos painéis de fechamento externo e das divisórias internas em madeira
Customização	Cliente	Incorporadores imobiliários e associações de habitação
	Equipe de projeto	Interna + externa (quando necessário)
	Desenvolvimento do projeto	Projeto adaptado ou desenvolvido pela empresa. Venda em grande quantidade
	Possibilidades de customização	Projetos desenvolvidos de acordo com a necessidade do cliente. Para o projeto estudado, a empresa produzia 66 módulos diferentes
	Repetição	Sistema construtivo. Busca de repetição em cada projeto e de padronização entre os módulos de cada projeto
	Grau de finalização dos módulos	Variado (de apenas o envoltório à completamente acabado)
	Porcentagem de trabalho feita na fábrica	Variada, mas em torno de 85% para o projeto acompanhado
	Adiamento	Não houve, para o projeto acompanhado
Produção	Sistema de produção	Em lotes
	Layout de fábrica	Parte principal da fábrica em <i>layout</i> em linha e atividades secundárias em <i>layout</i> celular
	Resultados da produção	Produtividade e flexibilidade
	Produtividade	2 módulos por dia (aproximadamente 500 módulos por ano)
	Nível de automação	Baixo
	Mão de obra	Qualificada

Fonte: Elaborado pela autora.

4.5.3 Empresa C

A Empresa C participou dos estudos de caso entre junho e novembro de 2022. Ela foi fundada em 2017 e fazia construção *offsite* de habitações modulares que eram distribuídas para a Inglaterra e para o País de Gales. A empresa recebeu o primeiro investimento governamental inglês diretamente a uma fábrica de habitação modular, para aumentar sua capacidade. Sua unidade fabril foi inaugurada em novembro de 2018 e o projeto de automação fabril foi concluído em 2020, buscando alcançar a fabricação de 3000 residências por ano em 2023.

A empresa atua no setor residencial, produzindo casas, e seus principais clientes são autoridades locais e desenvolvedores. A empresa pode atuar como construtora, oferecendo um pacote completo que inclui fabricação *offsite* dos módulos e construção no canteiro de obras, ou como subcontratada, ofertando módulos fabricados *offsite*, entregues e instalados no canteiro de obras. A empresa geralmente trabalha com empreendimentos que tenham entre 50 e 200 unidades habitacionais, mas também pode atuar em empreendimentos maiores e mais complexos de até 1000 unidades habitacionais. A Empresa C oferece serviços de

gerenciamentos de todas as etapas do ciclo de vida do projeto, desde a identificação do terreno, passando pelo planejamento e, finalmente, o início da obra.

D) Construção volumétrica *offsite*:

a) Sistema construtivo, transporte, dimensões e materiais/componentes:

Os projetos da empresa devem seguir as restrições impostas pelo transporte, sendo que a empresa considerava 5,0 metros como a largura máxima para um módulo. O chassi do módulo e a estrutura principal são feitos em estrutura de aço; as estruturas dos painéis de fechamento externo e das divisórias são feitas em aço leve. Estes materiais/componentes são escolhidos em função do transporte, uma vez que os módulos precisam ser estáveis e leves o suficiente para serem transportados. Além disso, a equipe de projetos tenta reduzir a variedade e a quantidade de materiais/componentes utilizados em cada módulo, para aumentar a eficiência da produção e diminuir custos.

A empresa pretende, no futuro, fazer as divisórias internas em estrutura de madeira, para que as máquinas possam cortá-las já montadas (com isolamento térmico e chapas OSB em ambos os lados da divisória); isso porque a máquina consegue cortar madeira, mas não consegue cortar metal. Um exemplo dos painéis de fechamento externo, das divisórias e dos materiais/componentes utilizados para produzi-los pode ser visto na Figura 48, a seguir.

Figura 48 - Materiais/componentes utilizados nos painéis de fechamento externo e nas divisórias – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

As coberturas são feitas com treliças de madeira e são isoladas com lã mineral. Os pisos são constituídos por vigas de aço galvanizado, isoladas com lã mineral e revestidas com isolamento rígido. Por meio do uso de estruturas de aço galvanizado, uma casa produzida pela empresa é significativamente mais leve do que uma casa tradicional, resultando em fundações menores. As casas podem ser revestidas com diversas opções de tijolos, emboço e placas de

revestimento para criar diferentes fachadas. Os módulos são entregues no local totalmente acabados por dentro e por fora.

II) Customização:

a) Estratégia de customização:

A empresa possui um catálogo com 9 tipos de casas e opções de acabamentos (que são limitadas) para oferecer aos clientes. Cada casa é composta por 2, 2½ ou 3 pavimentos, sendo que cada pavimento é composto por um módulo. O cliente deve decidir sobre as opções de projeto que deseja antes do início do processo de produção. A empresa fornece aos clientes uma planilha para escolha entre as opções de customização disponíveis. Um configurador está sendo desenvolvido para que a escolha seja feita de forma digital.

Se o cliente for comprar mais de 200 casas e quiser opções que não estejam no catálogo, como, por exemplo, um tipo diferente de janela, a empresa abrirá uma “solicitação de variação do produto” (“*product variation request*”) para avaliar a viabilidade de atender à solicitação do cliente, uma vez que ela busca não fazer alterações que tragam fragilidades ao projeto ou ao processo de produção. Então, o departamento de projetos verifica se é possível atender à solicitação ou se seria necessário algum redesenho, a equipe da cadeia de suprimentos verifica a viabilidade da compra dos materiais/componentes e a equipe de operações e engenharia verifica se a solicitação pode ser executada na fábrica. Se tudo isso for possível, a equipe de vendas vai determinar o custo e dizer se é viável ou não atender à solicitação do cliente. Se a solicitação for considerada viável, o cliente terá que arcar com os custos extras. A empresa não desenvolve um novo projeto de casa a menos que o cliente queira pagar pelo projeto e comprar um grande número de habitações.

Projetar visando velocidade e facilidade de fabricação e montagem é fundamental em qualquer manufatura. Os produtos de especificações básicas da empresa atingem isso. Os 9 diferentes tipos de casas oferecidos pela Empresa C se baseiam nos projetos mais populares de habitações ofertadas por uma empresa-irmã que está no mercado de construção tradicional de habitações de valores acessíveis há 20 anos e trabalhou ao longo de muito tempo para otimizar sua gama de produtos. Para 6 das 9 opções de casas ofertadas pela Empresa C, o módulo do térreo é o mesmo. Nota-se que os tipos de casas apresentam recombinações entre os módulos (por exemplo, o módulo que é utilizado como segundo pavimento para um tipo de casa é usado como terceiro pavimento para outro tipo de casa). As opções de acabamentos são limitadas, porque a demanda é alta; então se a empresa disponibilizar muitas opções, precisará ter muitas

opções em estoque e em grande quantidade, o que significa dinheiro e espaço utilizados, uma vez que não é possível contar com uma entrega “*just in time*”.

As opções de acabamentos são revistas a cada 10 meses, aproximadamente, para acompanhar as tendências do mercado. O diretor de operações afirma que, no início, a empresa oferecia uma grande gama de opções, mas que isto foi reduzido com o tempo. Ela ofertava, por exemplo, 8 tipos de puxadores para os armários da cozinha, e hoje oferece apenas 3 tipos de puxadores, reduzindo estoque. Isto evita problemas, como, por exemplo, se a empresa oferece 4 opções de portas e decide que terá em estoque as 4 opções de portas para o que corresponde à produção de uma semana (5 dias), considerando que a empresa utilize uma porta por dia, terá que ter em estoque 20 portas. Se os fornecedores conseguissem fazer entregas diárias, a oferta de uma grande quantidade de opções não seria um grande problema, mas a empresa considera que a cadeia de suprimentos da construção não está pronta para isso. Então, a redução do estoque é um dos motivos pelos quais a empresa trabalha continuamente no aprimoramento dos projetos, a fim de reduzir as quantidades e tipos de materiais utilizados nas casas.

Os 9 tipos de casas da empresa são compostos por “módulos” que se combinam, sendo que 5 dos tipos de casas possuem 2 pavimentos, 2 tipos apresentam 2½ pavimentos e 2 tipos possuem 3 pavimentos. Todos os pavimentos (módulos) têm pé direito de 2,5m. Os tipos de casas de 2½ pavimentos apresentam sótão. A maioria dos tipos de casas tem a mesma profundidade, o que permite flexibilidade no uso dos módulos. No entanto, variações de dimensões dos módulos estão disponíveis em módulos mais longos e de frente mais larga, sendo que existem duas orientações de tipos de casa: as de frente estreita e as de frente larga. Os tipos de casas com frente larga proporcionam um aspecto duplo e são usados principalmente em terrenos de esquina. Esses tipos de casas também podem ser construídos como moradias isoladas. A forma como as casas são colocadas lado a lado no terreno depende do seu número de pavimentos. As casas podem ser colocadas em posicionamento espelhado no terreno, então pode-se considerar 18 tipos diferentes de casas. Além disso, as casas podem apresentar algumas variações, como presença ou não de varanda, de suíte ou variações em seu posicionamento em relação às casas vizinhas (possibilidades para casas isoladas, semi-isoladas ou casas geminadas). Na Figura 49, a seguir, são apresentados exemplos de casas espelhadas e exemplos de posicionamentos entre os tipos de casa. Diferentes tipologias de habitação só podem ser unidas a habitações compatíveis, ou seja: habitações de tipologia C ou W podem ser unidas a habitações de tipologia H ou D; tipos de casas T podem ser unidos a tipos de casas B; tipos de casas R unidos a tipos de casas N. Os tipos de casa L são mais longos e não podem ser unidos a outros tipos de casa. Deve-se observar que as casas necessitam de uma plataforma nivelada

em sua parte inferior, portanto, não é permitida a incorporação de desníveis ou degraus entre moradias geminadas ou semi-isoladas.

Figura 49 - Exemplos de casas espelhadas e de posicionamentos das casas – Empresa C



Legenda:

L: sala

K/D: cozinha e sala de jantar

K: cozinha

AS: versão original da casa

OPP: versão espelhada da casa

A: versão original da casa, sendo ela a casa final de casas semi-isoladas ou geminadas

B: versão espelhada da casa, estando ela no meio de outras casas geminadas

C: versão original da casa, estando ela no meio de outras casas geminadas

D: versão espelhada da casa, sendo ela a casa final de casas semi-isoladas ou geminadas

Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa C.

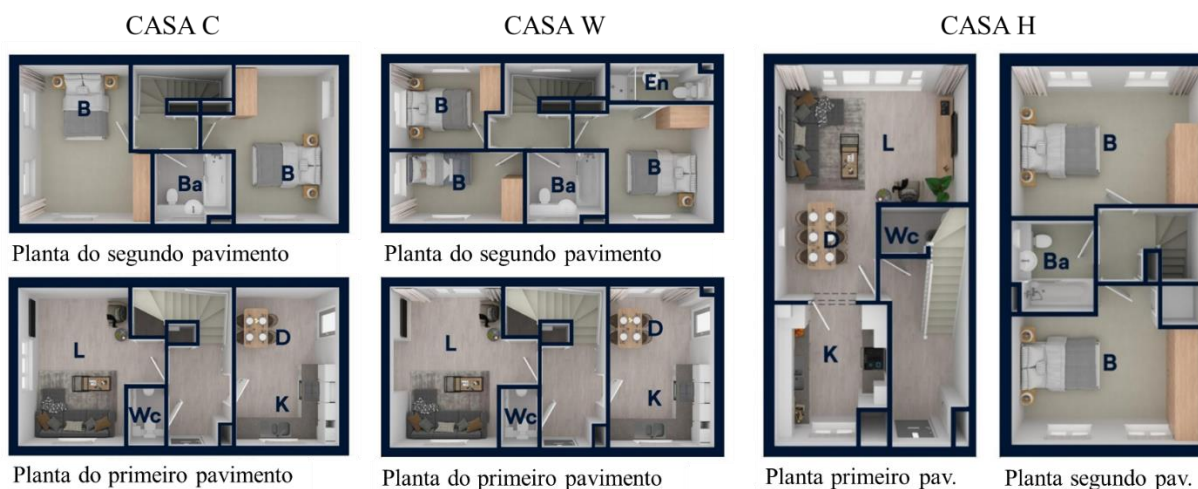
No Quadro 20, a seguir, são apresentados os 9 tipos de casas, com suas variações, com o número de quartos e pessoas para cada variação, além do tipo de módulo utilizado para formar a casa, do número de pavimentos, de detalhes para seleção (como presença ou não de suíte) e área interna aproximada. Nas Figuras 50, 51, 52 e 53 são apresentadas as plantas dos diferentes pavimentos de cada um dos 9 tipos de casas da Empresa C.

Quadro 20 - 9 tipos de casas e suas variações – Empresa C

Nome da casa	Nº de quartos e pessoas	Tipo de módulo	Nº de pav.	Detalhe	Área interna (m ²)
Dois quartos					
H fim	2 quartos / 4 pessoas	Frente estreita	2	-	81,0
H meio	2 quartos / 4 pessoas	Frente estreita	2	-	80,7
C independente sem varanda	2 quartos / 4 pessoas	Frente larga	2	-	79,0
C separado com varanda	2 quartos / 4 pessoas	Frente larga	2	-	80,5
C fim sem varanda	2 quartos / 4 pessoas	Frente larga	2	-	78,7
C fim com varanda	2 quartos / 4 pessoas	Frente larga	2	-	80,2
Três quartos					
D fim separada	3 quartos / 5 pessoas	Frente estreita	2	Com suíte	81,0
D meio separada	3 quartos / 5 pessoas	Frente estreita	2	Sem suíte	80,7
L fim separada	3 quartos / 5 pessoas	Longo, frente estreita	2	Com suíte	94,3
L meio separada	3 quartos / 5 pessoas	Longo, frente estreita	2	Sem suíte	94,0
W separada sem varanda	3 quartos / 5 pessoas	Frente larga	2	-	79,0
W separada com varanda	3 quartos / 5 pessoas	Frente larga	2	-	80,5
W fim separada sem varanda	3 quartos / 5 pessoas	Frente larga	2	-	78,7
W fim separada com varanda	3 quartos / 5 pessoas	Frente larga	2	-	80,2
T fim separada	3 quartos / 5 pessoas	Frente estreita	2½	Sótão	104,3
T meio separada	3 quartos / 5 pessoas	Frente estreita	2½	Sótão	103,9
Quatro quartos					
B fim separada	4 quartos / 6 pessoas	Frente estreita	2½	Sótão	104,3
B meio separada	4 quartos / 6 pessoas	Frente estreita	2½	Sótão	103,9
N fim separada	4 quartos / 6 pessoas	Frente estreita	3	-	121,5
N meio separada	4 quartos / 6 pessoas	Frente estreita	3	-	121,1
R fim separada	4 quartos / 7 pessoas	Frente estreita	3	-	121,5
R meio separada	4 quartos / 7 pessoas	Frente estreita	3	-	121,1

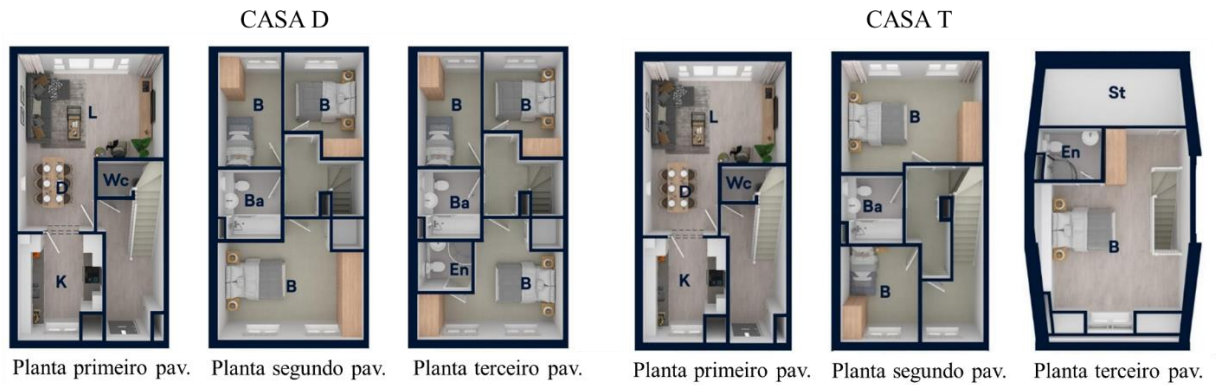
Fonte: Adaptado do catálogo da Empresa C.

Figura 50 - Casas tipos C, W e H – Empresa C



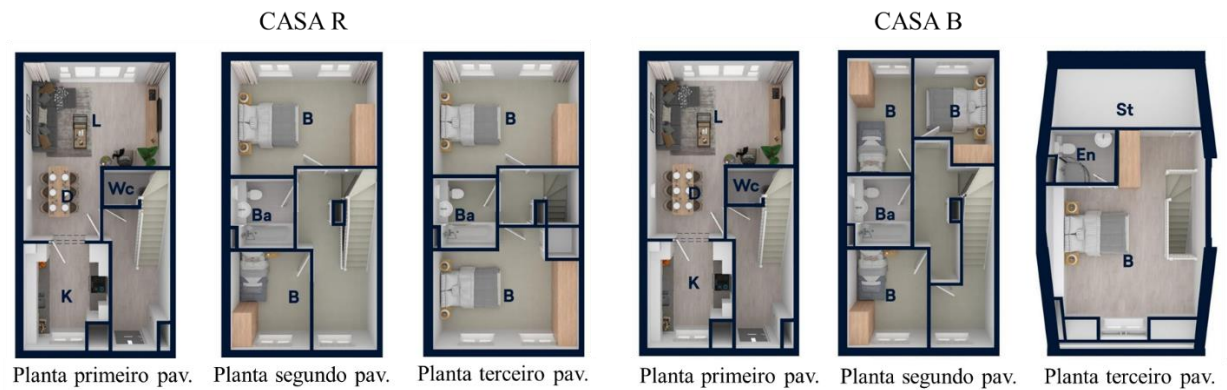
Fonte: Adaptado de arquivo fornecido pela Empresa C.

Figura 51 - Casas tipos D e T – Empresa C



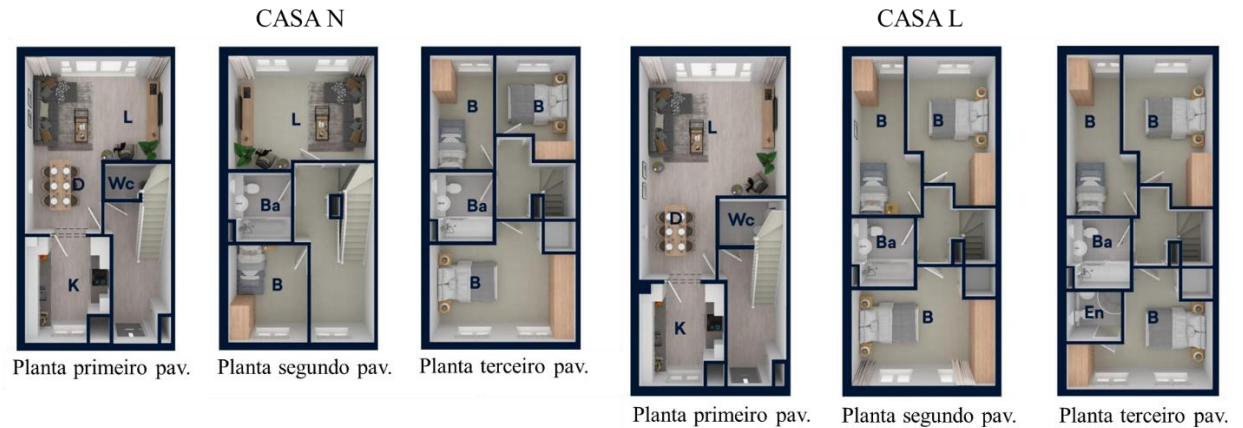
Fonte: Adaptado de arquivo fornecido pela Empresa C.

Figura 52 - Casas tipos R e B – Empresa C



Fonte: Adaptado de arquivo fornecido pela Empresa C.

Figura 53 - Casas tipos N e L – Empresa C



Fonte: Adaptado de arquivo fornecido pela Empresa C.

Para reduzir a complexidade da produção, a empresa adotou a estratégia de diminuir as variações de módulos ao trabalhar com combinações entre eles e pequenas alterações, como inclusão de uma divisória para formar um novo quarto ou um banheiro. Sendo assim, a empresa tem uma gama de 14 módulos diferentes, totalizando 28 módulos distintos, se os espelhamentos forem considerados.

A empresa oferece 3 tipos distintos de módulos para o primeiro pavimento (Figura 54), sendo um módulo para as tipologias de casas com entrada lateral, um módulo para as tipologias de casas com entrada frontal e um módulo para as tipologias de casas alongadas com entrada frontal. Pela Figura 54, percebe-se que, para a criação do módulo do primeiro pavimento da casa alongada, utilizou-se o módulo do primeiro pavimento da casa de entrada frontal, apenas aumentando a área do banheiro e da sala.

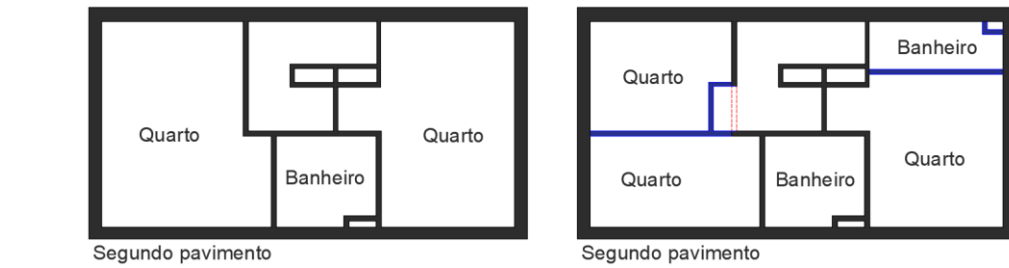
Figura 54 - 3 tipos de módulos para o primeiro pavimento – Empresa C



Fonte: Elaborado pela autora.

O segundo pavimento é o que apresenta a maior possibilidade de variações de módulos. A empresa tem um módulo para o segundo pavimento de casas com entrada lateral, mas ele pode sofrer pequenas alterações, de forma que ganhe um quarto e um banheiro a mais (Figura 55). Para o segundo pavimento de casas com entrada frontal, a empresa oferece 6 tipos diferentes de módulos, mas todos eles são originados de um módulo básico que sofre alterações para acomodar um quarto a mais, um banheiro a mais, ou a alteração da caixa de escada devido à presença de um terceiro pavimento (Figura 56). Na Figura 56, as plantas da primeira linha representam as alterações para acréscimo de quarto e banheiro, sendo que estes módulos representam os andares superiores, seja das casas com 2 pavimentos ou das casas com 3 pavimentos; por isso a legenda das plantas indica segundo ou terceiro pavimento. As plantas da segunda linha representam as alterações para acréscimo de quartos e banheiros, mas também as alterações necessárias devido à posição da caixa de escadas, sendo que estas são as plantas dos módulos utilizados como pavimentos intermediários para as casas com 2½ ou 3 pavimentos.

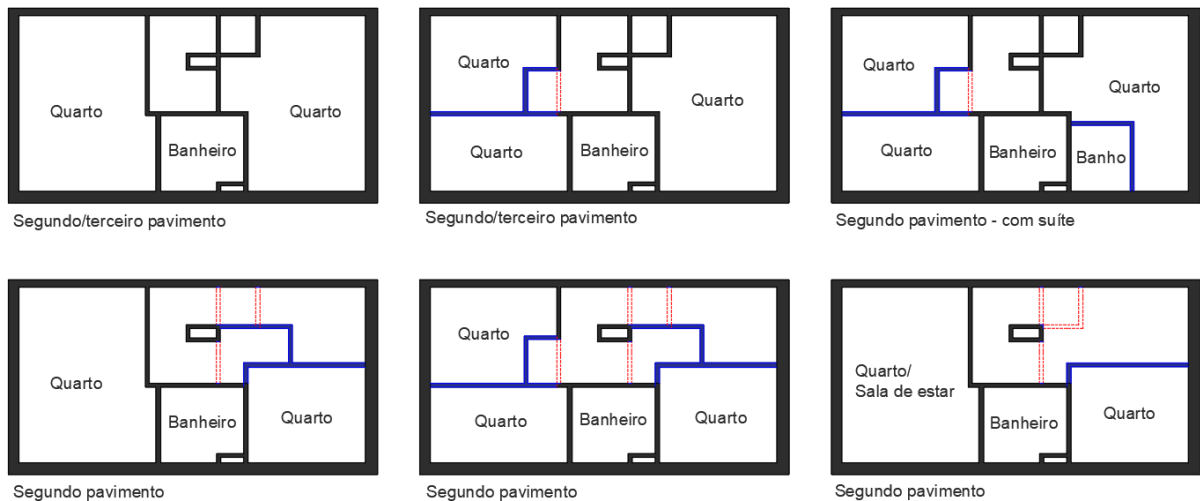
Figura 55 - Módulo para o segundo pavimento de casas com entrada lateral e alterações – Empresa C



Parede adicionada
 Parede retirada

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 56 - Variações de módulos para o segundo pavimento de casas com entrada frontal – Empresa C

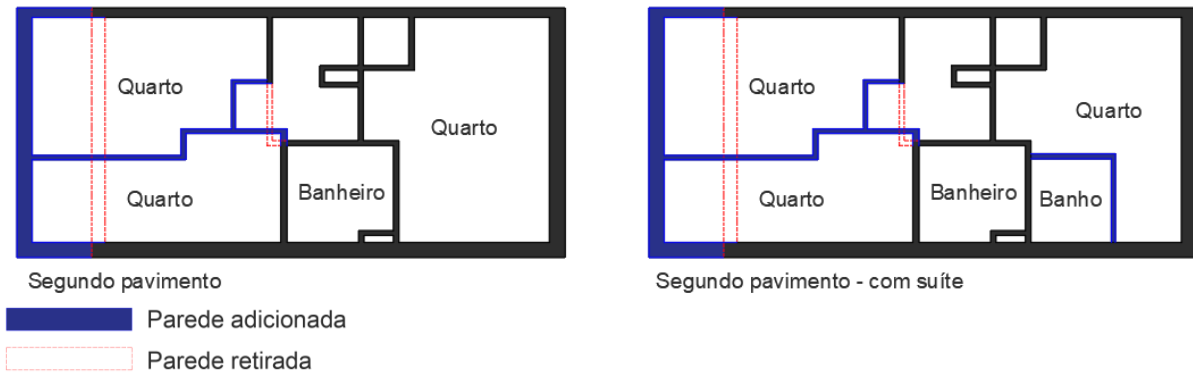


Parede adicionada
 Parede retirada

Fonte: Elaborado pela autora.

Para terceiro pavimento, a empresa não oferta tipologias novas de módulos, uma vez que ela utiliza a mesma tipologia de módulos do segundo pavimento, de casas de dois pavimentos. A empresa oferece um tipo diferente de módulo para o segundo pavimento da tipologia de casa alongada com entrada frontal; este módulo pode ter o acréscimo de um banheiro (Figura 57). E ainda há um módulo especial para o sótão das tipologias de casas com 2½ pavimentos, como pode ser visto na Figura 58.

Figura 57 - Módulo para o segundo pavimento da tipologia de casa alongada com entrada frontal e variação – Empresa C



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 58 - Módulo para o sótão – Empresa C



Fonte: Elaborado pela autora.

É importante notar que todos estes módulos podem ser espelhados, como mostrado na Figura 59, na qual são apresentadas todas as diferentes tipologias de módulos possíveis, produzidas pela empresa.

Figura 59 - Tipologias de módulos e módulos espelhados – Empresa C

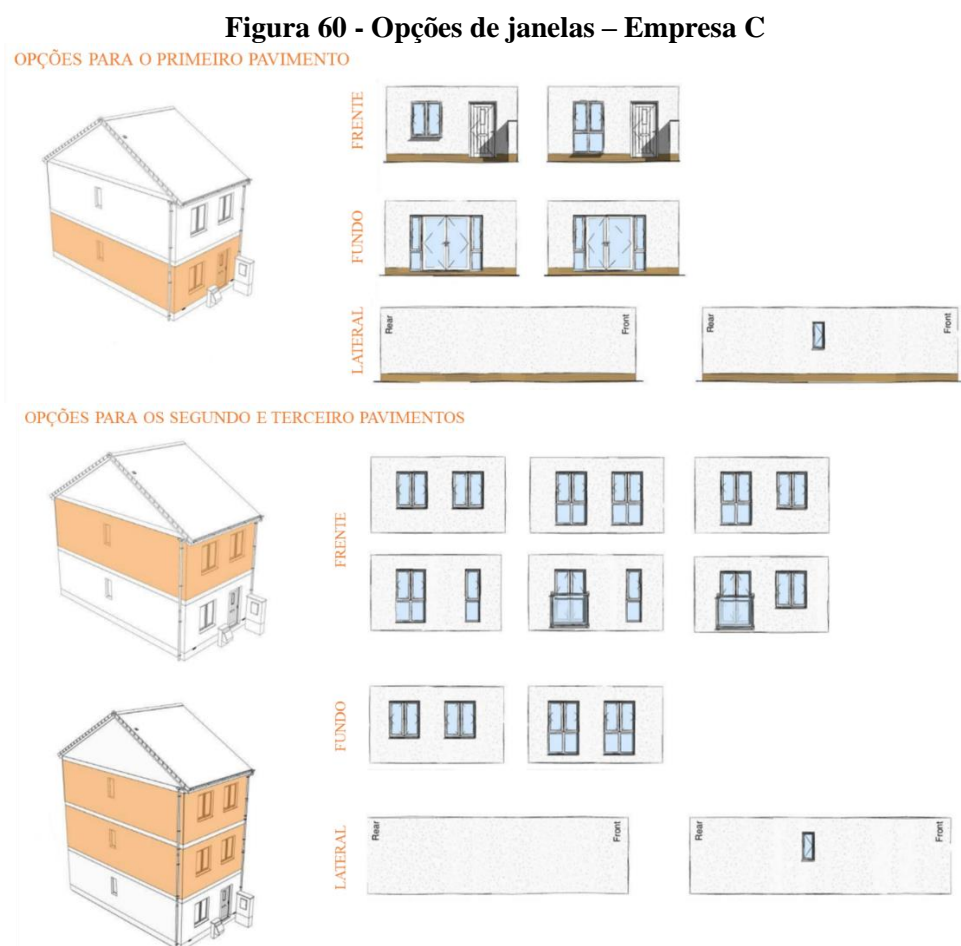


Pela análise dos módulos, percebe-se que existem apenas dois tamanhos diferentes de chassis e o gerente de projetos afirmou que nenhuma divisória interna é estrutural. Desta maneira, a empresa apresenta uma plataforma bem definida, que garante flexibilidade no *layout* interno dos módulos. Apesar desta flexibilidade, a empresa não faz alterações das divisórias para nenhum cliente. De acordo com o gerente de projetos, esta flexibilidade é apenas para permitir que a empresa ofereça diferentes opções de *layout* interno já pré-definidos.

A empresa disponibiliza aos clientes um catálogo com todas as informações necessárias para que o empreendimento seja desenvolvido com sucesso. O catálogo inicia com as tipologias de casas ofertadas pela empresa, passando por requisitos da instalação da residência no lote, como tipologias que podem ser agrupadas e como o agrupamento pode ser feito, melhores posicionamentos para aproveitamento da luz solar, distâncias entre edificações, drenagem, paisagismo, escoamento de água de chuva e opções sustentáveis. Depois disso, no catálogo são trazidas as opções de acabamento para o exterior da edificação, incluindo fachada, janelas e portas, opções de telhado e de portões.

No catálogo fica claro quais são os acabamentos externos com menores e maiores valores. Fica claro ainda que: i) as posições das janelas são fixas, ou seja, não podem ser alteradas, mas há opções de variações de alturas e tipos das janelas; ii) há apenas duas opções de coberturas de portas de entrada; iii) os módulos de telhado padrão incluem tipos de empena lateral e frontal.

Em relação às opções de janelas, é indicado no catálogo que, para o primeiro pavimento, são disponibilizadas duas opções de janelas frontais, duas opções de portas na área posterior e a possibilidade de ter ou não uma janela no painel de fechamento lateral. Para os segundo e terceiro pavimentos, a empresa oferece 6 combinações de opções de janelas para o painel de fechamento frontal, 2 para o painel de fechamento de fundo e a opção de inclusão ao não de uma janela no painel de fechamento lateral (Figura 60). Vale notar que algumas tipologias de casas possuem opções extras, como a com módulos alongados, que possui, por exemplo, a opção de duas janelas no painel de fechamento lateral. A empresa oferece apenas duas opções de cores para os caixilhos externos de janelas e portas (branco e cinza escuro, sendo branco a cor padrão) e apenas a opção de cor branca para os caixilhos internos de janelas e portas.



Fonte: Adaptado do arquivo fornecido pela Empresa C.

De acordo com o gerente de projetos, para as janelas, por exemplo, há várias opções, para que o cliente sinta que tem possibilidades, mas ele não pode desviar das opções do catálogo, uma vez que todas as opções possuem um projeto definido e detalhado.

Para as portas de entrada, a empresa oferece 3 modelos diferentes (Figura 61), que podem ser pintados em 10 cores distintas, à escolha do cliente (preto é a cor padrão), sendo que 6 destas cores estão incluídas no valor normal e 4 delas implicam em custo adicional. Na figura, a porta destacada com uma borda laranja é o modelo padrão.










Figura 61 - Opções de portas de entrada – Empresa C







Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa C.

A oferta das opções de cobertura varia de acordo com o tipo da casa, como pode ser visto no Quadro 21, a seguir. As casas com 2½ pavimentos não possuem opções de cobertura.

Quadro 21 - Opções disponíveis de cobertura – Empresa C

Opções de cobertura												
Nome casa	Gem. final/semi-isolada	Geminada central	Isolada	12½° Duas águas inverti- das	30° Duas águas inverti- das	35° Sótão	30°/ 35° Quatro águas	35° Duas águas	40° Duas águas	46,6° Duas águas (casa isola- da)	46,6° Duas águas (fim)	Telhado plano
H	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
D	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
L	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
T	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
B	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
N	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓
R	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓
C	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
C	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓
W	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗
W	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓

Legenda:

-  Projeto de cobertura padrão para o tipo de casa.
-  Opção disponível.
-  Opção não disponível.
-  Opção disponível somente após confirmação do engenheiro estrutural e aprovação da empresa.

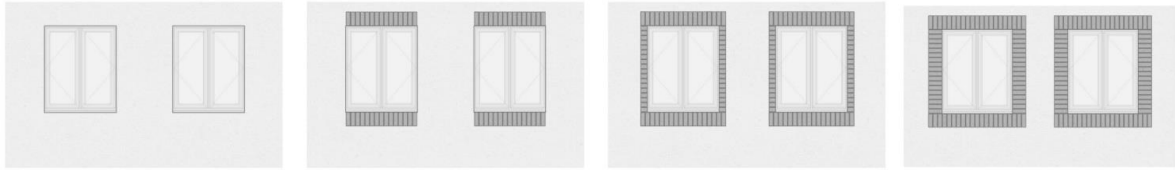
Fonte: Adaptado de arquivo fornecido pela Empresa C.

A empresa oferece cobertura em telhas de aço, com 6 opções de cores diferentes, para telhados com inclinação de 12,5°; e cobertura em telhas de concreto, disponível em 6 cores diferentes, para telhados com inclinação maior ou igual a 30°. Para as telhas, a empresa tem parceria com dois fornecedores específicos, mas está aberta a discussão para uso de materiais de outros fornecedores.

Para o revestimento externo da edificação, a empresa oferece 4 modelos diferentes: emboçado com pintura; primeiro pavimento com revestimento em tijolo e demais em emboço com pintura; revestimento em tijolo; primeiro pavimento com revestimento em tijolo e demais em painel de fibrocimento com textura de madeira. O emboço com pintura é o revestimento de custo base padrão e casas com este revestimento sempre devem apresentar uma faixa de acabamento em tijolo no nível do piso e nas junções entre módulos, para dar acabamento à ligação entre módulo e fundação ou à conexão entre módulos. Para o revestimento em emboço com pintura, seja ele em toda a casa ou apenas nos pavimentos superiores, a cor padrão de pintura é o branco, mas o cliente pode escolher entre outras 6 cores. O revestimento em tijolo, seja ele apenas para o primeiro pavimento ou para toda a edificação, implica em um custo adicional, em comparação com o custo do revestimento em emboço com pintura. Para este revestimento, o cliente pode escolher entre 29 diferentes cores e texturas de tijolos com variados preços e tempos de entrega e entre 5 diferentes cores para a argamassa entre os tijolos. O revestimento em painel de fibrocimento com textura de madeira também implica em um custo adicional à edificação, em comparação com o custo do revestimento em emboço com pintura. Para este tipo de revestimento há 21 opções de cores para a escolha do cliente.

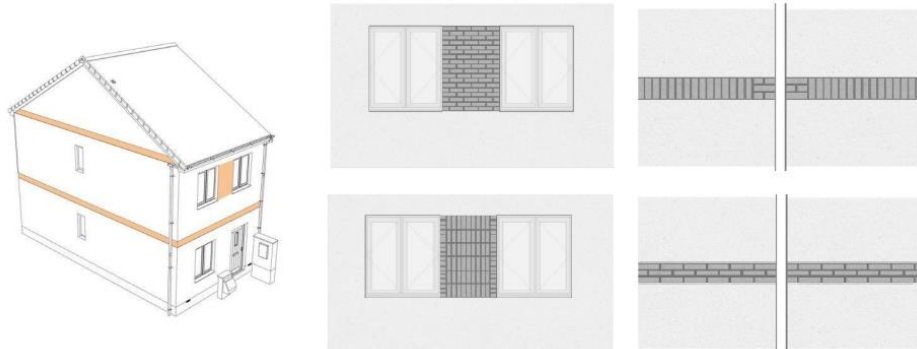
A empresa oferece também diversas opções para os detalhes das fachadas, incluindo, por exemplo, detalhes ao redor das janelas ou entre elas e detalhes entre pavimentos. Ao redor das janelas, os clientes podem ter tijolos com dimensões de 105mm ou 215mm, ou uma combinação de ambos, em diferentes *layouts*, como pode-se ver na Figura 62. Na junção entre pavimentos, a empresa oferece opções de faixas em tijolo, que podem ser combinadas com detalhes entre janelas, como pode ser visto na Figura 63. As opções de detalhes ao redor das janelas e entre os módulos se aplicam às diversas opções de acabamentos externos da edificação, com algumas variações, a depender do acabamento. Quando toda a edificação é revestida em tijolos, há a opção de variar as cores de tijolos para os detalhes ao redor das janelas e entre módulos e uma opção de requadro metálico ao redor das janelas.

Figura 62 - Detalhes ao redor das janelas – Empresa C



Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa C.

Figura 63 - Exemplos de detalhes da fachada – Empresa C



Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa C.

A empresa desenvolve os projetos de arquitetura, mas também faz o projeto específico para produção e montagem na fábrica e no canteiro de obras, ou seja, a empresa faz *Design for Manufacture and Assembly (DfMA - projeto para manufatura e montagem)*. Os desenhos para a manufatura incluem paginações, listas de cortes, desenhos para montagem de partes e desenhos para serem utilizados nas máquinas CNC. Alguns destes desenhos podem ser vistos na Figura 64.

Figura 64 - Desenhos para manufatura – Empresa C

(continua)



Part Number	Assembly Code	Pack Code	Count	Type Detail	Part Dimensions	Part Taper Left	Part Taper Right
D-F-CFB-0004		1,26	1	Plankboard	1200 x 1545 x 15	Yes	Yes

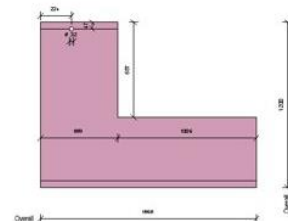
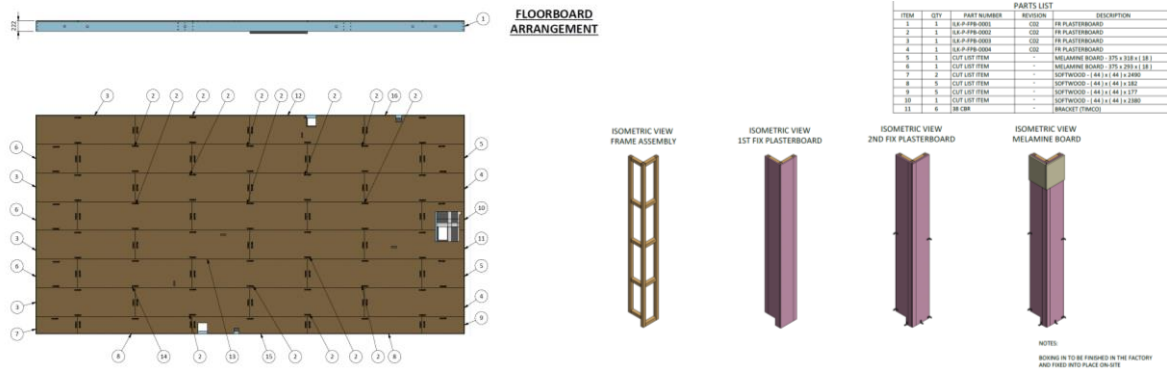


Figura 64 - Desenhos para manufatura – Empresa C

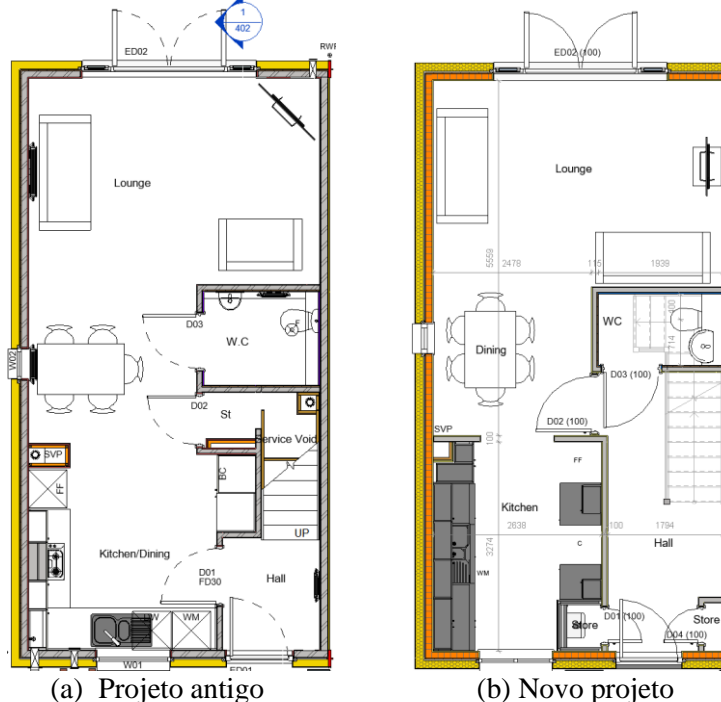
(conclusão)



Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa C.

A empresa trabalha constantemente nos modelos de casas que disponibiliza, buscando melhorias, redução de custos e, eventualmente acrescentando ou eliminando modelos. Além disso, a equipe de projetos tenta reduzir a variedade e a quantidade de materiais utilizados em cada módulo, para aumentar a eficiência da produção e diminuir custos. Algumas mudanças já feitas no projeto do primeiro pavimento podem ser vistas na comparação apresentada na Figura 65, a seguir. Percebe-se que o novo projeto (à direita da figura) apresenta uma cozinha diferente, que permite a produção mais rápida na fábrica. Além disso, no novo projeto apresenta uma organização distinta da entrada: o banheiro está em uma nova disposição, assim como armários ao lado da porta. As dimensões do chassi se mantêm as mesmas.

Figura 65 - Módulo antigo e módulo novo para o primeiro pavimento – Empresa C



Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa C.

Sempre que grandes alterações no projeto são realizadas, a empresa faz um protótipo para testar o novo produto e, em geral, muitas mudanças no projeto proposto precisam ser feitas para que ele esteja adequado para produção eficiente na fábrica.

b) Porcentagem de trabalho feito na fábrica:

De acordo com o diretor de operações, 95% do trabalho é feito na fábrica. Segundo ele, a empresa busca fazer a maior quantidade possível de atividades dentro da fábrica, pois o que custa 1 libra para ser produzido na fábrica custará 10 libras para ser produzido no estacionamento da fábrica e 100 libras para ser produzido no canteiro de obras, porque na fábrica as pessoas estão treinadas e têm os equipamentos necessários para a produção.

No canteiro de obras, o módulo é instalado e testado. Depois que o canteiro de obras e as fundações estiverem preparados, os módulos totalmente montados na fábrica são instalados com auxílio de um guindaste. Cada guindaste consegue instalar aproximadamente 12 módulos (6 casas) por dia. Após a instalação do módulo na fundação e da conexão entre os módulos, são realizadas as conexões das instalações elétricas e hidráulicas, uma fiada de tijolos entre o módulo e a fundação e entre os módulos, e as juntas das escadas. As casas são então testadas e, finalmente, qualquer infraestrutura/paisagismo é concluída no local. Um empreendimento típico para 100 habitações pode poupar 55 semanas de obras no canteiro de obras, em comparação com um cronograma de construção tradicional.

c) Adiamento:

A empresa não vende para o usuário final, mas se seu cliente vende para o usuário, a empresa consegue colocar em ação um plano de adiamento para ajudar o cliente. Sendo assim, se o cliente comprou 200 casas, ele provavelmente vai querer esperar que a casa seja vendida para perguntar ao usuário final qual tipo de cozinha ele vai querer, por exemplo. Neste caso, a empresa opera por meio de um sistema de compra que ajudará o cliente. A empresa terá uma lista de compras que virá em duas partes, A e B. A parte A precisa ser comprada com 20 semanas de antecedência ao início da produção das habitações. Já a parte B, que incluiria o tipo de cozinha, deve ser comprada com 12 semanas de antecedência à instalação, de forma que o cliente tem até esta data para escolher o tipo de cozinha que será instalado na habitação. Isto significa que o cliente poderia esperar até 8 semanas antes do início da produção para fazer a escolha.

No entanto, a maior parte dos clientes da empresa constrói casas que serão alugadas, não vendidas ao usuário final, então o cliente fará todas as escolhas. Este, inclusive, é o nicho de mercado no qual a empresa busca atuar, para que ela saiba com antecedência as escolhas do cliente.

III) Produção:

a) Sistema de produção:

A Empresa C utiliza um sistema de produção em linha de fluxo com um *layout* em linha, sendo 3 linhas principais e 2 linhas secundárias, além de estações de trabalho paralelas, com *layout* celular, para a produção de painéis de fechamento externo e de divisórias. Cada uma das 3 linhas de produção (Linhas A, B e C) tem 20 estações de trabalho. A Linha A é destinada à realização de atividades rápidas, já na Linha B são realizadas atividades mais lentas, que demoram o dobro do tempo em comparação às atividades rápidas, realizadas na Linha A. Na Linha C são realizadas as mesmas atividades da Linha B. Isto é necessário para manter o tempo de produção constante - por serem mais lentas, as atividades são divididas em duas linhas. As atividades são lentas, em geral, devido à necessidade de cura ou secagem de materiais, como tintas e argamassas. Na Figura 66 é possível ver um ventilador posicionado para auxiliar na secagem da massa de acabamento. As atividades rápidas incluem a montagem de piso, teto, painéis de fechamento externo e divisórias.

Figura 66 - Ventilador posicionado para auxiliar na secagem da massa de acabamento – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Os módulos da Linha A devem ser movidos mais rapidamente do que os das Linhas B e C. O módulo começa a ser montado no início da Linha A e quando chega ao final dela pode ir tanto para a Linha B quanto para a Linha C, que são linhas destinadas ao acabamento dos módulos. Normalmente, os módulos do primeiro pavimento vão para a Linha B e os módulos do segundo pavimento vão para a Linha C. Como a Linha A alimenta duas outras linhas, ela precisa ter o dobro da velocidade. Na Linha A é montada a estrutura básica do módulo e este é

movido a cada 70 minutos, o que quer dizer que há um módulo saindo da Linha A a cada 70 minutos. Este módulo, então, irá para uma das duas linhas de acabamento (Linhas B ou C), que possuem um tempo de movimentação de 140 minutos. Isto significa que a fábrica produz dois módulos a cada 140 minutos. A oferta de uma gama específica de produtos permite o balanceamento mais eficiente da linha de produção. A empresa faz o balanceamento das 60 estações de trabalho considerando as atividades que serão realizadas em cada uma delas, quanto tempo cada atividade irá demorar e quantas pessoas serão necessárias para sua realização.

A produção dos módulos começa com a fabricação dos painéis de fechamento. O tempo de produção dos painéis de fechamento externos é de 2 dias (as divisórias internas são produzidas em um tempo menor). A base do módulo e o teto podem ser feitos em 1 dia. Quando estes componentes estão prontos, eles são entregues na primeira estação de trabalho da primeira linha principal (Linha A). À base para o piso, já com o sistema hidráulico instalado (Figura 67), são acrescentados os painéis de fechamento externo, para a criação da caixa (módulo volumétrico), sendo que inicialmente é instalado o painel de fechamento de fundo, em seguida as divisórias internas e, por fim, os outros painéis de fechamento, sempre com a ajuda de uma ponte rolante (Figura 68). Depois que os painéis estão instalados, o teto, já com os sistemas elétricos prontos, é colocado sobre eles com o auxílio de uma ponte rolante (Figura 69) e os funcionários fazem a conexão deste com os painéis de fechamento e as divisórias. Há então uma etapa em que são feitos os acabamentos entre as chapas de gesso acartonado dos painéis de fechamento, divisórias e teto. Há também a aplicação de uma membrana impermeável, para isolamento de água. Ainda na Linha A, são instaladas as ripas nas faces externas, que posteriormente vão receber os acabamentos de fachada. Além disso, é feita a primeira etapa das instalações elétricas e hidráulicas, é realizada a instalação dos caixilhos das janelas e a aplicação do isolamento externo da fachada.

Figura 67 - Primeira estação de trabalho da Linha A: piso com hidráulica instalada - Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 68 - Divisória sendo instalada com o auxílio de uma ponte rolante – Empresa C



Legenda: Nesta imagem é possível ver, no módulo mais próximo, os painéis de fechamento de fundo e lateral já instalados e uma divisória interna sendo posicionada com a ponte rolante. No módulo mais ao fundo é possível ver a parte externa do painel de fechamento, em chapa OSB. A chapa de gesso acartonado em cor rosa é utilizada nas partes internas dos painéis. Vê-se também, próximo às estações de trabalho, os painéis de fechamento prontos, aguardando para serem içados.

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 69 - Instalação do teto com o auxílio de ponte rolante – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

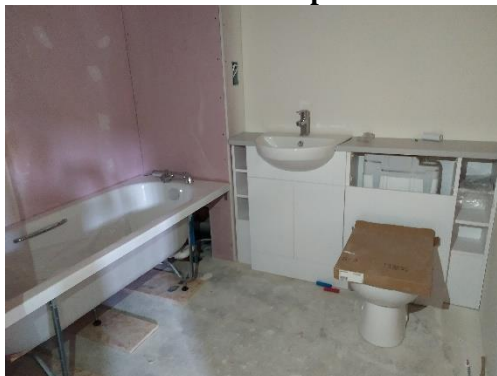
Os módulos saem da Linha A e são distribuídos entre as Linhas B e C, nas quais são verificados e corrigidos erros que eventualmente tenham ocorrido nas etapas anteriores do processo de produção. Além disso, nas Linhas B e C são aplicados os acabamentos externos da fachada (Figura 70), são instalados os vidros das janelas, é feita a segunda etapa das instalações elétricas e hidráulicas, que também são testadas, é feita a instalação dos banheiros (Figura 71) e cozinhas, são realizadas a aplicação dos acabamentos e a inspeção final do módulo, que será então despachado.

Figura 70 - Acabamento externo do módulo em emboço e tijolos aplicados ao redor das janelas, como detalhe do acabamento – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 71 - Instalação do gabinete do banheiro, que já vem pronto e apenas deve ser encaixado ao módulo – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Para reduzir os imprevistos na linha de montagem, a empresa contrata 12% de funcionários a mais do que o necessário no chão de fábrica, de forma a cobrir eventuais ausências (como afastamento por doença ou férias). Sendo assim, algumas vezes há excesso de mão de obra no chão de fábrica, então, se algum problema acontecer ou se alguma estação de trabalho estiver com atividades atrasadas, estes funcionários tentarão resolver o problema. Caso não seja possível resolver o problema dessa forma, existe uma área externa à fábrica para onde o módulo inacabado é transferido. A empresa adota esta estratégia para que a linha de produção continue se movimentando na velocidade desejada, uma vez que o custo de parar a linha é muito elevado.

No chão de fábrica, a movimentação dos módulos ao longo da linha é feita por apenas 6 pessoas (cada pessoa empurra em média 2 toneladas - Figura 72). Isto é possível devido ao trilho instalado no chão da fábrica, sobre o qual estão pranchas com rodízios que apoiam os módulos (Figura 73).

Figura 72 - Módulo sendo empurrado por funcionários ao fundo – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 73 - Trilhos no chão e pranchas com rodízios sobre eles – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

A Empresa C possui uma plataforma digital que ajuda a gerenciar as atividades do chão de fábrica. Ela mostra a porcentagem de conclusão das atividades de cada módulo, em cada estação de trabalho, em cada uma das linhas (Figura 74). Clicando em uma estação de trabalho na página da plataforma, é possível ver em detalhes todas as informações sobre o módulo que está sendo produzido. A plataforma permite que a empresa cronometre as tarefas e, em seguida, equilibre o tempo que cada uma delas leva com base na quantidade de mão de obra e nas habilidades existentes em uma determinada estação. Assim, algumas tarefas podem ser movidas para a próxima estação, mas outras não, devido às dependências ou às restrições da tarefa, como o tempo de cura ou secagem. Pode ser que as tarefas que não podem ser movimentadas exijam a adição de mais recursos àquela estação, para garantir que a linha flua na velocidade certa.

Figura 74 - Plataforma para gerenciamento do chão de fábrica – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Sempre que possível, a empresa compra de outras empresas partes prontas, como tubulações montadas, instalações para aquecimento prontas, banheiro e cozinha prontos, etc., para que sejam apenas conectadas ao módulo; mas isso adiciona custo, uma vez que comprar as partes prontas custa mais do que as produzir na fábrica; por outro lado, isto economiza tempo na produção. A empresa também compra o aço já cortado para a montagem da estrutura.

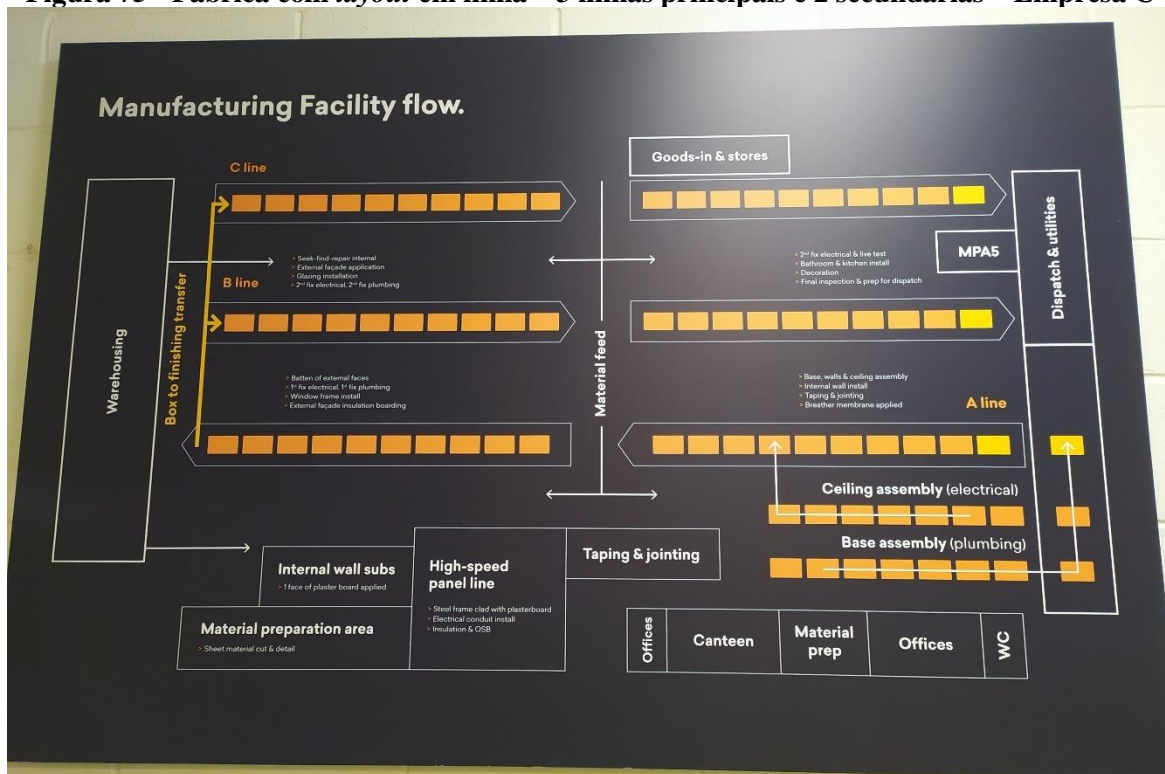
A produção é realizada de acordo com o planejamento do canteiro de obras, considerando a sequência da instalação das casas e o local do guindaste, uma vez é caro mudá-lo de lugar. É preciso muito planejamento e coordenação para descobrir quais módulos precisam ser produzidos em cada dia específico na fábrica, e isso depende de as fundações e os serviços (gás, eletricidade e água) estarem disponíveis no canteiro de obras. A empresa tenta casar a data de instalação do módulo no canteiro de obras com a eficiência do sistema de produção na fábrica. Nesse sentido, se a empresa tiver que fabricar diferentes tipos de casas, ela busca produzir de 5 a 10 casas de cada tipo de uma vez, para fins de eficiência, se o planejamento do canteiro de obras permitir. Assim, normalmente a fábrica terá diferentes tipos de módulos na linha de produção ao mesmo tempo. Segundo o diretor de operações, se pudessem ser produzidas 100 casas do mesmo tipo de uma vez seria muito melhor, mas o plano de instalação não permite isso. Por outro lado, se o módulo estiver pronto, mas a fundação e os serviços não, o módulo

precisa ser armazenado e isto custa caro para a empresa, por isso o canteiro de obras e a produção devem funcionar de forma bem coordenada.

b) Layout da fábrica:

A fábrica da Empresa C apresenta um *layout* em linha, sendo 3 linhas principais e 2 linhas secundárias (como pode ser visto na Figura 75) - uma para produção de teto (com instalações elétricas) e uma para produção de piso (com instalações hidráulicas) (Figura 76). Na Figura 75 é possível ver que, no chão de fábrica, as áreas de depósito de materiais/componentes estão estrategicamente posicionadas ao final das linhas e entre elas, para facilitar a distribuição dos materiais. Os materiais a serem utilizados em cada atividade ficam próximos ao módulo.

Figura 75 - Fábrica com *layout* em linha – 3 linhas principais e 2 secundárias – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 76 - Produção do piso – Empresa C

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Além disso, a fábrica apresenta estações de trabalho paralelas, com *layout* celular, para a produção dos painéis de fechamento externos e das divisórias - há uma área de preparação de materiais, onde tornos CNC fazem os cortes nas chapas OBS e nas chapas de gesso acartonado (Figura 77), então os componentes vão para a área de montagem dos painéis (Figura 78), na qual a chapa de gesso é aplicada em uma de suas faces. Após esta etapa, os painéis vão para uma estação de trabalho de grande velocidade, com *layout* em linha, na qual sua estrutura de aço leve, já revestida em um de seus lados com chapa de gesso, recebe os conduítes para posterior instalação da fiação elétrica e isolamento termoacústico. O painel é então fechado com chapas de gesso acartonado, quando o painel é interno, ou com chapas OSB, quando o painel é externo. Em seguida, há a estação de trabalho na qual são feitos os acabamentos entre as chapas de gesso acartonado.

Figura 77 - Máquina CNC para realização de cortes nas chapas OBS e nas chapas de gesso – Empresa C

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 78 - Montagem dos painéis de fechamento e das divisórias – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

c) Resultados da produção:

A empresa busca produtividade e ela é medida em módulos, não em casas. Durante a realização do estudo de caso, a empresa produzia 8 módulos por dia, sendo que cada módulo demorava em torno de 11 dias para ser produzido. A empresa tem sua produção dividida em dois turnos de trabalho de 37 horas semanais.

De acordo com o diretor de operações, quando a opção de módulo mais demorado está sendo produzida, para não reduzir a produtividade da fábrica, são colocados mais funcionários para desenvolver as atividades mais demoradas (garantindo, assim, o balanceamento da linha). Desta forma, os módulos têm quantidades diferentes de homem/horas empregados. O entrevistado afirma que, se a empresa produzisse apenas produtos padrão e simples, como as casas H e D, o sistema de produção seria muito mais eficiente, mas como ele deve ser balanceado para produzir os 9 tipos de casas disponíveis, considerando as opções de acabamentos do catálogo, a fábrica provavelmente usa 5% a mais de força de trabalho, já que a produção não é tão eficiente. A empresa tem 700 funcionários no chão de fábrica, divididos em dois turnos de trabalho.

d) Nível de automação:

A Empresa C apresenta médio nível de automação; a fábrica combina estações automatizadas (com tornos CNC) e trabalho manual de pessoas não especializadas, mas que são treinadas para fazer determinadas atividades. O diretor de operações afirma que a empresa tenta deixar apenas as atividades que agregam valor para os funcionários fazerem. Por exemplo: medir e cortar madeira não agrega valor à estrutura do telhado, então há um torno CNC fazendo estas operações, mas juntar as partes da madeira para fazer a estrutura agrega valor, então isso é feito por um funcionário. De acordo com o entrevistado, para que a pré-fabricação faça sentido, a fábrica deve ser automatizada, caso contrário, tem-se a construção tradicional, mas feita em um ambiente fechado (a fábrica). Além disso, as estações de trabalho da fábrica têm

telas e computadores para acesso aos projetos. A empresa também conta com diversas pontes rolantes, para que não haja a necessidade de esforço humano para levantar componentes pesados. Na Figura 79, a seguir, é possível ver alguns dos equipamentos presentes no chão de fábrica, sendo que na primeira fotografia é mostrada uma máquina com ventosas para posicionamento das chapas de madeira na estrutura dos painéis, na segunda fotografia apresenta-se um funcionário operando um torno CNC, e na terceira fotografia é mostrada a estrutura em aço leve do painel de fechamento sendo içada com a ajuda de uma ponte rolante.

Figura 79 - Equipamentos presentes no chão de fábrica – Empresa C



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

e) Qualificação da mão de obra:

A força de trabalho da empresa vem de origens muito diferentes, sem experiência na construção de casas modulares. Como a empresa oferece oportunidades para todas as pessoas, incluindo aqueles que abandonaram a escola, veteranos militares, desempregados de longa data, aqueles que procuram regressar ao trabalho após uma licença de maternidade/paternidade prolongada, etc., ela tem sua própria escola para treinamento dos funcionários. A pessoa é treinada para realizar algumas atividades específicas; portanto, este funcionário não tem capacidade de julgar qual seria a melhor abordagem para enfrentar um problema de construção. Nesse sentido, a empresa tem que definir um processo que gere sempre os mesmos resultados, com boa qualidade, sem depender de uma pessoa qualificada.

A seguir, apresenta-se no Quadro 22, o resumo das principais informações sobre a empresa.

Quadro 22 - Resumo das informações sobre a Empresa C

Empresa		C
Setor de atuação		Residencial - casas (de valores acessíveis)
Sistema construtivo		Estrutura principal em aço e estruturas dos painéis de fechamento externo e das divisórias em aço leve
Customização	Cliente	Autoridades locais e desenvolvedores
	Equipe de projeto	Interna
	Desenvolvimento do projeto	Projetos desenvolvidos pela empresa. Venda em grande quantidade
	Possibilidades de customização	Catálogo com 9 tipos de casas e opções de acabamentos limitadas. Catálogo detalhado e complexo
	Repetição	Pavimentos (módulos) que se repetem entre os tipos de casas. Há recombinação entre os módulos. A empresa trabalha com 14 módulos distintos (ou 28, se considerado o espelhamento dos módulos). Existem apenas 2 tamanhos diferentes de chassi.
	Grau de finalização dos módulos	Completamente acabado
	Porcentagem de trabalho feita na fábrica	95% feito na fábrica
	Adiamento	Empresa apresenta um plano de adiamento para compra de materiais
Produção	Sistema de produção	Linha de fluxo
	Layout de fábrica	Layout em linha, sendo 3 linhas principais e 2 linhas secundárias, e estações de trabalho paralelas, com layout celular, para a produção de painéis
	Resultado da produção	Produtividade
	Produtividade	8 módulos por dia (2020 módulos por ano)
	Nível de automação	Médio - combinação entre estações automatizadas e de trabalho manual
	Mão de obra	Treinada pela empresa

Fonte: Elaborado pela autora.

4.5.4 Empresa D

A Empresa D participou dos estudos de caso entre junho e dezembro de 2022. Foram feitas visitas à empresa para a realização de acompanhamento da produção, de entrevistas com responsáveis de diversas áreas e de registros fotográficos. A Empresa D é uma empresa familiar que atua no mercado de construção volumétrica *offsite* desde 1979. Ela faz módulos completamente customizados para os setores educacional, comercial e de saúde. Além disso, a empresa fabrica módulos para instalações temporárias em canteiros de obras. Internamente, a empresa se divide em duas equipes: uma que cuida dos projetos para instalações temporárias e outra que é responsável por todos os outros tipos de projetos, que são edificações permanentes. Durante a realização dos estudos de caso teve-se como foco a equipe que trabalha com edificações permanentes, uma vez que este é o tipo de edificação estudado neste trabalho. Os principais clientes da Empresa D são departamentos governamentais e desenvolvedores.

I) Construção volumétrica *offsite*:

a) Sistema construtivo e materiais/componentes:

A estrutura principal dos módulos é feita em aço e as estruturas dos painéis de fechamento externo e de divisórias são feitas em madeira. Na Figura 80, a seguir, é possível ver os painéis de fechamento externo em estrutura de madeira empilhados. A empresa não utiliza nenhum material que exija secagem/cura para a realização dos acabamentos internos e externos dos painéis de fechamento; ela utiliza chapas de gesso com revestimento metálico (Figura 81). Isto porque os materiais que exigem secagem, como gesso ou massa corrida, apresentam maior probabilidade de trincar durante a movimentação e o transporte dos módulos, de acordo com o diretor de operações. Por outro lado, o tipo de acabamento utilizado pela empresa não atinge a qualidade estética que alguns clientes buscam, então a empresa tem tentado encontrar outros materiais de acabamento. Na Figura 82 é mostrada uma edificação produzida pela Empresa D.

Figura 80 - Painéis de fechamento externo em estrutura de madeira empilhados – Empresa D



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 81 - Painéis de fechamento externo com estrutura em madeira e acabamento em chapa de gesso com revestimento metálico – Empresa D



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 82 - Edificação finalizada – Empresa D



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

b) Transporte e dimensões:

As dimensões dos módulos são restringidas pelas vias pelas quais eles deverão passar para chegar ao local da obra e pela própria estrutura física da empresa, uma vez que, se o módulo tiver mais de 4,10m de largura ele não conseguirá passar pelo portão da fábrica e se ele tiver mais de 14m de comprimento, não conseguirá fazer uma curva para sair da fábrica.

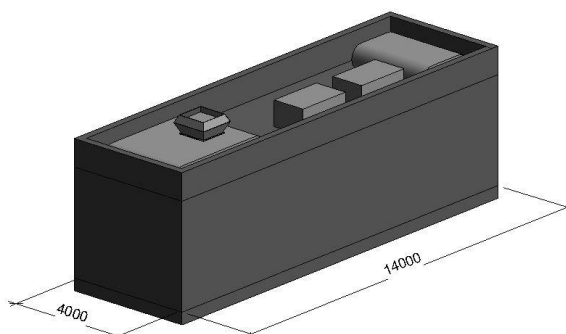
II) Customização:

a) Estratégia de customização:

A empresa faz customização completa, atendendo às necessidades de cada cliente. O projeto pode ser completamente desenvolvido pela equipe interna de projetos da empresa, a partir das especificações do cliente, ou adaptado de um projeto desenvolvido por profissional externo, para construção tradicional. Em geral, a empresa recebe o projeto pronto do cliente e o adapta para que possa ser produzido na fábrica, em módulos volumétricos.

Em um mesmo projeto, os módulos podem ter dimensões diferentes. A empresa tenta simplificar os projetos ao máximo, deixando, por exemplo, sistemas elétricos e hidráulicos externos aos painéis sempre que possível. Ela sempre usa os mesmos materiais/componentes básicos e o mesmo processo produtivo, mas em projetos únicos. A empresa não demanda que o cliente compre um número mínimo de módulos para que o projeto seja produzido, de forma que, se o cliente precisar de apenas um ou dois módulos, a empresa irá produzi-los. O projeto mostrado na Figura 83 e acompanhado durante o estudo de caso é um exemplo disso, uma vez que é composto por apenas um módulo. Trata-se de um edifício de balística para uma Universidade do Reino Unido, que será usado para estudo de arma e projéteis e de mecanismos do disparo e tiro. Sendo assim, o projeto do edifício teve que contemplar blindagem, segurança, especificações de materiais e diversas normas.

Figura 83 - Projeto para edifício de balística – Empresa D



Fonte: Arquivo fornecido pela Empresa D.

O processo de projeto da empresa não ajuda a garantir acurácia para a produção. Teve-se acesso a uma planilha de lições aprendidas nos últimos seis meses, e nela é mostrado que a grande maioria dos erros que acontecem decorrem do projeto e afetam o escritório, a fábrica e o canteiro de obras. A lista de erros inclui itens como a falta de indicação das aberturas em alguns módulos e materiais/componentes não especificados no projeto. Os erros que acontecem nos projetos poderiam ser evitados, no entanto, uma vez que acontecem, geram grandes impactos em diversas outras áreas da empresa.

Quando o projeto é desenvolvido pela empresa, o processo tem início com seu fundador, que é quem desenvolve o projeto, utilizando para isso o *software CorelDRAW* (que não é um *software* para projeto, mas para desenho vetorial bidimensional para *design* gráfico). Em seguida, este projeto inicial é enviado para o desenhista da empresa, que passa o projeto para o *software AutoCAD*. Segundo o gerente de qualidade, é neste momento que muitos erros acontecem, uma vez que o desenho em *CorelDRAW* não é preciso e isso pode gerar diferenças de meio metro entre o projeto e a realidade.

Outras atividades que deveriam ser desenvolvidas na etapa de projeto, como a paginação das placas OSB que formam os envoltórios dos módulos ou a lista de corte dos barrotes de madeira, são delegadas para a equipe de chão de fábrica, que faz cortes e paginações da maneira que acha melhor, o que não necessariamente significa a forma que garantiria o melhor aproveitamento do material. A equipe do chão de fábrica também é responsável por fazer o quantitativo de materiais. Ela recebe o projeto pronto do escritório, faz uma lista no *software Word* com os materiais e quantidades necessários e a envia para a equipe de compras. A equipe do chão de fábrica não é qualificada para fazer quantitativos, então muitos erros ocorrem.

b) Porcentagem de trabalho feita na fábrica:

A empresa busca balancear o que será produzido na fábrica e no canteiro de obras, dependendo da complexidade do projeto e da necessidade de liberar espaço no chão de fábrica para a produção de um novo projeto. Em projetos de menor complexidade, a empresa faz a maior quantidade possível de atividades na fábrica, incluindo acabamentos internos e externos e instalação de mobiliário. Já em projetos mais complexos, o trabalho é finalizado no canteiro de obras. Neste caso, a empresa faz apenas a estrutura e o envoltório dos módulos na fábrica e todo o resto é feito no canteiro de obras. Desta forma, os módulos são mais leves para o transporte. Além disso, com a finalização no canteiro de obras, a empresa não precisa se preocupar em fazer proteção contra a água ao redor de todo o módulo.

c) Adiamento:

A empresa permite o adiamento quando os módulos a serem entregues no canteiro de obras apresentam um menor grau de finalização (somente o envoltório). Neste caso, pequenas modificações no projeto podem ser feitas mais tarde, assim como a escolha de acabamentos.

III) Produção:

a) Sistema de produção:

Considera-se que a Empresa D apresente um sistema de produção em *jobbing*, uma vez que ela produz uma grande quantidade de produtos diferentes em volumes que variam de um a poucos itens de cada produto, em uma operação em que os recursos, o sistema de produção e os materiais/componentes básicos são sempre os mesmos para todos os projetos. A empresa produz módulos com projetos completamente customizados de uma forma muito similar à feita na construção tradicional, apenas em um ambiente fechado (a fábrica). Na Figura 84, a seguir, é apresentada uma visão geral da fábrica.

Figura 84 - Visão geral da fábrica – Empresa D

Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Para o planejamento e organização da produção, o setor responsável faz uma estimativa de quanto tempo cada projeto vai levar para ser produzido, depois organiza as datas de início e fim da produção dos diversos projetos que já foram contratados, com cores, em uma planilha no *software Excel*. Estas mesmas cores são utilizadas, posteriormente, para pintar os materiais que serão usados em cada projeto.

A produção dos módulos começa com a montagem da estrutura de aço, sendo que, em paralelo, os painéis de fechamento, as divisórias internas e os painéis de forros são fabricados. Depois de montada a estrutura do módulo, a equipe do chão de fábrica trabalha na execução do piso, para a posterior instalação dos painéis de fechamento externos. Logo após, as janelas e as portas são instaladas. Então, são instalados os forros, seguidos das divisórias internas, painéis do telhado e primeira parte da instalação elétrica (feita por uma empresa subcontratada). A partir deste ponto, são feitas em paralelo a instalação da membrana para proteção contra água no telhado e a instalação do isolamento termoacústico, seguida pela colocação das chapas de gesso acartonado nas faces internas dos painéis e de chapas plásticas nas faces externas. Seguindo estas atividades, são realizadas em paralelo os acabamentos dos painéis de fechamento e divisórias e a instalação das áreas molhadas (cozinhas e banheiros), seguida da montagem das tubulações por empresa subcontratada, o que acontece em paralelo com duas outras atividades que são concomitantes: a finalização das instalações elétricas pela empresa subcontratada e a colocação das portas internas. Após a finalização destas atividades, os módulos passam por uma etapa de limpeza e depois são embalados para o transporte.

A empresa subcontrata outras para a produção da estrutura de aço, para a instalação dos sistemas elétricos e hidráulicos, e para a montagem dos módulos no canteiro de obras. A

estrutura de aço algumas vezes já é comprada completamente pronta e outras vezes são compradas apenas as partes (colunas e vigas) e a montagem é feita na fábrica. Além disso, o estoque da empresa também é terceirizado. Uma subcontratada verifica e organiza semanalmente o estoque dos materiais que são utilizados em todos os projetos.

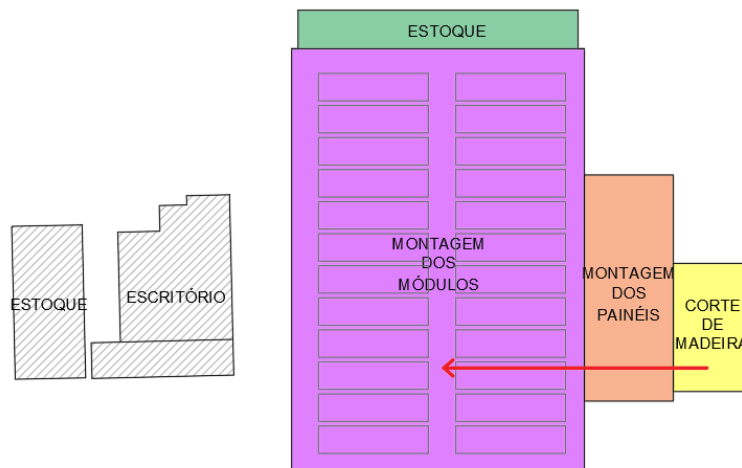
Teve-se acesso a alguns dos problemas que já aconteceram no processo de produção e eles incluem itens como telhado construído em madeira e não em metal, como vendido para o cliente, devido à falta de informação no projeto, e posicionamento errado dos painéis do forro, devido à falta de informação no projeto. Os erros que acontecem na produção poderiam ser evitados, na maioria das vezes, com melhores especificações no projeto.

A empresa não tem uma ordem para a produção dos módulos. Ela geralmente produz todos os módulos de um projeto ao mesmo tempo e os módulos saem todos juntos da fábrica para montagem da edificação no canteiro de obras. O diretor de operações afirma que esta é uma estratégia utilizada pela empresa para reduzir os custos com transporte.

b) Layout da fábrica:

A fábrica da Empresa D apresenta um *layout* posicional em sua edificação principal, para a montagem dos módulos, e um *layout* celular em duas edificações secundárias, sendo uma para corte de madeira e outra para montagem das estruturas dos painéis de fechamento externo, das divisórias e dos tetos, conforme mostrado na Figura 85. O tamanho da fábrica é limitado, comportando, no máximo, 20 módulos por vez. Na Figura 86, a seguir, é possível ver módulos lado a lado, em *layout* posicional, com funcionários trabalhando na execução do piso. Os módulos são posicionados, no chão de fábrica, na mesma posição em que ficarão quando forem instalados no canteiro de obras.

Figura 85 - Layout de fábrica - Empresa D



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 86 - Módulos lado a lado com funcionários executando o piso – Empresa D



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

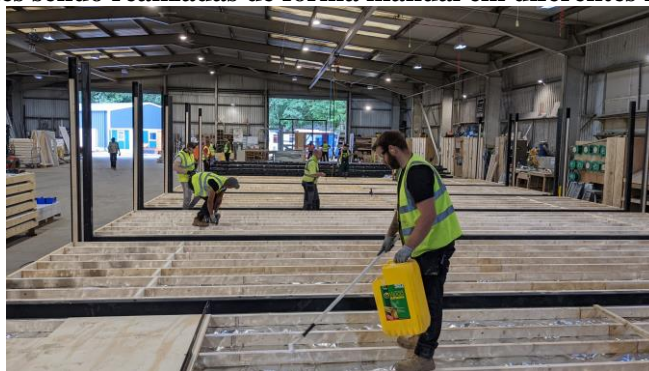
c) Resultados da produção:

A empresa busca atingir flexibilidade como resultado e apresenta baixa produtividade. De acordo com a fundador da empresa, sua vantagem competitiva é a flexibilidade. A produtividade da fábrica depende do tipo de módulo que é produzido, sendo que módulos com áreas molhadas (banheiro e cozinha) demoram mais para serem fabricados. A empresa produz, em média, 1 módulo por dia e cada módulo demora aproximadamente uma semana para ficar pronto.

d) Nível de automação:

A fábrica da Empresa D apresenta um baixo nível de automação em seu processo produtivo, sendo que existem máquinas apenas para corte de madeira. Todas as outras atividades são feitas de forma manual. Na Figura 87, a seguir, é possível ver atividades sendo realizadas de forma manual em diferentes módulos no chão de fábrica.

Figura 87 - Atividades sendo realizadas de forma manual em diferentes módulos – Empresa D



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

e) Qualificação da mão de obra:

A empresa apresenta uma mão de obra qualificada e polivalente. De acordo com seu fundador, um dos desafios em utilizar mão de obra qualificada é que ela é mais difícil de ser encontrada e mais cara. Além disso, ela tem vícios na forma de executar as atividades, sendo mais resistente às mudanças. Quando o estudo de caso foi realizado, a empresa contava com 13 funcionários trabalhando no chão de fábrica, sendo que todos eles faziam todo tipo de atividade e, eventualmente, ajudavam na montagem dos módulos no canteiro de obras. Isto representa um benefício para a empresa em termos de flexibilidade e, ademais, como os funcionários sabem quais são as dificuldades do canteiro de obras, sempre tentam reduzi-las enquanto estão produzindo os módulos na fábrica. Deve-se observar, no entanto, que para um mesmo projeto, uma determinada atividade é executada sempre pelo mesmo funcionário.

A seguir, apresenta-se no Quadro 23, o resumo das principais informações sobre a empresa.

Quadro 23 - Resumo das informações sobre a Empresa D

Empresa		D
Setor de atuação		Educacional, comercial e de saúde
Sistema construtivo		Estrutura principal em aço e estruturas dos painéis de fechamento externos e das divisórias em madeira
Customização	Cliente	Departamentos governamentais e desenvolvedores
	Equipe de projeto	Interna + externa (quando necessário)
	Desenvolvimento do projeto	Projeto adaptado ou desenvolvido pela empresa
	Possibilidades de customização	Projetos desenvolvidos de acordo com a necessidade do cliente
	Repetição	Sistema construtivo
	Grau de finalização dos módulos	Variado (de apenas o envoltório à completamente acabado)
	Porcentagem de trabalho feita na fábrica	Variada. A depender da necessidade de espaço na fábrica
	Adiamento	É permitido quando apenas o envoltório dos módulos é entregue no canteiro de obras
Produção	Sistema de produção	Em <i>jobbing</i>
	Layout de fábrica	Parte principal da fábrica em <i>layout</i> posicional e corte de madeira e montagem de painéis em <i>layout</i> celular
	Resultado da produção	Flexibilidade
	Produtividade	1 módulo por dia (aproximadamente 250 módulos por ano)
	Nível de automação	Baixo
	Mão de obra	Qualificada e polivalente

Fonte: Elaborado pela autora.

4.5.5 Empresa E

A Empresa E participou dos estudos de caso, tendo sido visitada em julho de 2022. A Empresa E foi fundada em 1961 e atua nos setores educacional, comercial, industrial e de saúde, produzindo edificações permanentes. Além disso, a empresa fabrica módulos para instalações temporárias em canteiros de obras. Durante a realização do estudo de caso teve-se como foco as edificações permanentes, uma vez que este é o tipo de edificação estudado neste trabalho. Os principais clientes da Empresa E são departamentos governamentais e desenvolvedores. Ela é uma empresa de construção volumétrica *offsite* que opera em 10 países europeus.

I) Construção volumétrica *offsite*:

a) Sistema construtivo e materiais/componentes:

Os módulos produzidos pela Empresa E apresentam estrutura principal em aço e estruturas dos painéis de fechamento externos e das divisórias em madeira.

b) Transporte e dimensões:

Devido ao transporte, os módulos vendidos pela empresa possuem entre 2,6m e 3,5m de altura, entre 2,8m e 3,4m de largura e entre 3,0m e 12,3m de comprimento.

II) Customização:

a) Estratégia de customização:

A Empresa E oferece 6 linhas diferentes de produtos, sendo que cada uma delas apresenta módulos com dimensões padrão distintas. Como forma de customização, o cliente pode escolher entre diferentes acabamentos, ou cores e texturas diversas para um mesmo material. No entanto, o gerente de engenharia destaca que, apesar de o cliente poder escolher certos detalhes e acabamentos, as opções não são ilimitadas. Ele deve escolher, por exemplo, entre certos tipos de portas, de janelas, de acabamentos, etc, disponíveis no catálogo da empresa. Assim, a empresa tenta manter o produto o mais padronizado possível.

A realização de customização dos produtos é evitada pela empresa devido: i) às restrições das dimensões dos módulos por conta do transporte, e ii) ao tempo necessário para que os projetos sejam desenvolvidos (de 4 a 11 semanas). Assim, de acordo com o gerente de engenharia, 80% dos projetos realizados são padrão e apenas 2% dos projetos exigem grandes mudanças. Mudanças simples, como revestimentos e vidros diferentes são realizadas com maior frequência.

A empresa tem no escritório uma equipe de projetos completa, com arquitetos, engenheiros civis, mecânicos e de produção. Desta forma, todos os projetos ofertados pela empresa são desenvolvidos internamente. Quando o cliente já tem um projeto pronto, ele é dividido em módulos da melhor forma possível para se adaptar aos módulos padrão da empresa e ser produzido na fábrica.

b) Porcentagem de trabalho feita na fábrica:

A empresa busca maximizar o que é feito na fábrica ou no seu pátio externo antes de transportar o módulo para o canteiro de obras.

c) Adiamento:

Não foi possível obter informações.

III) Produção:

a) Sistema de produção:

Entende-se que a Empresa E apresente um sistema de produção em linha de fluxo, uma vez que a variedade de módulos oferecida não afeta o processo de produção básico, pois toda a customização é feita no pátio (área externa) da fábrica.

A empresa possui 3 galpões para a produção dos módulos, sendo o primeiro da década de 1960, o segundo da década de 1990, e o terceiro de 2020. Em cada um dos galpões são produzidas determinadas dimensões de módulos, sendo um galpão para módulos pequenos, um para módulos grandes e um para módulos que são enviados para outros lugares da Europa que não o Reino Unido. Este último galpão é o mais novo e apresenta robotização. Na Figura 88, a seguir, é possível ter uma visão geral de cada um dos 3 galpões.

Figura 88 - Visão geral dos galpões - Empresa E



Fonte: Website da Empresa E.

A Empresa E produz tudo o que consegue na fábrica, incluindo a estrutura. Para os módulos produzidos nos dois primeiros galpões, a empresa compra a matéria prima e manufatura todas as partes que serão posteriormente montadas, ou seja, a empresa não compra partes semiprontas.

Ela faz desde a dobra dos perfis metálicos para a estrutura à produção do mobiliário. No terceiro galpão, no entanto, há uma exceção, pois a empresa utiliza partes já prontas, compradas de outras empresas, fazendo a montagem destas partes na fábrica.

Na Empresa E, parte das atividades é desenvolvida no pátio externo da fábrica. Nos galpões, são produzidos os envoltórios dos módulos, ou seja, a estrutura, o teto, o piso e os painéis de fechamento externo. Todas as divisórias e os acabamentos são executados no pátio da fábrica (a céu aberto e utilizando os mesmos métodos e ferramentas da construção tradicional). Isto também se aplica à execução das instalações elétricas e hidráulicas, à instalação de portas e janelas, de acabamentos de forros e piso (inclusive com aplicação de piso de concreto), etc. Todas as instalações elétricas e hidráulicas são feitas nas divisórias internas dos módulos, então os espaços e furos para elas não precisam ser considerados nos painéis de fechamento externos, que são produzidos nos galpões.

No pátio externo, os módulos são colocados lado a lado e montados como ficarão na posição final no local da obra, então as divisórias internas, os acabamentos, o mobiliário, a elétrica, a hidráulica, a ventilação, etc, são executados, já considerando a posterior separação dos módulos para transporte e montagem no canteiro de obras. São feitas instalações temporárias dentro dos módulos, para provisão de energia elétrica e água para a realização das atividades de construção. Após finalizadas as atividades, estas instalações são retiradas.

b) Layout da fábrica:

Todos os 3 galpões apresentam um *layout* em linha. Para a movimentação dos módulos ao longo da linha são utilizadas pranchas com rodas. Os módulos são colocados em cima delas e são empurrados por funcionários até a próxima estação de trabalho.

O pátio externo da fábrica, onde os módulos são acabados, apresenta um *layout* posicional.

c) Resultados da produção:

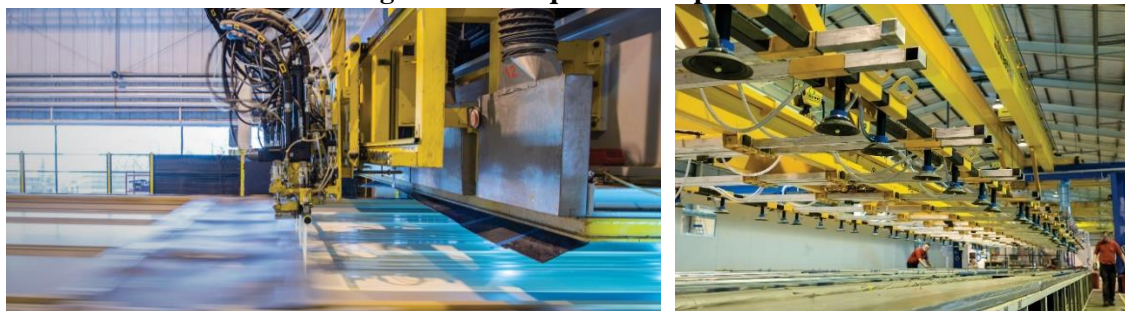
A Empresa E busca principalmente a produtividade e produz entre 5 e 7 módulos por dia.

d) Nível de automação:

O nível de automação na fábrica da Empresa E varia em cada um de seus 3 galpões. O primeiro é da década de 1960 e apresenta algumas máquinas para corte e perfuração de perfis metálicos e de madeira, mas a maioria das atividades é realizada de forma manual. O segundo galpão, da década de 1990, apresenta maior automação, com máquinas CNC para corte das chapas OSB, preenchimento dos painéis com isolamento termoacústico e fechamento dos painéis com chapas OSB que são pregadas automaticamente. No segundo galpão, algumas atividades são feitas manualmente em estações não automatizadas, mas com ferramentas mais modernas. O terceiro galpão, construído em 2020, é robotizado, sendo que parte do trabalho é

realizado por robôs, como a soldagem da estrutura em aço e sua pintura; no entanto, a instalação dos painéis de fechamento é realizada de forma manual. Na Figura 89, a seguir, é possível ver algumas das máquinas presentes no segundo galpão.

Figura 89 - Máquinas - Empresa E



Fonte: Website da Empresa E.

e) Qualificação da mão de obra:

Não foi possível obter informações.

A seguir, apresenta-se no Quadro 24, o resumo das principais informações sobre a empresa.

Quadro 24 - Resumo das informações sobre a Empresa E

Empresa		E
Setor de atuação		Educacional, comercial e de saúde
Sistema construtivo		Estrutura principal em aço e estruturas dos painéis de fechamento externo e das divisórias em madeira
Customização	Cliente	Departamentos governamentais e desenvolvedores
	Equipe de projeto	Interna
	Desenvolvimento do projeto	Projetos desenvolvidos pela empresa
	Possibilidades de customização	Catálogo com 6 linhas de produtos e opções de acabamentos limitadas
	Repetição	Há repetição de módulos e de edificações inteiras
	Grau de finalização dos módulos	Não informado
	Porcentagem de trabalho feita na fábrica	A empresa busca maximizar o que é feito na fábrica
	Adiamento	Não informado
Produção	Sistema de produção	Linha de fluxo
	Layout de fábrica	Os 3 galpões apresentam um <i>layout</i> em linha. O pátio externo da fábrica possui um <i>layout</i> posicional.
	Resultado da produção	Produtividade
	Produtividade	5 a 7 módulos por dia (entre 1260 e 1750 módulos por ano)
	Nível de automação	Varia entre os 3 galpões, sendo respectivamente baixo, médio e alto
	Mão de obra	Não informado

Fonte: Elaborado pela autora.

4.5.6 Empresa F

A Empresa F participou dos estudos de caso, sendo que foi feita uma visita à fábrica em julho de 2022. A Empresa F foi fundada em 2016 e é uma manufatura *offsite* de construção modular que atua no setor residencial, produzindo tanto casas quanto apartamentos. Os principais clientes da empresa são desenvolvedores ou incorporadores. A empresa só vende as habitações se o cliente comprar 50 ou mais delas. Segundo o gerente de operações, um número menor de residências não justificaria os custos com o guindaste para a instalação dos módulos no canteiro de obras.

I) Construção volumétrica *offsite*:

a) Sistema construtivo, materiais e transporte:

Os módulos produzidos pela Empresa F possuem tanto a estrutura principal quanto as estruturas dos painéis de fechamento externos e das divisórias internas em madeira, para reduzir o peso da edificação, facilitando o transporte e a instalação no canteiro de obras. Na Figura 90, a seguir, é possível ver os elementos de madeira a serem utilizados para a execução das estruturas dos módulos.

Figura 90 - Elementos de madeira a serem utilizados na estrutura dos módulos – Empresa F



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

A empresa utiliza em média 600 peças diferentes para a produção de casas de dois pavimentos, considerando elementos pequenos, como acessórios de tubulações e caixas elétricas. Ela está constantemente tentando reduzir esse número de peças, porque a maioria delas não contribui para a criação de valor para o cliente. Assim, a empresa busca oferecer muita customização e distintas peças para a cozinha, para o banheiro, para as portas, mas

minimizar o número de diferentes dimensões de caibros de madeiras, de fios, de tubulação e outros elementos que não são vistos pelo cliente.

b) Dimensões:

Não foi possível obter informações.

II) Customização:

a) Estratégia de customização:

A Empresa F oferece 29 tipos de casas e apartamentos, sendo que os projetos são pré-estabelecidos, mas as opções de acabamentos não; os clientes podem escolher quaisquer opções disponíveis no mercado para utilizar como acabamento. Sendo assim, a empresa ainda não é muito restritiva em sua oferta de customização, mas está caminhando para isso, já que o gerente de operações afirma que a empresa está buscando elaborar um catálogo de projetos com opções limitadas para os clientes.

Segundo o gerente de operações, apesar das possibilidades de diferentes habitações ofertadas pela empresa, alguns elementos se repetem em todas elas, como os painéis nos quais são instaladas as tubulações hidráulicas, ou o posicionamento das peças sanitárias no banheiro, sendo que as dimensões do banheiro e a posição das tubulações são sempre as mesmas, o que muda é o acabamento. A empresa tenta fazer o mesmo para a cozinha. A maneira como as partes das habitações são montadas e fixadas também se repete. De acordo com o gerente de operações, a empresa tenta padronizar o máximo de elementos possível, garantindo a repetição. Assim, ela mantém a variação baixa e facilita a produção, já que o banheiro ou o piso, por exemplo, podem ser instalados sempre da mesma maneira. Desta forma, diferentes casas podem ser produzidas sem afetar o fluxo básico de produção.

A empresa apresenta uma equipe de projetos interna que desenvolve todos os projetos. Na busca por padronização, ela desenvolveu uma biblioteca de detalhes padrão, e de restrições de tamanhos dos painéis, incluindo larguras de pisos, comprimentos e alturas de divisórias, etc. Estes detalhes padrão e restrições foram incorporados ao *software* de projetos utilizado pela empresa para que, quando uma divisória for projetada, por exemplo, não haja a necessidade de que um funcionário se certifique manualmente de que todas as vigas estão nos lugares certos e de que todos os parafusos e pregos estão colocados no lugar correto. O *software* aplica automaticamente detalhes padrão para definir efetivamente a divisória de acordo com o que foi especificado.

As casas geminadas e semi-isoladas projetadas pela empresa geralmente são constituídas de um módulo por andar, então uma casa de dois andares vai ter dois módulos. Já as casas

isoladas apresentam mais de um módulo por andar. No caso dos apartamentos, os módulos são menores; então cada apartamento é formado por dois ou mais módulos - um apartamento de dois quartos, por exemplo, é constituído de três módulos.

b) Porcentagem de trabalho feita na fábrica:

A empresa busca fazer a maior quantidade possível de trabalho na fábrica. No entanto, a decisão sobre o que será produzido na fábrica ou no canteiro de obras depende do cliente e da localização do canteiro de obras.

c) Adiamento:

Não foi possível obter informações.

III) Produção:

a) Sistema de produção:

Entende-se que a Empresa F apresente um sistema de produção que esteja entre o sistema de produção em lotes e o em linha de fluxo, uma vez que há repetição e produção em grande volume para certas partes dos módulos, mas grande variedade e baixa repetição para outras partes, principalmente no que diz respeito aos acabamentos dos módulos. Na Figura 91, a seguir, é possível ter uma visão geral da fábrica da Empresa F.

Figura 91 - Visão geral da fábrica - Empresa F



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

A fábrica apresenta uma linha de montagem em formato de “U”, que se divide basicamente em três etapas de produção. A primeira etapa é a mais automatizada, com máquinas CNC para a produção de painéis. As máquinas cortam as chapas OSB no tamanho necessário e fazem os furos para passagem da tubulação hidráulica e da fiação elétrica. Então, as estruturas são montadas e as chapas OSB são adicionadas a elas, formando pisos, tetos, painéis de fechamento

externo e divisórias. A seguir, painéis de fechamento, piso e teto são unidos formando o módulo volumétrico, que muda de estação de trabalho por meio de uma esteira rolante. A etapa final da produção é a mais manual, em que são executados os acabamentos e instalações elétricas e hidráulicas dos módulos. Nesta etapa, as atividades são realizadas de forma muito semelhante à construção tradicional, mas há uma preocupação com o peso dos materiais/componentes; então a empresa desenvolveu componentes de acabamento externo mais leves - eles são semelhantes ao tijolo tradicional em sua aparência, mas o peso é bastante reduzido. Na Figura 92, a seguir, é possível ver a montagem de piso, painéis de fechamento e teto, para formar o módulo volumétrico. Na Figura 93, nota-se a instalação dos elementos de acabamento externo no módulo.

Figura 92 - Montagem de elementos para formação do módulo volumétrico – Empresa F



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Figura 93 - Instalação do acabamento externo do módulo – Empresa F



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

No chão de fábrica, na área central do *layout* em formato de “U”, fica a etapa mais flexível da produção, que permite maiores mudanças e inovações. Nesta área são produzidos *kits* de hidráulica, de mobiliário de cozinhas e de banheiros para posterior instalação nos módulos. Nesta área também são feitos os primeiros testes de hidráulica dos *kits* produzidos. A empresa executa todas as atividades possíveis nesta área central, ou seja, as atividades que não precisam ser feitas em linha. Isto permite que a linha de produção se movimente mais rapidamente, auxiliando na redução do custo da produção ao mesmo tempo em a produtividade é aumentada.

A fábrica busca alternar a produção entre primeiro e segundo pavimentos das residências para garantir que se tenha aproximadamente a mesma quantidade de trabalho todos os dias, tentando equilibrar as atividades que demandam mais tempo com as que exigem menos tempo, de forma a permitir o melhor balanceamento da linha de produção. Devido à customização, no entanto, algumas vezes é preciso mudar uma atividade de uma estação de trabalho para outra, porque uma cozinha diferente, por exemplo, pode demandar mais tempo para instalação.

b) Layout da fábrica:

A fábrica apresenta um *layout* em linha, com formato em “U”, devido ao espaço limitado da fábrica. No entanto, as estações de trabalho presentes na área central do *layout* em formato de “U”, nas quais são produzidos os *kits* de partes em paralelo com a produção do módulo, apresentam um *layout* celular.

c) Resultados da produção:

A Empresa F busca tanto produtividade quanto flexibilidade como resultados. No momento da realização do estudo de caso, ela produzia de 2 a 3 três módulos por dia, mas estava em processo de adição de um segundo turno de trabalho, para possibilitar a produção de até 6 módulos por dia. Para garantir que a fábrica tenha uma melhor produtividade, a empresa utiliza detalhes padronizados. Já para obter flexibilização do processo produtivo que garanta a elevada customização dos produtos, ela aposta na combinação entre automação, para atividades repetitivas, e mão de obra treinada, para atividades que exigem flexibilidade e criatividade.

d) Nível de automação:

A fábrica apresenta um nível médio de automação, combinando estações de trabalho automatizadas e manuais. Nas primeiras etapas da produção, são utilizadas estações de trabalho automatizadas, com máquinas CNC para corte de madeira, corte das chapas OSB dos painéis e para pregar tanto as estruturas quanto as chapas OSB. Nestas estações de trabalho, um funcionário posiciona as peças de madeira na máquina, a configura de acordo com o projeto e pressiona um botão para que ela corte, pregue e grampeie as peças de madeira. Portanto, é uma combinação de pessoas trabalhando em conjunto com a automação. As estações de trabalho

manuais se encontram nas etapas finais do processo produtivo, na fase de acabamento dos módulos – estas etapas da produção se assemelham à construção tradicional. Na Figura 94, a seguir, é possível ver algumas das máquinas utilizadas para corte de madeira, para a montagem das estruturas e para pregar as chapas OSB na estrutura dos painéis.

Figura 94 - Maquinário utilizado na fábrica - Empresa F



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

e) Qualificação da mão de obra:

A empresa emprega, no chão de fábrica, uma mão de obra não especializada, vinda de outras áreas, como restaurantes, bancos e comércio, que é treinada para desenvolver determinadas atividades.

A seguir, apresenta-se no Quadro 25, o resumo das principais informações sobre a empresa.

Quadro 25 - Resumo das informações sobre a Empresa F

Empresa		F
Setor de atuação		Residencial - casas e apartamentos
Sistema construtivo		Estrutura principal e estruturas dos painéis de fechamento e das divisórias em madeira
Customização	Cliente	Departamentos governamentais e desenvolvedores
	Equipe de projeto	Interna
	Desenvolvimento do projeto	Projetos desenvolvidos pela empresa. Venda em média quantidade
	Possibilidades de customização	29 tipos de casas e apartamentos com opções de acabamentos ilimitadas
	Repetição	Posição de certos elementos, sistema construtivo, detalhes padrão, montagem e fixação
	Grau de finalização dos módulos	Varia de acordo com a necessidade do cliente
	Porcentagem de trabalho feita na fábrica	Variada. A depender da necessidade do cliente e da localização do canteiro de obras
	Adiamento	Não informado
Produção	Sistema de produção	Entre o sistema de produção em lotes e o em linha de fluxo
	Layout de fábrica	Atividades principais realizadas em um <i>layout</i> em linha, com formato de “U”, e produção de <i>kits</i> de partes realizada em um <i>layout</i> celular
	Resultados da produção	Produtividade e flexibilidade
	Produtividade	Entre 2 e 3 módulos por dia (entre 500 e 750 módulos por ano)
	Nível de automação	Médio - combinação entre estações automatizadas e trabalho manual
	Mão de obra	Treinada pela empresa

Fonte: Elaborado pela autora.

4.6 CLASSIFICAÇÃO DAS EMPRESAS

No Quadro 26, a seguir, são agrupados os resumos feitos para cada uma das empresas após a sua descrição detalhada.

Quadro 26 - Resumos das empresas agrupados

(continua)

Empresa	A	B	C	D	E	F
Setor de atuação	Residencial, educacional, comercial	Residencial - casas e aptos.	Residencial - casas	Educacional, comercial e de saúde	Educacional, comercial e de saúde	Residencial - casas e aptos.
Sistema construtivo	Estrutura principal em aço e estruturas dos painéis em aço leve	Estrutura principal e estruturas dos painéis em madeira	Estrutura principal em aço e estruturas dos painéis em aço leve	Estrutura principal em aço e estruturas dos painéis em madeira	Estrutura principal em aço e estruturas dos painéis em madeira	Estrutura principal e estruturas dos painéis em madeira
Customização	Cliente	Departamentos governamentais, prefeituras e desenvolvedores	Incorporadores imobiliários e associações de habitação	Autoridades locais e desenvolvedores	Departamentos governamentais e desenvolvedores	Departamentos governamentais e desenvolvedores
	Equipe de projeto	Interna + externa	Interna + externa	Interna	Interna + externa	Interna

Quadro 26 - Resumos das empresas agrupados

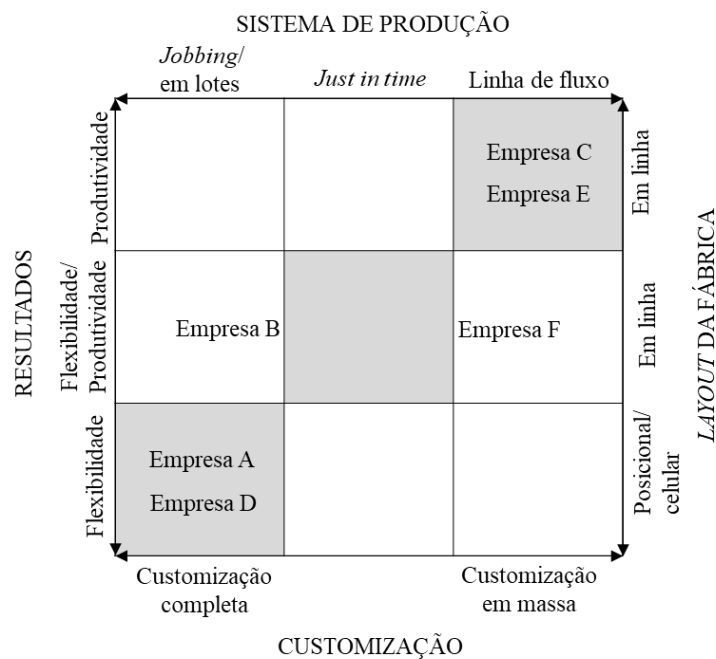
(conclusão)

Empresa	A	B	C	D	E	F	
Customização	Desenvolvimento do projeto	Projetos adaptados	Projetos adaptados ou desenvolvidos pela empresa. Venda em grande quantidade	Projetos desenvolvidos pela empresa. Venda em grande quantidade	Projetos adaptados ou desenvolvidos pela empresa	Projetos desenvolvidos pela empresa	Projetos desenvolvidos pela empresa. Venda em média quantidade
	Possibilidades de customização	Projetos desenvolvidos de acordo com a necessidade do cliente	Projetos desenvolvidos de acordo com a necessidade do cliente. Para o projeto estudado, eram produzidos 66 módulos diferentes	Catálogo com 9 tipos de casas e opções de acabamentos limitadas. 14 módulos distintos (ou 28, se considerado o espelhamento)	Projetos desenvolvidos de acordo com a necessidade do cliente	Catálogo com 6 linhas de produtos e opções de acabamentos limitadas	29 tipos de casas e apartamentos com opções de acabamentos ilimitadas
	Repetição	Sistema construtivo e detalhes padrão, como ligação entre módulos	Sistema construtivo. Busca repetição em cada projeto e padronização entre os módulos de cada projeto	Pavimentos (módulos). Há recombinação entre os módulos. 2 tamanhos diferentes de chassi.	Sistema construtivo	Há repetição de módulos e de edificações inteiras	Posição de certos elementos, sistema construtivo, detalhes padrão, montagem e fixação
	Grau de finalização dos módulos	Variado (apenas o envoltório à completamente acabado)	Variado (apenas o envoltório à completamente acabado)	Completamente acabado	Variado (apenas o envoltório à completamente acabado)	Não informado	Varia de acordo com a necessidade do cliente
	Porcentagem de trabalho feita na fábrica	Variada. A depender da necessidade de espaço e da localização do canteiro de obras	Variada, mas em torno de 85% para o projeto acompanhado	95% feito na fábrica	Variada. A depender da necessidade de espaço na fábrica	A empresa busca maximizar o que é feito na fábrica	Variada. A depender da necessidade do cliente e da localização do canteiro de obras
	Adiamento	De atividades que não sejam críticas para a produção	Não houve, para o projeto acompanhado	Empresa apresenta um plano de adiamento para a compra de materiais	É permitido quando apenas o envoltório dos módulos é entregue no canteiro de obras	Não informado	Não informado
	Produção	Sistema de produção	Em <i>jobbing</i> ou em lotes	Em lotes	Linha de fluxo	Em <i>jobbing</i>	Linha de fluxo
Layout de fábrica		Posicional. Montagem do chassi em <i>layout</i> celular	Em linha. Atividades secundárias em <i>layout</i> celular	Em linha - 3 linhas principais e 2 secundárias. <i>Layout</i> celular, para a produção de painéis	Posicional. Corte de madeira e montagem de painéis em <i>layout</i> celular	3 galpões com <i>layout</i> em linha. O pátio externo com <i>layout</i> posicional	Em linha, com formato de "U". Produção de <i>kits</i> em <i>layout</i> celular
Resultados da produção		Flexibilidade	Produtividade e flexibilidade	Produtividade	Flexibilidade	Produtividade	Produtividade e flexibilidade
Produtividade		1,5 a 2,5 módulos por dia (380 a 630 módulos por ano)	2 módulos por dia (500 módulos por ano)	8 módulos por dia (2020 módulos por ano)	1 módulo por dia (250 módulos por ano)	5 a 7 módulos por dia (1260 a 1750 módulos por ano)	2 a 3 módulos por dia (500 a 750 módulos por ano)
Nível de automação		Baixo	Baixo	Médio	Baixo	Baixo, médio e alto	Médio
Mão de obra		Não informada	Qualificada	Treinada	Qualificada e polivalente	Não informado	Treinada

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir das descrições das empresas, resumidas no Quadro 26, é possível compará-las, identificando semelhanças e diferenças, o que permite agrupar as empresas por similaridade e classificá-las. Para comparar as empresas, foi criada uma matriz, apresentada na Figura 95, a seguir, na qual 4 dimensões são utilizadas: a estratégia de customização, o resultado da produção, o sistema de produção e o *layout* de fábrica. Na matriz, a diagonal indicada pela cor cinza representa as combinações ideais entre estas 4 dimensões, de acordo com a literatura. Ao posicionar as empresas na matriz, percebe-se que as Empresas A e D se encaixam no quadrante inferior esquerdo e as Empresas C e E no quadrante superior direito, sendo que todas elas utilizam as combinações entre sistema de produção, *layout* de fábrica, estratégia de customização e resultados de produção considerados como ideais pela literatura. As empresas B e F, no entanto, estão posicionadas em quadrantes que indicam inadequações entre estratégias de customização e características de produção.

Figura 95 - Matriz para comparação entre as empresas

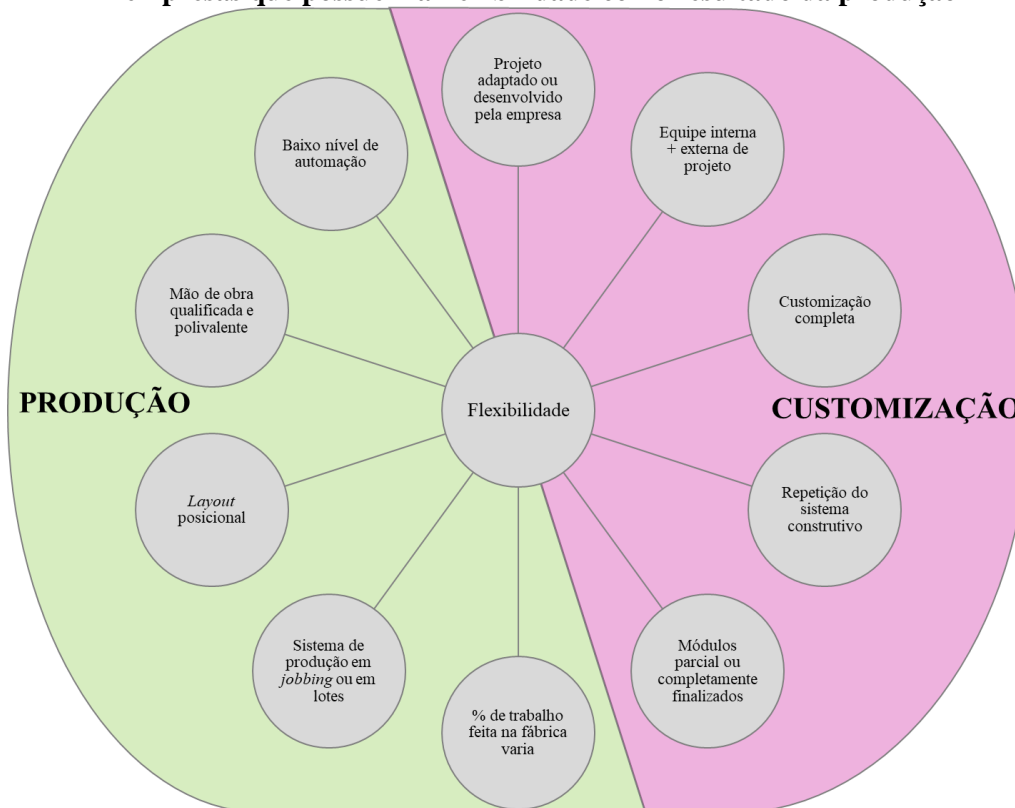


Fonte: Elaborado pela autora.

Após a elaboração partir da matriz, buscou-se classificar as empresas para melhor compreender suas diferenças e similaridades. Para isso, a comparação entre as empresas abordou os aspectos da customização e da produção e teve como ponto de partida o resultado da produção. Foi possível perceber que algumas empresas buscam como resultado a flexibilidade, outras a produtividade e outras tanto a flexibilidade quanto a produtividade. Assim, as empresas foram classificadas em três grupos diferentes.

As empresas que buscam a flexibilidade como resultado da produção (como as Empresas A e D) adotam a estratégia de customização completa, sendo que podem desenvolver os projetos internamente ou adaptar projetos que foram desenvolvidos para a construção tradicional. Estas empresas apresentam equipes internas de projeto, mas também podem trabalhar com equipes externas. Normalmente não há repetição entre os projetos produzidos por estas empresas, sendo que o sistema construtivo é o único aspecto comum a todos eles. Os módulos que formam o projeto podem ser parcialmente ou completamente finalizados na fábrica. Assim, a porcentagem de trabalho realizada na fábrica e no canteiro de obras varia em cada projeto. A fábrica destas empresas geralmente apresenta um sistema de produção em *jobbing* ou em lotes, com *layout* posicional, mão de obra qualificada ou polivalente e baixo nível de automação. Na Figura 96, a seguir, é apresentado um resumo das características da produção e das estratégias de customização utilizadas por empresas de construção volumétrica *offsite* que possuem a flexibilidade como resultado da produção.

Figura 96 - Características da produção e das estratégias de customização utilizadas por empresas que possuem a flexibilidade como resultado da produção

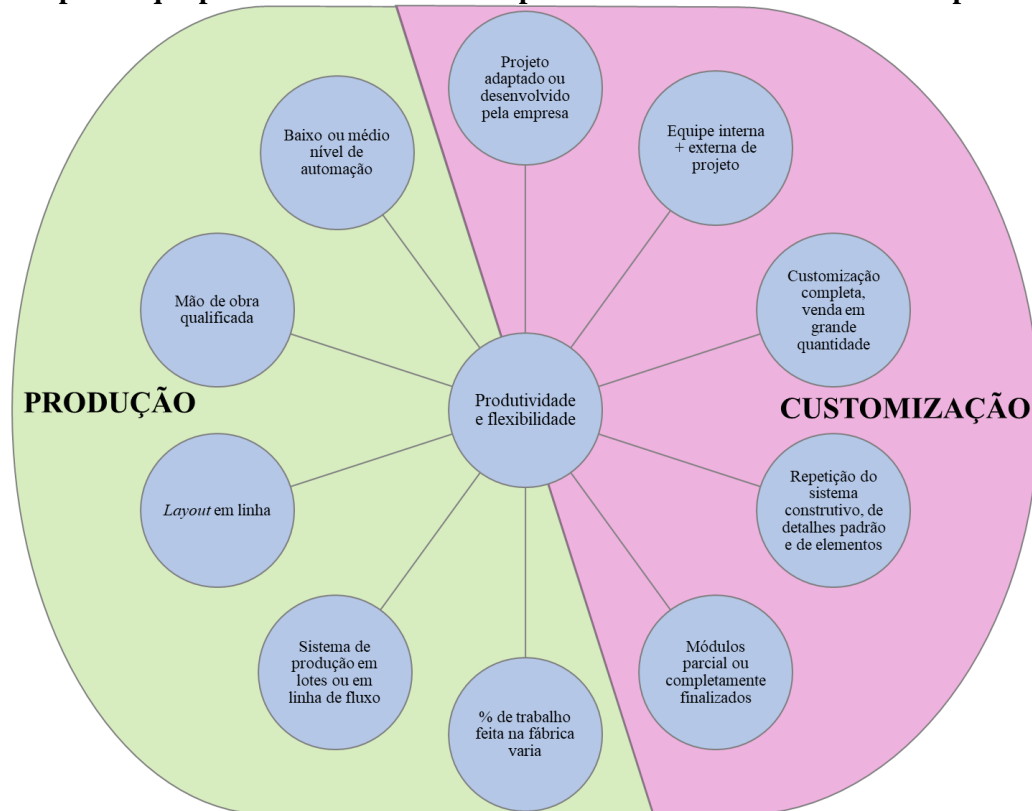


Fonte: Elaborado pela autora.

As empresas que buscam tanto a flexibilidade quanto a produtividade como resultado da produção (como as Empresas B e F) adotam a estratégia de customização completa, mas só

vendem módulos em grande quantidade. Elas podem desenvolver os projetos internamente ou adaptar projetos que foram desenvolvidos para a construção tradicional. Estas empresas apresentam equipes internas de projeto, mas também podem trabalhar com equipes externas. Normalmente não há repetição entre os projetos produzidos por estas empresas, mas há repetições dentro de um mesmo projeto, já que a quantidade de módulos em cada projeto é grande. Sendo assim, além do sistema construtivo, há a repetição de alguns elementos e detalhes padrão. Os módulos que formam o projeto podem ser parcialmente ou completamente finalizados na fábrica. Desta forma, a porcentagem de trabalho realizada na fábrica e no canteiro de obras varia em cada projeto. A fábrica destas empresas geralmente apresenta um sistema de produção em lotes ou em linha de fluxo, com *layout* em linha, mão de obra qualificada e baixo ou médio nível de automação. Na Figura 97, a seguir, é apresentado um resumo das características da produção e das estratégias de customização utilizadas por empresas de construção volumétrica *offsite* que possuem a flexibilidade e a produtividade como resultados da produção.

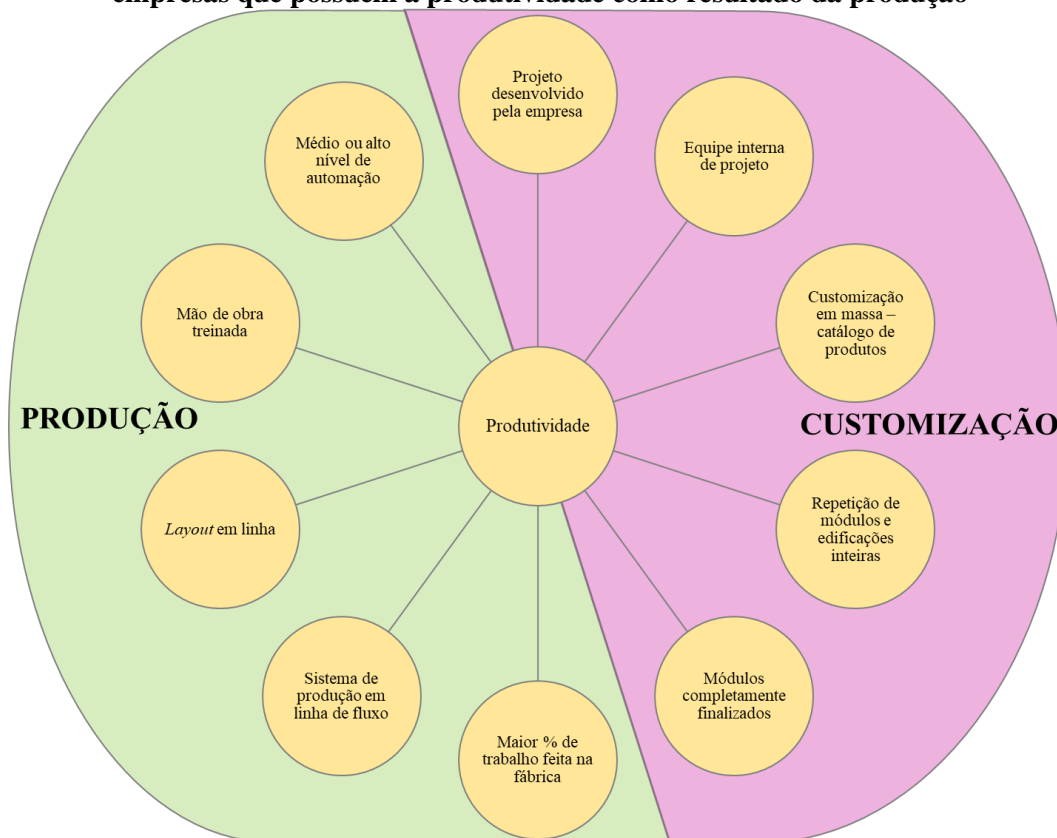
Figura 97 - Características da produção e das estratégias de customização utilizadas por empresas que possuem a flexibilidade e produtividade como resultados da produção



Fonte: Elaborado pela autora.

As empresas que buscam a produtividade como resultado da produção (como as Empresas C e E) adotam a estratégia de customização em massa e possuem com catálogo de produtos, sendo os projetos são desenvolvidos inteiramente pelas equipes de projeto das empresas. Vale destacar que os itens que podem ser customizados são limitados. Há repetição de módulos ou edificações inteiras em diferentes projetos e os módulos devem ser completamente finalizados na fábrica. Assim, estas empresas buscam realizar a maior a porcentagem de trabalho possível na fábrica. Elas geralmente apresentam um sistema de produção em linha de fluxo, com *layout* em linha, mão de obra treinada e médio ou alto nível de automação. Na Figura 98, a seguir, é apresentado um resumo das características da produção e das estratégias de customização utilizadas por empresas de construção volumétrica *offsite* que possuem a produtividade como resultado da produção.

Figura 98 - Características da produção e das estratégias de customização utilizadas por empresas que possuem a produtividade como resultado da produção



Fonte: Elaborado pela autora.

A classificação das empresas criada com base nos estudos de caso tem ressonância também nas entrevistas com profissionais, apresentada anteriormente. Como exemplo, tem-se o relato do Entrevistado 16, um profissional que afirma trabalhar em uma empresa que apresenta baixo nível de automação, com uma produção manual e uma mão de obra bastante adaptável. As

entrevistas com os profissionais mostraram que a oferta de customização completa geralmente implica no uso de um sistema de produção em lotes, e que o emprego de uma estratégia de customização em massa implica no uso de um sistema de produção em linha de fluxo. Além disso, empresas que possuem média ou alta automação e que oferecem customização em massa buscam maximizar o que é feito na fábrica, para aproveitar os recursos disponíveis. Por outro lado, empresas com baixa automação e que oferecem customização completa preferem balancear a produção entre fábrica e canteiro de obras para permitir ao mesmo tempo a customização tardia e a liberação de espaço na fábrica para a produção de novos módulos.

4.7 APLICAÇÃO DO MODELO TEÓRICO REVISADO

Para cada uma das empresas pesquisadas durante os estudos de caso, o modelo teórico revisado foi aplicado para análise da relação entre as estratégias de customização e as características da produção, destacadas com cores no modelo teórico revisado para cada uma das empresas. Isto visou a avaliação do modelo e a busca por melhorias, uma vez que possibilitou a comparação entre as empresas e entre estas e a literatura, permitindo a identificação de inconsistências em relação ao que seria o ideal.

4.7.1 Empresas A e D

Nas Figuras 99 e 100, a seguir, é mostrada a aplicação do modelo teórico revisado às Empresas A e D. As estratégias de customização e as características da produção de cada uma das empresas estão destacadas com cores no modelo teórico revisado.

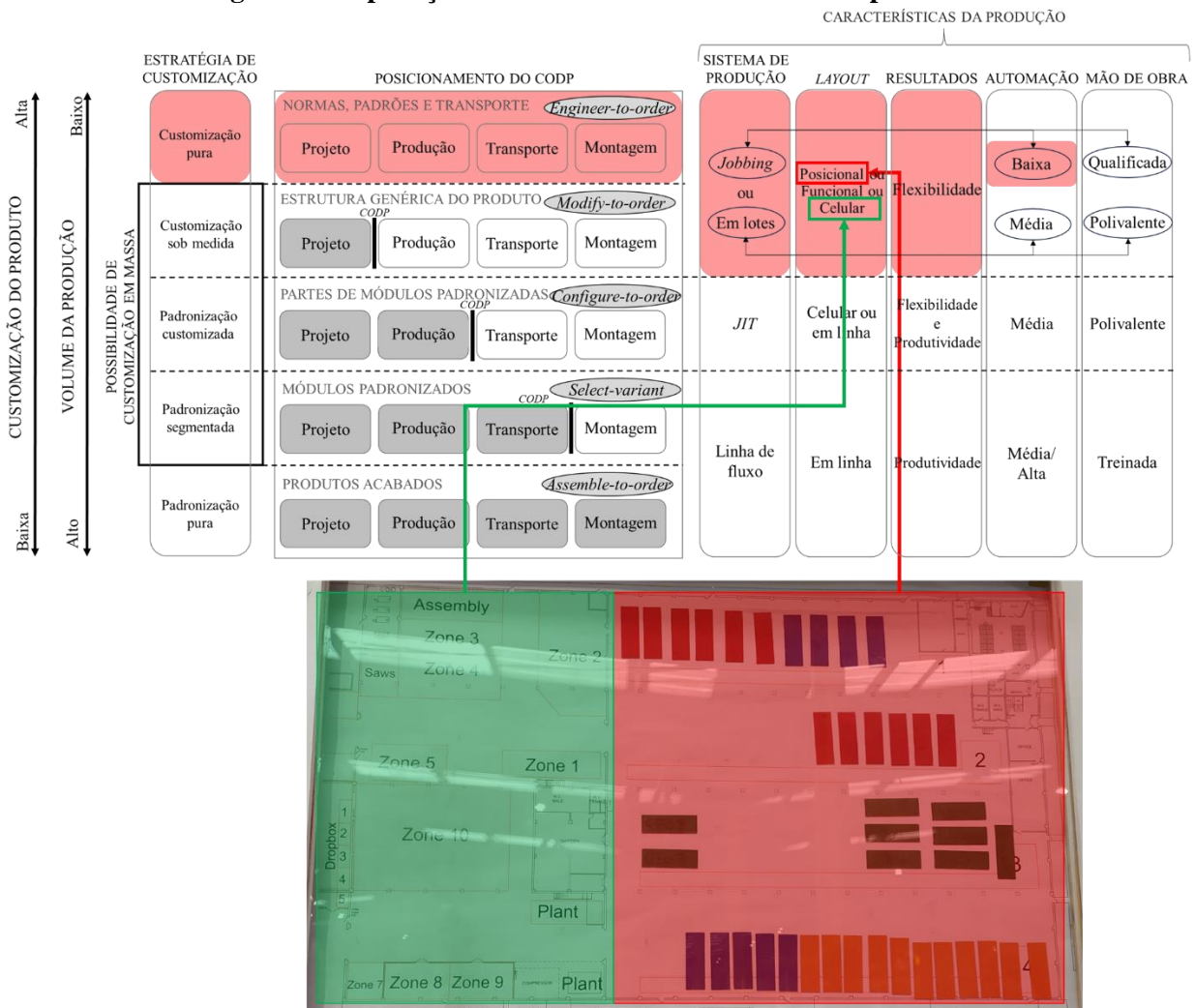
As Empresas A e D adotam uma estratégia de **customização pura**, em que o produto é feito sob medida para cada cliente, sendo que este participa do desenvolvimento do produto (edificação) desde a etapa de projeto. Desta forma, as empresas podem ser classificadas como **ETO**, pois os produtos são exclusivos e fabricados a partir da demanda, sendo que apenas normas, padrões e condições do transporte são pré-requisitos incorporados aos produtos. A Empresa A utiliza um sistema de produção de **jobbing** ou em **lotes** e a Empresa D utiliza um sistema de produção de **jobbing**, sendo que ambas as empresas produzem uma grande quantidade de produtos diferentes em volumes que variam de um a poucos itens de cada produto, e cada produto compartilha os recursos da operação com muitos outros.

As áreas principais das fábricas das Empresa A e D apresentam um **layout posicional**, mas em ambas as empresas algumas atividades são executadas em áreas da fábrica com **layout**

celular, sendo estas atividades relativas à montagem do chassi para a Empresa A e ao corte de madeira e montagem de painéis para a Empresa D. Ambas as empresas buscam a **flexibilidade** como resultado da produção e apresentam uma fábrica com **baixa automação**. A Empresa D emprega uma mão de obra **qualificada e polivalente**, que trabalha na execução de várias atividades ao longo da produção dos módulos.

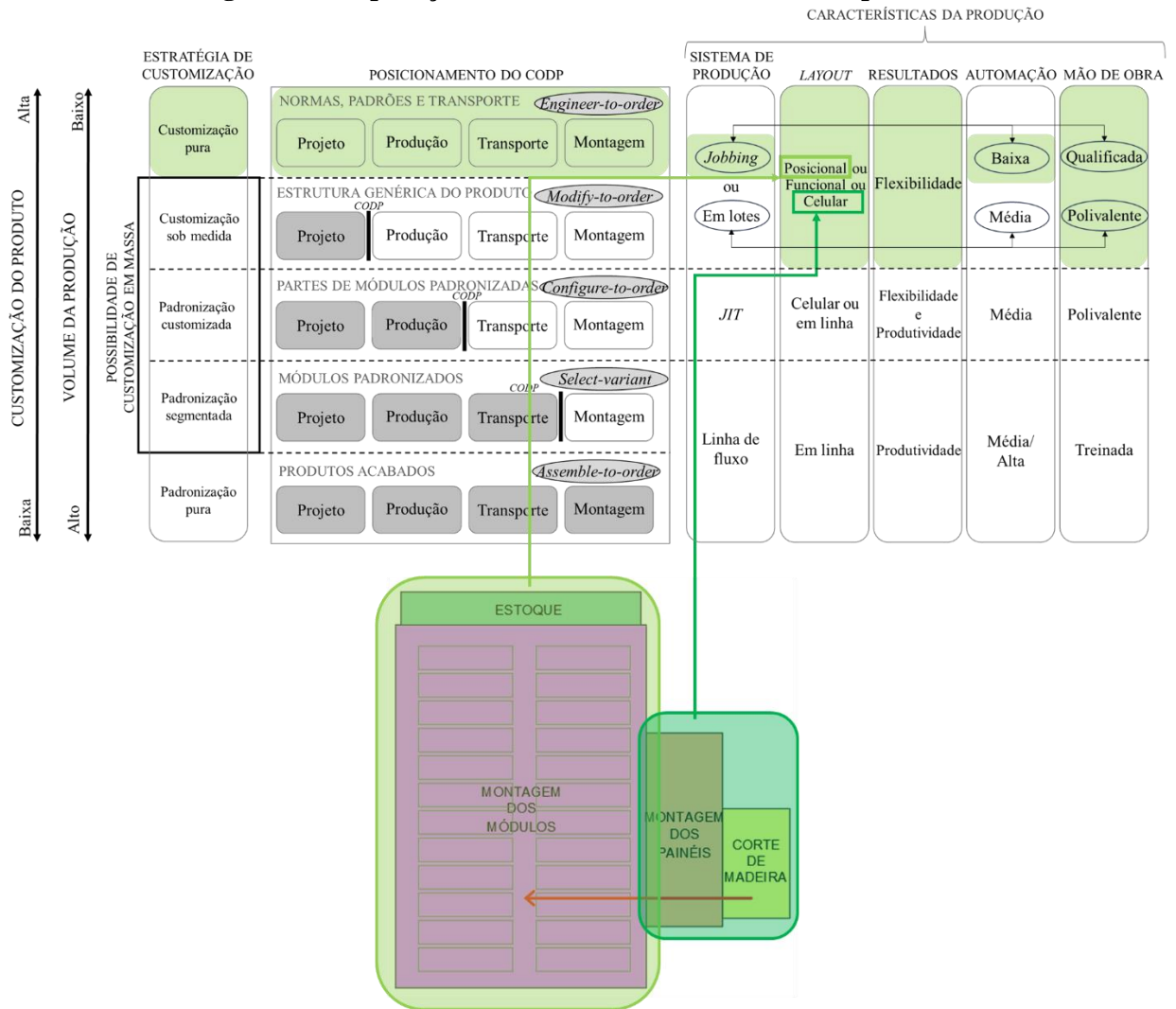
As produções de ambas as empresas são bastante simples, têm baixo custo de implementação em comparação às produções de outras empresas e têm conseguido trazer às Empresas A e D a flexibilidade esperada como resultado. A Empresa A parece estar bem-posicionada no mercado e em crescimento. Já a Empresa D, uma pequena empresa familiar, tem se mantido no mercado pelos últimos 44 anos, apesar do seu espaço de fábrica limitado. O sucesso de ambas as empresas talvez possa ser explicado pela adequação entre a estratégia de customização e as características da produção.

Figura 99 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa A



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 100 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa D



Fonte: Elaborado pela autora.

4.7.2 Empresa B

Na Figura 101, a seguir, é apresentada a aplicação do modelo teórico revisado à Empresa B. As estratégias de customização e as características da produção estão destacadas com cores no modelo teórico revisado. A Empresa B, assim como as Empresas A e D, adota uma estratégia de **customização pura**, em que o produto é feito sob medida para cada cliente, sendo que este participa do desenvolvimento da edificação desde a etapa de projeto. Desta forma, a empresa pode ser classificada como **ETO**, pois os produtos são exclusivos e fabricados a partir da demanda, sendo que apenas normas, padrões e condições do transporte são pré-requisitos incorporados aos produtos.

A Empresa B utiliza um sistema de produção em **lotes**, sendo que ela produz uma variedade menor de produtos em volumes maiores do que as Empresas A e D, uma vez que, apesar de

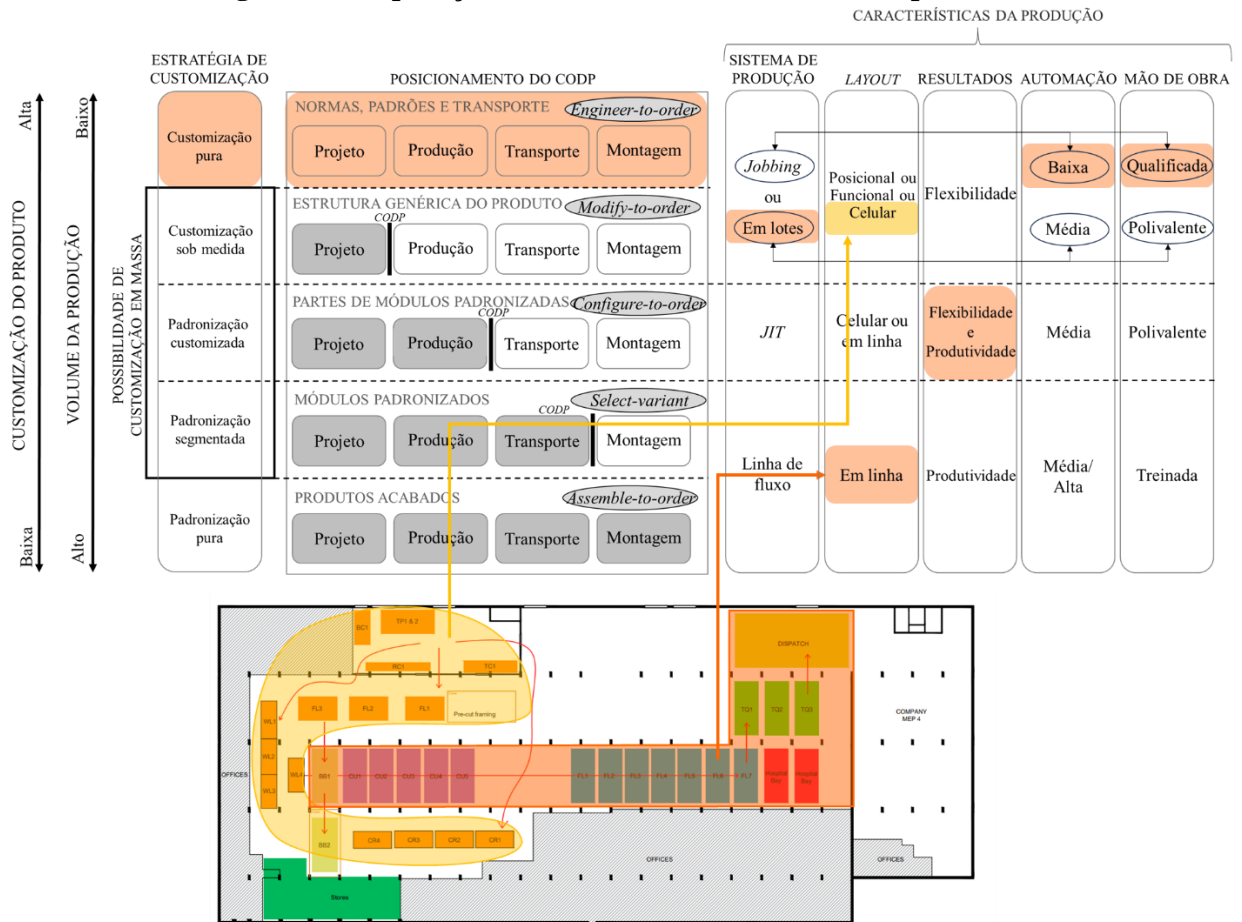
usar a estratégia da customização pura, a Empresa B só aceita um projeto quando o número de módulos a ser produzido é elevado e quando há repetição entre pelo menos alguns dos módulos, assim, cada parte da produção apresenta períodos em que há repetição, ao menos enquanto o mesmo lote está sendo produzido.

Como dito anteriormente, a empresa utiliza em sua área principal um **layout em linha** que ainda está passando por modificações, mas as atividades secundárias são realizadas em uma área da fábrica com **layout celular**. A empresa gostaria que sua fábrica tivesse como resultados tanto **produtividade quanto flexibilidade**, mas não estava conseguindo alcançar a produtividade esperada quando o estudo de caso foi realizado, uma vez que o gerente de qualidade afirmou que aumentar a produtividade ao mesmo tempo em que se oferece customização completa é um desafio único para a empresa. A fábrica apresenta **baixa automação** e a mão de obra empregada é **qualificada**.

É possível ver pela Figura 101 que a Empresa B não está utilizando nem o sistema de produção, nem o nível de automação e nem a qualificação da mão de obra adequados para o resultado de produção que espera alcançar. A incompatibilidade entre as características da produção pode explicar o fato de a empresa não conseguir atingir a produtividade esperada. Para garantir que como resultados tanto produtividade quanto flexibilidade, a empresa deve utilizar um sistema de produção *JIT*, o que implicaria em investimentos em automação, em treinamento da mão de obra e em mudanças na estratégia de customização, uma vez que, para utilizar um sistema de produção *JIT*, a empresa deve reduzir a variabilidade dos produtos e aumentar o volume de produção. Para isso, a empresa poderia adotar estratégias de modularidade e adiamento, que permitiriam a utilização de unidades comuns, que fossem padronizadas ou intercambiáveis para satisfazer uma variedade de funções, para criar variantes de produtos. A estratégia de adiamento implica em as mudanças solicitadas pelos clientes ocorrerem no último ponto possível do fluxo de operações.

Como relatado anteriormente, a Empresa B está passando por mudanças em sua produção. No entanto, pela Figura 101 é possível notar que estas mudanças não estão sendo acompanhadas pela área de projeto, pelo menos não na mesma velocidade. Isso pode indicar que a empresa enfrentará problemas em seu crescimento, uma vez que provavelmente não conseguirá atingir ou manter a produtividade desejada enquanto não fizer alterações em relação à estratégia de customização.

Figura 101 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa B



Fonte: Elaborado pela autora.

4.7.3 Empresas C e E

Nas Figuras 102 e 103, a seguir, é mostrada a aplicação do modelo teórico revisado às Empresas C e E. As estratégias de customização e as características da produção de cada uma das empresas estão destacadas com cores no modelo teórico revisado.

As Empresas C e E atuam em setores diferentes, mas ambas fazem **customização em massa**, uma vez que Da Silveira, Borenstein e Fogliatto, (2001) consideram que empresas que adotam a estratégia da CM buscam estabelecer uma variedade controlada de opções de customização, considerando o entendimento prévio dos requisitos do cliente e a capacidade produtiva da empresa.

Considerando as definições de Lampel e Mintzberg (1996), as Empresas C e E não adotariam nem uma estratégia de **customização sob medida**, porque o projeto padronizado não pode ser adaptado pelo cliente; nem uma estratégia de **padronização customizada**, pois a customização acontece na fabricação e não na montagem. Assim, as Empresas C e E adotariam

uma estratégia que estaria entre as duas anteriormente citadas, já que a customização acontece no processo de fabricação, como seria na customização sob medida; e produtos são feitos sob encomenda, mas o projeto básico não é customizado, e sim feito a partir de componentes padronizados (os módulos, no caso das duas empresas), sendo que as escolhas dos clientes estão condicionadas à gama de opções disponíveis, como na padronização customizada.

Sendo assim, no caso das duas empresas o **posicionamento do CODP** seria depois do projeto, mas antes da produção, uma vez que os projetos básicos padronizados dos módulos não podem ser alterados, mas os acabamentos sim, o que influencia nas etapas finais do processo produtivo. Além disso, a produção não é iniciada até que haja um pedido do cliente, ou seja, até que os módulos a serem produzidos sejam selecionados por ele. No entanto, isto não faz das empresas *MyTO*, pois elas apresentam módulos padronizados, como seria o caso do *SV*, e não apenas estruturas de produtos genéricos pré-definidos e em um conjunto de regras (como seria o caso do *MyTO*, de acordo com Hvam, Mortensen e Riis (2008)). Em empresas *SV*, as necessidades do cliente são atendidas por meio da seleção em catálogos de produtos (FORZA; SALVADOR, 2006).

Por produzirem bens em alto volume e em variedade relativamente baixa (que não afeta o processo de produção básico), considera-se que ambas as empresas adotem um sistema de produção em **linha de fluxo**. Tanto a fábrica da Empresa C quanto a fábrica da Empresa E apresentam um **layout em linha** em suas etapas principais de produção, no entanto, a Empresa C apresenta uma área da fábrica com **layout celular** para a produção de painéis, e a Empresa E realiza os acabamentos dos módulos em seu pátio externo, em um **layout posicional**.

Ambas as empresas apresentam a **produtividade** como resultado da produção. A Empresa C possui uma produção com **médio nível de automação** e emprega mão de obra **treinada** no chão de fábrica. Já a Empresa E apresenta, em sua produção principal, um nível de automação que varia de **baixo a alto**, mas na etapa de acabamentos, utiliza **baixo** nível de automação.

A Empresa C conseguia atingir a produtividade esperada como resultado da produção, no entanto, foi a falência após a finalização dos estudos de caso. De acordo com as notícias veiculadas pela imprensa, isto se deu pela falta de compradores para os produtos, o que pode ser um resultado do uso de uma estratégia de customização mais restritiva, que oferece opções limitadas aos clientes, em detrimento da alta produtividade. Este problema não parece afetar a Empresa E, o que pode ser explicado pela diferença entre os setores de atuação das empresas. Acredita-se que pessoas que compram residências tenham maiores exigências em termos de possibilidades de customização do que pessoas que compram edificações educacionais, comerciais ou de saúde.

Devido à realização da etapa de acabamentos no pátio externo da fábrica, acredita-se que a Empresa E não esteja tirando todas as vantagens possíveis da produção em ambiente fabril, especialmente devido à grande quantidade de retrabalho, uma vez que os módulos são montados na fábrica para a realização dos acabamentos, depois desmontados, transportados e montados novamente no canteiro de obras, em sua posição final. A Empresa E não aceitou dar explicações sobre as características da sua produção, mas presume-se que as etapas de acabamentos dos módulos sejam realizadas de forma semelhante ao que ocorre na construção tradicional para evitar esforços de detalhamentos de projeto, sendo que, ao colocar os módulos em sua posição final, consegue-se o alinhamento das instalações elétricas e dos acabamentos, por exemplo, sem necessidade de um projeto detalhado de paginação ou de instalações. A Empresa E está bem posicionada no mercado, vendendo não apenas para a Inglaterra, mas também para outros países da Europa e é, dentre as estudadas, a empresa que tem maior tempo de mercado, em um total de 62 anos.

Figura 102 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa C

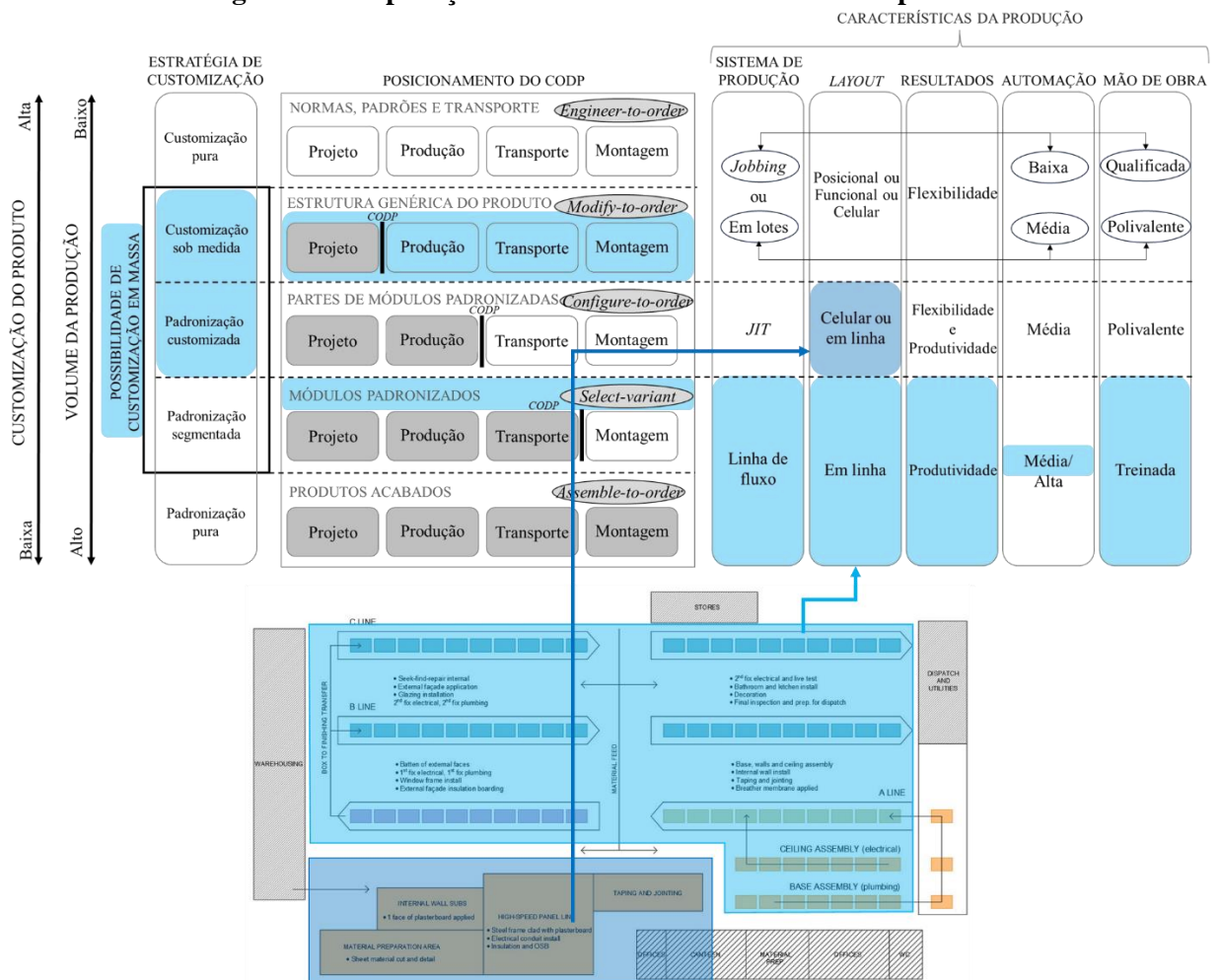
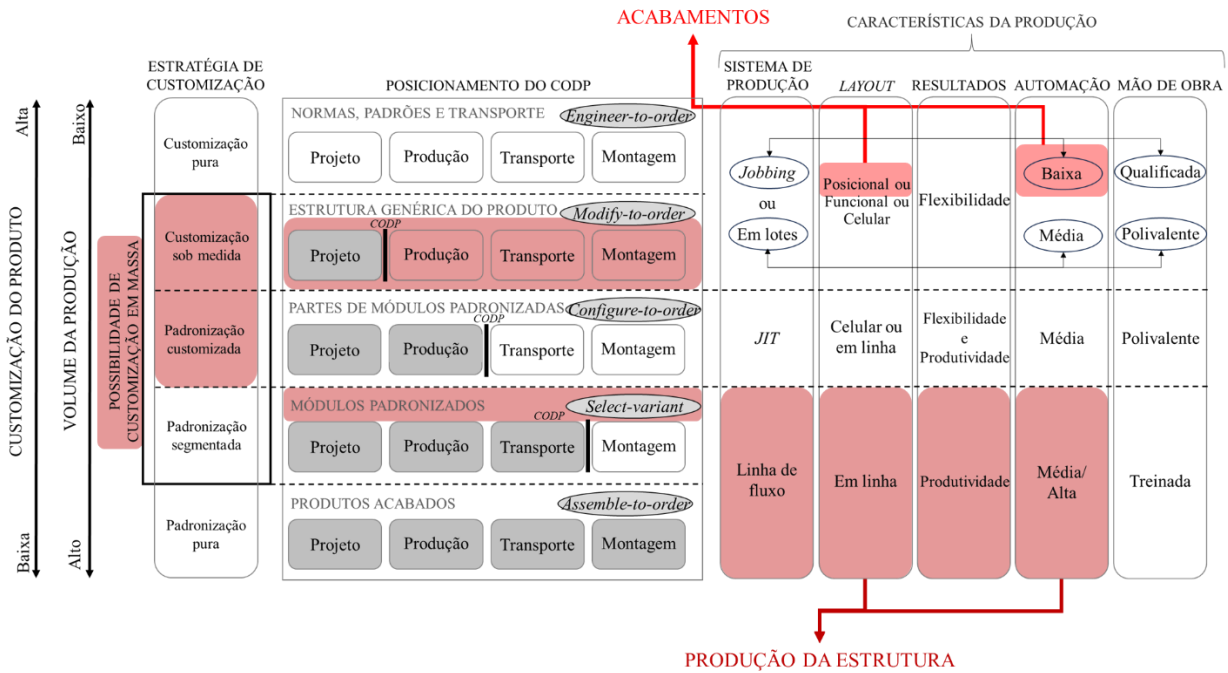


Figura 103 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa E



Fonte: Elaborado pela autora.

4.7.4 Empresa F

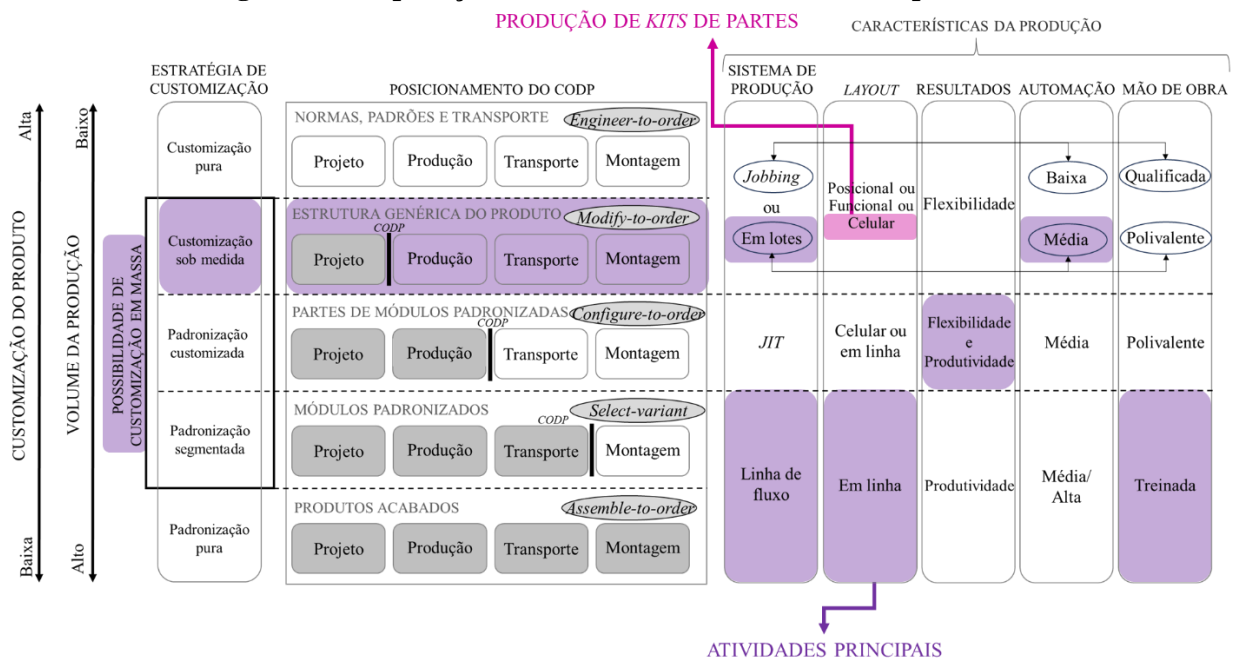
Na Figura 104, a seguir, é apresentada a aplicação do modelo teórico revisado à Empresa F. As estratégias de customização e as características da produção da empresa estão destacadas com cores no modelo teórico revisado. A Empresa F, assim como as Empresas C e E, faz **customização em massa**, mas por meio de uma estratégia de **customização sob medida**, que acontece no processo de fabricação, sendo que a empresa adapta uma estrutura genérica de produto às necessidades do cliente. Desta forma, a empresa pode ser classificada como *MyTO*, em que, de acordo com Hvam, Mortensen e Riis (2008), os projetos são feitos com base em estruturas de produtos genéricos pré-definidos e em um conjunto de regras, sendo que as necessidades dos clientes são satisfeitas por certas variantes que influenciam nas atividades de fabricação.

Como a estratégia de customização sob medida ainda implica em média variação de produtos e médio volume de produção, entende-se que a empresa utiliza um sistema de produção **em lotes** ou **em linha de fluxo**. Na fábrica, as atividades principais são desenvolvidas em um **layout em linha**, e algumas atividades secundárias, como a produção de *kits* de partes, é realizada em um **layout celular**, para garantir a produtividade da fábrica e a inovação. As atividades realizadas na área da fábrica com *layout* celular permitem maior flexibilidade da produção, segundo um dos entrevistados. A Empresa F busca tanto **produtividade quanto**

flexibilidade como resultados da produção. A fábrica possui um **médio nível de automação** e adota mão de obra **treinada** para a realização da produção.

Assim como acontece com a Empresa B, na Empresa F identifica-se uma disparidade entre a estratégia de customização e características da produção; no entanto, esta disparidade é menor na Empresa F do que na Empresa B. De acordo com um dos funcionários entrevistados, a empresa está buscando aumentar a repetição de produtos por meio da redução de opções para os clientes. Se a empresa conseguir atingir este objetivo, ela poderá fazer um uso mais eficiente do sistema de produção implantado. No entanto, considerando que tanto a produtividade quanto a flexibilidade são os resultados de produção buscados pela empresa, o ideal seria que ela utilizasse um sistema de produção *JIT*, o que implicaria também em oferecer mais treinamento à mão de obra. A disparidade entre estratégia de customização e características da produção pode representar não uma falha da empresa, mas uma trajetória de mudanças em busca de crescimento. No entanto, se a empresa quiser continuar oferecendo grande customização, a flexibilidade deve passar a ser o resultado esperado para a sua produção e talvez o ideal seja utilizar apenas um *layout* celular e adotar uma mão de obra polivalente.

Figura 104 - Aplicação do modelo teórico revisado à Empresa F



Fonte: Elaborado pela autora.

Pelas figuras anteriores é possível perceber que as empresas utilizam mais de um sistema de produção na fábrica, sendo que diferentes atividades no processo de fabricação do módulo apresentam sistemas de produção distintos. Os processos de corte de madeira e montagem de painéis de fechamento, divisórias, tetos e pisos geralmente apresentam um *layout* funcional ou

celular e maiores níveis de automação, com máquinas de corte, por exemplo, assim como identificado por Duncheva e Bradley (2019), que em seu estudo observaram que as oportunidades para aplicação de automação se encontram principalmente nas etapas iniciais da produção, no manuseio e corte de materiais e na instalação de portas e janelas. Já as etapas de montagem dos módulos e de acabamentos geralmente são menos automatizadas, apesar de em algumas empresas acontecerem em um *layout* em linha.

Além disso, é possível refutar a afirmação de Winch (2003), de o sistema de produção em linha de fluxo, só pode ser aplicado de forma geral a empresas de construção *offsite* que atuam no setor residencial, porque este é o único setor em que os volumes são altos o suficiente para permitir que tal abordagem seja economicamente viável. Pelos estudos de caso, foi possível perceber que o sistema de produção em linha de fluxo era utilizado por duas empresas analisadas, sendo uma atuante no setor residencial e a outra nos setores educacional, comercial, industrial e de saúde. Destas, a empresa atuante no setor residencial foi a falência logo após a realização dos estudos de caso, já a outra empresa está no mercado desde 1961, operando em 10 países europeus, e parece ter o volume de produção necessário para manter o seu sistema de produção em linha de fluxo em funcionamento.

4.8 CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CUSTOMIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO VOLUMÉTRICA *OFFSITE*

Por meio da aplicação do modelo teórico revisado às empresas que participaram dos estudos de caso foi possível perceber que as classificações encontradas na literatura para as diferentes formas de customização não se adequam de forma precisa à construção volumétrica *offsite*. Quando considerada a classificação proposta por Lampel e Mintzberg (1996), a customização feita por algumas empresas ficaria entre duas das classificações. Quando considerado o posicionamento do CODP, a customização realizada por algumas empresas também ficaria entre dois conceitos distintos, especialmente porque, em todas as empresas estudadas, o pedido do cliente deve ser feito antes do início da produção. Sendo assim, propõe-se aqui uma classificação para as diferentes possibilidades de customização na construção volumétrica *offsite*, como segue:

- **Customização completa:** o cliente está envolvido já na fase conceitual inicial de um projeto de construção, sendo que todos os produtos são exclusivos e fabricados a partir da demanda. Apenas normas, padrões e restrições advindas do transporte são pré-requisitos

incorporados aos produtos. As necessidades dos clientes são consideradas a partir do projeto e todas as etapas – projeto, produção, transporte e montagem – são amplamente customizadas.

- **Customização completa com venda em grande quantidade:** assim como na customização completa, o produto é feito sob medida para cada cliente, tendo como restrições apenas as normas, padrões e condições inerentes ao transporte. No entanto, na “customização completa com venda em quantidade”, as empresas só aceitam produzir um projeto quando o número de módulos a ser fabricado é elevado e quando há repetição entre pelo menos alguns dos módulos, assim, cada parte da produção apresenta períodos em que há repetição, ao menos enquanto o mesmo lote está sendo produzido.

- **Customização em massa:** o cliente deve escolher entre uma variedade controlada de opções de customização ofertada pela empresa. A escolha geralmente é feita a partir de um catálogo. O projeto básico não é customizado, de forma que cada cliente obtém assim a sua própria configuração do produto, mas condicionada à gama de opções disponíveis. Os produtos são feitos sob encomenda a partir de componentes ou módulos padronizados e escolhas de acabamentos, de forma que a customização acontece no processo de fabricação.

Segundo Hofman, Halman e Ion (2006) e Khalili-Araghi e Kolarevic (2020), em geral, as opções de customização de edificações incluem componentes de projeto do interior e do exterior (acabamentos), bem como arranjos espaciais que determinam a área total de uma casa e ambientes (*layouts* internos). Nas empresas estudadas, percebeu-se que os projetos básicos padronizados dos módulos não podem ser alterados, mas podem ser intercambiáveis. Além disso, os elementos com os quais os clientes interagem podem ser modificados. Desta forma, para as empresas de construção volumétrica *offsite* que oferecem customização em massa, o cliente não teria a possibilidade de alterar as dimensões dos módulos, nem seus *layouts* internos, poderia escolher entre diferentes módulos que são intercambiáveis, e poderia escolher entre diferentes acabamentos para as partes internas e externa da edificação. Deve-se ressaltar, no entanto, que mesmo as opções de acabamentos são limitadas.

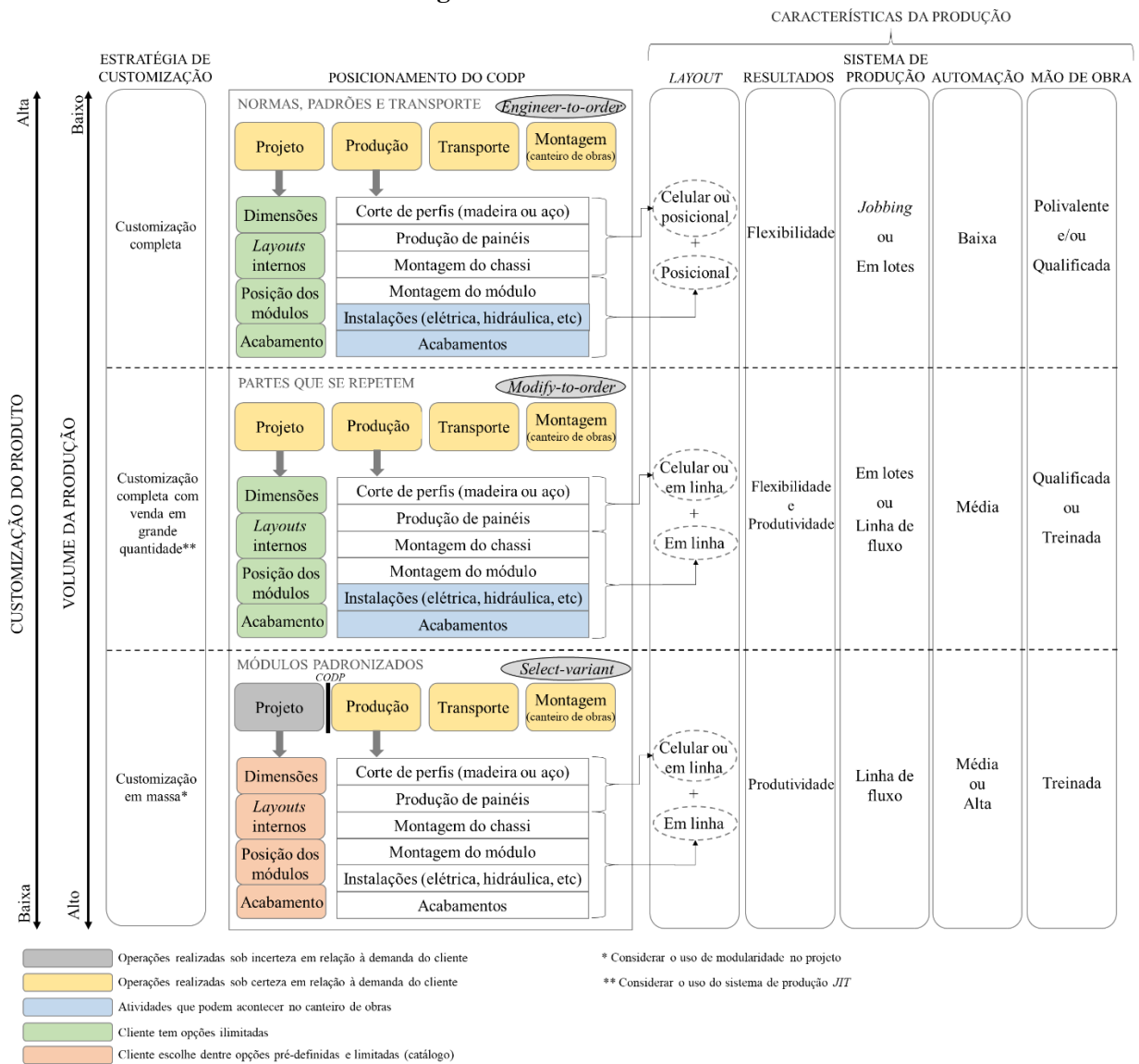
- **Padronização completa:** há uma variedade de produtos disponíveis aos clientes, mas não há nenhuma forma de customização, nem nos acabamentos. A escolha individual é, portanto, antecipada, mas não atendida diretamente. As necessidades do cliente são atendidas por meio da seleção em catálogos de produtos acabados.

Nesta pesquisa foram estudadas empresas que aplicam as três primeiras formas de customização propostas, ou seja, não foi analisada a padronização completa.

4.9 MODELO FINAL

A partir do modelo teórico revisado, da classificação das empresas, da análise da adequação entre os sistemas de produção e as estratégias de customização e da classificação das estratégias de customização, foi possível criar o modelo final, apresentado na Figura 105, a seguir. Ressalta-se que o modelo final foi elaborado considerando a realidade atual das empresas de construção volumétrica *offsite* do Reino Unido, sendo necessária a verificação de sua adequação a empresas de construção volumétrica *offsite* de outros países.

Figura 105 - Modelo final



Fonte: Elaborado pela autora.

No modelo final, apresentado na Figura 105, assim como no modelo teórico revisado, as estratégias de customização e as características da produção são apresentadas em escalas de maior ou menor customização do produto e do volume de produção (indicadas na lateral esquerda da figura). As estratégias de customização foram divididas em três categorias, como explicado na classificação apresentada anteriormente: **customização completa**; **customização completa com venda em grande quantidade** e **customização em massa**. As linhas tracejadas apresentadas no modelo final indicam a possibilidade de sobreposição entre as estratégias de customização e as características da produção, ao mesmo tempo em que indicam quais seriam as relações encontradas na prática, durante a realização dos estudos de caso. No modelo final, a classificação relativa ao posicionamento do CODP adotada foi: *engineer-to-order (ETO)*, *modify-to-order (MyTO)* e *select-variant (SV)*.

Entende-se que nas empresas *ETO* as necessidades do cliente são consideradas desde a fase de projeto e as restrições à customização dizem respeito apenas às **normas e padrões** da construção e às limitações relativas ao **transporte**, sendo que a única repetição entre diferentes projetos é o sistema construtivo adotado pela empresa. Neste caso, as dimensões dos módulos podem variar entre projetos diferentes e dentro de um mesmo projeto, a depender das necessidades do cliente, assim como os *layouts* internos dos módulos, as posições relativas entre eles e os acabamentos internos e externos de cada módulo. A porcentagem da produção feita na fábrica e no canteiro de obras pode variar para cada projeto, sendo que as etapas de instalações (elétrica, hidráulica etc.) e de acabamentos (internos e externos) podem acontecer no canteiro de obras.

Para empresas que utilizam a estratégia de customização completa, consideradas como *ETO*, o *layout* da produção pode variar de acordo com a etapa da produção, sendo que os cortes dos perfis (de madeira e/ou de aço), a produção de painéis e a montagem do chassi podem acontecer em uma parte da fábrica que apresenta **layout celular ou posicional**, já a montagem do módulo, as instalações (elétrica, hidráulica etc.) e os acabamentos (internos e externos) são executados em uma área da fábrica que apresenta **layout posicional**. Para estas empresas, o principal resultado esperado para a produção é a **flexibilidade**. Elas adotam um sistema de produção em **jobbing ou em lotes**, que apresenta **baixa automação** e utiliza uma **mão de obra polivalente e/ou qualificada**.

No modelo final, considerou-se que nas empresas *MyTO*, as necessidades do cliente também são atendidas desde a fase de projeto, mas alguns módulos, pelo menos dentro de um mesmo projeto, se repetem ou apresentam partes repetidas, sendo que devem ser solicitados em grande quantidade. Assim, as restrições à customização dizem respeito não apenas às normas e

padrões da construção e às limitações relativas ao transporte, mas também à **repetição de partes** dentro de um mesmo projeto. Em projetos diferentes, o sistema construtivo é o mesmo, assim como alguns elementos e detalhes padrão dos módulos. Neste caso, como no anterior, as dimensões dos módulos podem variar entre projetos diferentes e dentro de um mesmo projeto, a depender das necessidades do cliente, assim como os *layouts* internos dos módulos, as posições relativas entre eles e os acabamentos internos e externos de cada módulo. A porcentagem da produção feita na fábrica e no canteiro de obras pode variar para cada projeto, sendo que as etapas de instalações (elétrica, hidráulica etc.) e de acabamentos (internos e externos) podem acontecer no canteiro de obras.

Para empresas que utilizam a estratégia de customização completa com venda em grande quantidade, consideradas como *MyTO*, o *layout* da produção pode variar de acordo com a etapa da produção, sendo que os cortes dos perfis (de madeira e/ou de aço) e a produção de painéis podem acontecer em uma parte da fábrica que apresenta **layout celular ou em linha**, já a montagem do chassi, a montagem do módulo, as instalações (elétrica, hidráulica etc.) e os acabamentos (internos e externos) são executados em uma área da fábrica que apresenta **layout em linha**. Estas empresas esperam ter como resultado da produção tanto **flexibilidade quanto produtividade**. Elas adotam um sistema de produção **em lotes ou em linha de fluxo**, que apresenta **média automação** e utiliza uma **mão de obra qualificada ou treinada**. Destaca-se, no entanto, que o sistema de produção *JIT* é o mais adequado, de acordo com Miltenburg (2005), para conseguir como resultados ao mesmo tempo flexibilidade e produtividade.

Nas empresas *SV*, as necessidades do cliente são atendidas na fase de produção; o cliente não tem influência direta no projeto dos módulos, eles são **padronizados**, sendo que os clientes os selecionam em um catálogo. Assim, em projetos diferentes há uma repetição de módulos e pode haver a repetição de edificações inteiras. Neste caso, a empresa possui um catálogo com opções pré-definidas de módulos e de modificações possíveis em cada um deles, sendo que o cliente não pode alterar as dimensões dos módulos, nem seus *layouts* internos ou as posições relativas entre eles, mas apenas os acabamentos internos e externos de cada módulo, para os quais também são apresentadas opções pré-definidas no catálogo. A maior parte da produção é feita na fábrica - os módulos devem ser completamente finalizados na fábrica - ficando para o canteiro de obras apenas a ligação entre eles e entre estes e o terreno, além dos acabamentos das áreas dos módulos relativas à estas ligações.

Para empresas que utilizam a estratégia de customização em massa, consideradas como *SV*, o *layout* da produção pode variar de acordo com a etapa da produção, sendo que, como no caso anterior, os cortes dos perfis (de madeira e/ou de aço) e a produção de painéis podem acontecer

em uma parte da fábrica que apresenta **layout celular ou em linha**, já a montagem do chassi, a montagem do módulo, as instalações (elétrica, hidráulica etc.) e os acabamentos (internos e externos) são executados em uma área da fábrica que apresenta **layout em linha**. Estas empresas buscam a **produtividade** como resultado principal da produção. Elas adotam um sistema de produção **em linha de fluxo**, que apresenta **média ou alta automação** e utiliza uma **mão de obra treinada**.

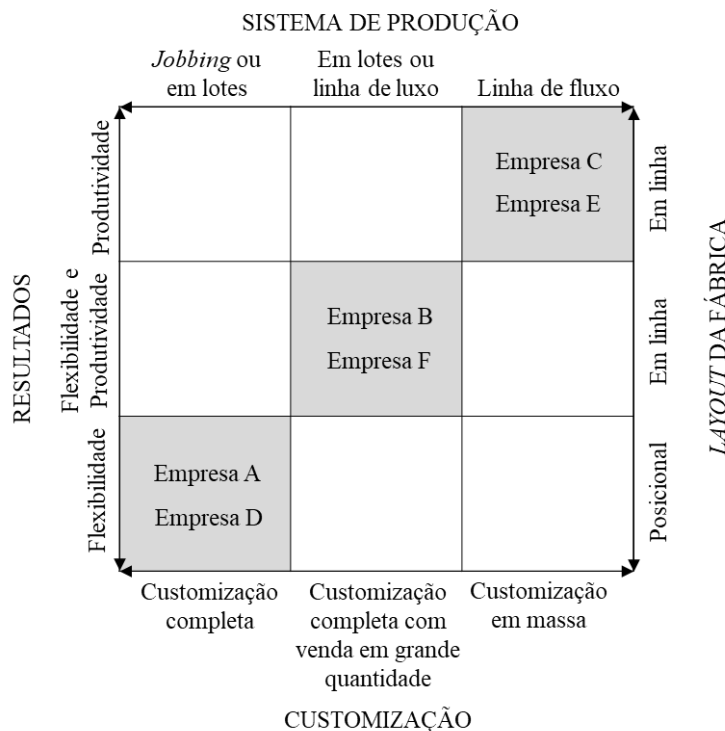
Acredita-se que, para permitir maior customização dos projetos, as empresas que ofertam CM deveriam utilizar a modularidade em seus produtos, ou seja, usar unidades comuns para criar variantes de produtos, sendo que elas podem ser independentes, padronizadas ou intercambiáveis para satisfazer uma variedade de funções (HUANG; KUSIAK, 1998). Barlow *et al.* (2003) estudaram empresas de construção *offsite* atuantes no setor habitacional no Japão e descobriram que algumas delas fazem módulos baseados em quartos individuais. Além disso, segundo Duray *et al.* (2000) e Duray (2002), as empresas só fazem CM se atenderem às condições de utilização de modularidade e de envolvimento do cliente.

A elaboração do modelo final foi um processo bastante iterativo, em que a pesquisadora constantemente retornou à literatura, às diversas entrevistas e aos estudos de caso para aperfeiçoar o modelo. O modelo final auxilia as empresas a identificarem suas características de customização e de produção e a analisarem se elas são compatíveis. Caso não sejam, a empresa deve verificar se a incompatibilidade é transitória, devido a mudanças que estejam ocorrendo na empresa, ou não. Caso a incompatibilidade não seja transitória, a empresa talvez precise rever sua estratégia de customização ou sua produção, para que ambas estejam alinhadas, permitindo que a empresa alcance os resultados de produção esperados para se diferenciar no mercado.

Tendo como base o modelo final, a matriz apresentada na Figura 95 foi revisada, tendo sido elaborada a matriz que pode ser vista na Figura 106, para comparação das empresas estudadas nos estudos de caso. Na matriz, 4 dimensões são utilizadas: as estratégias de customização, os resultados da produção, os sistemas de produção e os *layouts* de fábrica. A diagonal indicada pela cor cinza representa as combinações mais recorrentes encontradas na prática entre estas 4 dimensões. Ao posicionar as empresas na matriz, percebe-se que as Empresas A e D se encaixam no quadrante inferior esquerdo e as Empresas C e E no quadrante superior direito, sendo que todas elas utilizam as combinações entre sistema de produção, *layout* de fábrica, estratégia de customização e resultados de produção considerados como ideias pela literatura. As empresas B e F, que na matriz anterior não se enquadravam nas combinações consideradas como ideais pela literatura, agora se encaixam no quadrante central da matriz,

reforçando a ideia de que a literatura não trouxe todas as possibilidades de estratégias de customização encontradas na prática para as empresas de construção volumétrica *offsite*. No entanto, destaca-se que estas empresas talvez precisem fazer modificações em suas estratégias de customização ou em seus sistemas de produção para se manterem competitivas no mercado, adotando, por exemplo, maior repetição entre projetos e um sistema de produção *JIT*, como discutido durante a aplicação do modelo teórico revisado às empresas.

Figura 106 - Matriz revisada



Fonte: Elaborado pela autora.

4.10 CONSIDERAÇÕES ACERCA DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados e discutidos os resultados da pesquisa. Isto incluiu resultados advindos dos desdobramentos da síntese de literatura, das entrevistas com profissionais e da elaboração do modelo final. Durante o capítulo foram apresentadas ainda as avaliações do modelo teórico realizadas por especialistas, as descrições das empresas analisadas durante os estudos de caso e a aplicação do modelo teórico revisado. Além disso, foram propostas classificações para as empresas de construção volumétrica *offsite* e para as suas estratégias de customização. O capítulo culmina com a apresentação do modelo final, cuja elaboração foi o objetivo principal da pesquisa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou reduzir a lacuna de conhecimento que diz respeito à relação entre as diferentes características da produção adotadas por empresas de construção volumétrica *offsite* e as estratégias de customização que elas utilizam. Durante sua realização, afirmações feitas por outros pesquisadores que estudaram a construção volumétrica *offsite* foram corroboradas ou refutadas. Por exemplo, nas entrevistas com profissionais encontrou-se como resultado algumas divergências em comparação à literatura. Duncheva e Bradley (2019) afirmam que no Reino Unido observa-se uma automação moderada da construção volumétrica *offsite*, no entanto, as entrevistas com profissionais realizadas neste trabalho mostraram que a maioria das empresas apresenta, na verdade, um baixo nível de automação. Além disso, os mesmos autores afirmam que as empresas de construção volumétrica *offsite* do Reino Unido usam predominantemente um sistema de produção de processos de projeto. Entretanto, entende-se que a construção volumétrica *offsite* implica em restrições de projeto que levam a produtos com algumas similaridades, sendo possível afirmar que a maioria das empresas utiliza, na verdade, um sistema de produção em lotes.

Durante a realização das entrevistas com profissionais, os temas mais abordados incluíram as estratégias de customização e os resultados da produção, sendo que cada um destes temas foi mencionado 40 ou mais vezes pelos entrevistados, e cada um destes temas foi mencionado por 16 ou mais profissionais. Desta forma, considera-se que estes temas, abordados na presente pesquisa, têm não apenas relevância acadêmica, mas também relevância prática.

Ao final do trabalho, após a realização de suas três fases, foi elaborado um modelo que relaciona as características da produção às estratégias de customização em empresas de construção volumétrica *offsite*, o que representa uma contribuição teórica para a área de pesquisa e o atingimento do objetivo principal do trabalho. Com a elaboração do modelo, responde-se à questão de pesquisa, uma vez que é possível explicar quais são as relações entre as diferentes características da produção e as diversas estratégias de customização utilizadas por empresas de construção volumétrica *offsite*.

A elaboração do modelo final foi um processo bastante iterativo, em que a pesquisadora constantemente retornou à literatura, às diversas entrevistas e aos estudos de caso para aperfeiçoar o modelo. Ele representa uma contribuição prática à área da construção volumétrica *offsite*, uma vez que pode auxiliar as empresas a identificarem suas características de customização e de produção e a analisarem se elas são compatíveis. Caso não sejam, a empresa deve verificar se a incompatibilidade é transitória, devido a mudanças que estejam ocorrendo

na empresa, ou não. Caso a incompatibilidade não seja transitória, a empresa talvez precise rever sua estratégia de customização ou as características de sua produção, para que estejam alinhadas, permitindo que a empresa alcance os resultados de produção esperados para se diferenciar no mercado.

Desta forma, o modelo elaborado visa auxiliar as empresas a selecionarem a estratégia de customização adequada para a produção que adotam. O modelo pode auxiliar não apenas as novas empresas a escolherem a estratégia de customização e as características da produção adequadas, mas também empresas que estão em processos de transição entre estratégias de customização ou entre características da produção a entenderem quais são os requerimentos de projeto e de produção que aumentam suas chances de sucesso no mercado.

Outra contribuição teórica desta pesquisa foi a discussão realizada a respeito dos tipos de customização utilizados por empresas de construção volumétrica *offsite* e como as empresas fazem a transição entre eles. Pelas entrevistas com profissionais e pelos estudos de caso, é possível perceber que a maioria das empresas de construção volumétrica *offsite* usa uma estratégia de customização completa, e não de customização em massa, como afirmado ser o ideal inúmeras vezes na literatura em trabalhos como o de Jensen, Nielsen e Brunoé (2015) ou de Khalili-Araghi e Kolarevic (2020). Ademais, a maior parte da literatura sobre customização em massa concentra-se na mudança da produção em massa para a customização em massa (HAUG; LADEBY; EDWARDS, 2009). No entanto, os estudos de caso mostraram que, na construção volumétrica *offsite*, o que acontece é o caminho inverso: as empresas começam ofertando customização completa, depois tentam melhorar seu processo produtivo e percebem que, para ter maior produtividade, precisam oferecer menos opções de customização aos clientes e assim, aos poucos podem chegar à customização em massa. Entretanto, para isso, as empresas precisam investir na automatização de alguns processos.

As empresas construção volumétrica *offsite* inglesas estudadas apresentam, em sua maioria, um baixo nível de automação e adotam majoritariamente a customização completa como estratégia. Elas utilizam sistemas de produção essencialmente manuais e não empregam as tecnologias disponíveis, assim, acabam não atingindo todos os benefícios possíveis para a construção volumétrica *offsite*, como a obtenção de mais produtos com menos recursos. Isto está em consonância com o que foi destacado por Nuttpowell (1985). O autor relata que as empresas de construção *offsite* deixam de aproveitar as vantagens das tecnologias de manufatura atuais que podem gerar qualidade, tempo de ciclo e produtividade aprimorados.

Entretanto, os estudos de caso mostraram que empresas pequenas, que oferecem uma estratégia de customização completa e com baixo nível de automação têm conseguido se manter

competitivas no mercado por muitos anos. Em contrapartida, durante o período de realização desta pesquisa, 4 grandes empresas de construção volumétrica *offsite* inglesas fecharam as portas, incluindo a Empresa C, que fez parte dos estudos de caso. Os motivos disto não foram estudados nesta pesquisa e exigem uma investigação aprofundada em estudos futuros, mas uma hipótese seria que, devido às incertezas e oscilações do mercado da construção, talvez empresas que façam menores investimentos em tecnologia e conseqüentemente sejam menos dependentes da alta demanda e produção para se manterem lucrativas e obterem retorno sobre altos investimentos iniciais na instalação fabril, tenham maiores chances de permanecerem no mercado. Por outro lado, empresas que possuem a automatização necessária para ofertar customização em massa talvez devam mudar a unidade customizável para oferecer mais opções aos clientes. Uma maneira de fazer isso seria seguir o exemplo das empresas de construção volumétrica *offsite* japonesas, que como mostrado por Barlow *et al.* (2003), produzem módulos habitacionais baseados em quartos individuais, ou seja, a unidade customizável não é o módulo, mas os cômodos que o compõem.

Assim, conclui-se que a pesquisa atingiu o seu objetivo principal, cujo alcance foi subsidiado pelos resultados encontrados para os objetivos específicos. No Quadro 27, a seguir, é apresentado um resumo com os objetivos específicos e do método ou a técnica de pesquisa utilizado para alcançá-los.

Quadro 27 - Resumo dos objetivos específicos, da forma como foram eles alcançados e das contribuições que eles representam

Objetivos específicos	Método/técnica de pesquisa para alcançá-los
Propor uma classificação para os níveis de automação na construção volumétrica <i>offsite</i>	Síntese de literatura
Identificar quais são, na prática, os principais benefícios e desafios da construção <i>offsite</i> e da customização na construção <i>offsite</i> inglesa	Entrevistas com profissionais
Identificar as principais restrições para a customização na construção volumétrica <i>offsite</i> inglesa	Entrevistas com profissionais
Propor uma classificação para as empresas de construção volumétrica <i>offsite</i>	Estudos de caso
Propor uma classificação para as diferentes estratégias de customização utilizadas pelas empresas de construção volumétrica <i>offsite</i>	Estudos de caso

Fonte: Elaborado pela autora.

5.1 Contribuições da pesquisa

O ponto de partida de um esforço de pesquisa deve se concentrar no fato de que o objetivo final da pesquisa é adicionar ou desafiar o corpo de conhecimento acumulado (SWARTZ *et al.*, 1998) e, ao fazê-lo, agregar valor por meio de novas contribuições. Esta pesquisa contribui para

a área do conhecimento da construção volumétrica *offsite*. A nova contribuição teórica e prática da pesquisa se dá pela elaboração de um modelo, que auxilia na compreensão da relação entre as diferentes características da produção adotadas por empresas de construção volumétrica *offsite* e a forma como elas ofertam customização, sendo esta uma lacuna identificada na literatura. Na prática, o modelo pode auxiliar não apenas as novas empresas a escolherem as estratégias de customização e de produção adequadas uma à outra, para serem competitivas no mercado, mas também empresas que estão em processos de transição entre estratégias de customização ou entre características da produção a entenderem quais são os requerimentos de projeto e de produção que aumentam suas chances de sucesso no mercado.

A tese ainda apresenta uma nova contribuição teórica ao revisar e sintetizar corpos de conhecimento, muitas vezes díspares, como a oferta de customização, a construção volumétrica *offsite* e as características da produção, de maneira integrada. O benefício disto é a melhor compreensão da relação entre as diferentes características da produção e a oferta de customização no contexto específico da construção volumétrica *offsite*. Além disso, outra contribuição da pesquisa diz respeito à riqueza de dados apresentados nos estudos de caso, uma vez que poucos são os trabalhos encontrados que trazem uma quantidade similar de dados.

Em relação ao campo de conhecimento da customização no setor da construção, vários estudos celebram o uso da customização em massa, como os trabalhos de Barlow (1999) e Noguchi e Hernandez-Velasco (2005). No entanto, foram encontrados poucos artigos sobre customização completa, como o de Da Rocha, Kemmer e Meneses (2016). Especialmente na construção *offsite*, há muitos artigos que tratam a customização em massa como a solução ideal para as empresas, como o trabalho de Khalili-Araghi e Kolarevic (2020), mas poucos artigos abordam a customização completa como uma possível estratégia utilizada pelas empresas de construção *offsite*. Neste sentido, este trabalho contribui para a teoria da área do conhecimento que trata da customização na construção *offsite* ao discutir o uso de outras formas de customização (que não a customização em massa) como possíveis estratégias a serem adotadas pelas empresas. Esta consideração é relevante, uma vez que a customização em massa não é necessariamente o objetivo de todas as empresas de construção *offsite* (LAMPEL; MINTZBERG, 1996; VERNIKOS, 2013).

Outra contribuição consiste na realização de um mapeamento geral das empresas de construção volumétrica *offsite* no contexto do Reino Unido. Não foi possível encontrar dados governamentais para o número de empresas de construção volumétrica *offsite* existentes atualmente no Reino Unido, no entanto, ao pesquisar por “*offsite construction companies in the UK*” na ferramenta de buscas do Google, 160 empresas são encontradas e ao pesquisar por

“*modular construction companies in the UK*”, 221 empresas são encontradas. O número de 221 empresas está muito próximo ao valor encontrado no *website* da empresa The Data City (2023). A empresa busca mapear a economia emergente do Reino Unido, fornecendo a pesquisadores, formuladores de políticas e investidores dados em tempo real sobre setores dinâmicos e as empresas neles atuantes. Dentre os setores de economia emergentes mapeados, está o da construção modular e a The Data City (2023) identifica que haja atualmente no Reino Unido 233 empresas de construção modular. No presente trabalho, foram entrevistados representantes de 14 empresas diferentes relacionadas à construção volumétrica *offsite*, o que significa aproximadamente 6% do total de 233 empresas. É possível dizer, então, que uma das contribuições da pesquisa é a realização de um mapeamento geral sobre a construção volumétrica *offsite* no Reino Unido, identificando, especificamente, quais são, na prática, os principais benefícios e desafios da construção *offsite* e da customização na construção *offsite* e quais são as principais restrições para a customização na construção *offsite*.

5.2 Limitações da pesquisa

As limitações da pesquisa incluem a dificuldade de acesso a empresas de construção volumétrica *offsite* e aos dados das empresas, mesmo dentre as que participaram dos estudos de caso, especialmente no que se refere a dados de projeto e de organização do processo produtivo.

Algumas das limitações desta pesquisa são decorrentes do próprio método utilizado para a sua realização, o de estudos de caso, pois, como afirma Remenyi *et al.* (1998), mesmo que seja feita a replicação dos procedimentos utilizados para a realização deste trabalho, provavelmente não será possível encontrar os mesmos resultados, porque cada organização é diferente e cada investigador percebe o mundo através da sua própria perspectiva. Além disso, as conclusões tiradas deste estudo podem não ser aplicáveis a todas as empresas de construção volumétricas *offsite*, devido à grande variedade de empresas no mercado (principalmente internacional). No entanto, por meio da robustez do método de pesquisa, da triangulação da análise de dados e de referências detalhadas em relação a estudos anteriores, a validade das conclusões foi demonstrada.

Uma outra limitação deste estudo foi a investigação das estratégias de customização isoladamente das percepções dos clientes, dos usuários finais e de outras partes interessadas. Portanto, embora os resultados deste estudo sejam relevantes para as empresas, a análise dos requisitos dos clientes, das construtoras e das autoridades, para citar algumas partes interessadas, estava fora do âmbito deste estudo.

Outros aspectos que não foram incorporados no âmbito deste estudo e representam limitações da pesquisa incluem o fato de que o modelo proposto não tenha sido testado e o conceito de modularidade não ter sido amplamente explorado. Além disso, a relação entre a fábrica e o canteiro de obras, considerando a produção puxada, não foi explorada neste trabalho. Ademais, por simplificação, as análises neste trabalho foram baseadas na dicotomia entre produtividade e flexibilidade, sem considerar outras dimensões competitivas como prazo de entrega, confiabilidade da entrega, inovação e qualidade do produto, o que também é uma limitação da pesquisa.

5.3 Sugestões para trabalhos futuros

Para dar continuidade à esta pesquisa ou tratar de aspectos que ela não pode abordar, contribuindo com a redução das lacunas de conhecimentos presentes na área da construção *offsite*, sugere-se, para trabalhos futuros:

- A aplicação do modelo final elaborado nesta pesquisa a empresas de construção volumétrica *offsite* de outros países, ou mesmo a outras empresas de construção volumétrica *offsite* inglesas;
- A elaboração de um modelo similar para as empresas de construção *offsite* que produzem painéis ou que fazem uma produção híbrida entre painéis e módulos;
- Um estudo que identifique se as empresas de construção volumétrica *offsite* de outros países produzem partes dos módulos para estoque, analisando se estas partes se repetem em todos os projetos, ou se podem ser customizadas. Isto pode auxiliar na melhor compreensão da relação entre o projeto e a produção;
- Investigar os motivos que levam grandes empresas de construção volumétrica *offsite* a falirem;
- Investigar a hierarquia de decisões necessárias para chegar à estratégia de customização;
- Pesquisas em empresas de construção volumétrica *offsite* atuantes em outros setores, que não o residencial, uma vez que se percebeu que muitos trabalhos na área de customização e de construção *offsite* focam no setor residencial e que faltam pesquisas sobre os outros setores.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, Walter F.; MONSEN, R. Joseph. On the measurement of corporate social responsibility: Self-reported disclosures as a method of measuring corporate social involvement. **Academy of Management Journal**, v. 22, n. 3, p. 501-515, 1979.

ABREU, João Paulo Maciel de *et al.* Multiskilled labor force: a discussion of this missing link of lean construction in Brazilian companies. **Ambiente Construído**, v. 23, p. 7-23, 2023.

ACKOFF, Russell Lincoln; SASIENI, Maurice W. **Fundamentals of operations research**. Michigan University: Wiley, 1968.

AKINRADEWO, Opeoluwa *et al.* Modular method of construction in developing countries: the underlying challenges. **International Journal of Construction Management**, v. 23, n. 8, p. 1344-1354, 2021.

ALDERSON, Wroe. Marketing efficiency and the principle of postponement. In: **Marketing Behavior and Executive Action**. Cost and Profit Outlook, pages 423-427, 1957.

ALFORD, Dave; SACKETT, Peter; NELDER, Geoff. Mass customisation - an automotive perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 65, n. 1, p. 99-110, 2000.

ALGEDDAWY, Tarek; ELMARAGHY, Hoda. Reactive design methodology for product family platforms, modularity and parts integration. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 34-43, 2013.

ALVESSON, Mats. Beyond neopositivists, romantics, and localists: A reflexive approach to interviews in organizational research. **Academy of Management Review**, v. 28, n. 1, p. 13-33, 2003.

AMBROGIO, Giuseppina *et al.* Innovative metamodelling-based process design for manufacturing: an application to Incremental Sheet Forming. **International Journal of Material Forming**, v. 10, p. 279-286, 2017.

ANDRIĆ, Jelena M. *et al.* The cost performance and causes of overruns in infrastructure development projects in Asia. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 25, n. 3, p. 203-214, 2019.

ANSON, M.; KO, J. M.; LAM, E. S. S. Industrialized housing construction—the UK experience. In: **Proceedings of the International Conference on Advances in Building Technology**, 4-6 December, 2002, Hong Kong, China. Elsevier Science, p. 383, 2002.

ANTWI, Stephen Kwadwo; HAMZA, Kasim. Qualitative and quantitative research paradigms in business research: A philosophical reflection. **European Journal of Business and Management**, v. 7, n. 3, p. 217-225, 2015.

ARASHPOUR, Mehrdad *et al.* Autonomous production tracking for augmenting output in off-site construction. **Automation in Construction**, v. 53, p. 13-21, 2015.

- ARASHPOUR, Mehrdad *et al.* Optimization modeling of multi-skilled resources in prefabrication: Theorizing cost analysis of process integration in off-site construction. **Automation in Construction**, v. 95, p. 1-9, 2018.
- ARASHPOUR, Mehrdad. Design for manufacture and assembly in offsite construction and relationship with concurrent engineering. In: **Offsite Production and Manufacturing for Innovative Construction**, p. 111-128. Routledge, 2019.
- ARDITI, David; ERGIN, Uluc; GÜNHAN, Suat. Factors affecting the use of precast concrete systems. **Journal of Architectural Engineering**, v. 6, n. 3, p. 79-86, 2000.
- ARIF, Mohammed; GOULDING, Jack; RAHIMIAN, Farzad Pour. Promoting off-site construction: Future challenges and opportunities. **Journal of Architectural Engineering**, v. 18, n. 2, p. 75-78, 2012.
- ASHLEY, Steven. Cutting costs and time with DFMA. **Mechanical Engineering**, v. 117, n. 3, p. 74-77, 1995.
- ASSAF, Sadi A.; AL-HEJJI, Sadiq. Causes of delay in large construction projects. **International Journal of Project Management**, v. 24, n. 4, p. 349-357, 2006.
- AZUNGAH, Theophilus. Qualitative research: deductive and inductive approaches to data analysis. **Qualitative Research Journal**, v. 18, n. 4, p. 383-400, 2018.
- BALDWIN, Carliss Y.; CLARK, Kim B. Modularity-in-design: An analysis based on the theory of real options. **Harvard Business School**, p. 1-44, 1994.
- BALDWIN, Carliss Y.; CLARK, Kim B. Managing in an age of modularity. **Harvard Business Review**, v. 75, n. 5, p. 84- 93, 1997.
- BALDWIN, Carliss Y.; CLARK, Kim B. **Modularity in the design of complex engineering systems**. Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- BANIHASHEMI, Saeed; TABADKANI, Amir; HOSSEINI, M. Reza. Integration of parametric design into modular coordination: A construction waste reduction workflow. **Automation in Construction**, v. 88, p. 1-12, 2018.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BARLOW, James. From craft production to mass customisation. Innovation requirements for the UK housebuilding industry. **Housing Studies**, v. 14, n. 1, p. 23-42, 1999.
- BARLOW, James *et al.* Choice and delivery in housebuilding: lessons from Japan for UK housebuilders. **Building Research & Information**, v. 31, n. 2, p. 134-145, 2003.
- BARLOW, James; OZAKI, Ritsuko. Achieving 'customer focus' in private housebuilding: Current practice and lessons from other industries. **Housing Studies**, v. 18, n. 1, p. 87-101, 2003.

- BARLOW, James; OZAKI, Ritsuko. Building mass customised housing through innovation in the production system: lessons from Japan. **Environment and Planning A**, v. 37, n. 1, p. 9-20, 2005.
- BARMAN, Samir; CANIZARES, Alejandra E. A survey of mass customization in practice. **International Journal of Supply Chain Management**, v. 4, n. 1, 2015.
- BENKAMOUN, Nadège. **Systemic design methodology for changeable manufacturing systems**. Tese de Doutorado. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II. 2016.
- BERMAN, Barry. Should your firm adopt a mass customization strategy? **Business Horizons**, v. 45, n. 4, p. 51, 2002.
- BERTO, Rosa M. V.; NAKANO, Davi N. A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Produção**, v. 9, n.2, p. 65-75, 1999.
- BERTRAM, Nick *et al.* **Modular construction: From projects to products**. McKinsey & Company: Capital Projects & Infrastructure, p. 1-34, 2019.
- BERTRAND, J. Will M.; MUNTSLAG, Dennis R. Production control in engineer-to-order firms. **International Journal of Production Economics**, v. 30, p. 3-22, 1993.
- BIANCONI, Fabio; FILIPPUCCI, Marco; BUFFI, Alessandro. Automated design and modelling for mass-customized housing. A web-based design space catalogue for timber structures. **Automation in Construction**, v. 103, p. 13-25, 2019.
- BILLINGS, Charles E. **Aviation automation: The search for a human-centered approach**. CRC Press, 2018.
- BLECKER, T. *et al.* Variety steering concept for mass customization. In: **Discussionpaper series University of Klagenfurt No. 2003/04**. Klagenfurt, Áustria, 2003.
- BLISMAS, Nick; WAKEFIELD, Ron. Drivers, constraints and the future of offsite manufacture in Australia. **Construction Innovation**, v. 9, n. 1, p. 72-83, 2009.
- BOGUE, Robert. Design for manufacture and assembly: background, capabilities and applications. **Assembly Automation**, v. 32, n. 2, p. 112-118, 2012.
- BONEV, Martin; WÖRÖSCH, Michael; HVAM, Lars. Utilizing platforms in industrialized construction: A case study of a precast manufacturer. **Construction Innovation**, v. 15, n. 1, p. 84-106, 2015.
- BOOTHROYD, Geoffrey. **Assembly automation and product design**. CRC press, 2005.
- BOYD, Neville; KHALFAN, Malik M. A.; MAQSOOD, Tayyab. Off-site construction of apartment buildings. **Journal of Architectural Engineering**, v. 19, n. 1, p. 51-57, 2013.

BRIÈRE-CÔTÉ, Antoine; RIVEST, Louis; DESROCHERS, Alain. Adaptive generic product structure modelling for design reuse in engineer-to-order products. **Computers in Industry**, v. 61, n. 1, p. 53-65, 2010.

BROWN, Steve; BESSANT, John. The manufacturing strategy-capabilities links in mass customisation and agile manufacturing – an exploratory study. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n. 7, p. 707-730, 2003.

BRYMAN, Alan. Barriers to integrating quantitative and qualitative research. **Journal of Mixed Methods Research**, v. 1, n. 1, p. 8-22, 2007.

BRYMAN, Alan. **Social research methods**. Oxford university press, 2016.

BUNTROCK, Dana. Prefabricated housing in Japan. In: **Offsite architecture. Constructing the future**, edited by R. E. Smith and J. Quale. New York: Routledge, 2017.

BURGESS, Robert G. (Ed.). **Field research: A sourcebook and field manual**. Routledge, 2003.

BURLESON, Rebecca C. *et al.* Multiskilled labor utilization strategies in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 6, p. 480-489, 1998.

CHAUHAN, Krishna *et al.* The monetary and non-monetary impacts of prefabrication on construction: The effects of product modularity. **Buildings**, v. 12, n. 4, p. 459, 2022.

CHEN, Shi-Jie; LIN, Li. Modeling team member characteristics for the formation of a multifunctional team in concurrent engineering. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 51, n. 2, p. 111-124, 2004.

CHIANG, Yat-Hung; CHAN, Edwin Hon-Wan; LOK, Lawrence Ka-Leung. Prefabrication and barriers to entry - a case study of public housing and institutional buildings in Hong Kong. **Habitat International**, v. 30, n. 3, p. 482-499, 2006.

CHIANTELLA, Nathan. Achieving integrated automation through computer networks. **SME/CASA Computer Integrated Manufacturing Series**, v. 1, n. 2, p. 2-21, 1982.

CHISHOLM, AW J. Nomenclature and definitions for manufacturing systems. **CIRP Annals**, v. 39, n. 2, p. 735-742, 1990.

CHRISTOPHER, Martin. The agile supply chain: competing in volatile markets. **Industrial Marketing Management**, v. 29, n. 1, p. 37-44, 2000.

COLLINS, Robert S.; SCHMENNER, Roger. Achieving rigid flexibility: Factory focus for the 1990s. **European Management Journal**, v. 11, n. 4, p. 443-447, 1993.

COOPER, Donald R.; SCHINDLER, Pamela S. **Métodos de Pesquisa em Administração**. 12ª edição. McGraw Hill Brasil, 2016.

CORBETT, Charles; VAN WASSENHOVE, Luk. Trade-offs? What trade-offs? Competence and competitiveness in manufacturing strategy. **California Management Review**, v. 35, n. 4, p. 107-122, 1993.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços - Uma Abordagem Estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

CURRY, Leslie A.; NEMBHARD, Ingrid M.; BRADLEY, Elizabeth H. Qualitative and mixed methods provide unique contributions to outcomes research. **Circulation**, v. 119, n. 10, p. 1442-1452, 2009.

DA ROCHA, Cecília G.; FORMOSO, Carlos T.; TZORTZOPOULOS, Patrícia. Adopting product modularity in house building to support mass customisation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 4919-4937, 2015.

DA ROCHA, Cecília Gravina. **A conceptual framework for defining customisation strategies in the house-building sector**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

DA ROCHA, Cecília Gravina; KEMMER, Sergio Luiz. Method to implement delayed product differentiation in construction of high-rise apartment building projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 10, p. 05013001, 2013.

DA ROCHA, Cecília Gravina; KEMMER, Sérgio Luiz; MENESES, Lisyane. Managing customization strategies to reduce workflow variations in house building projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 8, p. 05016005, 2016.

DA ROCHA, Cecília Gravina; MIRON, Luciana I. Gomes. The house factory: a simulation game for understanding mass customization in house building. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 144, n. 1, p. 05017007, 2018.

DA SILVEIRA, Giovani; BORENSTEIN, Denis; FOGLIATTO, Flavio S. Mass customization: Literature review and research directions. **International Journal of Production Economics**, v. 72, n. 1, p. 1-13, 2001.

DARLOW, Genevieve; ROTIMI, James OB; SHAHZAD, Wajiha Mohsin. Automation in New Zealand's offsite construction (OSC): a status update. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 12, n. 1, p. 38-52, 2022.

DAVIS, Stan M. **Future perfect**. Reading, Massachusetts: Addison. Welsey Publishing Company, Inc, 1987.

DIAS, Gonçalves. Canção do Exílio, Coimbra - Julho 1843. Em: **Primeiros Cantos**. 4ª edição. Leipzig: F.A. Brockhaus, 1865.

DUNCHEON, Charlie. Product miniaturization requires automation—but with a strategy. **Assembly Automation**, v. 22, n. 1, p. 16-20, 2002.

DUNCHEVA, Tsvetomila; BRADLEY, Fiona F. Multifaceted productivity comparison of off-site timber manufacturing strategies in Mainland Europe and the United

Kingdom. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 8, p. 04019043, 2019.

DURAY, Rebecca *et al.* Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. **Journal of Operations Management**, v. 18, n. 6, p. 605-625, 2000.

DURAY, Rebecca. Mass customization origins: mass or custom manufacturing? **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 3, p. 314-328, 2002.

DYER JR, W. Gibb; WILKINS, Alan L. Better stories, not better constructs, to generate better theory: A rejoinder to Eisenhardt. **Academy of Management Review**, v. 16, n. 3, p. 613-619, 1991.

EASTERBY-SMITH, Mark; THORPE, Richard; LOWE, Andy. **Management Research an Introduction**. Sage publications Ltd. 1995.

EDGE, Martin *et al.* Overcoming client and market resistance to prefabrication and standardisation in housing. **Robert Gordon University**, Aberdeen, 2002.

EDWARDS, Kasper; JENSEN, Klaes Ladeby. Framework for assessing configuration readiness. In: **Proceedings of the 3rd Interdisciplinary World Congress on Mass Customization and Personalization**. Hong Kong, 18-21 September, 2005.

EGAN, J. **Rethinking construction: report of the construction task force** [the Egan report], London, UK: Department of the Environment, Transport and the Regions, 1998.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

EMMATTY, Francis J.; SARMAH, S. P. Modular product development through platform-based design and DFMA. **Journal of Engineering Design**, v. 23, n. 9, p. 696-714, 2012.

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2006.

ENGEL, J.F.; BLACKWELL, R.D.; MINIARD, P.W. **Comportamento do Consumidor**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

ERDMANN, Rolf Hermann. **Administração da produção: planejamento, programação e controle**. Florianópolis: Papa Livro, 2007.

ERNST, Ricardo; KAMRAD, Bardia. Evaluation of supply chain structures through modularization and postponement. **European Journal of Operational Research**, v. 124, n. 3, p. 495-510, 2000.

ESMAEILIAN, Behzad; BEHDAD, Sara; WANG, Ben. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 39, p. 79-100, 2016.

ETHIRAJ, Sendil K.; LEVINTHAL, Daniel. Modularity and innovation in complex systems. **Management Science**, v. 50, n. 2, p. 159-173, 2004.

FÄRE, Rolf; GROSSKOPF, Shawna; ROOS, Pontus. On two definitions of productivity. **Economics Letters**, v. 53, n. 3, p. 269-274, 1996.

FARRELL, Michael James. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society**, v. 120, n. 3, p. 253-281, 1957.

FEITZINGER, Edward; LEE, Hau. Mass customization at Hewlett Packard: the power of postponement. **Harvard Business Review**, v. 75, n. 1, p. 116-122, 1997.

FERDOUS, Wahid *et al.* New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review. **Engineering Structures**, v. 183, p. 883-893, 2019.

FERDOWS, Kasra; DE MEYER, Arnoud. Lasting improvements in manufacturing performance: in search of a new theory. **Journal of Operations Management**, v. 9, n. 2, p. 168-184, 1990.

FLEURY, Afonso; TEREZA FLEURY, Maria. The evolution of production systems and conceptual frameworks. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 18, n. 8, p. 949-965, 2007.

FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3ª ed., J. E. Costa, Trad. São Paulo: Artmed, 2009.

FLYVBJERG, Bent. Five misunderstandings about case-study research. **Qualitative Inquiry**, v. 12, n. 2, p. 219-245, 2006.

FLYVBJERG, Bent; HOLM, Mette Skamris; BUHL, Soren. Underestimating costs in public works projects: Error or lie? **Journal of the American Planning Association**, v. 68, n. 3, p. 279-295, 2002.

FOGLIATTO, Flavio S.; DA SILVEIRA, Giovani JC; BORENSTEIN, Denis. The mass customization decade: An updated review of the literature. **International Journal of Production Economics**, v. 138, n. 1, p. 14-25, 2012.

FORZA, Cipriano; SALVADOR, Fabrizio. **Product information management for mass customization: connecting customer, front-office and back-office for fast and efficient customization**. Springer, 2006.

FORZA, Cipriano; SALVADOR, Fabrizio; TRENTIN, Alessio. Form postponement effects on operational performance: a typological theory. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, n. 11, p. 1067-1094, 2008.

FRANKE, Nikolaus; PILLER, F. Configuration toolkits for mass customization. Setting a Research Agenda. **Arbeitsberichte des Lehrstuhls für Allgemeine und Industrielle Betriebswirtschaftslehre, Technische Universität München**, v. 33, n. 4, 2002.

FREITAS, Wesley RS; JABBOUR, Charbel JC. Utilizando estudo de caso(s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões. **Revista Estudo & Debate**, v. 18, n. 2, 2011.

- FROHM, Jörgen; LINDSTRÖM, Veronica; BELLGRAN, Monica. A model for parallel levels of automation within manufacturing. In: **18th International Conference on Production Research**, p. 1-6, 2005.
- FROHM, Jörgen *et al.* Levels of automation in manufacturing. **Ergonomia-an International Journal of Ergonomics and Human Factors**, v. 30, n. 3, 2008.
- FRUTOS, Juan Diego; BORENSTEIN, Denis. Object-oriented model for customer-building company interaction in mass customization environment. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 129, n. 3, p. 302-313, 2003.
- GAN, Xiaolong *et al.* Barriers to the transition towards off-site construction in China: An Interpretive structural modeling approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 8-18, 2018.
- GANN, David M. Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan. **Construction Management & Economics**, v. 14, n. 5, p. 437-450, 1996.
- GAO, Shang; JIN, Ruoyu; LU, Weisheng. Design for manufacture and assembly in construction: a review. **Building Research & Information**, v. 48, n. 5, p. 538-550, 2020.
- GERSHENSON, John K.; PRASAD, G. J.; ZHANG, Yan. Product modularity: definitions and benefits. **Journal of Engineering Design**, v. 14, n. 3, p. 295-313, 2003.
- GIBB, Alistair. **Off-site fabrication pre-assembly, prefabrication and modularisation**. New York, NY: John Wiley and Sons Inc. 1999.
- GIBB, Alistair. Standardization and pre-assembly - distinguishing myth from reality using case study research. **Construction Management & Economics**, v. 19, n. 3, p. 307-315, 2001.
- GIBB, Alistair; ISACK, Frank. Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers. **Building Research & Information**, v. 31, n. 2, p. 146-160, 2003.
- GILMORE, James H.; Pine, Josep B. The four faces of mass customization. **Harvard Business Review**, v. 75, n. 1, p. 91-102, 1997.
- GINIGADDARA, Buddhini *et al.* Development of an offsite construction typology: A Delphi study. **Buildings**, v. 12, n. 1, p. 20, 2022.
- GOLDHAR, Joel D.; JELINEK, Mariann. Plan for economies of scope. **Harvard Business Review**, v. 61, n. 6, p. 141-148, 1983.
- GOODIER, Chris; GIBB, Alistair. Future opportunities for offsite in the UK. **Construction Management and Economics**, v. 25, n. 6, p. 585-595, 2007.
- GOSLING, Jonathan; HEWLETT, Bill; NAIM, Mohamed M. Extending customer order penetration concepts to engineering designs. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 37, n. 4, p. 402-422, 2017.

GOULDING, Jack; ARIF, Mohammed. Offsite production and manufacturing – research roadmap report. **International council for research and innovation in building and construction (CIB)**, Publication 372, 2013.

GROOVER, Mikell P. **Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing**. Pearson Education, 2016.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems**. John Wiley & Sons, 2020.

GUADANHIM, S. J. *et al.* A design process proposal to brazilian government's social housing program. ALTAN, H.; TEGOLA, A. LA; NICHILLO, E. DE (Ed.). **Zero Energy Mass Custom Home Network (Zemch)**, p. 543-561, 2015.

GUNAWARDENA, Tharaka; NGO, Tuan; MENDIS, Priyan. Behaviour of multi-storey prefabricated modular buildings under seismic loads. **Earthq. Struct**, v. 11, n. 6, p. 1061-1076, 2016.

GUPTA, Diwakar; BENJAAFAR, Saif. Make-to-order, make-to-stock, or delay product differentiation? A common framework for modeling and analysis. **IIE Transactions**, v. 36, n. 6, p. 529-546, 2004.

HAIRSTANS, Robert. **Building Offsite: An Introduction**. Arcamedia Limited, 2015.

HALMAN, Johannes IM; VOORDIJK, Johannes T.; REYMEN, Isabelle MMJ. Modular approaches in Dutch house building: an exploratory survey. **Housing Studies**, v. 23, n. 5, p. 781-799, 2008.

HAMMAD, A. W.; SUTRISNA, Monty; ZAMAN, Atiq. Towards optimising OSM implementation in construction projects. In: **Offsite Production and Manufacturing for Innovative Construction: People, Process and Technology**. Routledge: Abingdon, UK, p. 189-222, 2019.

HART, C. W. L. Mass Customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits. **International Journal of Services Industry Management**, v. 6, n. 2, p. 36-45, 1995.

HAUG, Anders; LADEBY, Klaes; EDWARDS, Kasper. From engineer-to-order to mass customization. **Management Research News**, v. 32, n. 7, p. 633-644, 2009.

HAYES, Robert H.; WHEELWRIGHT, Steven C. Link manufacturing process and product life cycles. **Harvard Business Review**, v. 57, n. 1, p. 133–140, 1979.

HAYES, Robert H.; WHEELWRIGHT, Steven C. **Restoring our competitive edge: competing through manufacturing**. New York: John Wiley, 1984.

HAYES, Robert *et al.* **Operations, strategy, and technology: pursuing the competitive edge**. John Wiley & Sons, 2005.

HILL, Terry. **Manufacturing strategy: text and cases**. Basingstoke: Palgrave, 2000.

HITOMI, Katsundo. **Manufacturing systems engineering: a unified approach to manufacturing technology, production management and industrial economics**. CRC Press, 1996.

HOEKSTRA, Sjoerd; ROMME, Jac. **Integral logistic structures: developing customer-oriented goods flow**. Industrial Press Inc., 1992.

HOFMAN, Erwin; HALMAN, Johannes IM; ION, Roxana A. Variation in housing design: identifying customer preferences. **Housing Studies**, v. 21, n. 6, p. 929-943, 2006.

HONG, Jingke *et al.* Barriers to promoting prefabricated construction in China: A cost-benefit analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 649-660, 2018.

HÖÖK, Matilda; STEHN, Lars. Applicability of lean principles and practices in industrialized housing production. **Construction Management and Economics**, v. 26, n. 10, p. 1091-1100, 2008.

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. **Factory physics**. Waveland Press, 2011.

HUANG, Chun-Che; KUSIAK, Andrew. Modularity in design of products and systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, v. 28, n. 1, p. 66-77, 1998.

HUANG, Xiaowen; KRISTAL, Mehmet Murat; SCHROEDER, Roger G. The impact of organizational structure on mass customization capability: a contingency view. **Production and Operations Management**, v. 19, n. 5, p. 515-530, 2010.

HUSSIN, Jamilus Md; RAHMAN, I. Abdul; MEMON, Aftab Hameed. The way forward in sustainable construction: issues and challenges. **International Journal of Advances in Applied Sciences**, v. 2, n. 1, p. 15-24, 2013.

HVAM, Lars; MORTENSEN, Niels Henrik; RIIS, Jesper. **Product customization**. Springer Science & Business Media, 2008.

HWANG, Bon-Gang; SHAN, Ming; LOOI, Kit-Ying. Key constraints and mitigation strategies for prefabricated prefinished volumetric construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 183-193, 2018.

ISAAC, Shabtai; BOCK, Thomas; STOLIAR, Yaniv. A methodology for the optimal modularization of building design. **Automation in Construction**, v. 65, p. 116-124, 2016.

JACK, Eric P.; RATURI, Amitabh S. Lessons learned from methodological triangulation in management research. **Management Research News**, v. 29, n. 6, p. 345-357, 2006.

JAILLON, Lara; POON, Chi-Sun. Design issues of using prefabrication in Hong Kong building construction. **Construction Management and Economics**, v. 28, n. 10, p. 1025-1042, 2010.

- JANG, Hanbyeol; AHN, Yonghan; ROH, Seungjun. Comparison of the embodied carbon emissions and direct construction costs for modular and conventional residential buildings in South Korea. **Buildings**, v. 12, n. 1, p. 51, 2022.
- JANKOWICZ, A. Devi. **Business research projects**. Springer, 2013.
- JELLEN, A. C.; MEMARI, A. M. The state-of-the-art application of modular construction to multi-story residential buildings. In: **Proceedings of the 1st Residential Building Design & Construction Conference**, p. 284-293, 2013.
- JENSEN, Kim Noergaard; NIELSEN, Kjeld; BRUNOE, Thomas Ditlev. Application of mass customization in the construction industry. In: **Advances in Production Management Systems: Innovative Production Management Towards Sustainable Growth: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2015, Proceedings, Part I 0**. Tokyo, Japan, September 7-9, Springer International Publishing, p. 161-168, 2015.
- JENSEN, Patrik; LIDELÖW, Helena; OLOFSSON, Thomas. Product configuration in construction. **International Journal of Mass Customisation**, v. 5, n. 1, p. 73-92, 2015.
- JEONG, Gilsu *et al.* Cause analysis and reduction of safety accident in modular construction – focusing on manufacturing and construction process. **Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction**, v. 35, n. 8, p. 157-168, 2019.
- JIAO, Jianxin; TSENG, Mitchell M. A methodology of developing product family architecture for mass customization. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 10, p. 3-20, 1999.
- JONSSON, Henric; RUDBERG, Martin. Classification of production systems for industrialized building: a production strategy perspective. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 1-2, p. 53-69, 2014.
- JONSSON, Henric; RUDBERG, Martin. Production system classification matrix: Matching product standardization and production-system design. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, n. 6, p. 05015004, 2015.
- JUNG, Seoyoung; YU, Jung-ho. Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) Checklists for Off-Site Construction (OSC) Projects. **Sustainability**, v. 14, n. 19, p. 11988, 2022.
- KAMALI, Mohammad; HEWAGE, Kasun. Life cycle performance of modular buildings: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 1171-1183, 2016.
- KASIRI, Leila Agha *et al.* Integration of standardization and customization: Impact on service quality, customer satisfaction, and loyalty. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 35, p. 91-97, 2017.
- KAWECKI, Leonard Robert. **Environmental performance of modular fabrication: calculating the carbon footprint of energy used in the construction of a modular home**. Arizona State University, 2010.

KAZAZ, Aynur; ULUBEYLI, Serdar; TUNCBILEKLI, Nihan Avcioglu. Causes of delays in construction projects in Turkey. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 18, n. 3, p. 426-435, 2012.

KEDIR, Firehiwot *et al.* **A sustainable transition to industrialized housing construction in developing economies**. ETH Zurich, 2020.

KEMPTON, Jim. Modern methods of construction and RSL asset management: A quantitative study. **Structural Survey**, v. 28, n. 2, p. 121-131, 2010.

KHALILI-ARAGHI, Salman; KOLAREVIC, Branko. Variability and validity: Flexibility of a dimensional customization system. **Automation in Construction**, v. 109, p. 102970, 2020.

KILLINGSWORTH, John; MEHANY, Mohammed Hashem; LADHARI, Hana. General contractors' experience using off-site structural framing systems. **Construction Innovation**, v. 21, n. 1, p. 40-63, 2021.

KIM, Doyoon. **Preliminary life cycle analysis of modular and conventional housing in Benton Harbor, MI**. Tese de Doutorado. 2008.

KIM, Yearnmin; LEE, Jinjoo. Manufacturing strategy and production systems: an integrated framework. **Journal of Operations Management**, v. 11, n. 1, p. 3-15, 1993.

KING, Nigel. Template analysis. In: **Qualitative methods and analysis in organizational research**. Ed. by Symon, G. and Cassell, C. Sage publications, London, p. 118-134. 1998.

KOTHA, Suresh. Mass customization: implementing the emerging paradigm for competitive advantage. **Strategic Management Journal**, v. 16, n. S1, p. 21-42, 1995.

KUMAR, Ashok. Mass customization: metrics and modularity. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v. 16, p. 287-311, 2004.

KUMAR, Ashok; GATTOUFI, Said; REISMAN, Arnold. Mass customization research: trends, directions, diffusion intensity, and taxonomic frameworks. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v. 19, p. 637-665, 2007.

LACEY, Andrew William *et al.* Structural response of modular buildings – an overview. **Journal of Building Engineering**, v. 16, p. 45-56, 2018.

LAMPEL, Joseph; MINTZBERG, Henry. Customizing customization. **Sloan Management Review**, v. 38, n. 1, p. 21-30, 1996.

LARSEN, Maria Støttrup Schioenning *et al.* Mass customization in the house building industry: literature review and research directions. **Frontiers in Built Environment**, v. 5, p. 115, 2019.

LAVILLE, Christian; DIONNE, Jean. A construção do saber. **Belo Horizonte: UFMG**, v. 340, p. 1990, 1999.

- LAWSON, R. *et al.* Developments in pre-fabricated systems in light steel and modular construction. **Transport**, v. 35, n. 15, p. 15, 2005.
- LAWSON, R. Mark; OGDEN, Ray G.; BERGIN, Rory. Application of modular construction in high-rise buildings. **Journal of Architectural Engineering**, v. 18, n. 2, p. 148-154, 2012.
- LAWSON, R. Mark; OGDEN, Ray; GOODIER, Chris. **Design in modular construction**. CRC Press, 2014.
- LESSING, Jerker; BREGE, Staffan. Industrialized building companies' business models: Multiple case study of Swedish and North American companies. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 2, p. 05017019, 2018.
- LESSING, Jerker; STEHN, Lars. Industrialised house-building. In: **Offsite Production and Manufacturing for Innovative Construction: People, Process and Technology**, p. 86, 2020.
- LI, Xiao *et al.* Integrating building information modeling and prefabrication housing production. **Automation in Construction**, v. 100, p. 46-60, 2019.
- LINCOLN, Yvonna S.; GUBA, Egon G. **Naturalistic inquiry**. Newberry Park. 1985.
- LINCOLN, Yvonna S.; GUBA, Egon G. Judging the quality of case study reports. **International Journal of Qualitative Studies in Education**, v. 3, n. 1, p. 53-59, 1990.
- LINDHARD, Søren; WANDAHL, Søren. Exploration of the reasons for delays in construction. **International Journal of Construction Management**, v. 14, n. 1, p. 36-44, 2014.
- LINDSTRÖM, Veronica; FROHM, Jörgen; BELLGRAN, Monica. Developing a methodology based on value stream mapping for the measurement of automation levels in production systems. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Reconfigurable Manufacturing**, Ann Arbor, Michigan, USA, 2005.
- LINNER, Thomas; BOCK, Thomas. Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry. **Construction Innovation**, v. 12, n. 2, p. 156-178, 2012.
- LIU, Hexu *et al.* BIM-based automated design and planning for boarding of light-frame residential buildings. **Automation in Construction**, v. 89, p. 235-249, 2018.
- LOCKE, Edwin A. The case for inductive theory building. **Journal of Management**, v. 33, n. 6, p. 867-890, 2007.
- LOIZOU, Loizos *et al.* Quantifying advantages of modular construction: Waste generation. **Buildings**, v. 11, n. 12, p. 622, 2021.
- LOVELL, Heather; SMITH, Susan J. Agencement in housing markets: The case of the UK construction industry. **Geoforum**, v. 41, n. 3, p. 457-468, 2010.

LU, Na; KORMAN, Thomas. Implementation of building information modeling (BIM) in modular construction: Benefits and challenges. In: **Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice**, p. 1136-1145, 2010.

LU, Weisheng *et al.* Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 236-245, 2018.

LUO, Li-zi *et al.* Risk factors affecting practitioners' attitudes toward the implementation of an industrialized building system: A case study from China. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 22, n. 6, p. 622-643, 2015.

MACCARTHY, Bart; BRABAZON, Philip. In the business of mass customisation. **IEE Manufacturing Engineer**, v. 82, n. 4, p. 30-33, 2003.

MACHADO, André G. C. **Estratégias de customização em massa: evidências teórico-empíricas e proposição de um framework**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

MAO, Chao *et al.* Major barriers to off-site construction: The developer's perspective in China. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 3, p. 04014043, 2015.

MAO, Chao *et al.* Cost analysis for sustainable off-site construction based on a multiple-case study in China. **Habitat International**, v. 57, p. 215-222, 2016.

MARTINEZ, Eder; TOMMELEIN, Iris D.; ALVEAR, Ariana. Integration of lean and information technology to enable a customization strategy in affordable housing. In: **Proceedings of the 25th annual conference of the international group for lean construction (IGLC)**. Heraklion, Greece, p. 95-102, 2017.

MCCUTCHEON, David M.; RATURI, Amitabh S.; MEREDITH, Jack R. The customization-responsiveness squeeze. **MIT Sloan Management Review**, v. 35, n. 2, p. 89, 1994.

MCHUGH, Kevin; DAVE, Bhargav; CRAIG, Ray. Integrated lean and BIM processes for modularised construction - A case study. In: **Proceedings of the 27th Annual conference of the international group for lean construction, IGLC**. Dublin, Ireland, p. 227-238, 2019.

MEREDITH, Jack; AKINC, Umit. Characterizing and structuring a new make-to-forecast production strategy. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 3, p. 623-642, 2007.

MERRIAM, Sharan B. **Qualitative Research and Case Study Applications in Education**. Revised and Expanded from "Case Study Research in Education". Jossey-Bass Publishers, 350 Sansome St, San Francisco, CA 94104, 1998.

MEYER, Marc H.; LEHNERD, Alvin P. **The power of product platforms: Building Value and Cost Leadership**. Simon and Schuster, 1997.

MILES, Matthew B.; HUBERMAN, A. Michael. **Qualitative data analysis: An expanded sourcebook**. sage, 1994.

MILTENBURG, John. **Manufacturing strategy: how to formulate and implement a winning plan**. CRC Press, 2005.

MINISTRY OF HOUSING, COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT. **Modern Methods of Construction working group: developing a definition framework**, 2019. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/modern-methods-of-construction-working-group-developing-a-definition-framework>. Acesso em: 17 março 2022.

MINTZBERG, Henry. Generic strategies: toward a comprehensive framework. **Advances in Strategic Management**, v. 5, n. 1, p. 1-67, 1988.

MINUNNU, Roberto *et al.* Strategies for applying the circular economy to prefabricated buildings. **Buildings**, v. 8, n. 9, p. 125, 2018.

MORESI, Eduardo *et al.* Metodologia da pesquisa. **Brasília: Universidade Católica de Brasília**, v. 108, n. 24, p. 5, 2003.

MUFFATTO, Moreno. Platform strategies in international new product development. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 5/6, p. 449-460, 1999.

MUNDY, T. **Build offsite Registration Scheme: The Case for the Scheme**, Version 4, Lloyds Register EMEA, London, 2007.

NADIM, Wafaa; GOULDING, Jack S. Offsite production in the UK: the way forward? A UK construction industry perspective. **Construction Innovation**, v. 10, n. 2, p. 181-202, 2010.

NADIM, Wafaa; GOULDING, Jack S. Offsite production: a model for building down barriers. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 18, n. 1, p. 82-101, 2011.

NAHMENS, Isabelina; BINDROO, Vishal. Is customization fruitful in industrialized homebuilding industry? **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 12, p. 1027-1035, 2011.

NAHMENS, Isabelina; REICHEL, Claudette. Adoption of high performance building systems in hot-humid climates—lessons learned. **Construction Innovation**, v. 13, n. 2, p. 186-201, 2013.

NASEREDDIN, Mahdi; MULLENS, Michael A.; COPE, Dayana. Automated simulator development: A strategy for modeling modular housing production. **Automation in Construction**, v. 16, n. 2, p. 212-223, 2007.

NAVARATNAM, Satheskumar *et al.* Performance review of prefabricated building systems and future research in Australia. **Buildings**, v. 9, n. 2, p. 38, 2019.

NAYLOR, J. Ben; NAIM, Mohamed M.; BERRY, Danny. Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 62, n. 1-2, p. 107-118, 1999.

- NEELEY, Tsedal B.; DUMAS, Tracy L. Unearned status gain: Evidence from a global language mandate. **Academy of Management Journal**, v. 59, n. 1, p. 14-43, 2016.
- NICHOLAS, John M.; STEYN, Herman. **Project management for engineering, business and technology**. Abingdon: Taylor and Francis, 2017.
- NOGUCHI, Masa; HERNÁNDEZ-VELASCO, Carlos R. A 'mass custom design' approach to upgrading conventional housing development in Mexico. **Habitat International**, v. 29, n. 2, p. 325-336, 2005.
- NOLA, R.; SANKEY, H. **Theories of scientific method**. Acumen, Stocksfield, 2007.
- NUTTPOWELL, Thomas E. The house that machines built. **Technology Review**, v. 88, n. 8, p. 30-37, 1985.
- O'CONNOR, James T.; O'BRIEN, William J.; CHOI, Jin Ouk. Critical success factors and enablers for optimum and maximum industrial modularization. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 6, p. 04014012, 2014.
- OLAWALE, Yakubu Adisa; SUN, Ming. Cost and time control of construction projects: inhibiting factors and mitigating measures in practice. **Construction Management and Economics**, v. 28, n. 5, p. 509-526, 2010.
- OLHAGER, Jan. Strategic positioning of the order penetration point. **International Journal of Production Economics**, v. 85, n. 3, p. 319-329, 2003.
- OLHAGER, Jan; RUDBERG, Martin. Linking manufacturing strategy decisions on process choice with manufacturing planning and control systems. **International Journal of Production Research**, v. 40, n. 10, p. 2335-2351, 2002.
- OLHAGER, Jan; RUDBERG, Martin; WIKNER, Joakim. Long-term capacity management: Linking the perspectives from manufacturing strategy and sales and operations planning. **International Journal of Production Economics**, v. 69, n. 2, p. 215-225, 2001.
- ORSHANSKY, Michael; NASSIF, Sani; BONING, Duane. **Design for manufacturability and statistical design: a constructive approach**. Springer Science & Business Media, 2008.
- OTTO, Kevin N.; Wood, K. **Product design: techniques in reverse engineering and new product development**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall., 2001.
- PAIVA, Ely Laureano; DE CARVALHO JR, José Mário; FENSTERSEIFER, Jaime Evaldo. **Estratégia de produção e de operações: conceitos, melhores práticas, visão de futuro**. Bookman Editora, 2004.
- PAN, Wei; GIBB, Alistair GF; DAINTY, Andrew RJ. Perspectives of UK housebuilders on the use of offsite modern methods of construction. **Construction Management and Economics**, v. 25, n. 2, p. 183-194, 2007.

PAN, Wei; GIBB, Alistair GF; DAINTY, Andrew RJ. Leading UK housebuilders' utilization of offsite construction methods. **Building Research & Information**, v. 36, n. 1, p. 56-67, 2008.

PAN, Wei; GOODIER, Chris. House-building business models and off-site construction take-up. **Journal of Architectural Engineering**, v. 18, n. 2, p. 84-93, 2012.

PAN, Wei; HON, Chi Keung. Briefing: Modular integrated construction for high-rise buildings. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer**. Thomas Telford Ltd, p. 64-68, 2020.

PARASURAMAN, Raja; SHERIDAN, Thomas B.; WICKENS, Christopher D. A model for types and levels of human interaction with automation. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, v. 30, n. 3, p. 286-297, 2000.

PARRAGUEZ, Pedro *et al.* Process modularity over time: modeling process execution as an evolving activity network. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 68, n. 6, p. 1867-1879, 2019.

PBQP-H (PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT). **Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT**. Disponível em: http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos_sinat.php. Acesso em: 07 abr. 2021.

PBQP-H (PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT). **Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT**. Disponível em: http://pbqp-h.mdr.gov.br/projetos_sinat.php. Acesso em: 07 abril 2022.

PEARCE, David William. **The Social and Economic Value of Construction: The Construction Industry's Contribution to Sustainable Development**. New Construction Industry Research and Innovation Strategy Panel, 2004.

PEETERS, Kay; VAN OOIJEN, Henny. Hybrid make-to-stock and make-to-order systems: a taxonomic review. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 15, p. 4659-4688, 2020.

PILLER, Frank T. Mass customization: reflections on the state of the concept. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v. 16, p. 313-334, 2004.

PILLER, Frank T.; KUMAR, Ashok. For each, their own: The strategic imperative of mass customization. **Industrial Engineer**, v. 38, n. 9, p. 40-46, 2006.

PILLER, Frank T.; WANG, Ning. Strategic foundations and capabilities of mass customization. In: **Product Configurators: tools and strategies for the personalization of objects**. Routledge, p. 2-29, 2017.

PINE, B. Joseph. **Mass customization: the new frontier in business competition**. Harvard Business School Press, 1993.

PINE, B. Joseph. **Personalizando produtos e serviços: customização maciça**. Makron, 1994.

PINE, B. Joseph; PEPPERS, Don; ROGERS, Martha. **Do you want to keep your customers forever?** Harvard Business Press, 1995.

PINE, B. Joseph; VICTOR, Bart; BOYNTON, Andrew C. Making mass customization work. **Harvard Business Review**, v. 71, n. 5, p. 108-11, 1993.

POLAT, Gul. Factors affecting the use of precast concrete systems in the United States. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 134, n. 3, p. 169-178, 2008.

POLAT, Gul. Precast concrete systems in developing vs. industrialized countries. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 16, n. 1, p. 85-94, 2010.

QUIRINO, Tarcízio Rego. Os níveis de qualificação da mão-de-obra: teoria e prática. **Fundação João Pinheiro**, Belo Horizonte, v. 7, n. 8, p. 8-13, 1977.

RADDER, Laetitia; LOUW, Lynette. Mass customization and mass production. **The TQM Magazine**, v. 11, n. 1, p. 35-40, 1999.

RAMAJI, Issa J.; MEMARI, Ali M. Information exchange standardization for BIM application to multi-story modular residential buildings. In: **Proceedings of the 6th Biennial Professional Conference (AEI 2015)**, p. 13-24, 2015.

RAMAJI, Issa J.; MEMARI, Ali M. Product architecture model for multistory modular buildings. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 10, p. 04016047, 2016.

RAZKENARI, Mohamad *et al.* Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices. **Journal of Building Engineering**, v. 29, p. 101138, 2020.

REMENYI, Dan S.J. *et al.* **Doing Research in Business and Management: An Introduction to Process and Method.** Sage Publications. London, 1998.

REVELIOTIS, Spyros A. Production planning and control in flexibly automated manufacturing systems: Current status and future requirements. In: **Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation**, p. 1442-1449, 1999.

RIBA - Royal Institute of British Architects. **RIBA Plan of Work 2013: Designing for Manufacture and Assembly**; RIBA: London, UK, 2013.

RIBA - Royal Institute of British Architects. **DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work: Mainstreaming Design for Manufacture and Assembly in Construction**, 2nd ed.; RIBA: London, UK, 2021.

RIBEIRO, Adriana Machado; ARANTES, Amílcar; CRUZ, Carlos Oliveira. Barriers to the adoption of modular construction in Portugal: an interpretive structural modeling approach. **Buildings**, v. 12, n. 10, p. 1509, 2022.

RIBEIRO, Marcellus Serejo; MICHALKA JR, Camilo. A contribuição dos processos industriais de construção para adoção de novas tecnologias na construção civil no Brasil. **Revista Vértices**, v. 5, n. 3, p. 89-108, 2003.

RICHARD, Roger-Bruno. Industrialised building systems: reproduction before automation and robotics. **Automation in Construction**, v. 14, n. 4, p. 442-451, 2005.

RICS - Royal Institution of Chartered Surveyors. **Modern Methods of Construction: A forward-thinking solution to the housing crisis**. London, 2018. Disponível em: <https://www.rics.org/globalassets/rics-website/media/news/news--opinion/modern-methods-of-construction-paper-rics.pdf>. Acesso em: 24 maio 2022.

ROBERTSON, David; ULRICH, Karl. Platform product development. **Sloan Management Review**, v. 39, n. 4, p. 19-31, 1998.

ROBSON, Colin. **Real world research: A resource for social scientists and practitioner-researchers**. USA: Blackwell, 2002.

ROSS, A. Mass customization-selling uniqueness. **Manufacturing Engineer**, v. 75, n. 6, p. 260-263, 1996.

ROY, Rajat; BROWN, Justine; GAZE, Chris. Re-engineering the construction process in the speculative house-building sector. **Construction Management & Economics**, v. 21, n. 2, p. 137-146, 2003.

ROY, Rajat; COCHRANE, S. P. Development of a customer focused strategy in speculative house building. **Construction Management & Economics**, v. 17, n. 6, p. 777-787, 1999.

RUDBERG, Martin; WIKNER, Joakim. Mass customization in terms of the customer order decoupling point. **Production Planning & Control**, v. 15, n. 4, p. 445-458, 2004.

SALVADOR, Fabrizio. Toward a product system modularity construct: literature review and reconceptualization. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 54, n. 2, p. 219-240, 2007.

SALVADOR, Fabrizio; DE HOLAN, Pablo Martin; PILLER, Frank. Cracking the code of mass customization. **MIT Sloan Management Review**, v. 50, n. 3, p. 71-78, 2009.

SALVADOR, Fabrizio; FORZA, Cipriano. Configuring products to address the customization-responsiveness squeeze: A survey of management issues and opportunities. **International Journal of Production Economics**, v. 91, n. 3, p. 273-291, 2004.

SANCHEZ, R.; MAHONEY, J. T. Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design. **Strategic Management Journal**, v. 17, p. 63-76, 1996.

SARTORI, Giovanni. Concept misformation in comparative politics. **American Political Science Review**, v. 64, n. 4, p. 1033-1053, 1970.

SATCHELL, Paul. **Innovation and automation**. Routledge, 2018.

SAVI, Antonio Francisco; GONÇALVES FILHO, Eduardo Vila; SAVI, Erika Monteiro de Souza. Storage of design for assembly (DFA) explicit knowledge according to guidelines based on cases. **Production**, v. 20, p. 66-76, 2010.

SAVILLS. **Modern Methods of Construction - What can MMC offer the housebuilding industry in the UK?** 2020. Disponível em: <https://pdf.euro.savills.co.uk/uk/spotlight-on/spotlight-modern-methods-of-construction-spring-2020.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2023.

SCHIRA, Mary Gritzmaker. Conducting the literature review. **Journal of Neuroscience Nursing**, v. 24, n. 1, p. 54-58, 1992.

SCHOENBORN, Joseph. **A case study approach to identifying the constraints and barriers to design innovation for modular construction**. Tese de Doutorado. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2012.

SEXTON, Martin Guy. **Sustainable built environments and construction activity through dynamic research agendas**. University of Salford (United Kingdom), 2000.

SHAPIRA, Philip; YOUTIE, Jan; URMANBETOVA, Aselia. Advanced technology and the future of US manufacturing. In: **Proceedings of a Georgia Tech research and policy workshop**, 2004.

SHARMAN, Graham. The rediscovery of logistics. **Harvard Business Review**, v. 62, n. 5, 1984.

SILVERMAN, David. Qualitative research: meanings or practices? **Information Systems Journal**, v. 8, n. 1, p. 3-20, 1998.

SIMPSON, Timothy W. Product platform design and customization: Status and promise. **Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing - AI EDAM**, v. 18, n. 1, p. 3-20, 2004.

SKIPWORTH, Heather; HARRISON, Alan. Implications of form postponement to manufacturing: a case study. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 10, p. 2063-2081, 2004.

SLACK, Nigel; BRANDÃO, A. B.; CORRÊA, H. **Administração da produção**: edição compacta. São Paulo: Atlas, 1999.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. Tradução de Daniel Vieira. 2018.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Operations management**. Pearson education, 2010.

SMITH, Ryan E. **Off-Site Construction Implementation Resource: Off-site and modular construction explained**. Off-Site Construction Council, National institute of building sciences, 2016.

SMITH, Ryan E.; QUALE, John D. (Ed.). **Offsite architecture: Constructing the future.** Taylor & Francis, 2017.

SMITH, Ryan E.; RICE, Talbot. **Permanent modular construction: Process, practice, performance.** MBI - Modular Building Institute and University of Utah, Integrated Technology in Architecture Center, College of Architecture and Planning, 2015.

SONG, Jongchul *et al.* Considering prework on industrial projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 131, n. 6, p. 723-733, 2005.

STAIB, Gerald; DÖRRHÖFER, Andreas; ROSENTHAL, Markus. **Components and systems: modular construction-design, structure, new technologies.** De Gruyter, 2008.

STEVENS, Matt; NOGUCHI, Masa. The Challenges of Mass Customization for Designing and Constructing Residential Spaces. In: **Constructing Smart Cities: Proceedings of the 22nd CIB World Building Congress (CIB 2019)**, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China, 2019.

STEVENS, Richard; MARTIN, James. What is requirements management? In: **Proceedings of the Fifth Annual International Symposium of the NCOSE**, v. 2, p. 13-18, 1995.

SUTRISNA, Monty; RAMNAUTH, Vasheest; ZAMAN, Atiq. Towards adopting off-site construction in housing sectors as a potential source of competitive advantage for builders. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 18, n. 3, p. 165-183, 2022.

SWARTZ, Ethne *et al.* **Doing research in business and management: an introduction to process and method.** Sage Publications Ltd., p. 320, 1998.

TAM, Vivian WY. *et al.* Towards adoption of prefabrication in construction. **Building and Environment**, v. 42, n. 10, p. 3642-3654, 2007.

TAN, Tan *et al.* Digital-enabled Design for Manufacture and Assembly (DfMA) in offsite construction: A modularity perspective for the product and process integration. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 19, n. 3, p. 267-282, 2022.

TATUM, C. B.; VANEGAS, Jorge A.; WILLIAMS, J. M. **Constructability improvement using prefabrication, preassembly, and modularization.** Stanford University, 1986.

TAUBE, Jaqueline; HIROTA, Ercília Hitomi. Customização em massa no processo de provisão de Habitações de Interesse Social: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, v. 17, p. 253-268, 2017.

TAYLOR, Mark Dunlop. A definition and valuation of the UK offsite construction sector: ten years on. **International Journal of Construction Management**, v. 22, n. 15, p. 2877-2885, 2022.

TAYLOR, Mark; WAMUZIRI, Sam; SMITH, Ian. Automated construction in Japan. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering.** Thomas Telford Ltd, p. 34-41, 2003.

TAYLOR, Stephen. **Off-site production in the UK construction industry - A brief overview**. Health and Safety Executive: London, UK, 2015. Disponível em: https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2015/04/HSE-off-site_production_june09.pdf. Acesso em: 22 mar. 2023.

TEECE, David J. Economies of scope and the scope of the enterprise. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 1, n. 3, p. 223-247, 1980.

TESSAROLO, Alberto *et al.* Design for manufacturability of an off-shore direct-drive wind generator: An insight into additional loss prediction and mitigation. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 53, n. 5, p. 4831-4842, 2017.

THAI, Huu-Tai; NGO, Tuan; UY, Brian. A review on modular construction for high-rise buildings. **Structures**, v. 28, p. 1265-1290, 2020.

THE DATA CITY. **Real-time industrial classifications UK - Modular Construction Industry**. 2023. Disponível em: <https://thedatacity.com/rtics/modular-construction-rtic0063/>. Acesso em: 11 mai. 2023.

THE SHORTER OXFORD ENGLISH DICTIONARY (3rd ed) (Oxford: Oxford University Press), p. 2227, 1973.

THOMAS, David R. A general inductive approach for analyzing qualitative evaluation data. **American Journal of Evaluation**, v. 27, n. 2, p. 237-246, 2006.

TIIHONEN, Juha; SOININEN, Timo. Product Configurators - Information System Support for Configurable Products. In: **Increasing sales productivity through the use of information technology during the sales visit – a survey of the European market**. Hewson Group, 1997.

TIIHONEN, Juha *et al.* Configurable products - Lessons learned from the Finnish industry. In: **Proceedings of 2nd International Conference on Engineering Design and Automation**. Integrated Technology Systems, Inc Hawaii, 1998.

TOFFLER, Alvin. **Future shock**. Bantam Books, 1970.

TRIVIÑOS, Augusto NS. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: A pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Editora Atlas, 1987.

TSENG, M. M.; HU, S. J. Mass Customization, In: **CIRP Encyclopedia of Production Engineering**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 836-843, 2014.

TSENG, Mitchell M.; YUE, Wang; ROGER, J. Jiao. Mass Customization. In: **CIRP Encyclopedia of Production Engineering**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2017.

TZORTZOPOULOS, Patricia. **The design and implementation of product development process models in construction companies**. Tese de doutorado. University of Salford (United Kingdom), 2004.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. **Product design and development**. McGraw-Hill Education, 2016.

ULRICH, Pamela V.; ANDERSON-CONNELL, Lenda JO.; WU, Weifang. Consumer co-design of apparel for mass customization. **Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal**, v. 7, n. 4, p. 398-412, 2003.

UPTON, David M. The management of manufacturing flexibility. **California Management Review**, v. 36, n. 2, p. 72-89, 1994.

UPTON, David M. What really makes factories flexible? **Harvard Business Review**, v. 73, n. 4, p. 74-84, 1995.

VERNIKOS, Vasileios *et al.* Implementing an offsite construction strategy: a UK contracting organisation case study. In: SMITH, S.D.; AHIAGA-DAGBUI, D.D. (eds). **Proceedings of the 29th Annual ARCOM Conference**, Reading, UK, 2nd-4th September 2013, pp. 667 – 677, 2013.

VIANA, Daniela D.; TOMMELEIN, Iris D.; FORMOSO, Carlos T. Using modularity to reduce complexity of industrialized building systems for mass customization. **Energies**, v. 10, n. 10, p. 1622, 2017.

VIVAN, A. L. **Linha de Montagem para a Produção de Habitações em Light Steel Frame: Projeto e Otimização**. 295 f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

VOORDIJK, Hans; MEIJBOOM, Bert; DE HAAN, Job. Modularity in supply chains: a multiple case study in the construction industry. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 6, p. 600-618, 2006.

VRIJHOEF, Ruben; KOSKELA, Lauri. A critical review of construction as a project-based industry; identifying paths towards a project-independent approach to construction. In: **CIB Symposium, Combining Forces, Advancing Facilities Management & Construction Through Innovation Series**. VTT, p. 13-24, 2005.

WALLER, Matthew A.; DABHOLKAR, Pratibha A.; GENTRY, Julie J. Postponement, product customization, and market-oriented supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 21, n. 2, p. 133-160, 2000.

WANG, Mudan *et al.* A systematic review of digital technology adoption in off-site construction: Current status and future direction towards industry 4.0. **Buildings**, v. 10, n. 11, p. 204, 2020.

WANG, Yi *et al.* Industry 4.0: a way from mass customization to mass personalization production. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 311-320, 2017.

WARSAWSKI, Abraham. **Industrialized and automated building systems - A Managerial Approach**. London: Routledge, 1999.

WEBER, Robert Philip. **Basic Content Analysis**. Sage Publications, Inc., Newbury Park, CA, 1985.

WHITE, Richard E.; PRYBUTOK, Victor. The relationship between JIT practices and type of production system. **Omega**, v. 29, n. 2, p. 113-124, 2001.

WIKNER, J.; RUDBERG, M. On the customer order decoupling point. **Department of Production Economics, Linköping Institute of Technology, Sweden, Working Paper No. WP-284**, 2001.

WIKNER, Joakim; RUDBERG, Martin. Integrating production and engineering perspectives on the customer order decoupling point. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 7, p. 623-641, 2005.

WILLIAMS, Theodore J. Establishment of the place of the human in enterprise integration. In: **Proceedings of IFAC Congress**, Beijing, China, v. 32, n. 2, p. 157-162, 1999.

WINCH, Graham. Models of manufacturing and the construction process: the genesis of re-engineering construction. **Building Research & Information**, v. 31, n. 2, p. 107-118, 2003.

WOOD, Bryden. **Platforms: bridging the gap between construction and manufacturing**. London, 2018.

WOODWARD, Joan. **Industrial organization: theory and practice**. Oxford University Press, London, 1965.

YANG, Biao; BURNS, Neil D.; BACKHOUSE, Chris J. Management of uncertainty through postponement. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 6, p. 1049-1064, 2004.

YANG, Biao; BURNS, Neil. Implications of postponement for the supply chain. **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 9, p. 2075-2090, 2003.

YIGIT, Ahmet S.; ULSOY, A. Galip; ALLAHVERDI, Ali. Optimizing modular product design for reconfigurable manufacturing. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 13, p. 309-316, 2002.

YIN, Robert K. **Case study research: Design and methods**, 3rd Ed., Sage Publications, Thousand Oaks, CA, 2003.

ZABIHI, Hossein; HABIB, Farah; MIRSAEEDIE, Leila. Definitions, concepts and new directions in Industrialized Building Systems (IBS). **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 17, p. 1199-1205, 2013.

ZAWADZKI, Przemysław; ŻYWICKI, Krzysztof. Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept. **Management and Production Engineering Review**, 2016.

ZHAI, Xiaolin; REED, Richard; MILLS, Anthony. Factors impeding the offsite production of housing construction in China: an investigation of current practice. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 1-2, p. 40-52, 2014.

ZHANG, Xiaoling; SKITMORE, Martin. Industrialized housing in China: a coin with two sides. **International Journal of Strategic Property Management**, v. 16, n. 2, p. 143-157, 2012.

ZHANG, Xiaoling; SKITMORE, Martin; PENG, Yi. Exploring the challenges to industrialized residential building in China. **Habitat International**, v. 41, p. 176-184, 2014.

ZHANG, Youyi *et al.* Process-oriented framework to improve modular and offsite construction manufacturing performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 9, p. 04020116, 2020.

ZIPKIN, Paul. The limits of mass customization. **MIT Sloan Management Review**, v. 42, n. 3, p. 81, 2001.

APÊNDICE

Interview

Section A: Respondent Profiles

- For how long have you been working at the company?
- What is your job title?
- What primary functions does your job involve?
- Who are the company's main customers?
- What is the size of the company?

Section B: Modularity

1. Which building system do you use? (materials used in the structure, envelope and internal closures)
2. What type of module does the company sell? Example: volumetric module, panels, etc.
3. What are the critical points of modular production in the company? (which cannot fail during the production of modules)
4. What are the biggest challenges or issues during the production process of a modular construction? (the main difficulties faced during the production)
5. What are limitations in production that generate design constraints? (the influence of production on design)
6. Do you offer a level of customization to your end-users? If so, what is the type of customization that you offer to them and at which moment they have to decide about it?

Section C: Production Process

1. What type of production does the company use? (production line, production cells, ...)
2. What is the company's demand and its production volume?
3. How does the company measure its productivity? For example: use of productivity index.
4. In the case of offering customization, how are items produced? For example, if there is a demand for production of products A, B and C, does manufacturing produce all of them at the same time or does it first produce all the products A, then switch to B and finally to C?
5. Can you please explain me the production process in detail? (steps in the production process, how long they take, ...)

6. Do you use machinery and digital technologies in the production process or is it fundamentally manual?
7. Do you use Lean Construction in the production process?

Section D: Customization

1. What do offsite companies need to apply mass customization, especially in the process?
2. What steps are added or changed in production to allow customization?
3. What is the factory's productivity? How is it affected by customization?
4. What are the biggest challenges or issues during the production process for customization? (the main difficulties faced during the production for customization)

Can you provide me with any documents, such as: production flowchart, value stream mapping, designs, customization possibilities, etc?

Please let me know about anything else that you think might be useful for the research.

Thank you for participating in this interview session.

Entrevista (em português)

Seção A: Perfis dos Respondentes

- Há quanto tempo você trabalha na empresa?
- Qual é o seu cargo?
- Quais são as principais funções do seu trabalho?
- Quem são os principais clientes da empresa?
- Qual é o tamanho da empresa?

Seção B: Modularidade

1. Qual sistema de construção são utilizados? (materiais utilizados na estrutura, envelope e fechamentos internos)
2. Que tipo de módulo a empresa vende? Exemplo: módulo volumétrico, painéis, etc.
3. Quais são os pontos críticos da produção modular na empresa? (que não pode falhar durante a produção de módulos)
4. Quais são os maiores desafios ou dificuldades durante o processo produtivo de uma construção modular? (as principais dificuldades enfrentadas durante a produção)

5. Quais são as limitações na produção que geram restrições de projeto? (a influência da produção no projeto)
6. A empresa oferece um nível de customização aos seus clientes? Se sim, qual é o tipo de customização oferecida e em que momento os clientes devem decidir sobre isso?

Seção C: Processos Produtivos

1. Que tipo de produção a empresa utiliza? (linha de produção, células de produção, ...)
2. Qual a demanda da empresa e seu volume de produção?
3. Como a empresa mede a sua produtividade? Por exemplo: utilização do índice de produtividade.
4. No caso de oferecer customização, como são produzidos os itens? Por exemplo, se existe uma procura para a produção dos produtos A, B e C, a indústria produz todos eles ao mesmo tempo ou produz primeiro todos os produtos A, depois passa para B e finalmente para C?
5. Você pode me explicar detalhadamente o processo de produção? (etapas do processo de produção, quanto tempo demoram, ...)
6. A empresa utiliza máquinas e tecnologias digitais no processo produtivo ou ele é fundamentalmente manual?
7. A empresa utiliza construção enxuta no processo produtivo?

Seção D: Customização

1. Do que as empresas de construção volumétrica *offsite* precisam para aplicar a customização em massa, especialmente no processo de produção?
2. Quais etapas são adicionadas ou alteradas na produção para permitir a customização?
3. Qual é a produtividade da fábrica? Como isso é afetado pela customização?
4. Quais são os maiores desafios ou problemas durante o processo de produção para customização? (principais desafios enfrentados durante a produção para customização)

Você pode me fornecer algum documento, como: fluxograma de produção, mapeamento de fluxo de valor, projetos, possibilidades de customização, etc.?

Por favor, me informe sobre qualquer outra coisa que você ache que possa ser útil para a pesquisa.

Obrigada por participar desta entrevista.