

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

FERNANDA SILVA CHINET

**Redução de *lead time* em ambiente de fabricação sob encomenda por meio
da abordagem *Quick Response Manufacturing* (QRM)**

SÃO CARLOS

2014

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

FERNANDA SILVA CHINET

**Redução de *lead time* em ambiente de fabricação sob encomenda por meio
da abordagem *Quick Response Manufacturing* (QRM)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título do Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Moacir Godinho Filho

SÃO CARLOS

2014

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

C539rL Chinet, Fernanda Silva.
 Redução de *lead time* em ambiente de fabricação sob
 encomenda por meio da abordagem *Quick Response
Manufacturing* (QRM) / Fernanda Silva Chinet. -- São Carlos
 : UFSCar, 2014.
 137 f.

 Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
 Carlos, 2014.

 1. Engenharia de produção. 2. *Quick Response
Manufacturing*. 3. Redução de *lead time*. 4. Sistema POLCA.
 5. Setor de bens de capital. I. Título.

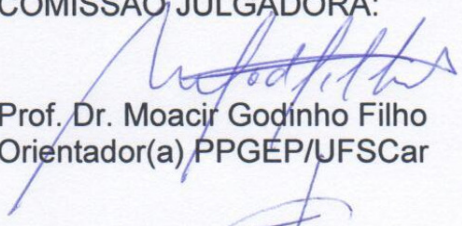
CDD: 658.5 (20^a)

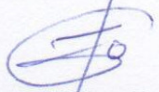


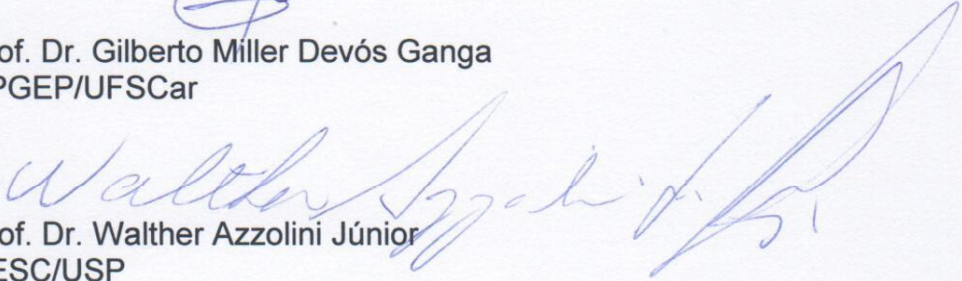
FOLHA DE APROVAÇÃO

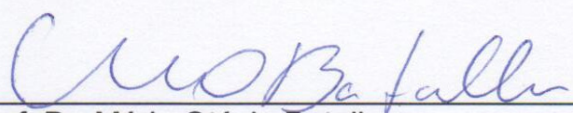
Aluno(a): Fernanda Silva Chinet

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 25/02/2014 PELA
COMISSÃO JULGADORA:


Prof. Dr. Moacir Godinho Filho
Orientador(a) PPGEP/UFSCar


Prof. Dr. Gilberto Miller Devós Ganga
PPGEP/UFSCar


Prof. Dr. Walther Azzolini Júnior
EESC/USP


Prof. Dr. Mário Otávio Batalha
Coordenador do PPGEP

Dedico este trabalho aos meus pais que me ensinaram
a perseguir meu ideal com dedicação e coragem.
Minhas referências!

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu força e perseverança para chegar ao final desta jornada.

Aos meus pais, Bete e Antônio, pelo amor incondicional e exemplo de vida, duas pessoas muito especiais que estiveram sempre ao meu lado, dando-me apoio e carinho.

A meu irmão Bruno, pela amizade e companheirismo.

Ao Professor Orientador Moacir Godinho Filho, pelo seu exemplo profissional, orientações, ensinamentos e paciência para a conclusão deste trabalho à distância.

Aos professores Gilberto Miller Devós e Walther Azzolini Júnior que aceitaram compor minha banca de qualificação e de defesa e pelas contribuições que deram para melhoria deste trabalho.

Aos amigos do mestrado, em especial o Zé Henrique, pelas dicas e parcerias nos trabalhos.

Aos amigos da Dedini e CSN, pela compreensão, apoio e incentivo para a realização do mestrado.

Aos participantes da pesquisa, que com dedicação e carinho, contribuíram para o sucesso deste estudo.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Produção da UFSCar, que com ensinamentos, orientações e amizade, me ajudaram ativamente neste projeto.

A todos que de diferentes maneiras colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

Nas últimas décadas as empresas têm enfrentado importantes e crescentes desafios impostos pela globalização dos mercados de produtos e fatores de produção. Dessa forma, os consumidores tornam-se cada vez mais exigentes e estão sempre em busca de novos produtos, altamente qualificados, customizados e produzidos rapidamente. Diante destas transformações, a velocidade de entrega e, por conseguinte, a busca pela redução do *lead time* surge como um dos principais objetivos adotados por uma empresa para competir no mercado, visto que estratégias baseadas no tempo visam fornecer respostas rápidas a seus clientes. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral apresentar uma proposta para a redução de *lead time* a partir da aplicação dos conceitos e ferramentas da metodologia *Quick Response Manufacturing* (QRM) em uma empresa do setor de bens de capital. A fim de atingir o objetivo proposto, foi realizada uma revisão da literatura sobre a metodologia QRM e sistema POLCA e um estudo de caso em uma empresa que desenvolve e fabrica máquinas e equipamentos sob encomenda. Dessa maneira, analisaram-se as principais causas de espera no processo de fabricação de vasos de pressão e, por meio de propostas de melhorias, chegou-se aos resultados e ganhos esperados. Os resultados principais, além da redução de 40% do *lead time*, estão relacionados à melhoria de qualidade, aumento de responsabilidade no processo de fabricação e simplificação do controle de produção.

Palavras-Chave: *Quick Response Manufacturing*. Sistema POLCA. *Lead time*. Setor de bens de capital.

ABSTRACT

In the latest decades, companies have faced important and increasing challenges set by globalization in product markets and production factors. This way, consumers become highly demanding and are always searching for new products, highly qualified, customized and quickly produced. Given these changes, the speed of delivery and therefore the efforts to reduce lead time emerges as one of the main objectives adopted by a company to compete in the market, since the strategies based in time aim to provide faster answers to its customers. In this context, the present paper aims to describe a proposal to reduce the lead time from the application of the concepts and methodology tools Quick Response Manufacturing (QRM) in a capital good sector's company. In order to achieve the proposed objective, a literature review about the QRM methodology and POLCA system and a case study in a company that develops and manufactures machinery and custom made equipment. Thus, it was analyzed the main causes of the waiting in the manufacturing of pressure vessels process, and through improvement proposals, it was achieved the results and gains expected. The main results, other than the 40% reduction in lead time, are related to quality improvement, increase of process responsibility in the manufacturing and simplifying the production control.

Key Words: Quick Response Manufacturing. POLCA System. Lead time. Capital good sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Condução do estudo de caso.	18
Figura 2: Os pilares do QRM.	25
Figura 3: Comparação das abordagens baseadas em custo e tempo.....	27
Figura 4: Duas células com uma operação externa entre elas.	32
Figura 5: Impacto do “Número QRM” na equipe de trabalho.	35
Figura 6: O efeito da utilização no tempo de fluxo.	38
Figura 7: O efeito combinado da utilização e da variabilidade no tempo de fluxo.....	40
Figura 8: O efeito do tamanho do lote no tempo de fluxo.....	40
Figura 9: Impacto combinado da redução do <i>set up</i> e tamanho de lote sobre o tempo de fluxo	42
Figura 10: Fluxo do cartão POLCA para determinada ordem de produção na CPF Corporation.	54
Figura 11: Número de artigos de acordo com o sistema POLCA considerado.....	58
Figura 12: Número de artigos relacionados ao objetivo principal da pesquisa.	59
Figura 13: Número de artigos de acordo com a fonte de publicação.	60
Figura 14: Número de artigos de acordo com a metodologia de pesquisa.	61
Figura 15: Evolução no tempo quanto ao número de artigos publicados.....	63
Figura 16: Evolução no tempo por tipo de publicação.	63
Figura 17: Mapa de carga gerencial (em horas) da unidade fabril estudada no ano de 2010...	77
Figura 18: Estrutura do produto e ilustração simplificada do vaso de pressão.	78
Figura 19: Fluxo do processo produtivo do vaso de pressão.....	79
Figura 20: Ilustração do tampo.	80
Figura 21: Ilustração do costado e representação das soldas principais.....	80

Figura 22: Vaso de pressão nas etapas finais de fabricação.....	81
Figura 23: MCT mapeado para o vaso de pressão.	83
Figura 24: Diagrama de Ishikawa.....	87
Figura 25: Etiqueta adesiva utilizada para identificação dos materiais.....	89
Figura 26: Proposta de compartilhamento de recursos entre as unidades.	90
Figura 27: Proposta de Cartão POLCA.	95
Figura 28: Fluxo dos cartões POLCA.	96
Figura 29: MCT futuro – resultado da implantação das sugestões de melhoria.....	99
Figura 30: Interface gráfica das simulações propostas.....	101
Figura 31: Evolução mensal da produção física no período de 1999 a 2011.....	134
Figura 32: Evolução do consumo aparente (em R\$ bilhões) no período de 2005 a 2012.....	134
Figura 33: Evolução do faturamento (em R\$ bilhões) no período de 2005 a 2012.....	135
Figura 34: Evolução do número de empregos (em milhares) no período de 2005 a 2012.....	135
Figura 35: Balança comercial (US\$ bilhões FOB) no período de 2004 a 2012.....	136
Figura 36: Produção de máquinas e equipamentos no Brasil.....	137

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Macrovariáveis do estudo de caso.....	20
Quadro 2: Etapas da pesquisa.....	20
Quadro 3: Ilustração de <i>time-slicing</i> para um recurso compartilhado.....	31
Quadro 4: Exemplo de aplicação do “Número QRM”.....	35
Quadro 5: Recursos necessários para a célula de miscelâneas.....	92
Quadro 6: Mão-de-obra necessária para operação da célula de miscelâneas.....	93
Quadro 7: Resumo dos resultados e ganhos esperados.	105
Quadro 8: Maiores empresas do setor de bens de capital em 2012 (em volume de vendas)..	132
Tabela 1: Classificação dos artigos da revisão bibliográfica sobre o sistema POLCA.....	57
Tabela 2: Investimentos necessários para formação da célula de miscelâneas.	94
Tabela 3: Investimentos necessários para implementação do POLCA adaptado.....	97
Tabela 4: Resultados esperados na redução de <i>lead time</i>	100
Tabela 5: Comparativo dos resultados das simulações realizadas no PROMODEL.	102
Tabela 6: Ganhos financeiros estimados com a redução do <i>lead time</i>	103
Tabela 7: Comparativo entre investimentos previstos e ganhos esperados.....	104

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	13
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	15
1.3	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	15
1.4	PROCEDIMENTOS METODÓLOGICOS.....	16
1.4.1	Abordagem e método de pesquisa.....	16
1.4.2	Estudo de caso.....	17
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	22
2	QUICK RESPONSE MANUFACTURING (QRM)	23
2.1	CONCEITUALIZAÇÃO DO QRM.....	23
2.2	CONCEITO-CHAVE I: ENTENDER E EXPLORAR O PODER DO TEMPO.....	26
2.3	CONCEITO-CHAVE II: ALTERAR A ESTRUTURA ORGANIZACIONAL PARA CONSEGUIR REDUÇÃO DO LEAD TIME.....	28
2.3.1	Layout: de funcional para celular.....	28
2.3.2	Gestão: de um sistema de controle top-down para um sistema de controle descentralizado por times de trabalho que sejam responsáveis pelo processo (ownership)	33
2.3.3	Trabalhadores: de funcionários especializados e como foco limitado para funcionários capacitados em múltiplas tarefas (cross-trained).....	33
2.3.4	Mentalidade: de uma estrutura com foco na máxima eficiência e utilização para redução do MCT.....	34
2.4	CONCEITO-CHAVE III: ENTENDER E EXPLORAR A DINÂMICA DO SISTEMA (SYSTEM DYNAMICS).....	36
2.4.1	O efeito da utilização no tempo de fluxo.....	37
2.4.2	Efeito da variabilidade no tempo de fluxo.....	38
2.4.3	Efeito do tamanho do lote no tempo de fluxo.....	40
2.4.4	O efeito da redução de set up no tempo de fluxo.....	41
2.5	CONCEITO-CHAVE IV: FOCAR A REDUÇÃO DO LEAD TIME NA EMPRESA COMO UM TODO.....	42
2.5.1	QRM no escritório.....	43
2.5.2	QRM na cadeia de suprimentos.....	45
2.5.3	QRM na introdução de novos produtos.....	47

2.5.4 QRM no sistema de produção	49
2.6 A IMPLEMENTAÇÃO DO QRM.....	49
3 SISTEMA POLCA: REVISÃO, CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DA LITERATURA	52
3.1 INTRODUÇÃO	52
3.2 SISTEMA POLCA.....	53
3.3 CLASSIFICAÇÃO DA LITERATURA SOBRE O SISTEMA POLCA.....	55
3.3.1 Metodologia de Pesquisa.....	55
3.3.2 O sistema de classificação proposto.....	56
3.3.3 Classificação da revisão bibliográfica.....	57
3.4 ANÁLISES	58
3.4.1 Análise quantitativa.....	58
3.4.2 Análise qualitativa.....	61
3.5 REVISÃO DA LITERATURA SOBRE SISTEMA POLCA.....	64
3.5.1 Trabalhos que consideram o sistema POLCA original.....	64
3.5.1.1 Trabalhos que apresentam o funcionamento do sistema POLCA.....	64
3.5.1.2 Trabalhos que comparam qualitativamente o POLCA com outros SCO.....	65
3.5.1.3 Trabalhos que comparam quantitativamente POLCA com outros SCO.....	65
3.5.1.4 Trabalhos que mostram simulação na prática do sistema POLCA	67
3.5.1.5 Trabalhos que possuem mais de um objetivo principal.....	68
3.5.2 Trabalhos que consideram o sistema POLCA modificado	69
3.5.2.1 Trabalhos que apresentam o funcionamento do sistema POLCA modificado uma comparação quantitativa com outros SCO.....	70
3.5.2.2 Trabalhos que apresentam o funcionamento do sistema POLCA modificado e mostram sua aplicação na prática.....	70
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	71
4 ESTUDO DE CASO.....	73
4.1 O SETOR DE BENS DE CAPITAL	73
4.2 A EMPRESA ESTUDADA	75
4.3 ANÁLISE DO PROBLEMA	76
4.4 VASO DE PRESSÃO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO	77
4.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS: O LEAD TIME ATUAL DO VASO DE PRESSÃO	82

4.6	ANÁLISE DAS CAUSAS DE ESPERA.....	84
5	PROPOSTA DE MELHORIAS	88
5.1	DETALHAMENTO DAS SUGESTÕES DE MELHORIAS	88
5.1.1	Fabricação do tampo	88
5.1.2	Fabricação dos bocais e boca de visita.....	91
5.1.3	Montagem das miscelâneas.....	95
5.2	RESULTADOS ESPERADOS	97
6	CONCLUSÃO	105
7	REFERÊNCIAS	108
	APÊNDICE A – PROTOCOLO DE PESQUISA.....	114
	APÊNDICE B - ROTEIRO DE ENTREVISTA – ETAPA 1	119
	APÊNDICE C - ROTEIRO DE ENTREVISTA – ETAPA 2	120
	APÊNDICE D – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO 1	122
	APÊNDICE E – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO 2	125
	APÊNDICE F – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO 3.....	128
	ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE BENS DE CAPITAL	131

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório são descritos a contextualização da pesquisa, os objetivos – geral e específicos, a justificativa do tema e os procedimentos metodológicos aplicados no trabalho. Finaliza-se o capítulo com a apresentação da estrutura geral da dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A partir do ano de 2006, observou-se um aquecimento significativo no setor de bens de capital, acompanhado dos investimentos na economia brasileira, o que proporcionou um grande crescimento dos investimentos nas indústrias deste setor (ARAÚJO, 2009). Este crescimento levou a uma intensificação do processo de reestruturação interna nas empresas, responsável pela geração de novas tecnologias, aquisição de maquinário, e contratação de mão de obra, resultando em aumento da capacidade produtiva e geração de renda.

Entretanto, para absorver todo esse aquecimento surgiram alguns problemas, dentre os quais a grande dificuldade em cumprir o prazo de entrega contratual dos equipamentos.

São vários os fatores que tem impactado diretamente no prazo de entrega ao cliente, como: o processo produtivo flexível, os grandes ciclos de fabricação, as alterações de projetos, filas na produção entre outros.

É importante ressaltar, que o atraso em uma encomenda, acaba gerando uma fila de espera para outras encomendas, haja visto, a necessidade de recursos de produção, espaço físico, mão de obra, etc. Além disso, deve ser levado em consideração a insatisfação do cliente e as multas contratuais de valores exacerbados previsto em contrato que podem ser aplicadas de acordo com a duração do atraso.

O prazo de entrega de uma forma geral tem sido um dos critérios ganhadores de pedido no mercado. Ao não cumprir com os prazos acordados, a empresa deixa de garantir seus próximos pedidos em sua carteira de encomendas, deixando de atingir suas metas de faturamento, podendo perder inclusive clientes de fidelidade (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Os critérios ganhadores de pedido apresentam grande contribuição na determinação das prioridades competitivas de uma empresa. Estas por sua vez, refletem as necessidades da

estratégia competitiva e implicam na escolha de determinados objetivos de desempenho a fim de contribuir com o sucesso da empresa.

Dentre os critérios de desempenho existentes, a velocidade de entrega e, por conseguinte, a busca pela redução do *lead time* surge como um dos principais objetivos adotados por uma empresa para competir no mercado, visto que estratégias baseadas no tempo visam fornecer respostas rápidas a seus clientes.

Embora o termo *lead time* seja bastante conhecido, é importante destacar a sua definição. Neste trabalho, o termo *lead time* é entendido como sinônimo do termo *Manufacturing Critical-Path Time* (MCT) conforme proposto por Ericksen, Stoflet e Suri (2007). Os autores define MCT como “a típica quantidade de tempo, medida em dias corridos, desde a criação de uma ordem, passando pelo caminho crítico, até o momento em que pelo menos uma peça da ordem é entregue ao cliente”.

Para Suri (1998), muitos são os benefícios relacionados à redução do *lead time*: redução de custos em todas as etapas do ciclo de vida do produto, maior satisfação dos clientes, aumento da fatia de mercado da empresa e maiores lucros. Diante dessas vantagens evidentes, cada vez mais as empresas têm dedicado esforços para a redução do *lead time*.

A redução do *lead time* no presente trabalho será estudada com base na abordagem *Quick Response Manufacturing* (QRM) proposta por Rajan Suri em 1998, nos EUA. Esta metodologia tem como finalidade a redução de *lead time* em um ambiente com alta variedade de produtos e demonstra como o tempo pode ser uma vantagem estratégica.

É exatamente neste contexto que esse trabalho se enquadra, tendo por objetivo apresentar uma proposta de redução de *lead time* a partir da aplicação da abordagem *Quick Response Manufacturing* (QRM) no setor de produção de uma empresa de bens de capital.

Para alcançar este objetivo, a pesquisa apresenta os princípios e ferramentas para a redução do *lead time* da abordagem QRM, além de uma revisão do sistema POLCA - ferramenta proposta pela QRM utilizado para o controle da produção. A partir disso, será possível relacionar as principais causas de espera do sistema produtivo estudado e posteriormente apresentar as propostas de melhoria.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral do presente trabalho é apresentar uma proposta para a redução de *lead time* a partir da aplicação dos conceitos e ferramentas da metodologia *Quick Response Manufacturing* (QRM) em uma empresa do setor de bens de capital.

Como objetivos específicos pretende-se:

- Apresentar uma revisão da literatura a respeito da metodologia QRM;
- Apresentar uma revisão e classificação de trabalhos sobre o sistema POLCA;
- Contribuir com a empresa estudada por meio de propostas de implantação de melhorias no processo de fabricação em que foi realizado o estudo de caso;
- Ampliar a literatura da metodologia QRM e sistema POLCA no Brasil.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Nas últimas décadas as empresas têm enfrentado importantes e crescentes desafios, principalmente em resultado da concorrência imposta pela globalização dos mercados de produtos e fatores de produção. Dessa forma, os consumidores tornam-se cada vez mais exigentes e estão sempre em busca de novos produtos, altamente qualificados, customizados e produzidos rapidamente. Diante destas transformações, cabe à manufatura responder de maneira rápida a essa demanda, tornando-se relevantes os esforços para a redução do *lead time*.

Neste contexto, é válido ressaltar que este indicador vem ganhando bastante atenção desde o final dos anos 1980 com o surgimento da Manufatura Responsiva (MR) ou estratégia da Competição Baseada no Tempo (TBC) proposta por Stalk e Hout (1990); e ganhou um enfoque maior com o surgimento de um método pragmático denominado QRM (*Quick Response Manufacturing*) criado por Suri (1998).

De acordo com o QRM Center, um dos maiores centros de pesquisa mundial estabelecido na Universidade de Wisconsin, em Madison, o QRM já foi aplicado em mais de duzentas empresas americanas demonstrando excelentes resultados em termos de redução de *lead time*. Os resultados mostram-se altamente atraente para o desenvolvimento da presente pesquisa, já que a metodologia QRM é pouco conhecida no Brasil e também poderá contribuir

com sua divulgação. Além disso, referente à prática, principalmente brasileira, tem-se que a utilização do sistema POLCA ainda é inexistente em território nacional.

Dessa forma, pretende-se com este trabalho explorar os princípios e ferramentas do QRM na empresa estudada a fim de alcançar relevante redução de *lead time* no processo de fabricação estudado, verificar e quantificar o efeito das propostas por meio de simulação do sistema POLCA, bem como difundir aplicação da metodologia QRM e sistema POLCA nas empresas brasileiras.

1.4 PROCEDIMENTOS METODÓLOGICOS

Esta seção descreve os procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho, bem como as justificativas para a escolha da metodologia.

1.4.1 Abordagem e método de pesquisa

A pesquisa científica em Engenharia de Produção e Gestão de Operações pode ser classificada basicamente quanto à natureza, a abordagem do problema de pesquisa e o método (MIGUEL, 2007; GIL, 2009; GANGA, 2012).

Quanto à natureza, uma pesquisa pode ser caracterizada como básica ou aplicada. Este trabalho consiste em uma pesquisa aplicada uma vez que procura gerar conhecimentos para a aplicação prática, dirigidas à solução de um problema específico.

Em relação à abordagem, uma pesquisa pode ser classificada como quantitativa, qualitativa ou combinada. Este trabalho consiste em uma abordagem híbrida (quantitativa e qualitativa), uma vez que se pretende delinear e interpretar o fenômeno estudado dentro de um contexto real e mensurar variáveis de pesquisa através de simulação.

Os métodos de pesquisa podem receber diversas classificações conforme a definição de diferentes autores, sendo possível destacar quatro métodos mais apropriados na área de engenharia de produção: *survey*, pesquisa-ação, modelagem e simulação e estudo de caso (BRYMAN, 1989; MARTINS, 2010). Dentre elas, é possível destacar dois métodos de características qualitativas: pesquisa-ação e estudo de caso e, outros dois quantitativos: *survey* e modelagem e simulação.

A parte qualitativa deste trabalho envolve o estudo de caso, que serve para o delineamento do problema de pesquisa com o objetivo de investigar um fenômeno dentro de um contexto real e contribuir para uma teoria vigente.

O estudo de caso, segundo Miguel (2010) é um trabalho empírico que investiga um dado fenômeno atual dentro de um contexto real por meio da análise aprofundada de um ou mais objetos de análises (casos). Essa análise possibilita a geração de um conhecimento amplo e detalhado sobre o fenômeno estudado, permitindo o desenvolvimento de novas teorias e aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos. Yin (2010) define cinco componentes de um projeto de pesquisa que são especialmente importantes para os estudos de casos: as questões do estudo, as proposições, a(s) unidade(s) de análise, a lógica que une os dados às proposições e os critérios para interpretar as constatações.

Já a parte quantitativa é constituída pelo método de simulação em que se pretende manipular variáveis por meio de um modelo computacional a fim de analisar o comportamento das mesmas dentro do sistema produtivo em que estão inseridas.

De acordo com Meredith et al. (1989) a simulação é uma abordagem de geração de conhecimento racioanal. Tem como objetivo explicar o comportamento ou parte do comportamento dos processos reais ou então capturar os problemas de tomada de decisões enfrentados pelos gestores em operações reais. O método de modelagem e simulação apresenta técnicas para a simplificação da realidade por meio da construção de modelos matemáticos e de simulação, permitindo a manipulação das variáveis e suas inter-relações dentro do modelo (BERTRAND; FRANSOO, 2002; BERENDS; ROMME, 1999).

1.4.2 Estudo de caso

Os estudos de casos podem ser classificados quanto ao seu conteúdo e objetivo final em exploratórios, explanatórios, ou descritivos e quanto a quantidade de casos em caso único ou casos múltiplos (YIN, 2010; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

Quanto à primeira classificação citada acima, esta pesquisa classifica-se como tipo exploratório uma vez que se pretende estudar um fenômeno com teoria bem definida a fim de obter uma melhor compreensão do comportamento do mesmo e de suas variáveis. O tipo explanatório não é aplicável, pois a pesquisa não procura examinar relação de causa e efeito entre dois ou mais fenômenos, fatos ou variáveis. Já o tipo descritivo também não é utilizado,

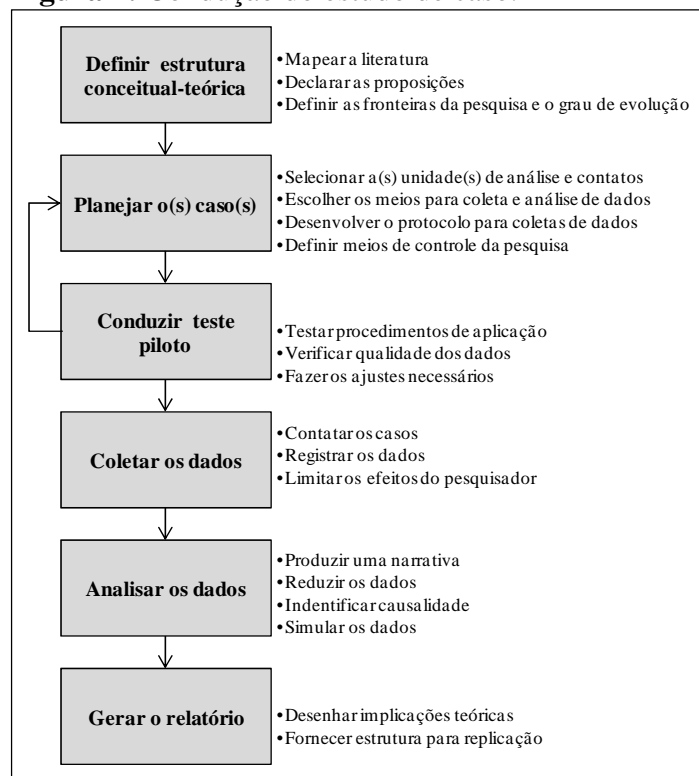
pois não haverá uma descrição das variáveis e da distribuição do fenômeno em estudo em uma dada população.

Já em relação à segunda classificação, o trabalho em questão constitui-se de um estudo de caso único, realizado em uma empresa de bens de capital e pode ser caracterizado como um caso representativo e longitudinal, uma vez que o objetivo é captar as circunstâncias e as condições de uma situação diária (YIN, 2010). O estudo de caso único tem como finalidade proporcionar maior aprofundamento na investigação, porém é necessária uma investigação cuidadosa do caso potencial, uma vez que existe uma limitação no grau de generalização e o risco de um julgamento inadequado em função de ser um fenômeno ou evento único (MIGUEL, 2010; YIN, 2010).

Para a execução de um estudo de caso, deve-se ter em mente que a preparação demanda atenção para as habilidades do investigador, o seu treinamento, a preparação para a realização do estudo de caso, o desenvolvimento de um protocolo e a condução de um estudo piloto. (YIN, 1989).

Neste trabalho, a condução do estudo de caso será realizada conforme proposta de conteúdo e sequência de Miguel (2010) que pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1: Condução do estudo de caso.



Fonte: Adaptado de Miguel (2010).

Estrutura conceitual-teórica

De acordo com Hopp e Spearman (2008), a manufatura é um sistema composto por fluxos de produtos e informações, os quais são suportados por vários subsistemas e variáveis. Neste sentido, os autores destacam a importância de estudar as relações entre as variáveis no chão de fábrica, visando aumentar o grau de conhecimento e intuição dos gerentes de produção a respeito da dinâmica dos fluxos produtivos.

Desta forma, o referencial teórico deste trabalho consistiu em entender as variáveis que afetam negativamente o *lead time* do caso em estudo. Podem ser citadas como principais variáveis: tempo médio de processamento, tempo de *set up*, utilização do equipamento, tamanho do lote, variabilidade do tempo entre as chegadas de ordens e no tempo de processamento.

Para isto, buscou-se por meio da metodologia QRM (*Quick Response Manufacturing*) avaliar o efeito de alguns de seus conceitos em determinadas variáveis de chão de fábrica a fim de se obter a redução do *lead time*. Dentro da teoria do QRM, o sistema POLCA recebe relevante importância como estratégia de melhoria no chão de fábrica.

Planejamento do caso

Após determinar o caso, deve-se então desenvolver os métodos e técnicas para a coleta e análise dos dados. Desta forma, foi desenvolvido um protocolo para o estudo de caso.

De acordo com Yin (2010), o protocolo é mais do que um questionário ou instrumento, pois também contém os procedimentos e as regras gerais a serem seguidos na coleta de dados. Desta forma, o protocolo consiste em uma maneira importante de aumentar a confiabilidade da pesquisa de estudo de caso.

O resumo do protocolo de pesquisa do presente trabalho (Apêndice A) com as principais macrovariáveis do estudo de caso e as etapas da pesquisa é mostrado nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1: Macrovariáveis do estudo de caso.

Constructos da pesquisa	Protocolo dos dados coletados
Descrição dos casos	Estudo de caso único em uma empresa de bens de capital com fabricação sob encomenda
Estruturação dos estudos de casos	O estudo de caso será dividido em 3 etapas: <ul style="list-style-type: none"> • Etapa 1: definição do segmento a ser estudado (<i>Target Market Segment</i>) • Etapa 2: definição do produto ou processo dentro do segmento definido (<i>Focused Target Market Segment</i>) • Etapa 3: coleta e análise de dados do produto definido e seu respectivo processo de fabricação
Procedimentos de campo	As informações sobre os processos da empresa serão coletadas por meio de entrevistas semi-estruturadas, análise documental (relatórios) e observação direta a partir de visitas locais pré-agendadas
Análise de dados	A análise irá abranger a interpretação e cruzamento de informações que será realizada juntamente com os colaboradores das áreas fabris, além de uma simulação por meio do software PROMODEL® para quantificar os efeitos dos dados coletados
Procedimentos para proteção dos participantes	Todas as informações serão validadas juntos aos entrevistados e outros envolvidos no processo e ao final do estudo de caso, o mesmo será apresentada à empresa a fim obter o consentimento da divulgação da pesquisa

Fonte: Proposto pelo autor.

Quadro 2: Etapas da pesquisa.

	Objetivo	Duração	Procedimentos
Fase 1	Obter informações sobre os segmentos que a empresa atua e seus produtos para definir qual deles é mais adequado para o desenvolvimento da pesquisa	1 dia	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevistas semi-estruturadas com gerente geral da unidade e gerente industrial e visitas às instalações fabris
Fase 2	Buscar informações mais detalhadas sobre o processo de fabricação do produto identificado na Fase 1	1 dia	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevistas semi-estruturadas com coordenador de Planejamento e Controle da Produção (PCP), supervisor da fábrica e encarregado da produção
Fase 3	Coletar dados históricos e elaborar o fluxograma do processo de fabricação e o mapeamento do MCT	3 a 4 meses	<ul style="list-style-type: none"> • Análise documental: aquisição do histórico de dados do produto estudado, a partir de documentos disponíveis na rede interna e no sistema ERP da empresa (pedidos de fabricação, desenhos, cronogramas, ordens de produção, packing lists) • Observação direta: acompanhamento diário das atividades e do cronograma de fabricação para elaboração do fluxograma do processo de fabricação e o mapeamento do MCT • Entrevistas não estruturadas (informal) com os colaboradores do chão de fábrica

Fonte: Proposto pelo autor.

Coleta de dados

As entrevistas foram realizadas com gerentes, coordenadores e colaboradores da fábrica e os questionários preenchidos em conjuntamente pelo pesquisador e entrevistado. Para Boni e Quaresma (2005), as entrevistas semi-estruturadas combinam perguntas abertas e fechadas, em que o informante tem a possibilidade de discorrer sobre o tema proposto. Ainda segundo os mesmos autores, o pesquisador deve seguir um conjunto de questões previamente definidas, mas que ocorre dentro de um contexto muito semelhante ao de uma conversa informal, proporcionando, assim, uma abertura para o entrevistador fazer perguntas adicionais ou recompor o contexto da entrevista caso o informante encontre dificuldades com a mesma.

Os roteiros das entrevistas realizadas nas etapas 1 e 2 são encontrados nos Apêndices B e C respectivamente.

A análise de documentos desempenha um papel relevante na coleta de dados, uma vez que é utilizada para corroborar e aumentar a evidência de outras fontes (YIN, 2010). A coleta abrangeu documentos produzidos durante o período de investigação e de registros em arquivo (dados históricos da empresa).

Já as observações diretas foram efetuadas por meio de visitas à empresa, mais especificamente no chão de fábrica. De acordo com Yin (2010), a evidência observacional é frequentemente útil para proporcionar informacional sobre o tópico estudado.

Análise dos dados

Após a coleta de dados, efetuou-se a análise dos dados abrangendo a interpretação e o cruzamento de informações, além de uma simulação para quantificar e analisar os efeitos dos dados coletados em relação ao objetivo da pesquisa.

Primeiramente, um mapa do estado atual da área de produção foi elaborado para posteriormente identificarem-se quais as principais causas e seus respectivos pontos de ocorrência que estão impactando em um longo *lead time* do produto. Após um estudo mais aprofundado sobre estas causas, foi possível, então, elaborar um plano de proposta de melhoria, ou seja, uma proposta de redução de *lead time* no processo de fabricação da empresa em questão, baseado nos conceitos e ferramentas do QRM. Por fim, realizou-se uma simulação via *software* PROMODEL[®] versão *Student* para verificação e validação do sistema

POLCA adaptado, possibilitando quantificar e analisar os efeitos da redução do *lead time* nas variáveis do chão de fábrica.

Elaboração do relatório

Por fim, após a conclusão da coleta e análise dos dados, realizou-se a consolidação das informações obtidas e a redação do relatório do estudo de caso. Este relatório foi dividido nas seguintes partes: dados gerais da empresa estudada, análise do problema, aspectos do produto, análise das causas de espera e propostas de melhoria.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho apresenta-se estruturado em seis capítulos mais as referências bibliográficas.

No capítulo 1, denominado introdução, são apresentados uma contextualização do tema, os objetivos do trabalho, a justificativa do tema, a metodologia de pesquisa e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 apresenta os conceitos fundamentais da metodologia QRM, descrevendo os quatro conceitos-chaves, princípios e ferramentas, bem como os passos para sua implementação.

No capítulo 3 é apresentado uma revisão da literatura a respeito do sistema POLCA e a partir de tal revisão é proposto um sistema de classificação a qual permite uma melhor análise da literatura. Por fim são realizadas análises sobre o tema e algumas conclusões.

O capítulo 4 mostra o estudo de caso realizado em uma empresa de bens de capital, em que é apresentada uma sucinta descrição do setor de bens de capital, da empresa, do produto estudado e o seu processo de fabricação. Em seguida apresenta-se os dados coletados e sua análise para obtenção do *lead time* atual do processo de fabricação.

No capítulo 5, são apresentadas as propostas de melhoria e os ganhos gerados a partir dos resultados esperados, além dos resultados da simulação do sistema POLCA adaptado por meio do software PROMODEL[®].

Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as considerações finais, expondo as conclusões do trabalho.

2 QUICK RESPONSE MANUFACTURING (QRM)

O objetivo deste capítulo é apresentar uma visão geral sobre o método *Quick Response Manufacturing* (QRM) utilizado no presente trabalho. Inicialmente, na seção 2.1, faz-se uma breve contextualização do tema. Em seguida são apresentados os princípios, técnicas e ferramentas do QRM estruturados de acordo com os quatro conceitos-chaves (seções de 2.2 a 2.5). Por fim, na seção 2.6, é descrito o processo de implementação do QRM.

2.1 CONCEITUALIZAÇÃO DO QRM

Quick Response Manufacturing (QRM) ou Manufatura de Resposta Rápida é uma filosofia criada pelo professor Rajan Suri da Universidade de Wisconsin (EUA) que ficou conhecida a partir da publicação do livro “*Quick response manufacturing: a companywide approach to reducing lead times*” em 1998.

O QRM teve suas raízes no *Time Based Competition* (TBC – competição baseada no tempo) japonês, que surgiu nos anos 90 e tem como objetivo aumentar a velocidade para ganhar vantagem competitiva.

Alguns autores denominam esta estratégia de Manufatura Responsiva, pois consideram que não é somente o tempo o principal objetivo ganhador de pedidos, mas sim a responsividade, pois procura atender flexibilidade, velocidade e pontualidade.

Embora o TBC tenha sido de grande importância para as empresas na definição de suas estratégias competitivas, a maior parte dos trabalhos referentes ao tema era apenas sobre os benefícios de se reduzir o tempo de resposta.

Empresas que usavam o TBC entregavam seus produtos ou serviços mais rápido que seus concorrentes. O TBC se prestava a qualquer tipo de empresa, enquanto o QRM se especializa em manufatura (SURI, 1998).

Foi então que surgiu o QRM, um método pragmático com a finalidade de se obter reduções nos *lead times* e ao mesmo tempo, trabalhando em um ambiente com alta variedade de produtos distintos.

O método pode ser utilizado nas empresas em dois contextos: internamente e externamente. Internamente, a busca pela redução de *lead times* se dá pelas mudanças culturais na empresa e reduções do MCT (*Manufacturing Critical-Path Time*) nas operações

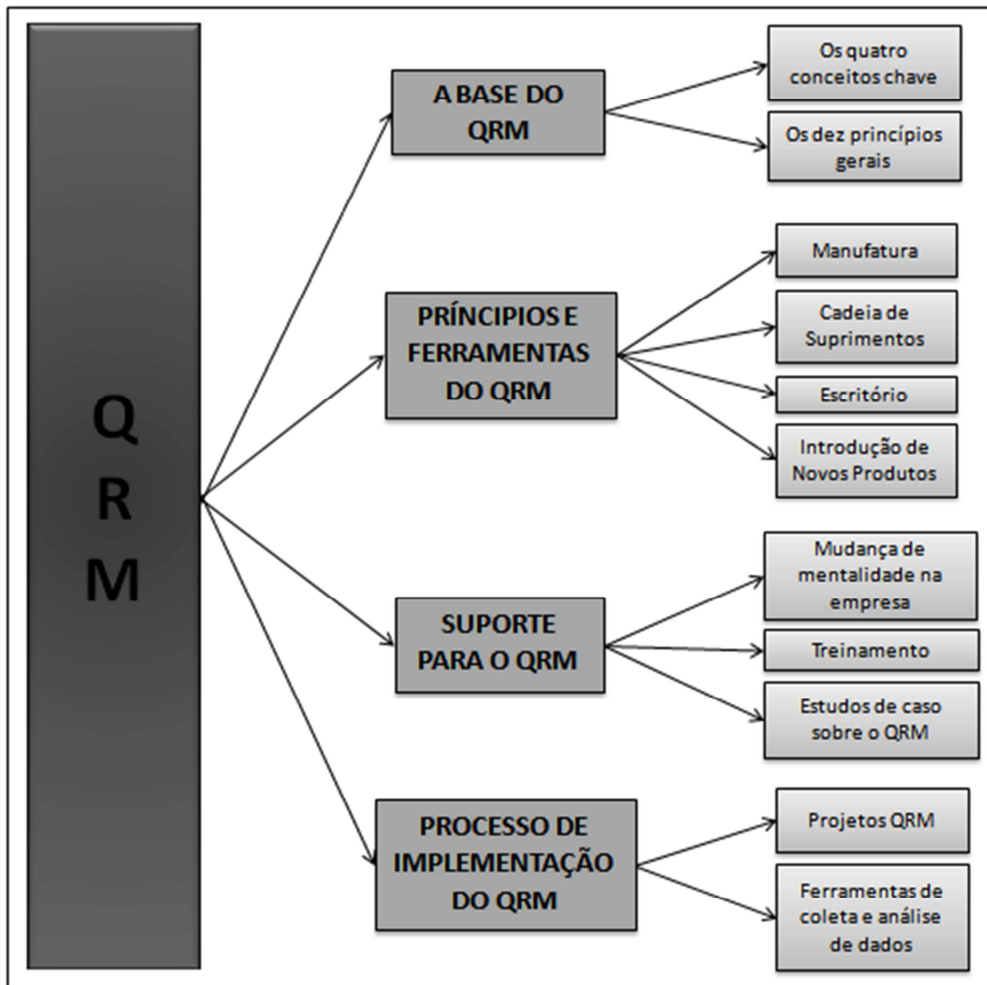
da empresa a fim de obter reduções de custo, ganhos na qualidade e eliminação de atividades que não agregam valor ao negócio. Já no ambiente externo às operações da empresa concentra-se em responder às necessidades dos clientes de forma rápida através de produtos projetados e fabricados rapidamente de forma customizada.

Os principais refinamentos feitos no TBC pelo QRM são (SURI, 1998):

- Focar somente em manufatura;
- Usar os princípios da dinâmica de sistemas para obter percepções de como melhor reorganizar uma empresa para obter resposta rápida;
- Esclarecer gerentes sobre mal entendidos na aplicação de estratégias baseadas no tempo;
- Providenciar princípios específicos para QRM de modo a se repensar o processo
- Desenvolver uma nova abordagem de planejamento e controle;
- Desenvolver novas medidas de desempenho;
- Entender o que leva ao sucesso da implementação do QRM.

Basicamente, o QRM é formado por quatro pilares: a base, os princípios e ferramentas, o suporte e o processo de implementação, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2: Os pilares do QRM.



Fonte: Adaptado de Suri (1998).

As bases do QRM podem ser compreendidas por meio de quatro conceitos-chave que serão detalhados ao longo deste capítulo nas próximas seções:

- 1) Entender e explorar o poder do tempo;
- 2) Alterar a estrutura da organização para conseguir redução do *lead time*;
- 3) Entender e explorar a dinâmica do sistema (*System Dynamics*);
- 4) Focar a redução do *lead time* na empresa como um todo.

Os princípios, ferramentas e o suporte para o QRM serão explicados conforme a divisão dos quatro conceitos-chaves.

2.2 CONCEITO-CHAVE I: ENTENDER E EXPLORAR O PODER DO TEMPO

No QRM o *lead time* deve direcionar todas as estratégias e decisões adotadas pela empresa, já que a redução do *lead time* é o objetivo principal da metodologia.

Existem inúmeras definições para o termo *lead time* de acordo com diferentes autores e com o ambiente em que é empregado (suprimentos, planejamento, produção, etc), mas de uma maneira geral, *lead time* pode ser definido como “o tempo desde quando uma ordem é emitida por um cliente até o momento que a ordem é recebida por este cliente”.

Entretanto a tradicional definição de *lead time* não é adequada para o QRM, pois de acordo com Ericksen, Stoflet e Suri (2007) ela não ajuda a compreender e eliminar o desperdício do sistema como um todo e, não dá qualquer indicação de como o cumprimento da ordem é alcançado. Desta forma, foi proposto o termo *Manufacturing Critical-Path Time* (MCT) para auxiliar no entendimento de *lead time* no âmbito da abordagem QRM. Ainda segundo os mesmos autores, MCT é definido como “a típica quantidade de tempo, medida em dias corridos, desde a criação de uma ordem, passando pelo caminho crítico, até o momento em que pelo menos uma peça da ordem é entregue ao cliente”.

De acordo com Suri (2010), para o cálculo do MCT devem ser levadas as seguintes considerações:

- Os cálculos devem ter seu escopo limitado;
- Valores aproximados são bons o suficiente para estimativas iniciais do MCT;
- Não se deve esquecer do *Work-in-Process* (WIP);
- Utilizar a “Lei de Little” ($WIP = \text{Taxa de Fluxo} \times \text{Tempo de Fluxo}$) para obter estimativas rápidas, na qual se considera seus termos como sendo médias e estáveis;
- Considerar todos os itens do inventário, incluindo matéria-prima, WIP e produto acabado;
- Usar o caminho mais longo (crítico);
- Calcular o tempo de execução baseado em uma unidade do produto.

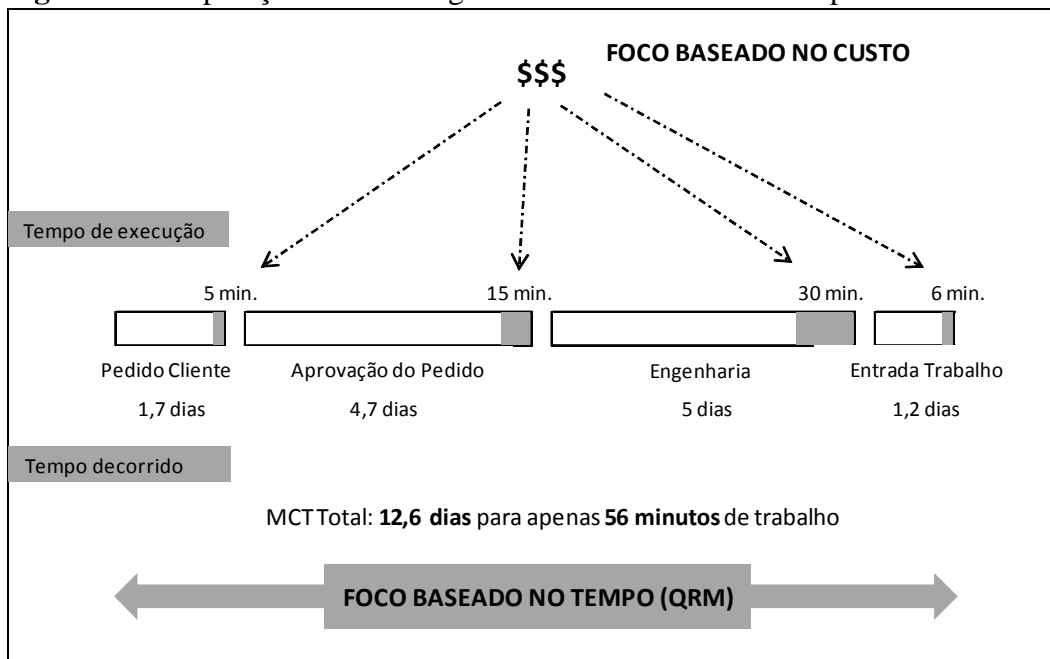
A partir dos cálculos do MCT, elabora-se então o mapa MCT que demonstra uma melhor representação dos dados coletados. O mapa é simples de ser entendido e geralmente é ilustrado com duas cores: (i) espaço cinza que representa o tempo de execução, ou seja, a quantidade de tempo em que há agregação de valor e, (ii) espaço branco que representa o tempo de fila/espera, ou seja, a quantidade de tempo em que não há agregação de valor. Para

sua elaboração não se deve incluir itens não-críticos, a matéria-prima não deve ser esquecida e o tempo deve ser convertido em dias (SURI, 2010).

Ao contrário dos métodos tradicionais que buscam o menor custo, o MCT busca nos piores *lead times* oportunidades de fazer melhorias e aplicar ações criativas (SURI, 1998). Desta forma, os métodos QRM podem ser implementados sobre os tempos de fila (espaço branco do mapa) a fim de trazer benefícios como: aumento na fatia de mercado, rapidez no atendimento de pedidos, redução de custos, rápida introdução de novos produtos no mercado e eliminação de diferentes tipos de desperdícios e ineficiências.

Já os métodos baseados em custo concentram seus esforços em reduzir os tempos de execução (espaço cinza do mapa), o que não é garantia de melhorias nos resultados. A Figura 3 ilustra a comparação dos dois métodos.

Figura 3: Comparação das abordagens baseadas em custo e tempo.



Fonte: Adaptado de Suri (2010).

A abordagem QRM geralmente leva a um foco bem mais amplo em relação ao que se pode melhorar e resulta em diferentes decisões gerenciais quando comparado com os resultados da abordagem baseada no custo.

2.3 CONCEITO-CHAVE II: ALTERAR A ESTRUTURA ORGANIZACIONAL PARA CONSEGUIR REDUÇÃO DO *LEAD TIME*

As empresas geralmente estão organizadas e estruturadas baseadas em dois princípios: economias de escala e foco na redução de custo, diferentemente do princípio do QRM que busca encontrar novas maneiras de concluir uma tarefa com foco na minimização do MCT.

De acordo com Suri (2010), a alteração na estrutura organizacional está relacionada a mudanças em quatro áreas: organização (*layout*), gestão, trabalhadores e mentalidade da empresa, conforme descrito a seguir.

2.3.1 *Layout*: de funcional para celular

O termo manufatura celular, propriamente dito, descreve um tipo de *layout* fabril. Fernandes e Godinho Filho (2010) definem este tipo de *layout* como sendo constituído da divisão de todos os componentes fabricados em famílias e todas as máquinas que compõem o processo de produção em grupos, obtendo-se a situação na qual todos os elementos de uma mesma família possam ser processados idealmente em um único grupo de máquinas.

Suri (1998) destaca que a manufatura celular consiste de um conjunto de máquinas (geralmente distintas), em proximidade umas das outras, dispostas de acordo com o roteiro do produto para minimizar a movimentação de peças. Em termos de organização do trabalho, a célula é operada por um time de trabalhadores multifuncionais que são treinados para desempenhar diversas operações, e que assumem completa responsabilidade pela qualidade e desempenho de entrega.

Característica distintiva da célula é o fato de ser dedicada a produzir uma família de produtos que necessitam operações similares, tendo como objetivo completar todas as operações dos produtos dentro da célula. Isto significa que todos os recursos necessários para completar as operações devem estar disponíveis dentro da célula (SURI, 1998).

As células QRM são projetadas em torno de um *Focused Target Market Segment* (FTMS), ou seja, um segmento de mercado específico que representa uma oportunidade de benefícios para a empresa por meio da redução de *lead time*.

A busca de um FTMS começa pelos *brainstorms* de um grupo multifuncional e é refinado por meio de um processo iterativo. Nessa busca deve-se identificar uma oportunidade de mercado ou uma necessidade de negócio e buscar por uma situação que se beneficie com a redução de *lead time*, conhecida como *Target Market Segment* (SURI, 1998).

Em seguida deve-se estreitar este segmento até chegar ao FTMS. Nesta busca deve-se utilizar algumas características dos produtos para criar o segmento, tais como: consumidor ou mercado; características físicas; roteiros de produção; cadeia de abastecimento e questões a terceirizar; tipos de tarefas; produtos de necessidade estratégica (SURI, 1998).

Após definido o FTMS, identifica-se uma família de produto que poderá causar grande impacto (“*make a splash*”) nos *lead times*, isto é, criar uma mudança perceptível nas vendas ou satisfação do cliente ou ambos (SURI, 1998). Por fim, pode-se então, definir uma célula QRM.

Suri (2010) enfatiza quatro características que a célula QRM deve conter a fim de proporcionar maior flexibilidade do que as células tradicionais: recursos totalmente dedicados para a célula; recursos posicionados próximos um do outro; recursos multifuncionais e uma sequência de operações completa para todos os trabalhos pertencentes ao FTMS especificado.

O conjunto de recursos inclui máquinas específicas e uma equipe de pessoas multifuncional que tem atuação completa no funcionamento da célula.

De maneira sintetizada, Suri (1998) propõe o processo de implementação da manufatura celular descrito anteriormente em sete passos sequenciais. São eles:

- 1) Inicie implementando células para um segmento de mercado específico, o qual representa uma oportunidade ou uma ameaça;
- 2) Escolha para iniciar com uma família que faça com que a redução de *lead time* seja capaz de criar um impacto positivo na organização;
- 3) Utilize procedimentos quantitativos para encontrar as famílias;
- 4) Garanta que as famílias formadas dependam o menos possível de operações fora das células, garantindo assim o *ownership*;
- 5) Crie a célula fisicamente;
- 6) Treine os trabalhadores e gerentes nos princípios de *system dynamics*;
- 7) Utilize voluntários para formar a força de trabalho das células.

Apesar de considerar a manufatura celular fundamental para um projeto QRM, Suri (1998) reconhece que a implantação da mesma está longe de ser trivial. Muitas empresas têm

falhado ao implantar as células, sendo as razões chave para isso a interpretação errônea dos conceitos básicos da manufatura celular e a manutenção de políticas organizacionais tradicionais após a implementação das células.

Entretanto, quando bem implementado e aderido pela empresa, Suri (1998) enumera diversos benefícios proporcionados pelas células QRM:

- Fluxo de produto simples e claro, levando a uma alta visibilidade das tarefas e facilidade de controle;
- Redução no manuseio de materiais, que não só reduz o tempo, mas também pode reduzir os defeitos causados pelo frequente manuseio e movimentação;
- Enriquecimento do trabalho, levando a uma maior satisfação do funcionário;
- *Onwership* combinado com *cross-training* e comunicação frequente, levando a esforços de melhoria contínua, com redução de atividades sem valor agregado tais como *set ups* e tempo ocioso e também em uma melhor produtividade através de melhoria no processo;
- Melhoria da qualidade e redução de retrabalho;
- Descentralização da programação e controle detalhado, levando a sistemas mais simples que têm maior chance de sucesso em suas tarefas;
- Capacidade para executar pequenos lotes, que combinado com a proximidade das operações e transferência de lote, resultam em curtos *lead times* e baixo WIP.

Suri (1998) observa que nem sempre é possível utilizar rigorosamente os passos descritos anteriormente para a formação de uma célula de manufatura. Existem situações em que uma certa operação ou processo são compartilhados por toda a empresa ou até mesmo realizado por um terceiro, não sendo possível incorporá-los dentro de uma célula. Nestas situações, é necessário repensar de forma criativa a implementação das células combinando princípios de engenharia e gestão. Segue algumas práticas:

- Repensar nas escolhas de material para combinar, eliminar ou trazer operações para dentro das células;
- Utilizar escalas menores na implementação do processo tecnológico dentro da célula;
- Repensar o processo escolhido;
- Repensar no *design* para modificar características e funcionalidades;

- Usar rotas baseadas no tempo ao invés de rotas baseadas em custo para determinar a escolha de equipamentos;
- Alterar sequências de operações;
- Trazer operações para dentro da célula trocando normas e políticas da empresa;
- Eliminar operações completamente.

Se nenhuma das estratégias citadas ou combinação delas for possível, Suri (1998) sugere a utilização dos conceitos de *time-slicing* (compartilhamento de recursos), células virtuais e divisão de células como forma de contornar os obstáculos.

A aplicação da técnica do *time-slicing* ocorre quando um determinado recurso é utilizado por várias células de produção e não está acessível a todas elas, já que a incorporação deste recurso é economicamente e fisicamente inviável a todas as células. Dessa forma, é realizado um compartilhamento deste recurso dividindo o tempo de produção do mesmo entre as células de produção, programado de acordo com a capacidade requerida por cada célula.

O Quadro 3 mostra a programação de um recurso compartilhado por quatro células (A, B, C e D) de acordo com os turnos de trabalho.

Quadro 3: Ilustração de *time-slicing* para um recurso compartilhado.

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
1º Turno	Célula B		Célula B		Célula B
2º Turno		Célula A		Célula A	
3º Turno		Célula C		Célula D	

Fonte: Adaptado de Suri (2010).

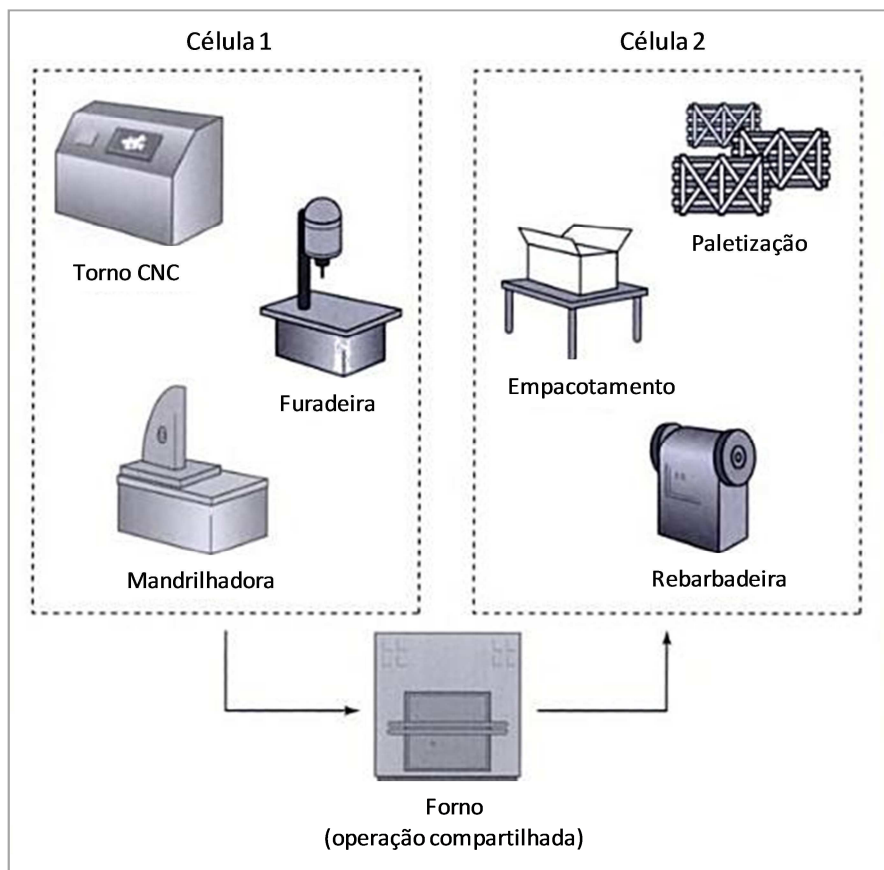
Suri (1998) enfatiza que o sucesso da aplicação do *time-slicing* depende das disciplinas dos times das células em fazer a capacidade de produção deste recurso acessível a cada célula. Além disso, qualquer alteração na programação do recurso deve ser combinada entre os times e não decidido pelo gerente, ou seja, os funcionários tem autonomia na tomada de decisão.

Para situações em que não é possível implementar o *time-slicing*, uma outra maneira para o compartilhamento interno de uma fábrica, é estabelecer um relacionamento entre uma empresa terceirizada da fábrica e a célula.

A aplicação da técnica de célula virtual ocorre quando a mudança física de um determinado recurso não é possível em razão do seu tamanho e peso. O conceito da célula virtual refere-se a células onde equipamentos não são movimentados junto à formação das mesmas, porém são identificados para a utilização na fabricação de uma dada família de peças.

Por fim, uma abordagem um pouco menos eficaz para utilizar quando uma operação externa é requerida, é dividir a célula em duas células, sendo a primeira predecessora e a segunda sucessora da operação que está fora da célula. A Figura 4 ilustra a divisão de uma célula em duas.

Figura 4: Duas células com uma operação externa entre elas.



Fonte: Adaptado de Suri (1998).

Desta forma, cada célula possui ainda a “propriedade” do segmento de operações do início ao fim, e pode definir metas de *lead time* para cada equipe sem que ela seja frustrada com a incapacidade de atingir os objetivos devido a fatores fora de seu controle (SURI, 1998).

2.3.2 Gestão: de um sistema de controle *top-down* para um sistema de controle descentralizado por times de trabalho que sejam responsáveis pelo processo (*ownership*)

Em um ambiente típico de chão de fábrica, o supervisor da área detém todo o controle; ele é responsável em atribuir as tarefas aos funcionários, decidir as prioridades entre os postos de trabalho e alocar as pessoas conforme necessidade.

Já em uma célula QRM, de acordo com Suri (2010), a equipe recebe somente o trabalho juntamente com os prazos que cada um deve ser concluído, daí em diante, a responsabilidade pelas operações no interior da célula é totalmente da equipe; eles decidem qual o próximo trabalho a ser iniciado, quem irá operar cada máquina ou quem vai ajudar um ao outro. A equipe tem autonomia para párar um trabalho a fim de resolver algum problema de qualidade ou fazer alguma reunião de time. Em alguns casos, a equipe tem a flexibilidade de trabalhar até mais tarde ou sair mais cedo, dentro dos parâmetros estabelecidos pela administração.

Segundo o mesmo autor, este tipo de sistema em que o funcionário tem autoridade sobre suas decisões, contribui tanto para melhoria da produtividade quanto para aumento da satisfação dos funcionários, superando até mesmo as expectativas gerenciais.

2.3.3 Trabalhadores: de funcionários especializados e como foco limitado para funcionários capacitados em múltiplas tarefas (*cross-trained*)

Suri (1998) e Suri (2010) cita algumas razões da importância da conscientização da alta gerência em realizar investimentos em *cross-trained*:

- As células são muito variadas em suas necessidades, e assim gargalos mudam de dia para dia e de trabalho para trabalho. O *cross-training* cria uma força de trabalho flexível, que pode ser alterada para alocar capacidade de acordo com os gargalos em um dado momento;
- Com o moderno maquinário automatizado e semi-automatizado não é necessário um operador para cada máquina, ou seja, um operador *cross-trained* consegue operar em mais de uma máquina e ao mesmo tempo;

- O *cross-training* resulta em muitas melhorias de produtividade;
- O *cross-training* garante que o trabalho na célula não seja interrompido em situações de absenteísmo por causa de doença ou férias;
- O trabalho na célula torna-se mais variado e enriquecido e menos monótono, além de contribuir com a motivação dos funcionários.

A fim de obter o *cross-training* de forma rápida e certa, Suri (2010) também sugere alguns passos. Inicialmente, cria-se uma matriz *cross-training* a fim de decidir quem são as pessoas a serem treinadas em quais tarefas: rotula-se o nome dos membros da equipe nas linhas e as habilidades nas colunas. É sugerido que pelo menos dois membros da equipe sejam competentes em cada habilidade. Posteriormente, cria-se um regime de treinamento para os membros da equipe menos qualificados. Adicionalmente, deve-se garantir que os membros mais experientes tenham a responsabilidade de executar o *cross-training*. Caso necessário, pode-se fazer o uso de recursos externos para realizar o treinamento.

2.3.4 Mentalidade: de uma estrutura com foco na máxima eficiência e utilização para redução do MCT

Os tradicionais sistemas de medição de empresas de manufatura concentram-se em métricas financeiras ou derivadas da estratégia baseada no custo. Conforme Suri (1998) estes sistemas de métrica não estão suficientemente sincronizados com a estratégia de manufatura resultando em indicadores de desempenho retrógrados e, em tomadas de decisões errôneas baseadas na eficiência, custo e utilização.

Dessa maneira, surge-se a necessidade de desenvolver novos indicadores de desempenho, baseados na redução do MCT. Suri (2010) sugere a utilização do “Número QRM” que quantifica os ganhos em relação à redução do MCT e estabelece a razão entre o MCT inicial e o atual. O “Número QRM” é representado pela expressão 1:

$$N^{\circ} \text{ QRM atual} = \frac{MCT \text{ inicial}}{MCT \text{ atual}} \quad (1)$$

Como pode ser observado o MCT atual aparece no denominador da fórmula. De acordo com Suri (2010), isso tem o propósito de causar um impacto positivo na equipe, já que quando a equipe realiza o trabalho de forma eficaz, valor do MCT reduz, porém o “Número

QRM” aumenta. Desta forma, os resultados de desempenho desejados em um número crescente será mais motivador para equipe.

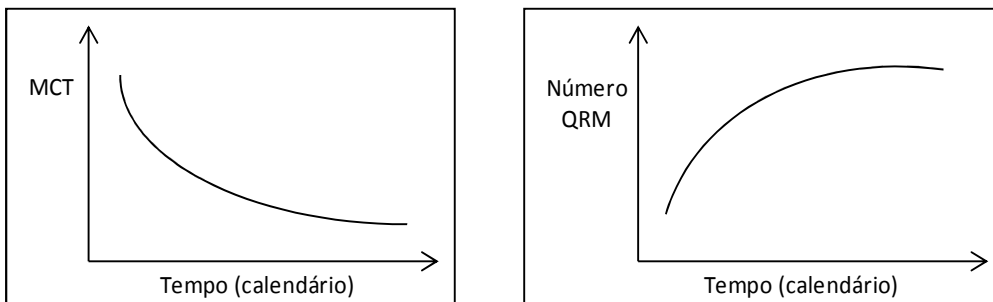
Isto pode ser melhor visualizado no Quadro 4 e Figura 5, que ilustram o exemplo do desempenho de uma equipe ao longo de um ano (de janeiro a dezembro), em que cada trimestre é medido o valor do MCT. Pode-se observar que o valor médio do MCT é reduzido de 12 para 7 dias, impactando em um aumento do “Número QRM” de 100 para 171.

Quadro 4: Exemplo de aplicação do “Número QRM”.

Calendário	MCT médio	Cálculo Detalhado	Número QRM
Janeiro - Março	12 dias	$(12/12) \times 100$	100
Abril - Junho	10 dias	$(12/10) \times 100$	120
Julho - Setembro	8 dias	$(12/8) \times 100$	150
Outubro - Dezembro	7 dias	$(12/7) \times 100$	171

Fonte: Adaptado de Suri (2010).

Figura 5: Impacto do “Número QRM” na equipe de trabalho.



Fonte: Adaptado de Suri (2010).

O “Número QRM” é uma métrica única e unificada de velocidade que pode ser utilizada em outros indicadores de desempenho similares podem ser propostos a fim de se obter a redução do MCT. Suri (1998) cita algumas diretrizes que podem auxiliar no uso de outros indicadores de desempenho:

- Complementar a métrica principal com um pequeno número de métricas secundárias;
- Garantir que as métricas são diretamente relevantes para a estratégia de manufatura;
- Manter as métricas simples;
- Visualizar as métricas claramente;

- Complementar o número QRM e/ou outros indicadores com métricas detalhadas e diretas.

2.4 CONCEITO-CHAVE III: ENTENDER E EXPLORAR A DINÂMICA DO SISTEMA (*SYSTEM DYNAMICS*)

Este conceito está relacionado a entender que o *lead time* é resultado da dinâmica e das interações entre os recursos, produtos e tarefas.

A Dinâmica de Sistemas (SD – *System Dynamics*) é uma metodologia de modelagem que auxilia a compreender como a estrutura de sistemas complexos reage a estímulos externos e internos. Desenvolvida na década de 1950 pelo professor Jay W. Forrester no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), a metodologia ganhou relevância nas últimas décadas pela facilidade de representar estruturas complexas e de explicar os mecanismos que produzem o comportamento dinâmico.

No caso específico do QRM a ferramenta básica para entender e explorar o SD é a utilização de um *software* denominado MPX. Esta ferramenta foi desenvolvida dentro do escopo da chamada Tecnologia de Modelagem Rápida (RMT - *Rapid Modeling Technology*), a qual se baseia em modelos de teorias de filas e é capaz de relacionar variáveis importantes do chão de fábrica tais como tamanho de lote, *lead time*, tempo de *set up*, utilização, variabilidade dos tempos, dentre outras.

Dentro deste contexto, Suri (2010) demonstra como o SD impacta no MCT, por meio das interações entre máquinas, pessoas e produtos. Para isto, o autor destaca alguns comportamentos fundamentais dos sistemas de manufatura que advém da dinâmica destes sistemas e que devem formar uma base intuitiva para a gerência. Estes comportamentos são: o efeito da utilização; o efeito da variabilidade; o efeito do tamanho de lote e a influência que a redução de *set up* tem neste relacionamento. Estes quatro comportamentos são apresentados a seguir.

2.4.1 O efeito da utilização no tempo de fluxo

Para entender este comportamento, inicialmente é necessário definir o que é utilização e tempo de fluxo. De acordo com Suri (2010) no QRM, utilização é a razão entre o tempo total que a máquina está ocupada por alguma tarefa (incluindo o tempo em que está disponível para manutenção) e o tempo total que a fábrica (ou área) está programada para trabalhar. Já o tempo de fluxo de um trabalho chegando em um recurso é o tempo médio que este recurso leva para finalizar o trabalho que estava na frente (este é o tempo de espera ou tempo de fila, ou seja, o tempo gasto na fila de espera para o recurso tornar-se disponível), começar o trabalho que chegou e finalmente completá-lo.

A partir disso, Suri (2010) mostra como um alto valor de utilização tem grande impacto sobre o tempo de fluxo e, conseqüentemente, sobre o MCT. Para isto é utilizado a fórmula do “efeito do aumento da utilização” sobre os tempos de fila nos recursos, determinada por M (*Magnifying Effect of Utilization*), conforme expressão 2:

$$M = \frac{u}{1 - u} \quad (2)$$

em que u é o valor de utilização;

A fórmula mostra como os tempos de fila aumentam quando o valor da utilização é empurrado para cima. Por exemplo, se um recurso tem uma utilização de 75% ($u = 0,75$), então M tem o valor de $0,75/0,25$ ou 3. No entanto, se o mesmo recurso tem uma utilização de 90%, então M tem o valor $0,9/0,1$ ou 9. Ou seja, com apenas um aumento de 15% na utilização o valor de M triplicou, concluindo-se que valor de M é proporcional ao tempo de fila e também pode ser calculado pela razão entre o tempo de fila em determinado recurso.

Dessa forma o autor mostra que manter as máquinas e pessoas ocupadas o tempo todo, ou seja, com 100% de utilização, gera longos MCT, crescimento das filas e trabalhos esperando por recursos. Portanto uma utilização menor, isto é, com capacidade ociosa gera MCT menores.

Suri (2010) expressa este *insight* através da fórmula do “efeito milagroso da capacidade ociosa”, conhecida com M (*Miraculous Effect of Spare Capacity*), conforme expressão 3:

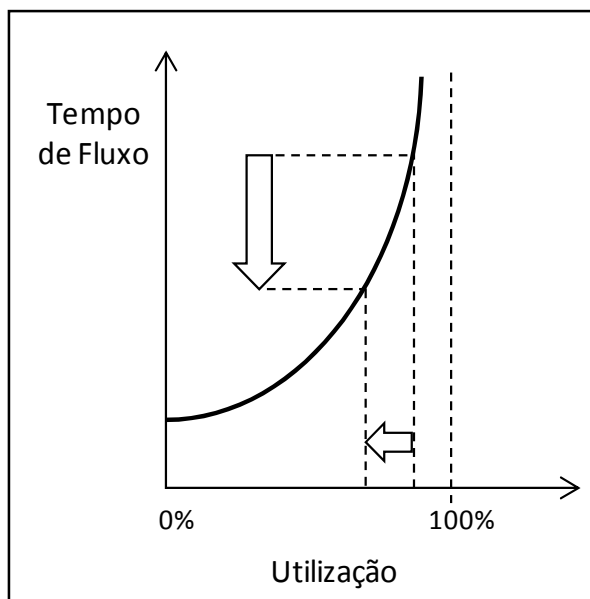
$$M = \frac{1 - s}{s} \quad (3)$$

em que $s = 1 - u$ é a capacidade ociosa.

A fórmula mostra o benefício da capacidade ociosa de duas maneiras. A primeira, pelo fato do “s” estar no denominador, em que quando a capacidade ociosa aumenta o valor de M diminui rapidamente, ou seja, os tempos de espera também diminuem. Segundo, o numerador “1-s” é reduzido quando a capacidade ociosa é aumentada. Por exemplo, quando uma capacidade ociosa é aumentada de 10% para 20% o valor de M cai de 9 para 4, obtendo uma redução de 55% no tempo de espera.

Os efeitos da utilização e da capacidade ociosa podem ser visualizados na Figura 6.

Figura 6: O efeito da utilização no tempo de fluxo.



Fonte: Adaptado de Suri (2010).

2.4.2 Efeito da variabilidade no tempo de fluxo

Para entender a natureza dos efeitos da variabilidade em um sistema de manufatura no contexto QRM, Suri (2010) destaca que o conceito de variabilidade é usado em relação ao tempo. Especificamente, há dois tipos de variabilidade relacionada ao tempo que impacta no tempo de fluxo: (i) variabilidade no tempo de chegada do trabalho ao recurso e (ii) variabilidade no tempo que o recurso gasta para completar cada trabalho (isto inclui tempo de *set up* mais o tempo para completar todas as peças do trabalho).

O autor mostra os efeitos destas variabilidades de acordo com as fórmulas a seguir.

Considerando que:

QT é o tempo de fila;

AV é a variabilidade média;

TJ é o tempo médio para um trabalho;

M é o efeito do aumento da utilização.

Temos o tempo de fila representado pela expressão 4:

$$QT = AV \times M \times TJ \quad (4)$$

Assim pode-se obter a fórmula para o tempo de fluxo já que este é calculado pelo tempo médio de fila mais o tempo médio gasto para completar um trabalho, conforme expressão 5:

$$\text{Fluxo de Tempo} = (AV \times M \times TJ) + TJ \quad (5)$$

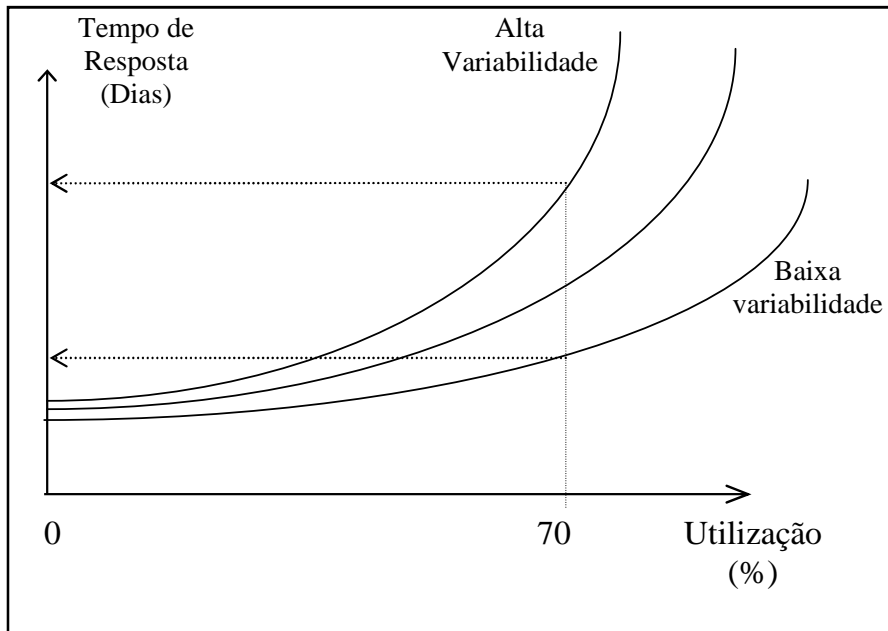
A partir da fórmula é possível perceber que há três itens que aumentam o tempo de fluxo: AV, M e TJ. Dessa forma, Suri (2010) expressa três maneiras para reduzir este tempo de fluxo e conseqüentemente reduzir o MCT:

- Reduzir variabilidade média (AV);
- Reduzir o efeito do aumento da utilização (M) e criar capacidade ociosa;
- Reduzir o tempo para execução do trabalho (TJ).

O autor dá algumas sugestões de como estas reduções podem ser alcançadas: padronizar os tempos de troca e investigar oportunidades para reduzir os tempos de *set up*; padronizar os tempos de operação e investir em maneiras para reduzi-lo; planejar o tamanho dos lotes; reduzir a ocorrência de retrabalhos; reduzir paradas planejadas dos equipamentos; reduzir o absenteísmo não planejado dos trabalhadores e, separar os trabalhos com requisitos complexas daquelas mais simples.

A Figura 7 ilustra o impacto combinado das estratégias citadas acima para reduzir o efeito da variabilidade o tempo de fluxo.

Figura 7: O efeito combinado da utilização e da variabilidade no tempo de fluxo.

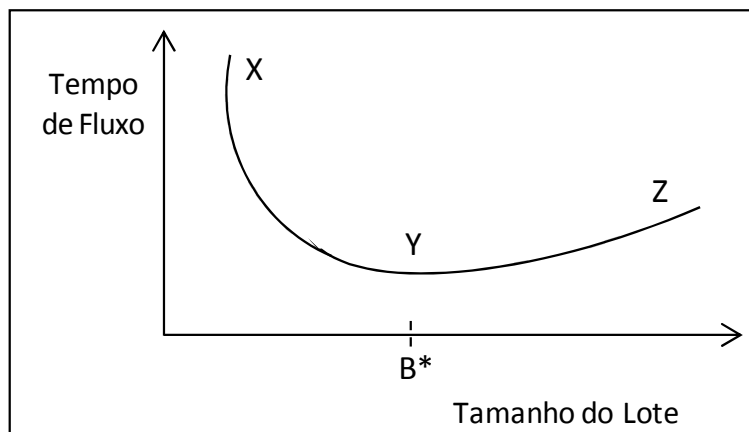


Fonte: Adaptado Suri (2010).

2.4.3 Efeito do tamanho do lote no tempo de fluxo

Enquanto a abordagem tradicional adotada pelas empresas de manufatura estimula a produção em lotes grandes, o QRM direciona para um tamanho de lote ótimo que leva a minimização do tempo de fluxo. Suri (2010) mostra através da Figura 8 o impacto do tamanho do lote no tempo de fluxo.

Figura 8: O efeito do tamanho do lote no tempo de fluxo.



Fonte: Adaptado de Suri (2010).

No ponto Z do gráfico, observa-se a utilização de lotes grandes ocasionando longos tempos de fluxo por dois motivos: cada lote leva muito tempo para passar por cada operação e, lotes esperam por longos tempos atrás de outros grandes lotes que estão ocupando os recursos necessários.

Em seguida, observa-se que no centro do gráfico, os tamanhos dos lotes tornam-se menores e os trabalhos movem-se de forma mais rápida, fazendo com que o tempo de fluxo diminua. Entretanto, estes lotes menores requerem mais *set ups* e quanto mais *set ups*, os recursos na produção tornam-se mais altamente utilizados. Desta forma, os tempos de filas tornam-se maiores, chegando a um ponto, representado pelo ponto Y no gráfico, que o tempo de fluxo total começa a aumentar.

Movendo para o ponto X, percebe-se que o tamanho dos lotes são tão pequenos que gastam quase todo o seu tempo em *set ups*, não restando capacidade para fazer os produtos e aumentando o tempo de fluxo substancialmente.

Desta forma percebe-se que é necessário encontrar um tamanho de lote ótimo, representado pelo ponto B* da Figura 8, que resulte em tempos de fluxos menores e consequentemente na diminuição do MCT.

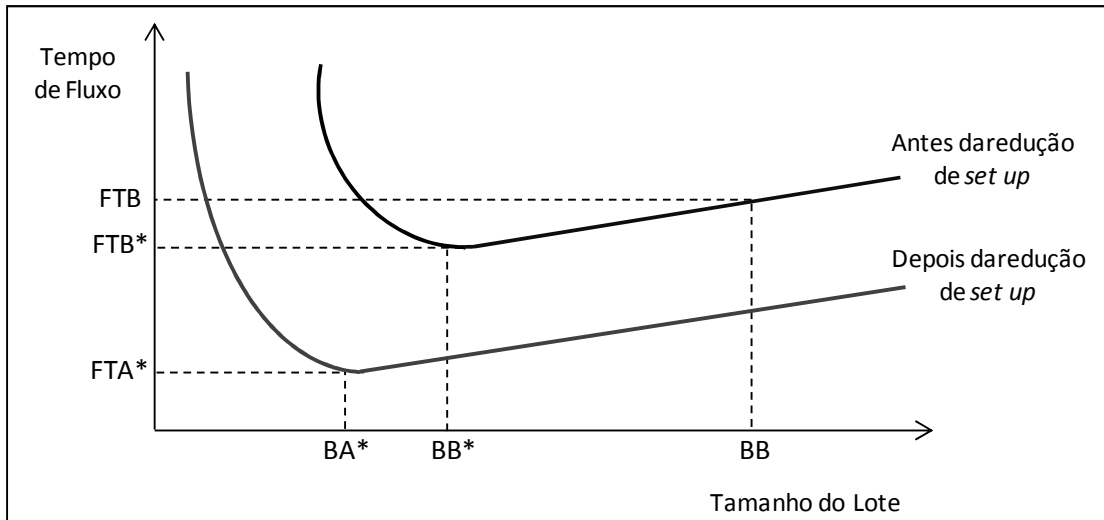
Este tamanho de lote pode ser encontrado por meio de uma ferramenta de RMT como o MPX ou simulação com outros *softwares* de modelagem dinâmica.

2.4.4 O efeito da redução de *set up* no tempo de fluxo

De acordo com Suri (2010), a redução de *set up* é uma importante parte da estratégia para redução do tempo de fluxo.

Programas de redução de *set up* fazem com que a curva de tamanho de lote versus tempo de fluxo se desloque para a esquerda, ou seja, faz com que se consiga reduzir ainda mais o tamanho do lote e consequentemente também o *lead time*. Isto pode ser ilustrado pela Figura 9.

Figura 9: Impacto combinado da redução do *set up* e tamanho de lote sobre o tempo de fluxo.



Fonte: Adaptado de Suri (2010).

Na Figura 9, o FTB indica o valor do tempo de fluxo e o BB o tamanho do lote antes de melhorias de *set up* serem feitas. Já o FTA representa o tempo de fluxo após a redução do tempo de *set up* e do tamanho do lote. Os pontos identificados com asteriscos identificam os valores ótimos que impactam em menor redução do MCT.

A partir dos efeitos das variáveis descritos acima, pode-se concluir que a Dinâmica de Sistemas (SD) desempenha um papel fundamental no sistema de manufatura, principalmente quando se trata dos tempos de fluxo e MCT. Dessa forma, algumas políticas no chão de fábrica são de extrema importância para o QRM. São elas:

- Redução na utilização dos recursos ou aumento da capacidade ociosa;
- Programas de redução da variabilidade no tempo de chegada do trabalho ao recurso e no tempo que o recurso gasta para completar cada trabalho;
- Produção em tamanho de lotes otimizados;
- Implantação de programas de redução de *set up*.

2.5 CONCEITO-CHAVE IV: FOCAR A REDUÇÃO DO *LEAD TIME* NA EMPRESA COMO UM TODO

Apesar de ter suas raízes no chão de fábrica, o QRM visa conseguir reduções de *lead time* por meio de melhorias neste ambiente, mas em outras áreas da empresa, tais como o

escritório, a cadeia de suprimentos e o desenvolvimento de novos produtos. Para Suri (2010), o QRM deve ser difundido e enraizado em toda a empresa, constituindo assim uma estratégia organizacional unificada.

2.5.1 QRM no escritório

Suri (1998) define atividades no escritório sendo todas as atividades necessárias para o processamento de um pedido, mas que não ocorrem especificamente no chão de fábrica. Dessa forma exemplos de atividades no escritório são: processamento de cotações, processamento dos pedidos, atividades de engenharia, atividades de desenvolvimento de novos produtos, planejamento e programação da produção, contratação de funcionários, dentre outras.

O escritório é uma das áreas da empresa que mais apresenta oportunidade para a redução do *lead time*. Estudos mostram que as atividades realizadas no escritório podem ser responsáveis por mais da metade do *lead time* total em uma empresa; contabilizam mais de 25% dos seus custos; influenciam significativamente na taxa de entregas no prazo e, impactam no *market share* global (SURI, 2010).

A tradicional estrutura organizacional baseada no tempo é formada por departamentos funcionais que, geralmente, possuem muitas entregas para serem processadas por cada trabalho e operam com alta utilização na tentativa de reduzir custos. Isto ocasiona grandes atrasos, longos *lead times*, problemas de qualidade e eventualmente aumento de custos para toda a organização. Desta forma, Suri (2010) enfatiza a importância de estender a métrica do MCT para as atividades de escritório com o seguinte princípio: “encontre novas maneiras de completar um trabalho, com foco principal na minimização do MCT”.

Suri (1998) apresenta uma sequência de passos a serem seguidos para que as mudanças necessárias no escritório para a redução do *lead time* ocorra de forma eficaz. São eles:

- 1) Focar em um segmento de mercado: para a aplicação do QRM é necessário encontrar um segmento de mercado em que exista uma oportunidade de sucesso via uma estratégia de resposta rápida;

- 2) Determinar o produto do processamento no escritório para este segmento: o produto se refere ao resultado dos passos realizados no escritório relativos ao segmento de mercado escolhido no passo anterior;
- 3) Identificar as atividades no escritório necessárias para se chegar a este produto: para esta identificação podem ser utilizadas duas ferramentas - mapeamento do processo e *tagging*;
- 4) Buscar a subdivisão do segmento de mercado encontrado de acordo com simplicidade das atividades: tentar identificar se existe algum subsegmento do mercado que requer atividades mais simples, nas quais poderiam ser separadas na busca de um *lead time* menor;
- 5) Determinar se o subsegmento encontrado no passo anterior representa uma oportunidade de mercado significativa: uma vez encontrado um segmento que pode ter seu *lead time* reduzido consideravelmente, é necessário saber se há uma parcela significativa do mercado interessada neste subsegmento. Caso exista este subsegmento, denominado de FTMS (*Focused target market segment*) deve-se ir para o passo seguinte (6); caso contrário retorne ao passo anterior (4);
- 6) Focar os esforços iniciais do QRM no FTMS: é necessário delimitar a fronteira do FTMS, identificar as atividades, os materiais, características, dentre outros e focar o QRM neste segmento;
- 7) Criar uma célula no escritório para servir o FTMS: a versão de célula para o escritório é denominado Q-ROC (*Quick Response Office Cell*) e ela deve ser formada por uma equipe multifuncional e com a responsabilidade de executar todas as atividades necessárias no escritório para o FTMS;
- 8) Repensar o projeto das operações para FTMS: dentro do Q-ROC deve-se buscar e promover novas formas de executar as atividades visando uma redução ainda maior de *lead time*. Exemplos de alterações nas atividades que podem auxiliar na redução do *lead time* são: combinar passos, eliminar passos, redesenhar passos contínuos, dentre outros;
- 9) Fornecer recursos e suporte para garantir o fluxo rápido dos trabalhos: muitas vezes serão necessários recursos adicionais para garantir o sucesso do Q-ROC, como por exemplo, treinamento em múltiplas funções;

- 10) Eliminar sistemas de controle e de aprovação tradicionais: o Q-ROC deve ter autonomia para a tomada de decisões, uma vez que os controles e aprovações dos sistemas tradicionais levam ao aumento de passos necessários e consequente aumento no *lead time*;
- 11) Verificar a oportunidade de integração entre as células do escritório e as células de manufatura: caso seja possível, uma redução ainda maior no *lead time* é possível via integração do Q-ROC com a célula de manufatura.

Apesar dos princípios citados anteriormente formarem a base para uma resposta rápida nas atividades de escritório, eles não garantem o sucesso após implantação. Suri (2010) destaca algumas razões que podem ser obstáculos durante a reorganização nas operações de escritório: falta de uso dos princípios da Dinâmica de Sistemas (SD) para complementar os princípios organizacionais; uso obsoleto de indicadores de desempenho e, uma mentalidade da tradicional gestão.

2.5.2 QRM na cadeia de suprimentos

Com relação à cadeia de suprimentos, pode-se dividir os princípios e ferramentas do QRM em dois grandes grupos: estratégias voltadas aos fornecedores e estratégias voltadas aos clientes.

Para entender o impacto dos fornecedores com longo *lead time*, Suri (2010) explica que não é somente o *lead time* planejado que é incluído no MCT, mas também tempo de escritório, produção de componentes, pontos de estocagem e outros já vistos anteriormente neste capítulo. Além disso, os fornecedores também incluem no seu “verdadeiro custo” outros custos como: estoques elevados, frete, mudanças de engenharia não planejadas criando estoque obsoleto, problemas de qualidade, tempo do pessoal para comunicação com os fornecedores. Por estas razões, o autor enfatiza a importância de motivar os fornecedores a reduzir seus MCTs implementando o QRM, resultando em pequenos lotes de entrega com baixo custo, melhor qualidade e menor *lead time*.

Dessa forma, Suri (1998), sugere estratégias do QRM voltadas aos fornecedores que formam a chamada Gestão de Fornecedores Baseada no Tempo (*Time-Based Supply Management*):

- 1) Educar seu fornecedor com relação ao seu programa QRM: seus novos objetivos devem ser passados aos seus fornecedores e motivá-los a também implementar um programa QRM;
- 2) Utilizar o MCT como primeira medida de desempenho do fornecedor: o MCT é uma medida da capacidade do fornecedor, portanto deve ser utilizado como principal medida de avaliação. Já qualidade, custo e pontualidade de entrega devem ser utilizadas como medidas secundárias;
- 3) Repensar a utilização de fornecedores distantes e utilizar “*dual sourcing*” (dois fornecedores): para fornecedores distantes questione se não é possível buscar outros mais próximos, caso estes sejam imprescindível utilize a técnica *dual sourcing*, ou seja, para a porção previsível da demanda use fornecedores distantes e para a porção mais variável da demanda utilize fornecedores locais;
- 4) Forneça treinamento ao seu pessoal de vendas sobre o QRM: o departamento de vendas deve ser treinado com base no QRM e novas medidas de desempenho para avaliar o pessoal de vendas são necessárias;
- 5) Utilizar tecnologia de informação: ferramentas que agilizam o contato com o fornecedor e reduzem o MCT devem ser adotadas, como por exemplo, EDI (*electronic data interchange*), CAD (*computer-aided design*), dentre outros;
- 6) Fazer os fornecedores ficarem responsáveis por manter os estoques no ponto de uso, sempre que possível: esta prática, também denominada VMI (*vendor managed inventory*) simplifica o planejamento e ajuda a reduzir o MCT;
- 7) Compartilhar sua previsão e seu planejamento na cadeia de suprimentos: isto simplifica o planejamento e auxilia na redução do MCT; uma técnica chamada CPFR (*Collaboative Planning, Forecasting and Replenishment*) pode auxiliar a atingir este objetivo.

Da mesma maneira que os fornecedores, os clientes também deverão ser conscientizados sobre o seu programa QRM, visando entregas rápidas em pequenos lotes a preços razoáveis.

Suri (1998) sugere as seguintes estratégias voltadas para os clientes:

- 1) Formar parceiras com seus clientes: um trabalho deve ser realizado junto ao cliente de forma a construir uma relação de parceria visando a produção e entrega de pequenos lotes. Inicialmente, é natural que o cliente insista em receber em grandes lotes de

produtos, porém isto não deve alterar a forma de produção pelo QRM, pois se a empresa começa a produzir em grandes lotes para atender a um cliente específico, a responsividade a outros clientes pode ser abalada pelo congestionamento e grandes tempos de fila na manufatura.

- 2) Fornecer descontos que não prejudiquem seu programa QRM: no caso de fornecer descontos para grandes quantidades, isso deve ser feito baseado na quantidade pedida em um longo período de tempo (por exemplo, durante o ano todo) e não baseado nas ordens individuais.

2.5.3 QRM na introdução de novos produtos

Embora as atividades de desenvolvimento de novos produtos também podem ser consideradas uma atividade de escritório (e então os princípios vistos anteriormente também são válidos para esta função), pela importância que esta atividade tem dentro do QRM, serão apresentados alguns princípios exclusivos para esta função.

Existe uma vasta literatura sobre o desenvolvimento de novos produtos que contribuíram significativamente para a área em que autores de referência podem ser citados: Wheelwright e Clark, 1992, 1995; Zangwill, 1993; Ulrich e Eppinger, 1995; Sanderson e Uzumeri, 1997; dentre outros. Dessa forma, não é intenção do QRM propor uma nova abordagem para o rápido desenvolvimento de produtos, mas sim utilizar as abordagens já existentes, com foco na redução de *lead time*.

Alguns benefícios para uma rápida introdução de novos produtos podem ser relacionados: aumento de *market share*, entrada em novos mercados de forma mais rápida ou ao mesmo tempo em que seus concorrentes, utilizar alta tecnologia, usar poucos recursos para introdução de novos produtos e reduzir o tempo desta introdução.

De acordo com Suri (1998), os princípios aplicados a esta área podem ser divididos em dois grandes grupos: princípios gerenciais e princípios para o projeto e a manufatura.

Em relação aos princípios gerenciais são abordados:

- 1) Criar um senso de urgência logo no início do projeto: o acompanhamento para cumprimento dos prazos deve ocorrer desde o início do projeto antes que ocorram os atrasos;

- 2) Utilizar métodos de gestão de projetos e métodos de caminho crítico: ferramentas e técnicas de gestão e controle de projetos, como por exemplo, o PERT/CPM devem ser utilizados logo no início do projeto;
- 3) Controlar o escopo do projeto: é necessário que se tenha uma disciplina para “congelar” o projeto em um certo ponto, não permitindo mais modificações;
- 4) Facilitar trocas de informações mais curtas e frequentes: fazer trocas de informações com maior frequência e em ciclos menores ao invés de realizar apenas quando são completadas fases importantes do projeto;
- 5) Criar a infraestrutura para dar suporte a troca de informações: esta infraestrutura pode ser criada de várias maneiras, por exemplo: utilização de banco de dados compartilhados, reuniões periódicas, dentre outras;
- 6) Criar parcerias com clientes e fornecedores: os princípios do QRM para clientes e fornecedores devem ser utilizados também no desenvolvimento de novos produtos;
- 7) Aprender a partir de cada novo projeto: lições aprendidas, experiência e conhecimento adquirido de projetos passados devem ser aproveitados para facilitar melhorias futuras;
- 8) Utilizar ferramentas para uma resposta rápida e efetiva a cotações: cotações mais rápidas permitem uma maior agilidade no processo de compras e na tomada de decisões. Existem diversos métodos propostos na literatura para se reduzir o tempo de cotações, como por exemplo, o método proposto por Veeramani e Joshi (1997).

Em relação aos princípios para o projeto e manufatura, o autor sugere:

- 1) Utilizar plataformas: plataformas representam a base sobre a qual customizações podem ocorrer no produto. A utilização de plataformas pode auxiliar em muito a redução do *lead time* minimização de atrasos;
- 2) Utilizar QFD (*Quality Function Deployment*): o desdobramento da função qualidade, ou casa da qualidade (QFD) é uma ferramenta poderosa e também auxilia na redução de *lead times*, assegurando que o produto a ser desenvolvido atenda as necessidades do cliente;
- 3) Utilizar padronização: várias políticas podem ser criadas voltadas à padronização de componentes, submontagens, módulos, dentre outros. Exemplos destas políticas são: utilização da tecnologia de grupo, utilização de medidas de desempenho voltadas à padronização, dentre outras.

- 4) Explorar a interação entre o projeto do produto e a lista de materiais: existem várias formas para explorar esta influência mútua: aplicar estratégia de diferenciação o mais tarde possível, tentar-se eliminar operações de montagem ou fabricação, tentar-se reduzir o número de níveis da lista técnica, dentre outras técnicas;
- 5) Utilizar DFMA (*Design for manufacturing and assembly*) e prototipagem rápida: estas ferramentas contribuem para uma manufatura e montagem do produto mais rápida;
- 6) Utilizar D/A (*Design for Analysis*): esta ferramenta, proposta por Suri (1998), consiste em fazer com que os projetistas trabalhem somente com projetos que possam ser executados com ferramentas de análise simples e rápidas.

2.5.4 QRM no sistema de produção

De acordo com Suri (1998), a implementação do QRM no chão de fábrica envolve a combinação dos seguintes princípios: alteração da estrutura organizacional, levar em consideração a Dinâmica dos Sistemas (SD) e, utilizar um novo sistema de planejamento e controle da produção denominado POLCA.

Os dois primeiros princípios já foram discutidos nas seções 2.3 e 2.4; já o terceiro princípio será explicado detalhadamente no Capítulo 3.

2.6 A IMPLEMENTAÇÃO DO QRM

A implementação do QRM em uma empresa deve ser realizada paulatinamente, por meio do que Suri (1998) chama de projetos QRM. Em outras palavras, o QRM não pode ser implementado em uma empresa de uma única vez, utilizando todos os princípios ao mesmo tempo. Ao contrário de muitas outras estratégias e paradigmas de gestão, o QRM deve ser implementado via projetos, cada qual com seu objetivo, escopo, pessoal envolvido, dentre outros elementos.

O primeiro passo para a implementação é a criação da mentalidade QRM, iniciando pela alta gerência e expandindo para toda a organização. De acordo com Suri (2010), o grande obstáculo para a implementação do QRM não é a tecnologia, mas sim a “mentalidade”, uma vez que a tradicional gestão baseada no custo está enraizada nas empresas.

Para uma bem sucedida implementação do QRM são indicados quinze passos que devem ser executados sequencialmente (SURI, 1998):

- 1) Obtenha o comprometimento da alta gerência: as mudanças, muitas vezes radicais, devem ocorrer com total apoio da alta gerência;
- 2) Crie um comitê de direcionamento e nomeie um líder: o comitê deverá conter pelo menos um gerente sênior que terá a função de líder e terá a responsabilidade de identificar a área para o projeto QRM, sendo capaz de eliminar os possíveis obstáculos que surjam para o desenvolvimento do projeto nesta área;
- 3) Escolha um produto potencial de produtos e defina os objetivos macros: o termo “produto” neste caso refere-se à um segmento, uma família ou serviços, dentro outros, que formarão o foco do projeto QRM;
- 4) Reúna um time de planejamento: cabe ao comitê criar um time multifuncional formado por pessoas de diferentes departamentos que tenham grande impacto no desempenho do “produto”. A função do time de planejamento é estudar a oportunidade em detalhes e fornecer recomendações para a gerência;
- 5) Invista na construção do time: o time de planejamento deve ser bem treinado com exercícios de trabalho em equipe para que seu trabalho possa render resultados eficientes;
- 6) Colete medidas grosseiras do desempenho atual do sistema: a primeira tarefa significativa do time de planejamento é obter os indicadores de desempenho do *lead time* do atual sistema;
- 7) Refine o escopo e defina objetivos mais precisos: com uma ideia geral do desempenho do *lead time*, o time de planejamento já tem condições para estabelecer os objetivos de forma mais precisa e quais processos e atividades deverão ser incluídos no escopo;
- 8) Levante dados detalhados e faça uma análise destes dados: esta é fundamental para o entendimento do problema de redução do *lead time* e pode ser realizada por meio de entrevistas, acompanhamento de rotina; fluxograma do processo, dentre outros;
- 9) Explore soluções de *brainstorm*: o time de planejamento deve repensar em como os trabalhos são realizados tendo em vista a minimização do *lead time*; a fim de levantar potenciais soluções;
- 10) Apresente as recomendações: uma apresentação formal das recomendações feitas pelo time de planejamento deve ser realizada para o comitê e alta gerência;

- 11) Crie o time de implementação: o time de implementação é formado por pessoas que efetivamente estão envolvidas na implementação das soluções recomendadas pelo time de planejamento, como por exemplo, os trabalhadores das células;
- 12) Construa e treine o time de implementação: o time de implementação deve receber treinamento para trabalho em equipe, nas técnicas, princípios e ferramentas do QRM e também treinamento específico necessário para um trabalhador realizar mais de uma tarefa (multi especialização);
- 13) Implemente as recomendações: nesta etapa é colocado em prática as soluções recomendadas;
- 14) Revise o progresso, apresente os resultados e reconheça os envolvidos: algumas medidas como *feedbacks* e recompensas pelos esforços podem ser utilizadas;
- 15) Repita o processo para novos projetos de QRM: assim que resultados concretos forem obtidos com os esforços do primeiro projeto QRM, outros projetos adicionais deverão surgir e alguns passos tornarão mais fáceis de serem cumpridos.

Desta forma, a implementação do QRM pode trazer como resultado uma empresa verdadeiramente produtiva e com um futuro mais seguro através de benefícios como: *lead times* mais curtos, alta qualidade e preços competitivos (como uma consequência de custos mais baixos). Isto por sua vez, resulta em clientes altamente satisfeitos e crescimento no *market share* (SURI, 2010).

No Capítulo 3 é apresentada uma revisão da literatura e classificação de trabalhos sobre o sistema POLCA.

3 SISTEMA POLCA: REVISÃO, CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DA LITERATURA

3.1 INTRODUÇÃO

De acordo com Fernandes e Godinho Filho (2010) as atividades do Planejamento e Controle da Produção (PCP) envolvem uma série de decisões com o objetivo de definir o que, quanto e quando produzir, comprar e entregar, além de quem/e ou como produzir. Algumas das principais atividades do PCP, de acordo com esses autores são: previsão de demanda, planejamento agregado, programa mestre de produção, coordenação de ordens, programação da produção e controle de estoques.

O foco deste capítulo é na atividade de coordenação de ordens. Um Sistema de Coordenação de Ordens (SCO), de acordo com Fernandes e Godinho Filho (2007), programa ou organiza/explode as necessidades em termos de componentes e materiais, e/ou controla a emissão/liberação das ordens de produção e compra, e/ou programa/sequencia as tarefas nas máquinas. Portanto, um SCO coordena as ordens de produção e de compra no chão de fábrica. Mais especificamente, este trabalho apresenta uma revisão da literatura sobre o SCO denominado POLCA (*Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization*), proposto por Suri (1998). Este sistema é parte de uma estratégia da implantação do QRM na produção.

Apesar de ter sido proposto há mais de dez anos, a literatura sobre o sistema POLCA ainda é escassa, principalmente no Brasil. Diante disso, o objetivo deste capítulo é realizar uma revisão da literatura a respeito do sistema POLCA. Além disso, a partir de tal revisão, é proposto um sistema de classificação a qual permite uma melhor análise da literatura e proposta de pesquisas futuras a respeito do tema em questão. A contribuição esperada é um maior conhecimento e divulgação a respeito dos estudos existentes atualmente sobre o sistema POLCA. Para se obter um conhecimento geral sobre um determinado assunto ou área, a realização de uma classificação é uma ferramenta essencial, uma vez que a classificação é a base do conhecimento científico (GOOD, 1965).

3.2 SISTEMA POLCA

Suri (1998) define o sistema POLCA como uma estratégia híbrida que puxa e empurra a produção, combinando características dos sistemas *material requirement planning* - MRP (empurrado) e *Kanban* (puxado).

De acordo com Fernandes e Godinho Filho (2007), o sistema POLCA apresenta basicamente quatro características:

- 1) Autorização de liberação por meio de um sistema denominado HL/MRP (*higher level MRP*). O sistema HL/MRP é semelhante ao sistema MRP convencional com duas diferenças: a) o HL/MRP é baseado em uma estrutura de produtos simplificada, utilizando os *lead times* das células ao invés dos *lead times* individuais dos centros de trabalho dentro de cada célula; e b) as datas planejadas pelo HL/MRP são apenas datas nas quais as tarefas podem ser iniciadas (por isso são chamadas datas de autorização e não de liberação como no MRP convencional), sendo que seu início concreto na produção se dá somente mediante esta autorização, e também mediante a disponibilidade do cartão POLCA na célula que vai iniciar o trabalho;
- 2) Método de controle de material baseado em um cartão (denominado cartão POLCA). Estes cartões são utilizados para comunicação e controle entre as células; dentro das células pode ser usado outro sistema de controle, como por exemplo, o *Kanban*;
- 3) Os cartões POLCA, ao invés de se referirem especificamente a um produto, se referem a um par de células escolhidas da seguinte forma: se o roteiro de uma ordem qualquer sair de uma célula A para uma célula B, então é criado um cartão POLCA A/B e assim por diante para as outras etapas do processamento. Este procedimento de trabalhar com as células em pares faz com que o cartão POLCA garanta que uma célula somente irá trabalhar em uma tarefa para a qual a célula de destino tem capacidade disponível; e
- 4) O cartão POLCA para cada par de células permanece com a tarefa durante toda sua jornada (incluindo processamento) através das duas células e depois retorna para a primeira célula quando é finalizado o processamento na segunda célula. Neste momento, a primeira célula pode iniciar outra tarefa.

Resumidamente, o funcionamento do sistema POLCA é o seguinte: quando uma empresa recebe um pedido de um cliente, o sistema HL/MRP usa os *lead times* planejados de

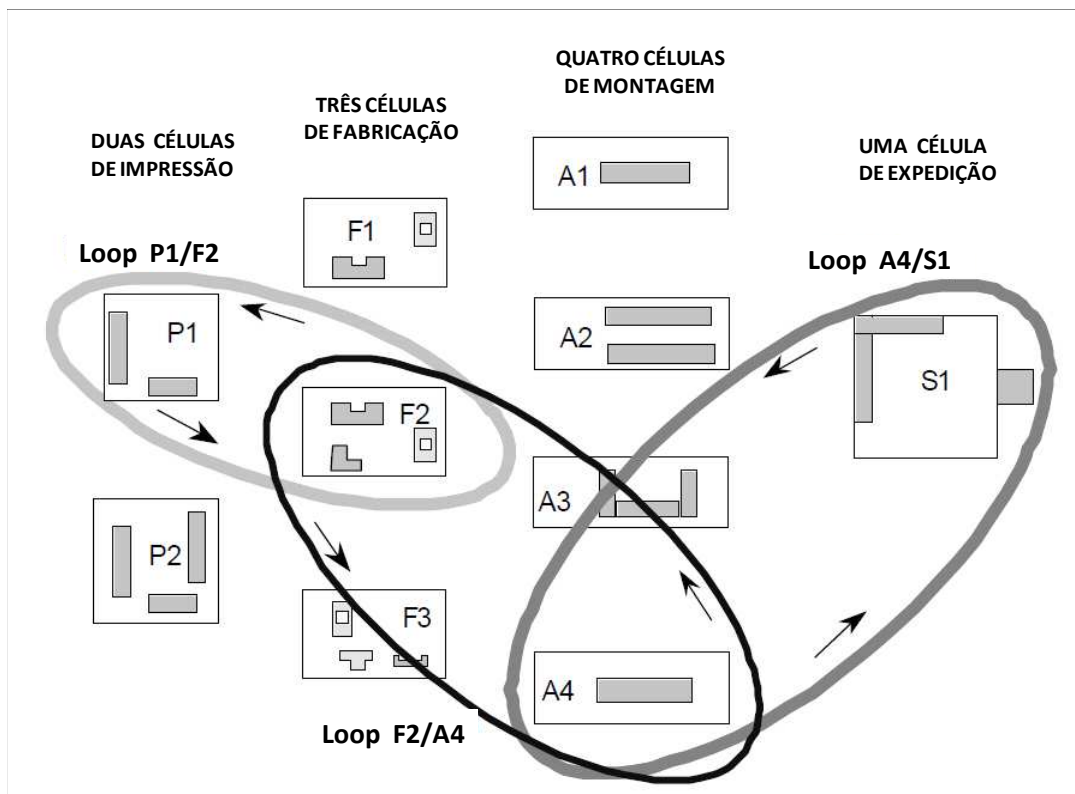
cada célula para determinar quando cada célula no roteiro do produto pode iniciar o processamento da tarefa. Estas datas de autorização serão seguidas somente se um cartão POLCA estiver disponível na célula que inicia a operação.

Para uma melhor compreensão deste sistema, Suri (1998) e Suri e Krishnamurthy (2003) consideram o exemplo de uma empresa que fabrica placas de identificação personalizadas para aparelhos de pequeno e grande porte, denominada CFP Corporation. A empresa é dividida em quatro tipos de células (impressão, fabricação, montagem e expedição) para atender seus mercados altamente variados por meio de uma estratégia QRM.

A fabricação das placas se inicia quando as três condições necessárias do sistema POLCA são atendidas: a produção é autorizada pelo sistema HL/MRP, existe matéria-prima e existe um cartão POLCA.

A Figura 10 mostra os fluxos de um cartão POLCA para uma determinada ordem na CFP Corporation. O roteiro desta ordem se inicia de P1 para F2, segue para a montagem A4 e, posteriormente, para S1 para assim ser expedido. Esta ordem, portanto, prossegue através dos *loops* do cartão POLCA com os pares P1/F2, F2/A4 e A4/S1, como mostrado na Figura 10.

Figura 10: Fluxo do cartão POLCA para determinada ordem de produção na CPF Corporation.



Fonte: Adaptado de Suri (1998).

A ordem ilustrada é programada da seguinte forma. Com matéria-prima disponível em P1 e cartão POLCA P1/F2, a tarefa é lançada em P1. Após ter completado as operações nesta célula, a tarefa e o cartão POLCA P1/F2 seguem para o pulmão de entrada de F2. Quando um dos cartões F2/A4 chega de volta a F2, a tarefa é lançada dentro da célula F2. Neste momento, a tarefa em F2 carrega dois tipos de cartão POLCA, P1/F2 e F2/A4. Quando esta tarefa é completada, o cartão P1/F2 é devolvido para o início de P1 e a tarefa é encaminhada para o pulmão de entrada de A4 junto do cartão F2/A4. O mesmo processo se repete para a célula de montagem A4, na qual é necessário um cartão A4/S1 disponível para iniciar a tarefa na célula. Quando a tarefa é completada, esta segue para o pulmão de entrada de S1, enquanto o cartão F2/A4 volta para o início da célula F2. Como S1 é a última célula do roteiro, não haverá um cartão POLCA esperando para iniciar a produção e a tarefa pode ser lançada em S1 toda vez que a célula estiver preparada para iniciar outra tarefa. Quando a tarefa em S1 é completada, ela é expedida e o cartão A4/S1 retorna para o início de A4, concluindo assim a jornada de cartões POLCA para esta ordem de produção.

O sistema POLCA é atualmente utilizado com sucesso na prática em inúmeras empresas americanas e européias (SURI, 2010). Dentre estes casos foram desenvolvidos trabalhos com o sistema POLCA adaptado às condições da empresa. Este sistema foi denominado POLCA modificado (PM) já que apresenta algumas modificações em relação ao sistema originalmente proposto por Suri (1998), o POLCA original (PO).

3.3 CLASSIFICAÇÃO DA LITERATURA SOBRE O SISTEMA POLCA

3.3.1 Metodologia de Pesquisa

A pesquisa foi realizada em cinco bases de dados, a saber: Compendex, Google Acadêmico, *Web of Science*, Scopus e Scielo. A revisão procurou ser exaustiva, de forma a abranger toda a literatura atualmente existente sobre o assunto. A palavra chave utilizada foi "POLCA". Além das bases de dados internacionais, foram pesquisados dois periódicos nacionais, a revista *Gestão e Produção* e a revista *Produção*, e os anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) e do Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP). Foram incluídos somente livros, artigos publicados em periódicos (*journals*) e congressos,

pois de acordo com Ngai et al. (2008), são as fontes mais utilizadas para busca de informações e definição de pesquisas futuras. A partir disso, por meio da leitura dos resumos, 21 artigos foram selecionados para análise final.

Após a identificação e análise dos artigos, foi proposto um sistema de classificação, detalhado na subseção 3.3.2. Os artigos selecionados foram então classificados na subseção 3.3.3. Após isso, realizou-se uma análise quantitativa e qualitativa de todos os trabalhos (seção 3.4) e, os pontos mais importantes são apresentados de acordo com o sistema de classificação proposto (seção 3.5). Por fim, na seção 3.6 são feitas as considerações finais da pesquisa sobre o sistema POLCA.

3.3.2 O sistema de classificação proposto

Nesta subseção é apresentado o sistema de classificação proposto após a realização de uma revisão da literatura sobre o sistema POLCA. O sistema de classificação está baseado em quatro categorias: i) sistema POLCA considerado (original/modificado); ii) objetivo principal da pesquisa; iii) fonte da publicação; e iv) método de pesquisa empregado. Para facilitar a classificação dos trabalhos, será feita uma codificação para cada atributo que as categorias possam assumir.

A primeira categoria do método de classificação proposto é o tipo de sistema POLCA considerado. A proposta de tal categoria deve-se ao fato que atualmente estão surgindo novas versões e variações do POLCA na literatura; dessa forma, essa categoria é dividida em duas classes: POLCA original (PO), que corresponde ao sistema originalmente proposto por Suri (1998) e mostrado na seção 3.2, e, POLCA modificado (PM), que engloba sistemas com características do POLCA, mas que apresentam algumas modificações em relação ao sistema original.

Quanto à segunda categoria, tem-se que os trabalhos estudados podem ter como objetivo principal: (1) apresentar o funcionamento do sistema POLCA; (2) comparar qualitativamente o POLCA a outros SCO; (3) comparar quantitativamente o POLCA a outros SCO; (4) simular a aplicação do sistema POLCA; (5) mostrar aplicação na prática do sistema POLCA; e (6) somente citar o sistema POLCA como alternativa para o controle da produção de um sistema produtivo.

A terceira categoria do sistema de classificação refere-se à fonte de publicação dos trabalhos. Essa categoria é dividida em: livro (L); congresso local (CL); congresso internacional (CI); congresso nacional (CN); e periódico internacional (PI).

Por fim, a quarta categoria está relacionada ao método de pesquisa empregado nos trabalhos. Após uma análise dos tipos de procedimentos de pesquisa utilizados nos trabalhos sobre o tema, quatro classes surgiram, definidas a seguir: (i) teórico conceitual (TC); (ii) estudo de caso (EC); (iii) simulação (S) e; (iv) modelo de filas (QM).

3.3.3 Classificação da revisão bibliográfica

A revisão da literatura sobre o sistema POLCA foi composta por 20 trabalhos. A Tabela 1 mostra a classificação destes trabalhos quanto às quatro categorias propostas na seção anterior. Os artigos estão em ordem cronológica e alfabética dentro do ano de publicação.

Tabela 1: Classificação dos artigos da revisão bibliográfica sobre o sistema POLCA.

Artigo/ano de publicação	Classificação quanto ao sistema POLCA considerado	Classificação quanto ao objetivo principal da pesquisa	Classificação quanto à fonte de publicação	Classificação quanto à metodologia de pesquisa empregada
Suri (1998)	PO	1	L	TC
Krishnamurthy, Suri e Vernon (2000)	PO	3	CL	QM
Lödöding, Yu e Wiendahl (2003)	PO	3	PI	S
Ryan e Choobineh (2003)	PO	6	PI	(*)
Suri (2003)	PO	1, 2	CL	TC
Suri e Krishnamurthy (2003)	PO	1, 2, 5	CL	TC, EC
Krishnamurthy, Suri e Vernon (2004)	PO	6	PI	(*)
Vandaele et al. (2004)	PM	1, 5	CL	TC, EC
Fernandes, Godinho Filho e Fonseca (2005)	PO	2	CN	TC
Stevenson, Hendry e Kingsman (2005)	PO	2	PI	TC
Suri (2005)	PO	1, 2	PI	TC
Fernandes e do Carmo-Silva (2006)	PM	1, 3	PI	TC, S
Riezebos (2006)	PO	4	CL	S
Baysan, Kabadurmus e Durmusoglu (2007)	PO	4	CI	S
Germes e Riezebos (2008)	PO	3	CL	S
Vandaele et al. (2008)	PM	1, 5	PI	TC, EC
Kabadurmus (2009)	PO	3	CL	S
Krishnamurthy e Suri (2009)	PO	1, 5	PI	TC, EC
Riezebos (2010)	PO	1, 5	PI	TC, EC
Suri (2010)	PO	1	L	TC
Harrod e Kanet (2013)	PO	4	PI	S

Fonte: Proposto pelo autor.

(*) O traço indica que a metodologia do trabalho não foi analisada, uma vez que tal trabalho somente cita o POLCA (categoria 6).

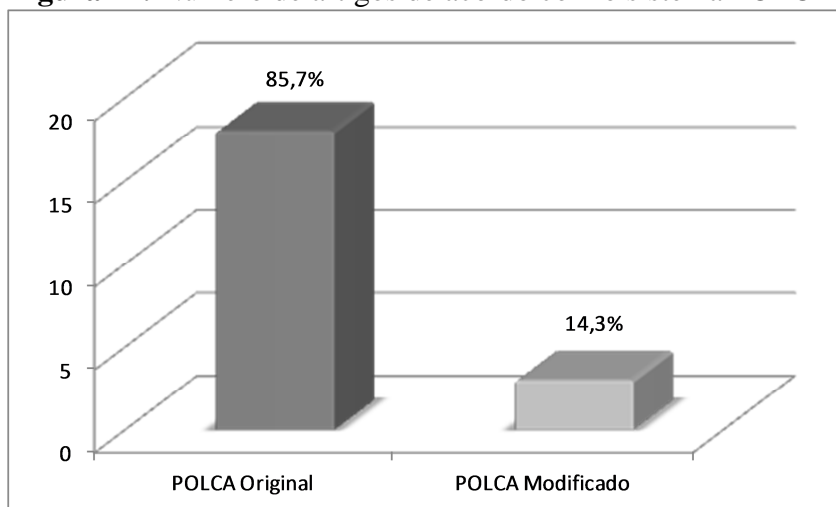
3.4 ANÁLISES

Nesta seção é apresentada uma análise geral da revisão bibliográfica utilizando-se o sistema de classificação proposto, a fim de proporcionar melhor entendimento do que a literatura oferece atualmente sobre o sistema POLCA. Dessa forma, a análise se baseia em dois pontos fundamentais: i) estudo quantitativo a respeito das quatro categorias do sistema de classificação proposto e ii) estudo qualitativo dos principais assuntos e objetivos alcançados por esses trabalhos.

3.4.1 Análise quantitativa

A primeira análise é referente ao sistema POLCA considerado pelos trabalhos estudados, conforme mostra Figura 11. Dos 21 trabalhos encontrados, 18 (85,7%) utilizaram o POLCA original introduzido por Suri (1998) e apenas 3 (14,3%) adotaram uma modificação do POLCA, ou seja, uma nova versão deste sistema. Tem-se ainda que essas versões modificadas (E-POLCA, GPOLCA e LB-POLCA) foram propostas nos últimos 10 anos, respectivamente 2004, 2006 e 2008.

Figura 11: Número de artigos de acordo com o sistema POLCA considerado.

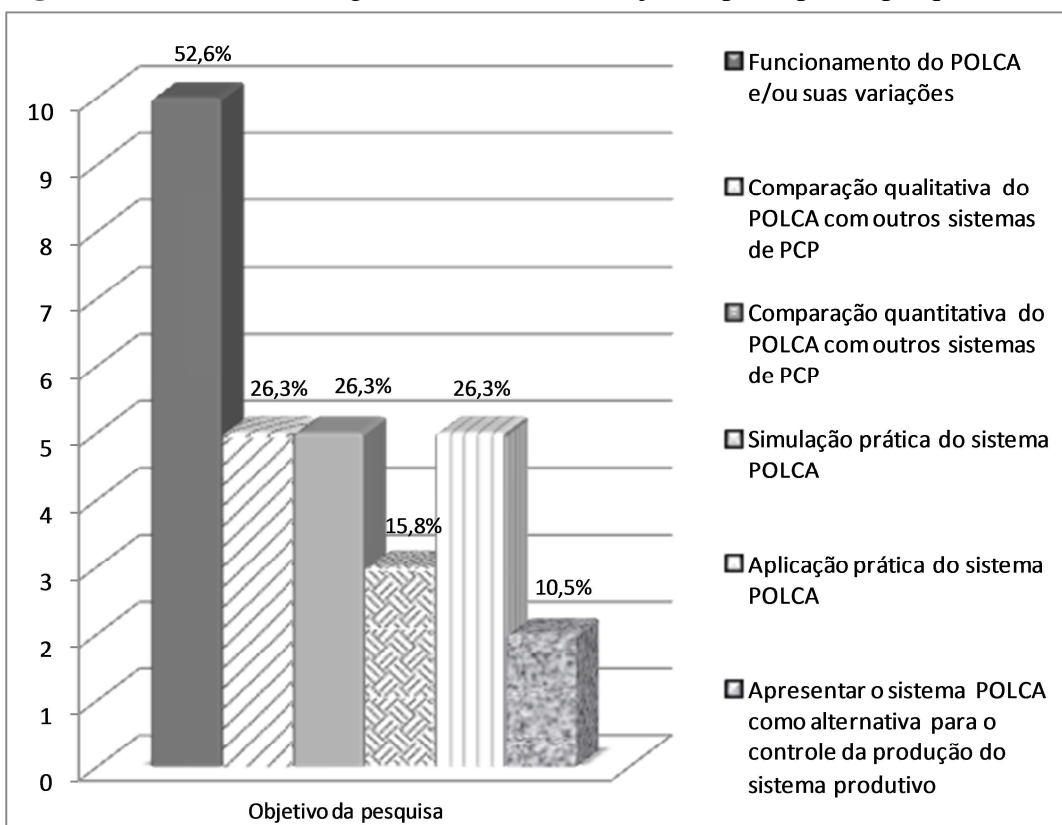


Fonte: Proposto pelo autor.

Com relação ao objetivo principal da pesquisa, é visto que 10 trabalhos apresentam o funcionamento do POLCA (52,6%), 5 fazem uma comparação qualitativa do POLCA com outros SCO (26,3%), 5 apresentam uma comparação quantitativa do POLCA com outros SCO (26,3%), 5 mostram uma aplicação prática do sistema POLCA (26,3%); 3 mostram uma simulação prática do sistema POLCA (15,8%) e 2 apresentam o sistema POLCA como alternativa para o controle da produção do sistema produtivo (10,5%). A Figura 12 mostra tais dados.

Uma observação importante a respeito das porcentagens é que a soma delas ultrapassam 100% pois há trabalhos que foram classificados com mais de um objetivo principal. É interessante notar que o número de trabalhos teóricos é ainda muito maior do que o número de trabalhos que apresentam o sistema POLCA na prática. Esse é, com certeza, uma área interessante para estudos futuros.

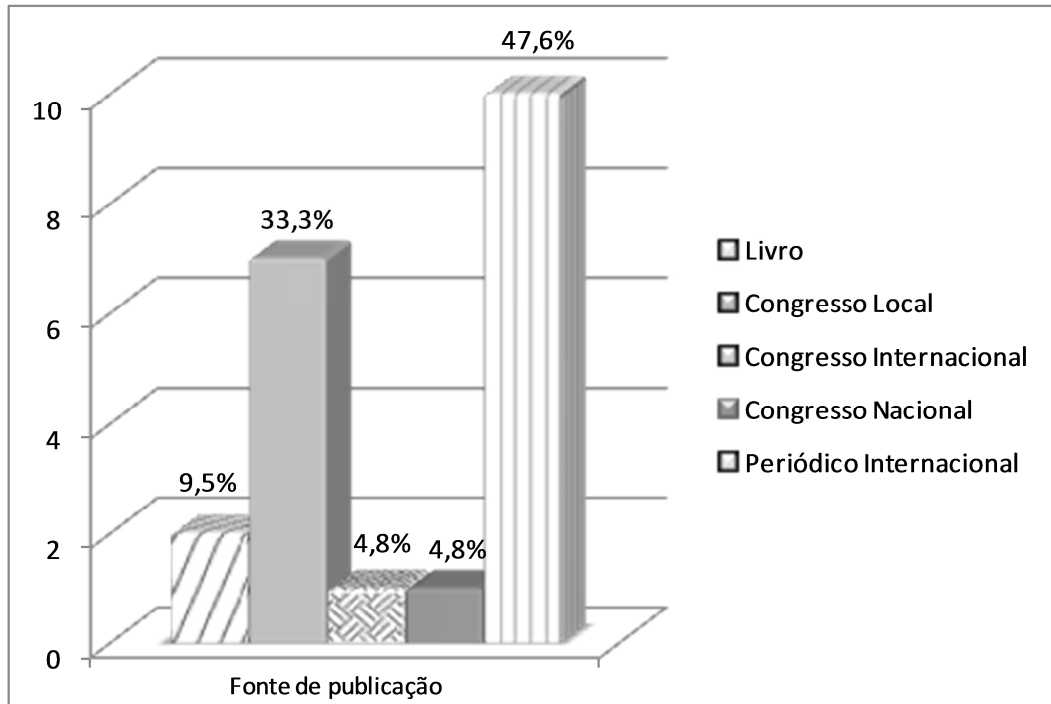
Figura 12: Número de artigos relacionados ao objetivo principal da pesquisa.



Fonte: Proposto pelo autor.

Em se tratando da fonte de publicação dos trabalhos, conforme Figura 13, é visto que 10 artigos foram publicados em periódicos internacionais (47,6%), 7 artigos foram apresentados em congressos locais (33,3%), 2 são referentes à livro (9,5%), 1 apresentado em congresso internacional (4,8%) e 1 em congresso nacional (4,8%). Observou-se que não há nenhuma publicação em periódico nacional.

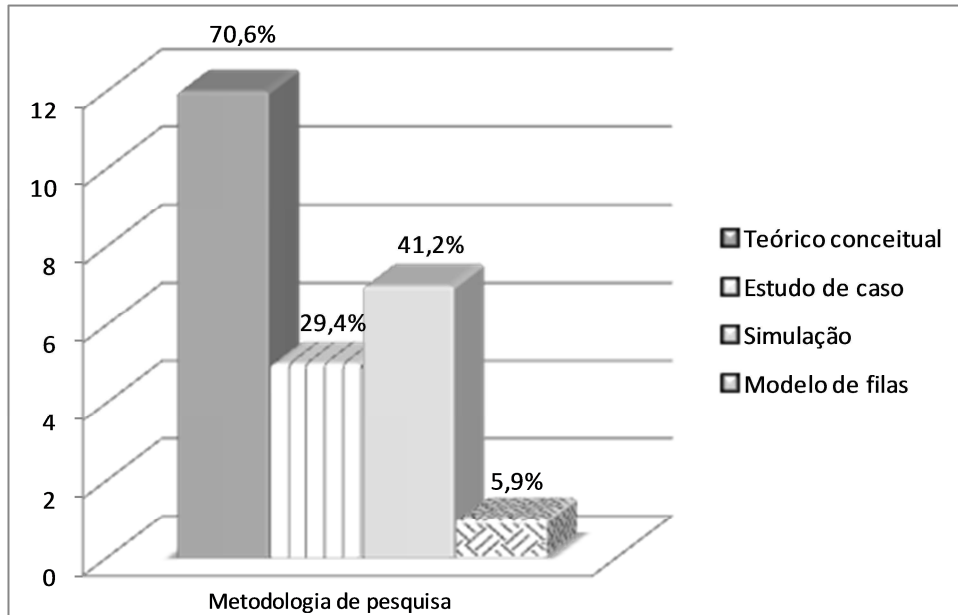
Figura 13: Número de artigos de acordo com a fonte de publicação.



Fonte: Proposto pelo autor.

Por fim, a Figura 14 mostra a distribuição de trabalhos de acordo com o método de pesquisa utilizado: 12 utilizam uma metodologia teórico-conceitual (70,6%), 7 simulação (41,2%), 5 estudo de caso (29,4%) e somente 1 utiliza modelo de filas (5,9%). Esta categoria também contém trabalhos classificados com mais de uma metodologia utilizada resultando em uma soma das porcentagens superior a 100%.

Figura 14: Número de artigos de acordo com a metodologia de pesquisa.



Fonte: Proposto pelo autor.

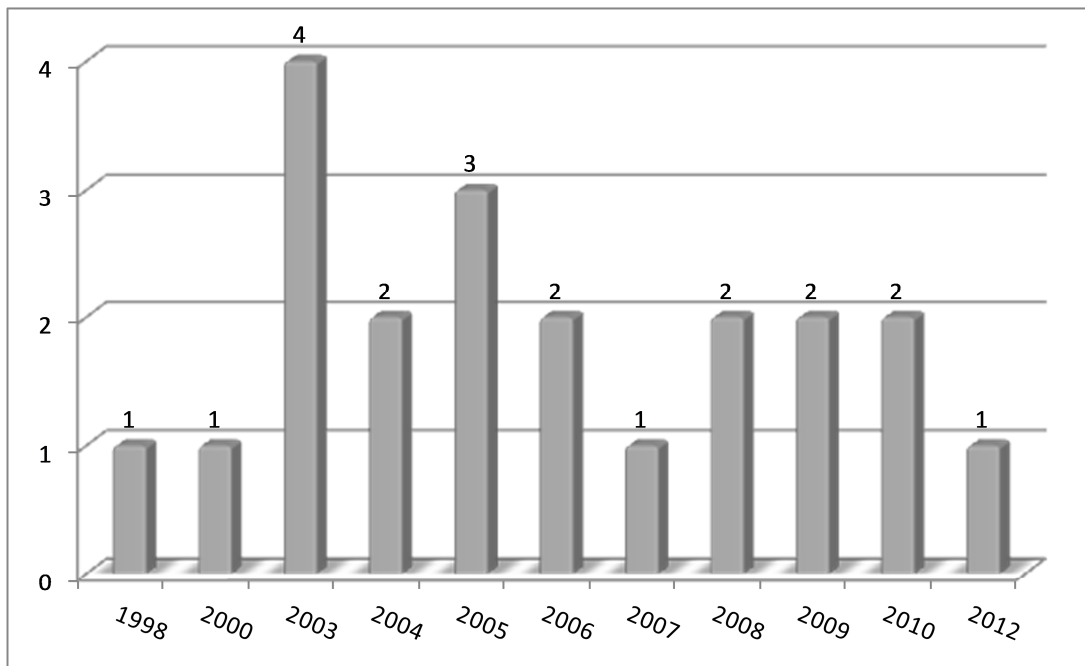
3.4.2 Análise qualitativa

Esta análise baseia-se na revisão bibliográfica apresentada na seção 3.5 e tem como objetivo dar suporte para um maior entendimento da literatura existente sobre o sistema POLCA, assim como sugerir novas pesquisas na área. Os pontos mais importantes a serem destacados são:

- Ainda são poucos os trabalhos que estudaram um sistema modificado do POLCA, como pode ser visto em Fernandes e do Carmo-Silva (2006), que apresentou o GPOLCA, e em Vandaele et al. (2004) e Vandaele et al. (2008), que apresentaram o E-POLCA e LB-POLCA, respectivamente. As diferenças entre esses sistemas e o POLCA original consistem, no caso do GPOLCA, em uma liberação de ordens com controle dos *inputs-outputs* baseado num inventário de cartões de autorização de produção. Já no E-POLCA e LB-POLCA, a liberação de autorizações e a carga de trabalho são programados de acordo com um sistema ARP, porém com a distinção de que no LB-POLCA a programação de carga é baseada em um ambiente *job shop* com múltiplos produtos;

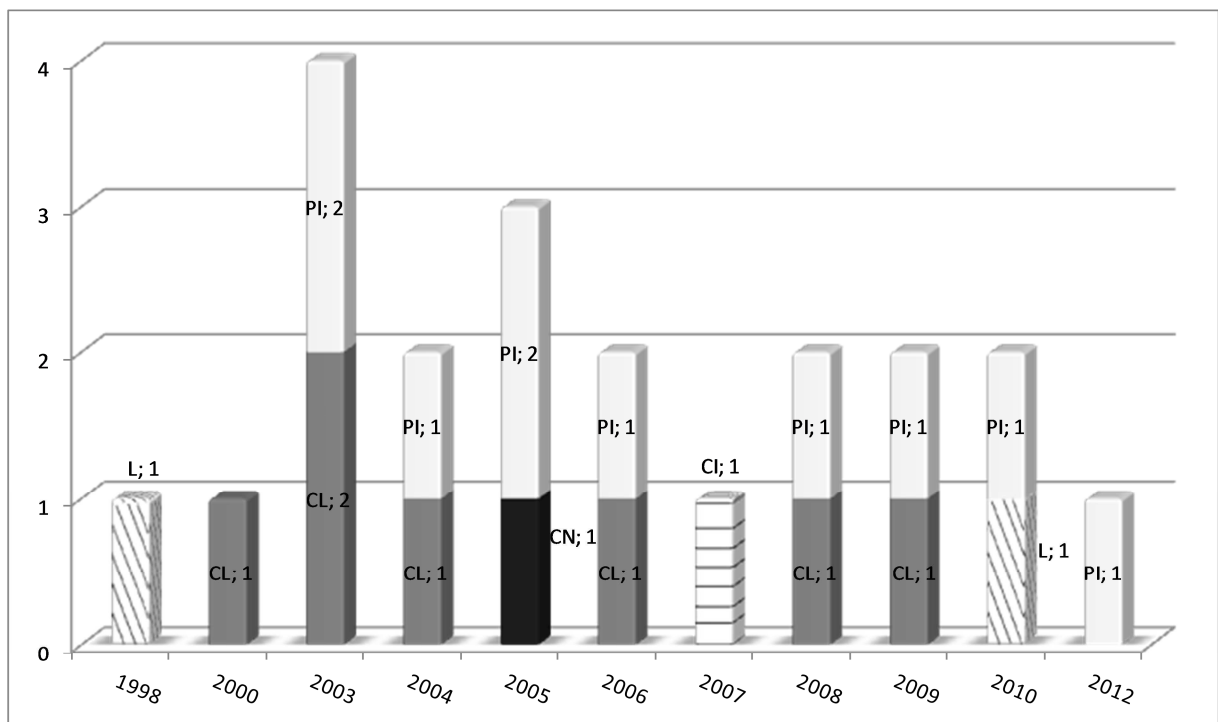
- Muitos autores utilizam métodos de comparação qualitativos ou quantitativos a fim de mostrar diferenças/semelhanças e vantagens/desvantagens entre o POLCA e outros sistemas de PCP, tais como: *Kanban*, MRP, TOC, WLC, CONWIP, m-CONWIP, DEWIP, LOOR. Exemplos destes trabalhos são: Krishnamurthy, Suri e Vernon (2000), Suri (2003), Suri e Krishnamurthy (2003), Lödding, Yu e Wiendahl (2003), Fernandes, Godinho Filho e Fonseca (2005), Stevenson, Hendry e Kingsman (2005), Suri (2005), Fernandes e do Carmo-Silva (2006), Germs e Riezebos (2008), Kabadurmus (2009);
- Atualmente, a simulação vem sendo utilizada por alguns autores para quantificar e justificar a implantação do sistema POLCA nas empresas como foi mostrado por Riezebos (2006), Baysan, Kabadurmus e Durmusoglu (2007) e Harrod e Kanet (2013);
- Alguns poucos estudos apresentam a aplicação na prática do sistema POLCA: Suri e Krishnamurthy (2003), Vandaele et al. (2004), Vandaele et al. (2008), Krishnamurthy e Suri (2009), Riezebos (2010). Esses estudos de caso demonstram que o sistema POLCA vem despertando interesse em empresas que desejam reduzir seu *lead time* em um ambiente de alta variedade de produtos;
- Em relação à fonte de publicação, é importante ressaltar que apenas um trabalho estudado é de origem nacional, uma vez que o sistema POLCA é ainda pouco conhecido e utilizado no Brasil;
- Ao considerar a evolução do número de artigos publicados desde 1998, quando Suri apresentou o sistema POLCA pela primeira vez, pode-se perceber que a partir de 2003 houve um aumento significativo de artigos publicados principalmente em periódicos internacionais e congressos locais (Figuras 15 e 16). Grande parte deste crescimento é resultado da implantação do sistema POLCA em empresas que decidiram adotar este sistema como parte das estratégias do QRM na manufatura.
- Alguns trabalhos como Suri e Krishnamurthy (2003), Baysan, Kabadurmus e Durmusoglu (2007), Krishnamurthy e Suri (2009) e Riezebos (2010) demonstraram que a aplicação do sistema POLCA trouxe como um dos principais resultados a redução do *lead time* que é o objetivo proposto pelo presente trabalho.

Figura 15: Evolução no tempo quanto ao número de artigos publicados.



Fonte: Proposto pelo autor.

Figura 16: Evolução no tempo por tipo de publicação.



Fonte: Proposto pelo autor.

3.5 REVISÃO DA LITERATURA SOBRE SISTEMA POLCA

Nesta seção a revisão bibliográfica é estruturada utilizando-se a classificação do tipo de sistema POLCA considerado (original/modificado) sendo que, dentro de cada uma dessas classes, os trabalhos foram agregados de acordo com seu(s) objetivo(s) principal(is). Um breve resumo de cada trabalho é apresentado tentando ilustrar as principais contribuições para a literatura sobre o tema.

3.5.1 Trabalhos que consideram o sistema POLCA original

Dezoito artigos da presente revisão referem-se ao sistema POLCA original. Desses, dois trabalhos apresentam o funcionamento do sistema (subseção 3.5.1.1); outros dois comparam qualitativamente o POLCA com outros SCO (subseção 3.5.1.2); quatro comparam quantitativamente o POLCA com outros SCO (subseção 3.5.1.3), três mostram uma simulação na prática do sistema POLCA (subseção 3.5.1.4); e finalmente cinco apresentam mais de um objetivo principal (subseção 3.5.1.4). Os outros dois trabalhos restantes indicam que a metodologia do trabalho não foi analisada, uma vez que o mesmo somente cita o sistema POLCA na sua estruturação.

3.5.1.1 Trabalhos que apresentam o funcionamento do sistema POLCA

O sistema POLCA foi introduzido por Suri (1998) como um dos princípios do QRM para ser utilizado no controle da produção. O autor define POLCA como um sistema híbrido que combina os melhores fatores dos sistemas MRP (empurrado) e *Kanban* (puxado). Ainda de acordo com esse autor, o sistema supera algumas limitações do *Kanban* proporcionando alto grau de flexibilidade e permitindo a fabricação de produtos customizados. Em Suri (1998) o POLCA é introduzido por meio da explicação dos princípios fundamentais de seu funcionamento e exemplo de aplicação na prática. Já em Suri (2010), o POLCA é apresentado como uma estratégia de controle de material de chão de fábrica que dá suporte ao QRM, em que o autor mostra como aplicar o sistema em uma empresa e quais os benefícios adquiridos com sua implementação.

3.5.1.2 Trabalhos que comparam qualitativamente o POLCA com outros SCO

Fernandes, Godinho Filho e Fonseca. (2005) apresentam a lógica de funcionamento dos seguintes sistemas de coordenação de ordem: *Decentralized Work in Process* (DEWIP), *Load Oriented Order Release* (LOOR) e o POLCA. Com isso, foi possível identificar as características dos ambientes propícios à utilização destes sistemas e realizar uma classificação de acordo com estas características. Os autores concluíram que os três sistemas têm como variável de controle primária o *Work in Process* (WIP), sendo que os sistemas DEWIP e POLCA podem ser caracterizados como sistemas descentralizados e o sistema LOOR como centralizado. Além disso, são sistemas direcionados a ambientes com alta variedade e alta complexidade no fluxo de materiais e, servem como uma alternativa ao sistema MRP, também adequado a este tipo de ambiente. Já Stevenson, Hendry e Kingsman (2005) mostram uma comparação de algumas abordagens clássicas utilizadas no Planejamento e Controle da Produção (PCP) tais como *Kanban*, *Manufacturing Resource Planning* (MRP II), *Theory of Constraints* (TOC) e algumas técnicas emergentes como *Workload Control* (WLC), *Constant Work in Process* (CONWIP) e POLCA. Dessa forma, foi possível fazer uma avaliação dos métodos e suas aplicabilidades do ponto de vista de diversos setores da indústria *make-to-order* (MTO), a fim de auxiliar os praticantes na escolha de abordagens para o PCP. Segundo os autores, o WLC foi o sistema com maior destaque em ambientes *job shop*; enquanto que para outros ambientes, há várias alternativas, dependendo das características individuais e os objetivos da empresa. Eles também consideram que o sistema POLCA é uma abordagem muito recente e necessita de uma maior quantidade de pesquisas para confirmar sua aplicabilidade e desempenho em ambientes MTO.

3.5.1.3 Trabalhos que comparam quantitativamente POLCA com outros SCO

Krishnamurthy, Suri e Vernon (2000) propõem uma nova abordagem baseada em modelos de filas para analisar sistemas de coordenação de ordens, tais como *Kanban*, CONWIP e POLCA. Tal abordagem, baseada na técnica de decomposição de nós, foi utilizada inicialmente para analisar um sistema *Kanban* estágio único, e depois foi estendida para analisar sistemas *Kanban* de múltiplos estágios e sistemas CONWIP e POLCA com

múltiplos produtos. Com isso, os autores mostraram que a ampliação desta abordagem para sistemas mais complexos tem como vantagem a diminuição da complexidade computacional. Nos casos de sistemas com múltiplos produtos, os cálculos não crescem com o aumento das redes decompostas e, para os casos de sistemas de múltiplos estágios, o rendimento de todas as fases dos estágios em série é conservado. Além disso, os autores mostraram quantitativamente a eficácia do POLCA quando comparado ao sistema *Kanban*. Lödding, Yu e Wiendahl (2003) apresentam uma comparação entre o sistema POLCA e outros SCO (DEWIP, LOOR, CONWIP) em um ambiente *job shop*, por meio de uma simulação com dados reais da indústria. Os resultados mostraram que o LOOR foi o sistema que alcançou os melhores resultados com relação à redução de *lead times* e WIP. O DEWIP e o CONWIP tiveram aproximadamente o mesmo desempenho, porém o DEWIP tem uma aplicação muito mais ampla que o CONWIP. O POLCA não se mostrou adequado para o ambiente estudado, uma vez que, conforme citado pelos próprios autores, a sua aplicação requer que antes a manufatura celular seja utilizada visando a redução da complexidade no fluxo de materiais, o que não foi realizado no estudo. Já Germs e Riezebos (2008) apresentaram uma comparação entre SCO que podem atuar em ambientes de alta variedade e customização. Dessa forma, a simulação foi utilizada para investigar a capacidade de balanceamento de carga de três sistemas: POLCA, CONWIP e m-CONWIP (sistemas CONWIP com vários *loops* operados simultaneamente). Por meio das comparações, foi possível analisar como as lógicas dos 3 sistemas influenciam na capacidade de balanceamento de carga e, testar a influência das condições de produção sobre a capacidade de carga de trabalho destes sistemas. Os resultados das simulações confirmam a importância do balanceamento de carga de trabalho para um melhor desempenho nos tempos de fluxo total no chão de fábrica, conforme as condições de produção e o sistema utilizado. Além disso, o trabalho mostrou que o balanceamento de capacidade de carga pode ser aplicado para POLCA e m-CONWIP, porém não para o CONWIP. Por fim, Kabadurmus (2009) compara por meio de simulação, os sistemas POLCA e CONWIP em condições de demanda com grande instabilidade. Para um sistema hipotético, os autores criaram cenários com diferentes valores de variabilidade da demanda, variação do produto, variabilidade do tempo de processamento, tamanho de lote, e taxa de inatividade. Os principais critérios de desempenho utilizados foram o *lead time* e WIP. Para os cenários estudados, o sistema POLCA superou o CONWIP, uma vez que o CONWIP não se adaptou

bem em certos ambientes com demanda instável, máquinas com muitas falhas e alta variabilidade no processo.

3.5.1.4 Trabalhos que mostram simulação na prática do sistema POLCA

Neste grupo, o trabalho de Riezebos (2006) avalia a contribuição do sistema POLCA em uma empresa por meio de uma simulação de eventos discretos em um sistema de fluxo unidirecional. Para isto, foram realizados experimentos com modelos de ordem de chegada, tamanho do lote, variação de demanda, *mix* de produtos, ordem de prioridade e a ocorrência de quebras, a fim de mostrar o impacto do número de cartões POLCA sobre o tempo de fluxo em um sistema de produção. Os resultados mostram que a quantidade de estoque em processo (WIP) está diretamente relacionada com o *lead time* e ambos decrescem se o número de cartões POLCA for reduzido. Desta forma, conclui-se que uma empresa que utiliza o sistema POLCA tem tendência de tornar-se mais flexível e capacitada para oferecer um melhor serviço a seus clientes por apresentar um tempo total de fluxo reduzido e controlado. Baysan, Kabadurmus e Durmusoglu (2007) ilustram uma análise econômica do sistema POLCA através da simulação de um sistema de manufatura real. A simulação é realizada em uma empresa de molde de vidros, em um ambiente *engineering-to-order* (ETO) com condições de demanda instável e uma grande variedade de produtos fabricados em pequenos lotes. O procedimento se deu pela implementação de uma estratégia de controle de materiais que exigiu um estudo de viabilidade de custos de estoque. Os resultados mostraram que com aplicação do POLCA, é possível obter uma redução dos WIP e conseqüentemente uma redução nos *lead times* e nos custos dos produtos da empresa. Já Harrod e Kanet (2013) têm como objetivo estudar o controle do fluxo de trabalho em um ambiente de fabricação sob encomenda (*make-to-order*) e *layout* funcional (*job shop*) considerando os resultados do cruzamento de dados de métodos de controle do fluxo de trabalho e modelos de filas de cada centro de trabalho. Para isto foi realizado uma simulação de eventos discretos avaliando: a) cinco centros de trabalhos independentes com seqüência e tempo de processamento selecionados randomicamente de uma matriz experimental com quatro tipos de controle do fluxo de trabalho (não controlada, *Kanban*, CONWIP, POLCA) e, b) três modelos de filas (primeiro a chegar primeiro a atender, menor tempo de processamento, operação com prazo de entrega mais cedo). Os resultados mostraram que enquanto o estoque dos *shops* (ordens

parcialmente completadas) é reduzido por meio dos métodos de controle do fluxo de trabalho, o estoque total das ordens de produtos acabados que estão pendentes, incompletas e interrompidas aumentaram. Além disso, conclui-se que a escolha do modelo de fila é mais significativa do que a escolha do método de controle do fluxo de trabalho.

3.5.1.5 Trabalhos que possuem mais de um objetivo principal

Esta categoria inclui os trabalhos que tratam de dois ou mais objetivos principais de forma conjunta. Dessa forma, três combinações de objetivos foram identificadas.

A primeira refere-se aos trabalhos que apresentam o funcionamento do sistema POLCA e também realizam uma comparação qualitativa com outros SCO. Nessa linha, dois trabalhos foram encontrados. Suri (2003) apresenta o QRM e o sistema POLCA como uma combinação para as empresas do século XXI que produzem uma grande variedade de produtos com demanda altamente variável. O trabalho faz uma revisão geral da estratégia do QRM que foca na redução do *lead time* em toda a empresa e, explica por que as estratégias de fluxo unitário, *takt time* e produção puxada advindas do *Lean Manufacturing*, não funcionam bem para mercados com alta variedade, propondo o QRM como estratégia adequada para esses ambientes. Além disso, é apresentado uma descrição do POLCA seguido de uma comparação qualitativa com o sistema Kanban. Por fim, conclui-se que a combinação de QRM e POLCA vêm oferecer às empresas uma significativa vantagem competitiva através da capacidade de entregar produtos personalizados com curtos *lead times*. Já Suri (2005) apresenta o POLCA como uma estratégia enxuta para ambientes *job shop*. O POLCA é proposto como uma alternativa ao Kanban aplicado a produtos customizados ou de alta variedade, uma vez que este método torna-se ineficiente por causa da variedade de produtos sendo produzidos e da imprevisibilidade de volume requerido para cada peça. Desta forma, o trabalho apresenta o sistema POLCA como parte da estratégia QRM, em que explica seu funcionamento, os benefícios alcançados com sua implementação e as diferenças dele com o Kanban. Por fim, a autor conclui que o POLCA, quando combinado com outras estratégias QRM proporciona flexibilidade para absorver variações na demanda e no mix de produtos.

O segundo grupo de trabalhos que apresenta uma combinação de objetivos referentes ao POLCA original é formado por dois artigos que, ao mesmo tempo, apresentam o funcionamento do sistema POLCA e mostram sua aplicação na prática. Krishnamurthy e Suri

(2009) fornecem uma visão geral do sistema POLCA, bem como apresentam um procedimento detalhado para a execução desta ferramenta em uma fábrica, utilizando uma abordagem de questões práticas. Dessa maneira foi possível apresentar a aplicação do procedimento através de estudos de casos em três empresas diferentes. Os resultados obtidos indicaram que o sistema POLCA ajudou significativamente estas empresas melhorarem a eficiência de suas operações, incluindo reduções de *lead time*, aumento na porcentagem de entregas no prazo e satisfação de seus funcionários. Riezebos (2010) faz uma investigação e posterior discussão do sistema POLCA por meio de uma revisão da literatura que apresenta os métodos e as ferramentas utilizados pelo mesmo. Após a revisão, o autor apresenta uma proposta de implementação do sistema em uma empresa, em que foi aplicada através de um estudo de caso. Os resultados concluíram que o sistema POLCA é capaz de controlar processos complexos, com grande quantidade de rotas, mix de produto e variedade no tempo de processamento. Outros benefícios também são citados como o aumento da satisfação dos funcionários, aumento na confiabilidade e melhorias no controle.

Por fim, tem-se um trabalho que trata conjuntamente de três objetivos: apresenta o funcionamento do sistema POLCA, compara qualitativamente o POLCA com outros SCO e demonstra sua aplicação na prática. Neste trabalho, Suri e Krishnamurthy (2003) apresentam uma visão geral sobre o sistema POLCA, além de explicar seu funcionamento e fornecer comparações qualitativas com os sistemas empurrado/MRP e puxados/*Kanban*. Posteriormente, é apresentado um procedimento passo a passo para a implementação do POLCA em uma fábrica, bem como sua implementação que é demonstrada através de dois estudos de caso. Os resultados mostraram que a aplicação do sistema POLCA trouxe algumas melhorias para estas empresas como a redução de *lead time* e WIP, o aumento na porcentagem de entregas no prazo e o aumento da satisfação do empregado.

3.5.2 Trabalhos que consideram o sistema POLCA modificado

Nesta categoria, encontram-se apenas três artigos. Dentre eles, um apresenta uma combinação do funcionamento do sistema POLCA modificado e uma comparação quantitativa com outros SCO (subseção 3.5.2.1) e; dois representam o funcionamento do sistema POLCA modificado em conjunto com sua aplicação na prática (subseção 3.5.2.2).

3.5.2.1 Trabalhos que apresentam o funcionamento do sistema POLCA modificado uma comparação quantitativa com outros SCO

No trabalho de Fernandes e do Carmo-Silva (2006) é apresentado o GPOLCA (*Generic POLCA*), uma adaptação do sistema POLCA que implementa uma estratégia de liberação de ordens com controle dos *inputs-outputs* baseado num inventário de cartões de autorização de produção, em vez de materiais. De acordo com os autores, essa estratégia é mais adequada para as empresas que tem uma grande variedade de produtos com demanda variável. O trabalho apresenta o mecanismo e as propriedades do GPOLCA, além de uma comparação de seu desempenho com o POLCA e o *Kanban*, realizado por meio de simulação. Os resultados mostram que o GPOLCA apresentou-se mais robusto perante as alterações no *mix* de produtos. Os benefícios do GPOLCA são atribuídos ao fato de que é um mecanismo com controle natural de fluxo de material empurrado e de que a manutenção de um inventário de cartões de autorização de produção, em vez de um inventário de materiais, parece ter um efeito significativo sobre a redução do WIP, principalmente para altos níveis de taxa de transferência.

3.5.2.2 Trabalhos que apresentam o funcionamento do sistema POLCA modificado e mostram sua aplicação na prática

Nesta categoria são vistos dois trabalhos com estudos muito semelhantes, uma vez que o segundo representa um aprimoramento do primeiro. Em Vandaele et al. (2004), é apresentada a proposta de um modelo modificado do sistema POLCA, que combina as vantagens dos sistemas empurrado e puxado. O modelo, denominado E-POLCA, é uma versão baseada na programação de carga do POLCA utilizado para determinar a liberação de autorizações e a carga de trabalho permitida de acordo com um sistema *Advanced Resources Planning* (ARP). Além disso, o trabalho descreve a implementação desta nova proposta em uma empresa que produz componentes e sistemas de transmissão para automóveis fora-de-estrada. Os resultados mostraram que o modelo oferece vantagens significativas comparadas com um sistema de programação finita e resulta em um sistema que gerencia os fluxos de materiais necessários através dos recursos disponíveis que têm a maior probabilidade de

estarem disponíveis. Como continuação deste trabalho, Vandaele et al. (2008) propõem o *Load-based* POLCA (LB-POLCA), uma versão modificada do POLCA, baseada na programação de carga em um ambiente *job shop* com múltiplos produtos. Esta nova versão determina os parâmetros POLCA de acordo com um sistema ARP, que capta adequadamente o comportamento estocástico do sistema de produção e permite ajustes finos e um alto nível de otimização do tamanho de lote de fabricação. Posteriormente, é discutido a implementação de um sistema LB-POLCA na mesma empresa citada acima. Os resultados preliminares indicaram que o sistema de LB-POLCA oferece vantagens comparadas com um sistema de programação finita, uma vez que é um sistema de auto-regulação, muito mais simples de executar e mais robusto. A força da abordagem está na integração do LB-POLCA com um sistema ARP, contribuindo de forma vantajosa na prática industrial.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

POLCA (*Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorisation*) é um sistema de coordenação de ordem (SCO) introduzido por Suri (1998) como parte de uma estratégia global do QRM (*Quick Response Manufacturing*). De acordo com Suri (1998), é uma estratégia híbrida que combina características do MRP e do *Kanban*, capaz de contornar as limitações de SCOs já existentes, em ambientes de alta variedade, demonstrando, assim, a sua relevância no setor de produção sob encomenda.

A presente pesquisa, em primeiro lugar, teve por objetivo realizar uma ampla revisão bibliográfica sobre POLCA. A partir desta revisão, pôde-se propor um sistema de classificação sobre o tema com base em quatro parâmetros: sistema POLCA considerado (original/modificado), objetivo principal da pesquisa, fonte da publicação e metodologia de pesquisa empregada. Utilizando este sistema foram classificados todos os artigos encontrados na literatura. Esse procedimento serviu de base para a estruturação de toda a revisão bibliográfica e para uma análise (quantitativa e qualitativa) do tema. Algumas conclusões interessantes a respeito do assunto e que podem auxiliar tanto a teoria quanto a prática referente ao tema são destacadas a seguir.

Referente à teoria a respeito do sistema POLCA, tem-se que existe muito espaço para a proposta de novas melhorias no sistema POLCA original, ou mesmo a hibridização de tal sistema com outro SCO, uma vez que somente 3 variações do POLCA foram encontradas na

literatura. Além disso, parecer existir uma grande lacuna na comparação, via simulação ou teoria de filas, do sistema POLCA a outros SCO utilizados em ambientes de alta variedade de produtos, tais como o sistema MRP, WLC, dentre outros. Somente poucos trabalhos realizam tais comparações. Finalmente, pode-se dizer que existe um grande espaço na literatura para mostrar a aplicação do sistema POLCA na prática, uma vez que casos práticos de tal sistema ainda são raros na literatura.

Referente à prática, principalmente brasileira, tem-se que a utilização do sistema POLCA ainda é pouco estudado em território nacional. Devido a esse fato, muitas oportunidades existem para os gerentes de Planejamento e Controle da Produção na prática, uma vez que internacionalmente tal sistema vem mostrando excelentes resultados em termos de redução de *lead time*.

A partir dos resultados apresentados, acredita-se que o presente trabalho contribuiu da seguinte forma: i) aumentar o grau de conhecimento e divulgação do sistema POLCA no Brasil; ii) apresentar aos gerentes de produção uma alternativa menos custosa e complexa aos sistemas MRP para empresas que enfrentam ambientes com alta variedade e alta complexidade no fluxo de materiais; e iii) sugerir pesquisas futuras dentro do tema.

A seguir, o Capítulo 4 descreve o desenvolvimento do estudo de caso, em que é apresentada a caracterização do setor de bens de capital, da empresa, do produto analisado e o seu processo de fabricação. Em seguida apresenta-se os dados coletados e a análise das causas de espera do processo de fabricação estudado.

4 ESTUDO DE CASO

A estrutura do estudo de caso está dividida em seis seções. Nas duas primeiras são apresentadas uma breve descrição do setor e da empresa estudada. A terceira seção faz uma análise do problema a ser estudado. Na quarta, faz-se uma apresentação do produto definido na seção anterior e uma breve descrição do seu processo de fabricação. Na quinta seção descreve-se a realização da coleta de dados. Por fim, realiza-se uma análise das causas de esperas encontradas.

4.1 O SETOR DE BENS DE CAPITAL

O setor de bens de capital reúne um conjunto de fabricantes de máquinas e equipamentos responsável, em grande medida, pela capacidade de produção de outros bens. Um bem de capital pode ser assim considerado; quando é utilizado no processo produtivo de outros bens e serviços sem sofrer nenhuma transformação, diferentemente do que ocorre com os insumos (STRACHMAN; AVELLAR, 2008).

Uma das principais características da indústria de bens de capital é a sua heterogeneidade, que pode ser estendida a todos os aspectos: produto, processo e fabricantes.

A diversidade do produto consiste no tipo, tamanho, peso, meios de controle, desempenho e acessórios. Em relação ao processo produtivo, os bens de capital se dividem em bens seriados ou sob encomenda. As máquinas seriadas são produzidas em larga escala, sem grande especificidade definidas pelo comprador. Por outro lado, os bens de capital sob encomenda são produzidos especialmente para um determinado comprador (ARAÚJO, 2009). Eles devem atender formulações específicas de desenhos mediante determinadas especificações técnicas dos clientes, constituindo assim, uma produção com grande variedade de produtos em pequenos ou únicos volumes de produção.

Já em relação aos fabricantes, de acordo com Erber e Vermulm (2002), as empresas que produzem bens de capital também são heterogêneas, desde firmas familiares, de porte pequeno e (principalmente) médio, até divisões especializadas de grandes grupos empresariais (Mitsubishi no Japão, Thyssen na Alemanha). Em alguns ramos, como equipamento elétrico e agrícola, o mercado é dominado por grandes empresas (por exemplo John Deere), mas em

outros, como máquinas-ferramenta, a maior empresa do setor detém menos de 4% do mercado internacional.

Uma característica forte deste setor é a importância do aprendizado tecnológico no ato de desenvolver (com pesquisas internas ou parcerias) e fabricar novos produtos e processos. De acordo com Meglioni (2003), a relevância do setor de bens de capital dentro da economia de um país é representada pelo papel que exerce na estrutura industrial ao gerar e difundir o progresso tecnológico para os demais segmentos industriais. Ao introduzir novos produtos, proporciona-se um aumento no nível de produção e de produtividade em outros setores da economia.

Outra característica do setor de bens de capital é o comportamento do mercado interno que está diretamente relacionado ao comportamento do investimento na economia. Sendo assim, depende do conjunto de fatores que influenciam a decisão de investir: o ritmo do crescimento econômico; as condições do mercado financeiro (disponibilidade de crédito, prazos e taxa de juros); o desenvolvimento do mercado de capitais; o nível de incerteza da economia; o desempenho fiscal; os investimentos públicos; a disponibilidade e adequação da infra-estrutura; a taxa de câmbio entre outros aspectos. Em outros termos, o desempenho da indústria de bens de capital sob encomenda guarda uma estreita relação com as condições macroeconômicas (ABDIB, 2008).

De acordo com Vermulm (1995), em períodos de prosperidade a produção de bens de capital deve responder prontamente, sem que tenha tempo suficiente para estruturar melhor ou reestruturar a produção e sua própria capacidade produtiva, dependendo, assim, do acesso a tecnologias desenvolvidas no exterior. Em períodos de depressão, a instabilidade sofrida por bens de capital é maior e não se dispõe de condições de manutenção da trajetória anterior de aprimoramento técnico sendo comum a desestruturação.

Neste sentido, e dada à importância do setor de máquinas e equipamentos para a indústria de bens de capital nacional bem como a importância de estratégias baseadas no tempo para a competitividade do setor, é relevante analisar o *lead time* de fabricação em uma empresa do setor de bens de capital no Brasil de maneira a refletir o seu resultado organizacional e propor melhorias que contribuam para o sucesso da empresa.

Com intuito de complementar o entendimento do leitor sobre o setor de bens de capital é apresentado no Anexo A uma caracterização deste setor.

4.2 A EMPRESA ESTUDADA

A empresa na qual a etapa empírica deste trabalho foi realizada atua no setor de bens capital com fornecimento de máquinas e equipamentos para sistemas industriais completos, assim como peças de reposição para diversos setores industriais. Por questões de confidencialidade dos dados e informações da empresa seu nome não será revelado.

Fundada em 1920, a empresa nasceu do setor sucroalcooleiro, com estrutura familiar e capital 100% nacional. Mantém a sua sede no interior do Estado de São Paulo e, com mais seis unidades industriais, localizadas no interior de São Paulo e na região Nordeste, a empresa totaliza um conjunto de nove fábricas em área de mais de 1.000.000 m². Além disso, possui escritórios administrativos e comerciais distribuídos por todo o Brasil. Emprega aproximadamente 5.000 funcionários, diretos e indiretos, contando, também, com cerca de 1.000 terceiros na sua equipe de colaboradores, além de uma ampla cadeia de fornecedores e sub-fornecedores. As unidades são interligadas por sistemas informatizados e com logística própria para atender aos mercados interno e externo.

Além do mercado brasileiro, a empresa atua comercialmente na América do Sul, América do Norte, América Central, Caribe, Ásia, Oceania e Sudeste Asiático. Mantém representantes comerciais na América do Sul, América Central, América do Norte e Caribe para garantir aos clientes o fornecimento de produtos e serviços.

Em 2007, a empresa passou por uma reestruturação e encontra-se segmentada em duas divisões de negócio, atendendo a setores de mercados e produtos distintos:

- Divisão Bio-Equipamentos e Plantas: açúcar e etanol, biodiesel, alimentos, sucos e bebidas, cervejarias e, meio ambiente;
- Divisão de infraestrutura e energia: cogeração de vapor e energia, hidrogeração, cimento, mineração e metalurgia, óleo, gás e petroquímica, celulose e papel, fertilizantes e, peças fundidas.

O trabalho foi desenvolvido em uma de suas unidades localizada no interior do Estado de São Paulo. Esta unidade apresenta uma área total de 300.000 m² dos quais 68.000 m² são de área construída, conta com uma equipe de 1.337 funcionários diretos e indiretos e no que se refere à manufatura, realiza, predominantemente, processos de caldeiraria (corte, dobra, solda e conformação de tubos e chapas) e usinagem pesada.

4.3 ANÁLISE DO PROBLEMA

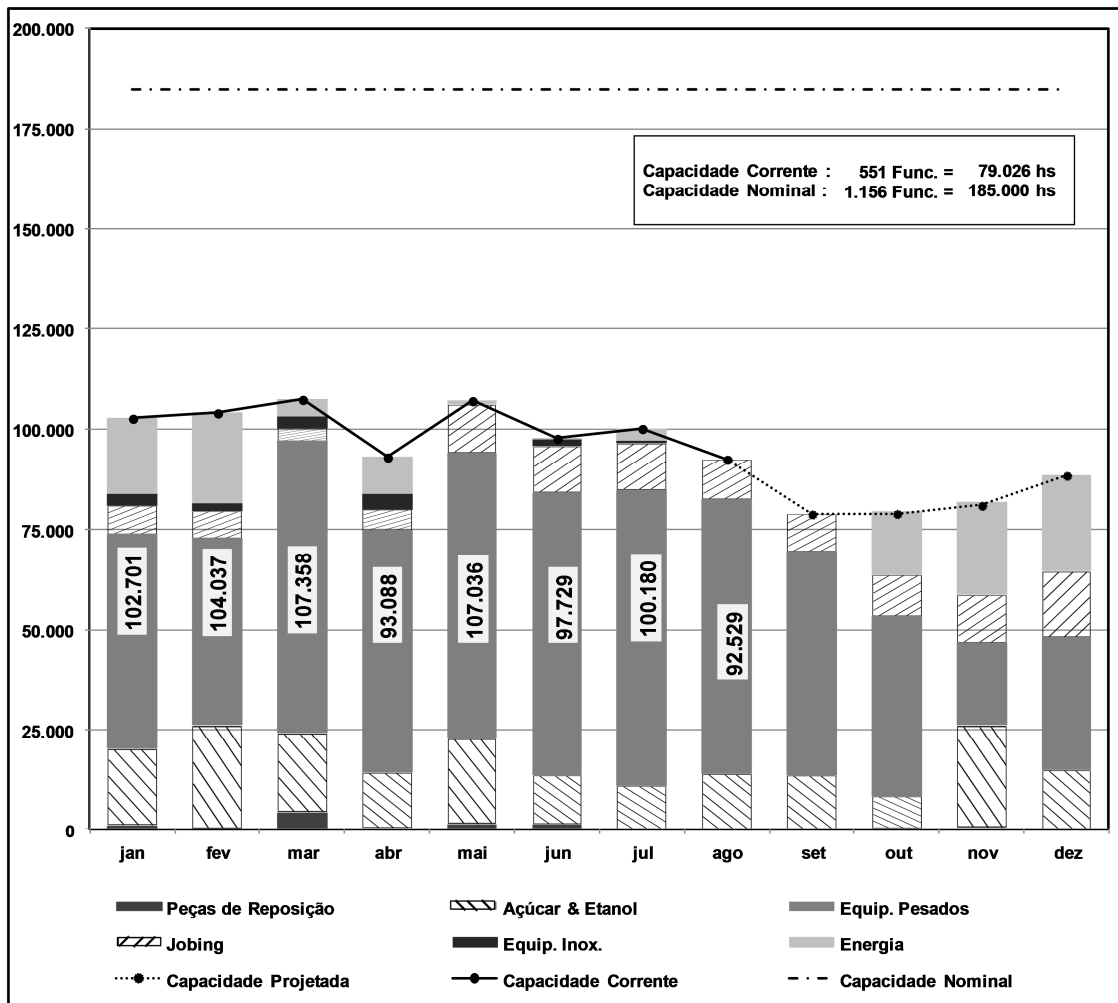
Em uma primeira etapa do estudo de caso foi realizado o levantamento de dados e informações sobre os processos e produtos da empresa para definir qual produto seria mais adequado para o desenvolvimento do trabalho. Para isto realizou-se entrevistas com membros da sua equipe de colaboradores, cujos questionários são encontrados nos Apêndices B e C, e visitas às instalações fabris, nas quais foi possível analisar as etapas envolvidas no processo de produção, assim como a organização física da fábrica e dos trabalhadores.

Com base nas informações levantadas, definiu-se como *Target Market Segment* o segmento de óleo, gás e petroquímica, responsável pela fabricação de equipamentos como vasos de pressão, torres, colunas, reatores, caldeiras, fornos, trocadores de calor e tanques em geral, também conhecidos na empresa como Equipamentos Pesados.

Desde o ano de 2008 este segmento tem demonstrado um grande aumento na demanda devido à expansão e construção de refinarias de petróleo no Brasil, cujo principal cliente é a Petrobrás. Além disso, estima-se que as vendas neste segmento continuarão em alta durante os próximos cinco anos, principalmente em virtude das obras relacionadas ao Pré-sal.

Com o segmento definido, em uma segunda etapa, foi possível refinar e focar em um produto ou processo de fabricação para se chegar no *Focused Target Market Segment* (FTMS). O FTMS identificado e utilizado neste projeto foi a fabricação de vasos de pressão em vista da recomendação identificada na literatura (“encontrar uma família de produtos na qual a redução do *lead time* irá fazer um *splash*”). Este é o produto de maior demanda (aproximadamente 80%) no segmento de óleo, gás e petroquímica, além de ser responsável, em média, por 65% da carga de produção, em termos de horas, da unidade fabril estudada, como pode ser visto no mapa de carga ilustrado na Figura 17 em que o vaso de pressão está representado na carga dos equipamentos pesados.

Figura 17: Mapa de carga gerencial (em horas) da unidade fabril estudada no ano de 2010.



Fonte: Dados da pesquisa.

É importante ressaltar que para o estudo de caso realizado neste trabalho considerou-se apenas a etapa de fabricação, ou seja, o projeto do produto e as atividades de suprimentos não foram considerados na análise.

4.4 VASO DE PRESSÃO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO

De acordo com Telles (1996), vaso de pressão é um nome genérico para designar todos os recipientes pressurizados, de qualquer tipo, dimensões, formato ou finalidade, entre os quais encontram-se os vasos de pressão propriamente ditos, e mais reatores, torres de destilação, de fracionamento e retificação, trocadores de calor, aquecedores, resfriadores, condensadores, refeedores, caldeiras, etc. Estes equipamentos armazenam fluidos pressurizados, objetivando atender a finalidades diversas na indústria de processamento

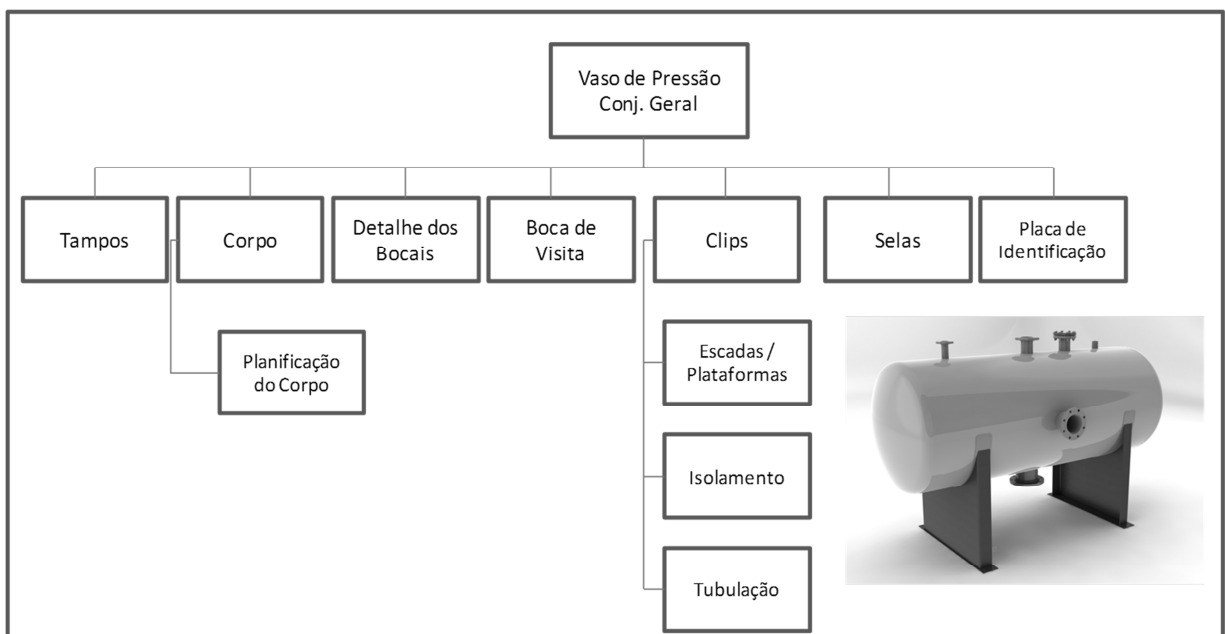
contínuo, como a indústria química, a petroquímica, de petróleo, ou ainda na área nuclear, a indústria de alimentos, na geração de energia, etc.

Os vasos de pressão podem ser construídos de materiais e formatos geométricos variados em função do tipo de utilização a que se destinam. Dessa forma existem vasos de pressão esféricos, cilíndricos, cônicos, etc. Eles podem ser construídos em aço carbono, alumínio, aço inoxidável, fibra de vidro e outros materiais (TELLES, 1996).

Os vasos de pressão podem conter líquidos, gases ou misturas destes. Algumas aplicações são: armazenamento final ou intermediário, amortecimento de pulsação, troca de calor, contenção de reações, filtração, destilação, separação de fluidos, criogenia entre outras.

A estrutura do produto e uma ilustração de um tipo mais comum de vaso de pressão fabricado na empresa estudada são apresentadas de modo simplificado na Figura 18.

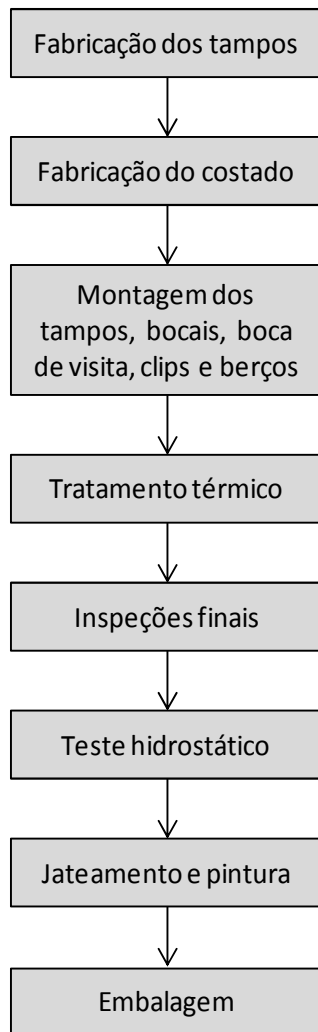
Figura 18: Estrutura do produto e ilustração simplificada do vaso de pressão.



Fonte: Dados da pesquisa.

De maneira macro, as etapas envolvidas no processo de fabricação de um vaso de pressão são: fabricação dos tampos, costado, miscelâneas e bocais (conjunto de peças de menor porte que são montadas no vaso); inspeções intermediárias e final; alívio de tensão; teste hidrostático e pintura. A Figura 19 ilustra o fluxo do processo do produtivo global do produto.

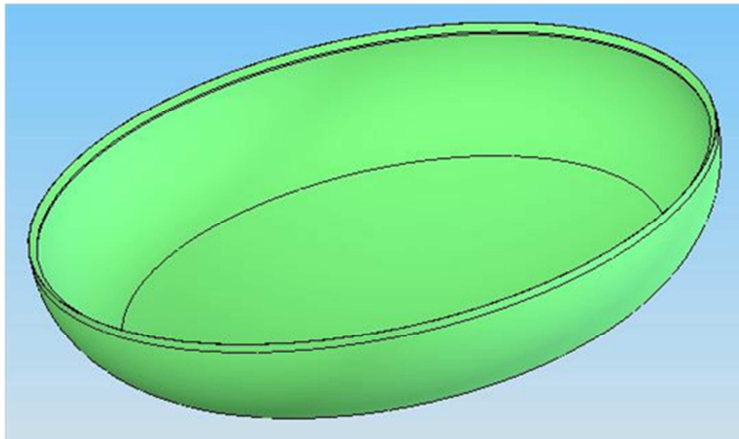
Figura 19: Fluxo do processo produtivo do vaso de pressão.



Fonte: Dados da pesquisa.

A fabricação inicia-se com o corte das chapas dos tampos (superior e inferior) e posterior conformação dos mesmos. Esta conformação é realizada em um terceiro, já que a empresa não possui o maquinário específico necessário. A Figura 20 mostra o tampo já processado.

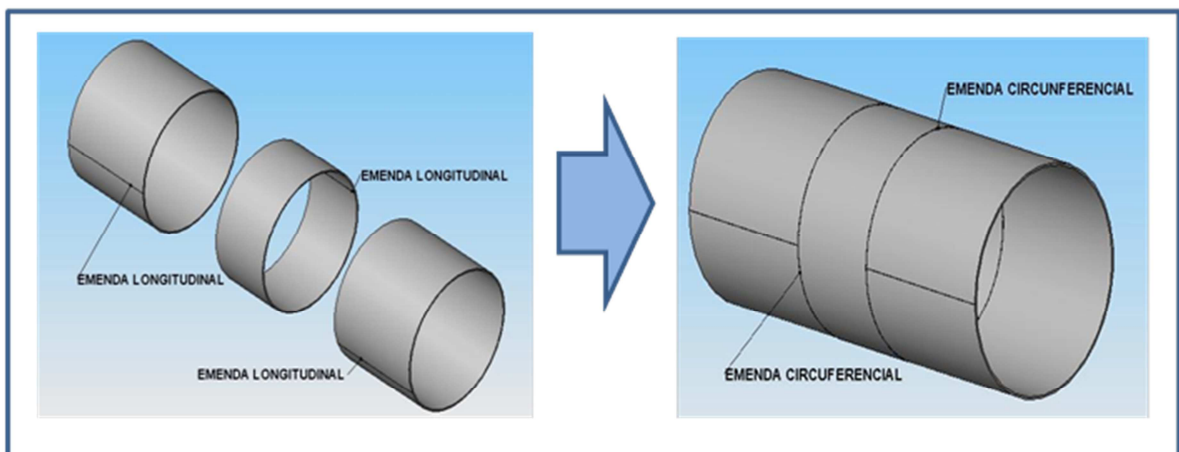
Figura 20: Ilustração do tampo.



Fonte: Dados da pesquisa.

A etapa seguinte da fabricação do vaso de pressão é constituída da fabricação do costado. O costado é um corpo cilíndrico e seu processo de fabricação envolve a realização das atividades de corte de chapas, calandragem (transformação de chapas planas em formato cilíndrico), soldas (emendas) longitudinais e circunferenciais. Um exemplo de costado, assim como a indicação das soldas citadas é mostrado na Figura 21.

Figura 21: Ilustração do costado e representação das soldas principais



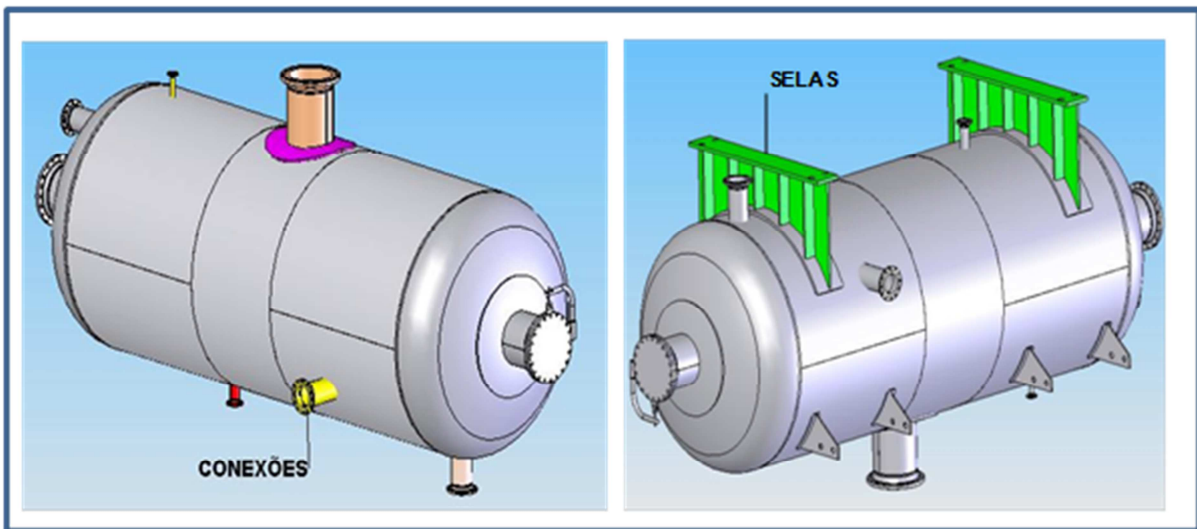
Fonte: Dados da pesquisa.

Com o costado montado, segue-se a solda do primeiro tampo. Apenas um tampo é soldado neste momento em virtude da necessidade de se deixar um dos lados do vaso aberto para a realização das soldas internas, além dos ensaios não-destrutivos e inspeções visuais na região interna do equipamento.

A seguir, inicia-se a traçagem do equipamento para posterior abertura dos locais onde serão soldados os bocais, a boca de visita e as demais miscelâneas que compõem o vaso em questão.

Por fim, monta-se o segundo tampo, os clips e as selas ou berços (bases/pés que sustentam o vaso de pressão na superfície plana na qual o mesmo irá operar). Um exemplo ilustrativo do vaso nesta etapa do processo é mostrado na Figura 22.

Figura 22: Vaso de pressão nas etapas finais de fabricação.



Fonte: Dados da pesquisa.

A seguir, o equipamento é colocado em um forno de tratamento térmico para a realização do alívio de tensão. Após seu resfriamento, iniciam-se as inspeções finais (dimensional, por partícula magnética, raios-x, dureza) pela equipe do controle da qualidade da empresa acompanhada de um inspetor externo que representa o cliente.

Finalizadas estas inspeções, realiza-se o teste hidrostático. Para realização deste teste o equipamento é “fechado”, ou seja, os bocais e boca de visita são vedados e o equipamento é preenchido com água e pressurizado.

Após este teste, e não sendo identificado nenhum vazamento, o vaso de pressão segue para a área de pintura, onde é jateado e posteriormente pintado. Assim que é concluído o processo de secagem da tinta, é realizada a montagem da placa de identificação do vaso, fechamento da boca de visita e inspeção visual final, momento no qual o equipamento é “embalado” em uma área de carpintaria e acondicionado para ser transportado.

4.5 COLETA E ANÁLISE DE DADOS: O *LEAD TIME* ATUAL DO VASO DE PRESSÃO

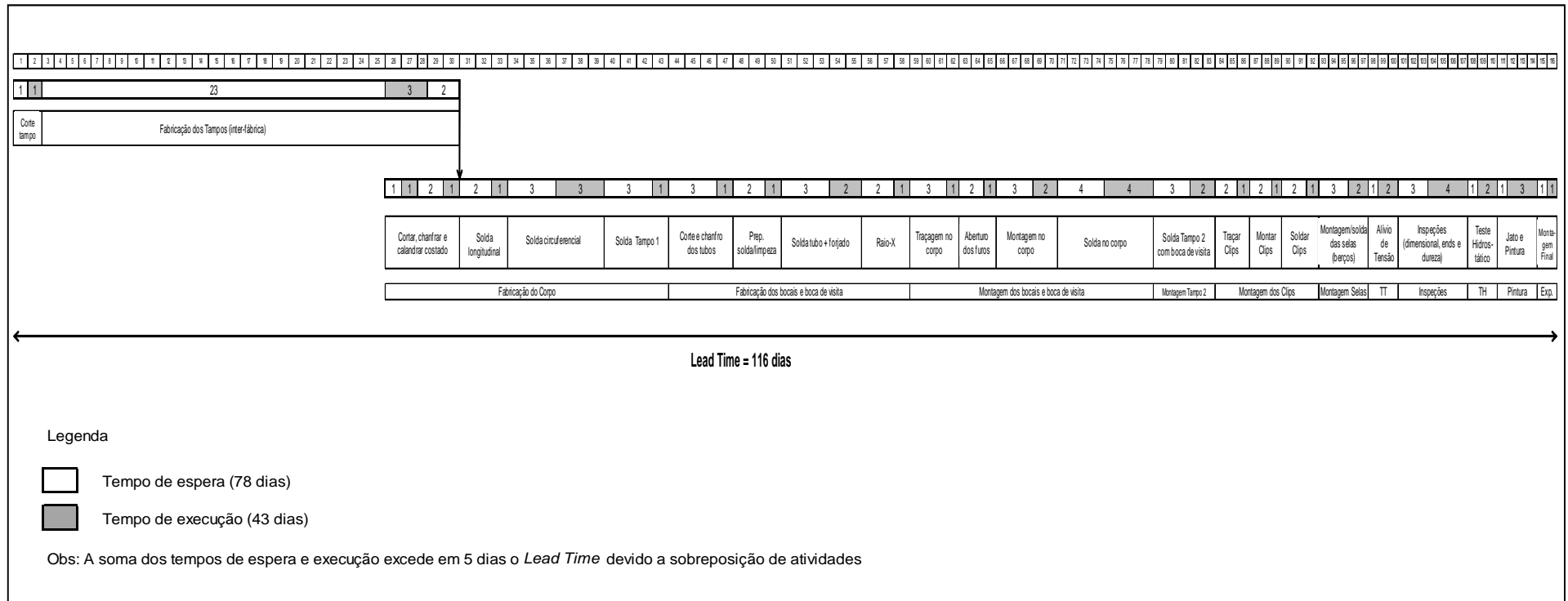
De acordo com o protocolo de pesquisa (Apêndice A), a fase de coleta de dados aconteceu em três etapas sendo que nas etapas 1 e 2 foram realizadas algumas entrevistas e na etapa 3 o acompanhamento do processo de fabricação. Para esta fase foram utilizadas as seguintes técnicas:

- 1) Entrevistas com funcionários da empresa, tendo como instrumento principal um questionário pré-elaborado, conforme apresentado nos Apêndices B e C. As entrevistas foram realizadas por meio de duas visitas à empresa, e aplicadas ao gerente geral da unidade e gerente industrial na etapa 1 e, coordenador de PCP, supervisor da fábrica e encarregado de produção na etapa 2;
- 2) Aquisição de dados de projetos anteriores, a partir de dados disponíveis no sistema ERP da empresa;
- 3) Fluxograma do processo de fabricação do vaso de pressão e mapeamento do MCT por meio do acompanhamento diário das atividades e do cronograma de fabricação.

De acordo com o supervisor de fábrica da empresa, o tempo médio para a fabricação de um vaso de pressão de médio porte (aproximadamente 10 toneladas) é de 90 dias.

No entanto, para se obter um *lead time* real de um vaso de pressão, foi elaborado a partir dos dados coletados o *Manufacturing Critical-Path Time* (MCT) do vaso de pressão. Este MCT pode ser visualizado na Figura 23, cujo *lead time* é de 116 dias.

Figura 23: MCT mapeado para o vaso de pressão.



Fonte: Dados da pesquisa.

4.6 ANÁLISE DAS CAUSAS DE ESPERA

A fim de se promover a redução do *lead time*, a metodologia QRM sugere que em primeiro lugar sejam identificadas as causas de esperas observadas no MCT. Para a identificação destas causas, utilizou-se o método “Detetive QRM”. Este método consiste, basicamente, de questionamentos sequenciais de modo que as causas raízes do problema, ou seja, as causas de espera sejam identificadas, priorizadas e atacadas por meio de sugestões de melhoria.

A primeira causa de espera significativa identificada no processo de fabricação do vaso de pressão está relacionado à fabricação dos tampos (23 dias entre corte da chapa na unidade 1 e a etapa posterior realizada na unidade 2). A fabricação dos tampos e do vaso de pressão é realizada em unidades diferentes da empresa. Conforme denominação própria, este processo é chamado de fabricação inter-fábrica e ocorre da seguinte maneira: na unidade 1 (onde é montado o vaso de pressão) é realizado o corte das chapas em forma de discos; estes são transportados de caminhão para a unidade 2 para serem conformados em tampos, que por fim retornam para a unidade 1 após o término da fabricação.

Uma primeira causa desta espera está relacionada ao fato de as unidades fabris estarem distantes entre si, porém esta não é a causa principal do problema, tendo em vista que o transporte propriamente dito consome em torno de 10 horas (ida e volta). A programação do transporte, que se refere à obtenção do veículo e licenças necessárias para transporte de chapas de tamanhos especiais (para o caso de discos que excedem a largura máxima permitida é necessário uma licença especial para o traslado nas rodovias), também contribui para o atraso no envio dos discos para a unidade fabril 2, sendo que há casos em que estes trâmites consomem de 2 a 3 dias. Na maioria das vezes, o setor de expedição da unidade 1, recebe a solicitação de transporte dos discos somente no momento em que o material é disponibilizado em sua área.

Os demais dias de espera (em torno de 18 dias), estão relacionados a problemas de identificação e localização das chapas na unidade 2, falta de uma programação consistente dos serviços a serem realizados no chão de fábrica e retrabalho no que se refere à preparação de documentação, ou seja, para que o tampo seja fabricado na unidade 2 é necessária a geração de uma nova ordem de fabricação com respectivo roteiro. Outro aspecto identificado como problema e apontado pela equipe de PCP da unidade 2 está relacionado ao atraso na chegada do material para fabricação do tampo em relação aos prazos acordados com a equipe de PCP

da unidade 1. Segundo as duas equipes de PCP há um processo de reserva de carga fabril que não é cumprido em função do não atendimento das datas acordadas para chegada do material.

Há ainda, um aspecto relacionado à priorização dos trabalhos, tendo em vista que os tampos da unidade 1 fabricados via inter-fábrica tem prioridade inferior em relação aos tampos da unidade 2, mesmo representando algo em torno de 60 a 70% do total tampos a serem produzidos.

Já as causas de espera identificadas na fabricação do corpo do vaso de pressão podem ser estratificadas em função da etapa do processo.

No que se refere à etapa de corte de materiais observa-se uma grande influência do *layout* funcional, uma vez que os diversos produtos da unidade fabril disputam pelos mesmos recursos, associado ao fato de que o corte é etapa fundamental do processo e corresponde a uma etapa precedente predominante dos processos de caldeiraria, resultando em alta utilização dos recursos da área de corte e conseqüente formação de filas. Outro aspecto que dificulta o trabalho na área de corte está relacionado a inconsistências nas datas de planejamento das ordens de fabricação, tendo em vista que o ERP é ferramenta básica de PCP utilizada na empresa e este não considera a capacidade finita dos recursos de produção. Ou seja, há um grande número de ordens de fabricação liberadas na área fabril com datas conflitantes e seu sequenciamento ocorre sem a devida coordenação com as necessidades de materiais das demais áreas ou processos fabris.

Estas inconsistências são resultados das limitações dos sistemas MRP que constituem o módulo de gestão de manufatura da maioria dos sistemas ERP. Apesar de o MRP possibilitar maior controle das operações no chão de fábrica e auxiliar na definição de prazos de entrega, Hopp e Spearman (2000) relacionam algumas deficiências deste sistema. Dentre elas se destacam: (i) a hipótese implícita de capacidade infinita uma vez que o sistema por si só não restringe a capacidade, gerando planos e a conseqüente explosão de quantidades infinitas para a produção. (ii) *lead times* grosseiros já que consideram que os *lead times* de produção são fixos e, (iii) a instabilidade do sistema (necessidade de frequentes reprogramações) que causam mudanças no planejamento das prioridades das ordens de produção. Dessa forma, o MRP não atende perfeitamente às necessidades de programação detalhada da produção.

Na etapa de solda circunferencial o principal motivo da espera está relacionado à alta utilização da máquina necessária no processo (máquina de soldagem por arco submerso), a qual é compartilhada com outros produtos no processo de fabricação.

As esperas observadas no processo de fabricação dos bocais são oriundas de problemas relacionados à falta de materiais no momento de se realizar as operações, ou seja, faltam peças (tubos, pescoços e flanges) para completar a atividade e muitas vezes o trabalho é interrompido. Outro aspecto observado neste processo é que atualmente estas atividades são realizadas de modo sequencial em relação à fabricação do corpo, principalmente pelo fato de compartilharem a mesma mão-de-obra – mesmo não havendo precedência tecnológica que exija a execução deste modo.

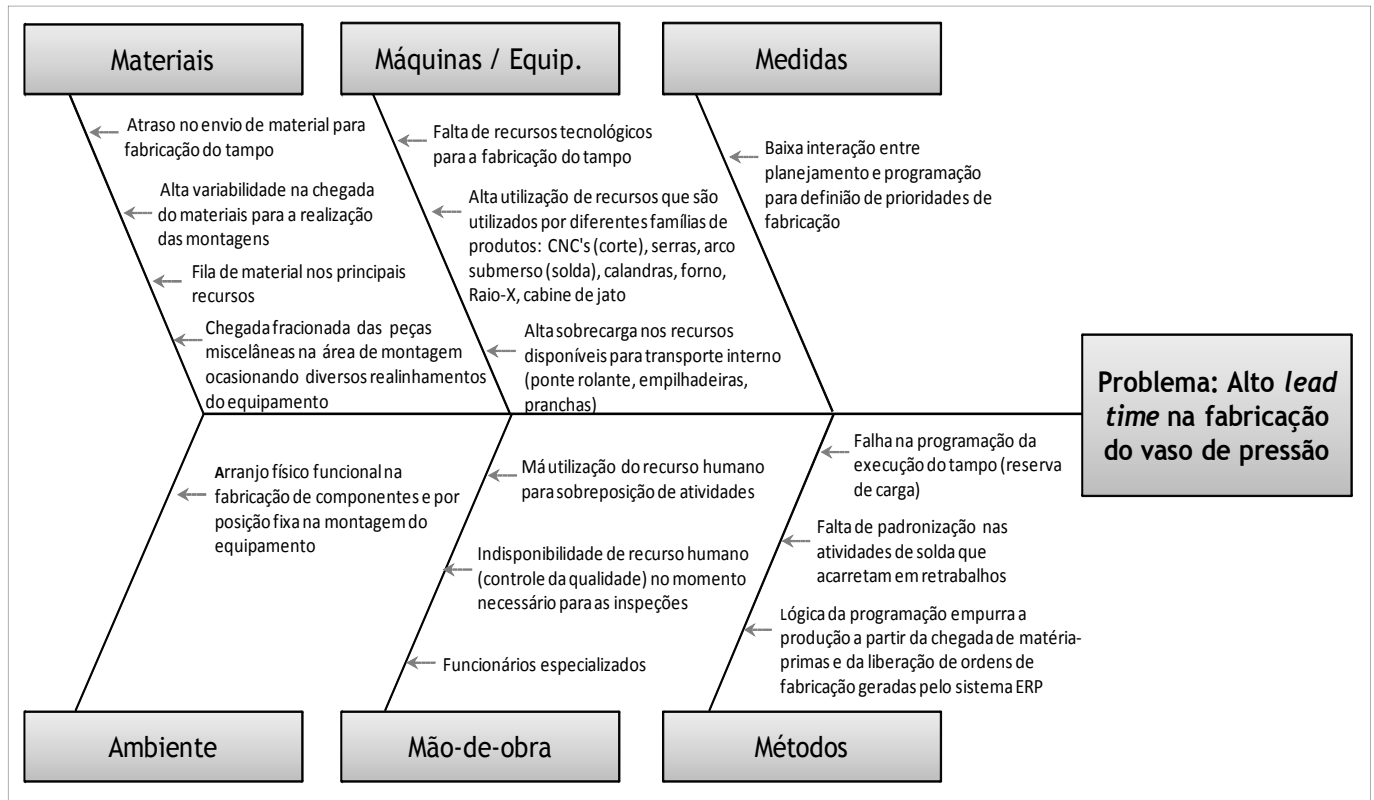
No processo de montagem dos bocais, boca de visita, clips e selas, os tempos de espera estão relacionados à necessidade de se realizar diversas vezes um processo chamado de alinhamento do vaso. Isto acontece devido à chegada fracionada de materiais (alta variabilidade de chegada), a qual é originada pela falta de coordenação entre as ordens no chão de fábrica.

Destaca-se que para a coordenação de fluxo de materiais e informação restrita para o interior das empresas existem diversos sistemas consolidados na literatura chamados Sistemas de Coordenação de Ordens (SCOs). Os SCOs são ferramentas utilizadas para auxiliar o controle facilitando a coordenação dos diversos setores produtivos, fornecendo informações importantes inerentes aos processos existentes e ainda controlando o fluxo de materiais através da manufatura (GARROTE NETO et al., 2010). Segundo Fernandes e Godinho Filho (2010), os SCOs podem ser classificados em quatro grupos: (i) sistemas de pedido controlado; (ii) sistemas controlados pelo nível de estoque (CNE); (iii) sistemas de fluxo programado; e (iv) sistemas híbridos. Dessa forma, ressalta-se a importância de realizar uma identificação correta das características do sistema de manufatura a ser estudado a fim de utilizar o SCO adequado.

Nas etapas finais de fabricação do vaso, uma espera significativa observada está relacionada ao processo de inspeção e esta espera associa-se à indisponibilidade dos inspetores para realização da inspeção no momento em que a fabricação do vaso é finalizada. Outro aspecto que tem influência nesta etapa é a necessidade de um representante do cliente para acompanhamento das inspeções. Em diversos casos a equipe do controle de qualidade, mesmo estando disponível para inspeção do vaso com a fabricação já finalizada, não pode dar início à inspeção em virtude da necessidade de aguardar o representante do cliente.

Na Figura 24 é mostrado um Diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe, no qual as causas de espera são consolidadas diante do problema “alto *lead time* na fabricação do vaso de pressão”.

Figura 24: Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Proposto pelo autor.

A partir das causas de espera, no Capítulo 5 são apresentados as propostas de melhorias e os resultados esperados com a implantação das sugestões.

5 PROPOSTA DE MELHORIAS

Para a elaboração das sugestões de melhoria foram priorizadas três etapas do processo de fabricação do vaso de pressão:

- i) Fabricação do tampo;
- ii) Fabricação dos bocais e boca de visita;
- iii) Montagem das miscelâneas.

Estas etapas foram priorizadas em virtude do fato de terem um potencial de gerar um maior impacto no que se refere à redução do *lead time* (provocar um *splash*, conforme menciona a metodologia QRM).

As sugestões de melhorias serão detalhadas na seção 5.1 de modo a indicar sua forma de operacionalização, assim como os recursos e ações necessárias para sua implantação. Por fim, na seção 5.2 será apresentado os resultados esperados com a implantação das propostas de melhorias.

5.1 DETALHAMENTO DAS SUGESTÕES DE MELHORIAS

5.1.1 Fabricação do tampo

No que se refere às causas de espera relacionadas à fabricação dos tampos, algumas melhorias que podem ser implementadas são:

1) Transporte: antecipação das providências relacionadas à solicitação do veículo e licenças, quando necessárias, através da melhoria da comunicação entre as áreas de planejamento e expedição.

Propõe-se que a área de planejamento, com base nas informações provenientes da engenharia do produto e da programação da produção, informe antecipadamente as necessidades de transporte (dimensões dos materiais, peso estimado e data de necessidade), de modo que a área de expedição tenha em mãos as informações sobre necessidades futuras de transporte, permitindo uma melhor programação dos mesmos e uma consolidação mais adequada das cargas com destinos comuns. Desta forma, será possível providenciar o veículo e respectivas licenças para a data em que o material estará pronto, evitando-se as esperas comuns de 2 a 3 dias em virtude da tomada de providências tardia.

2) Identificação e localização das chapas: adequar o armazenamento das chapas na unidade 2 para fabricação dos tampos inter-fábrica de modo que sua localização seja rápida e precisa, eliminando os tempos atualmente gastos com procura de material.

Para a identificação dos materiais a proposta é que todos os materiais que forem enviados entre as unidades sejam identificados com etiquetas auto-adesivas que já são utilizadas na empresa, conforme mostrado na Figura 25. Estas etiquetas devem ser impressas na programação da produção (momento em que a ordem de fabricação é impressa) e coladas no material assim que a operação de corte dos discos é concluída, seguindo com a peça até seu destino. Em relação à melhoria da localização dos materiais na unidade 2, esta será derivada do fato dos materiais serem recebidos identificados e, além disto, haverá um menor número de materiais aguardando processamento em função do *time-slicing* que será proposto (Figura 26), ou seja, de modo geral haverá material em fila para um período de processamento de 3 dias.

Figura 25: Etiqueta adesiva utilizada para identificação dos materiais.

LOGO EMPRESA	OF 392462 Inter-fábrica	 392462252954
Projeto:	98204/016-3113111 - Caramuru A 0021	
Montagem:	6000015763- VASO EVAPORADOR DE METANOL ITEM; 163-V4 - CORPO E DETALHES	
Produto:	600006376	Pos: Qtde: 1 PC Peso: 0,00
Descrição:	Tampo XYZ DE 1800	
NI:		
<input type="checkbox"/> Editável	<input type="checkbox"/> Obs: Campo Editavel	<input type="checkbox"/> Destino: EXPEDIÇÃO

Fonte: Dados da pesquisa.

3) Revisão do processo inter-fábrica: unificar e melhorar o processo inter-fábrica em termos de controle eliminando a necessidade de geração de duas ordens de fabricação, ou seja, permitindo que a mesma ordem gerada no sistema ERP possa ser utilizada em todas as etapas de fabricação do tampo, independentemente da unidade na qual será realizado, tendo em vista que o mesmo sistema integrado de gestão (ERP) é utilizado nas diversas unidades e o acesso é realizado via *web*;

Para as melhorias no processo “inter-fábrica”, seria necessária a realização de um estudo com a área de Tecnologia da Informação (TI) da empresa, tendo em vista que

atualmente a mesma ordem de fabricação não pode ser utilizada por restrições relacionadas ao apontamento de mão-de-obra no ERP (uma ordem de produção gerada em uma unidade não pode ser utilizada para efeito de apontamento de horas e requisição de materiais em outra unidade). Na sequência, seria necessário um trabalho com a Engenharia Industrial da unidade 1, de modo que as operações de fabricação do tampo que acontecem na unidade 2 fossem incorporadas no roteiro de fabrica de uma única OF.

4) Programação: melhorar a sistemática de programação da fabricação dos tampos de modo que o programador tenha critérios claros e precisos para priorização de um trabalho em detrimento de outro.

Uma proposta concreta para melhorar esta programação seria a participação de um representante da unidade 1 (estabelecimento com programação puxada em função das necessidades do processo cliente) na definição do programa de produção em conjunto com o programador da unidade 2, complementada pelo compartilhamento de recursos (*time-slicing*), tendo em vista que de 60 a 70% do volume de tampos produzidos na unidade 2 são demanda da unidade 1 e há uma restrição que limita o envio dos mesmos para a unidade 1. A sugestão é que durante 3 dias da semana os recursos do processo de fabricação dos tampos existentes da unidade 2 sejam reservados para os tampos da unidade 1, de modo que o transporte (ida e volta) e armazenagem das chapas cortadas sejam executados nos dois dias restantes. O *time-slicing* proposto pode ser visualizado na Figura 26.

Figura 26: Proposta de compartilhamento de recursos entre as unidades.

	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
Fabricação	Reservado Unidade 1			Reservado Unidade 2	
Transporte/ Armazenamento				Unid. 2 → Unid. 1 Unid. 1 → Unid. 2	

Fonte: Proposto pelo autor.

Não foram identificadas necessidades de investimentos referentes às propostas para fabricação do tampo tendo em vista que: a) melhoria da comunicação entre planejamento e expedição, assim como participação do programador da primeira unidade no processo de programação da segunda estão associados a procedimentos de comunicação; b) o processo de identificação com etiquetas adesivas já está implantado, sendo apenas uma questão de uso

para identificação dos materiais enviados nos processos inter-fábrica; c) com o compartilhamento de recursos não seriam gerados custos adicionais em relação ao processo atual.

5.1.2 Fabricação dos bocais e boca de visita

Na fabricação dos bocais e boca de visita, sugere-se formação de uma célula de manufatura dedicada, possibilitando que a fabricação dos bocais e boca de visita seja realizada de maneira paralela à fabricação do corpo. Além disso, utilizando-se dos conceitos de manufatura celular sugere-se a formação de uma família de componentes que compreenderiam também clips e selas, os quais em conjunto podem ser denominados como Miscelâneas.

É importante ressaltar que a empresa estudada já teve uma experiência no passado com células de manufatura, porém o sistema foi mal implementado por diversas razões como: má definição da família de peças e do grupo de máquinas, falta de treinamento dos trabalhadores para formação de uma equipe flexível e autônoma (*ownership*) e não utilização dos princípios de *system dynamics* conforme sugere Suri (1998). Segundo o encarregado de produção, durante entrevista, a célula foi dissolvida 6 meses após a sua formação.

A implantação de uma célula de manufatura envolve a definição de alguns aspectos considerados chave, entre eles: definição da família de peças que serão produzidas na célula; determinação dos recursos necessários para a célula (máquinas, dispositivos, facilidades e mão-de-obra); definição do local onde a célula será instalada e; investimentos necessários.

A definição da família de peças que serão produzidas na célula se deu com base em um estudo das características geométricas das peças, assim como das operações necessárias para sua fabricação (similaridades nos roteiros de fabricação). Deste modo, um conjunto de peças foi agrupado em uma família denominada miscelâneas. Esta família compreende as peças necessárias para montagem de bocais (tubos, pescoços e flanges), bocas de visitas (pescoços e flanges – no geral forjados), clips, reforços, nervuras, suportes e selas (peças com formato geométrico variado, porém com um processo de fabricação similar, constituído de corte de chapas/chanfro/traçagem/furação/soldagem).

Com relação aos recursos (máquinas, dispositivos e facilidades) necessários para a célula, com base nos processos de fabricação dos itens que compõem a família de peças, foram identificadas as necessidades apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5: Recursos necessários para a célula de miscelâneas.

Recurso	Quant.	Aplicação
Serra automática	1	Corte de tubos
Torno mecânico paralelo de médio porte	1	Chanfros, abertura de furos e usinagens gerais
Esmerilhadeiras	2	Acabamento de peças
Máquinas de solda (TIG / ER / AS)	3	Processo de soldagem
Bancadas de montagem com regulagem de altura	3	Montagem de peças
Pórtico Capacidade 2 Toneladas	1	Movimentação de peças
Furadeira de Coluna	1	Furação de peças
Cilindros de Gases	4	Alimentação dos equipamentos de solda
Armários e Prateleiras	4	Armazenagem de dispositivos da célula
Pallets de Madeira	2	Para colocação de peças e materiais

Fonte: Proposto pelo autor.

Para completar o processo de fabricação das peças, seriam necessárias as máquinas para os processos de corte de chapas (mesas pantográficas e máquinas de corte laser), porém como estas são máquinas de grande porte e compartilhadas por todos os produtos que passam pelo processo de caldeiraria, tornou-se inviável sua incorporação na célula proposta. Neste caso, tais recursos serão compartilhados com as demais áreas fabris, constituindo-se de um fornecedor para a célula de miscelâneas.

Com relação ao transporte e movimentação das peças, como são peças de pequeno porte, seu transporte interno na célula será viabilizado pela utilização de um pórtico de pequeno porte de uso exclusivo para a célula e no caso das movimentações entre a célula e demais área fabris, será utilizada uma empilhadeira.

No que se refere às necessidades de mão-de-obra para operação da célula foram identificadas as necessidades apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6: Mão-de-obra necessária para operação da célula de miscelâneas.

Mão-de-obra	Quant.	Atribuições
Caldeireiro	3	Operar serra, torno, furadeira e lixadeira
Soldador	4	Realizar soldas
Ajudante	3	Auxiliar posicionamento, traçagem e movimentação das peças

Fonte: Proposto pelo autor.

Para o dimensionamento da capacidade da célula foram utilizados alguns dados disponíveis na empresa, tais como: a) levantamento de tempos envolvidos para a fabricação de conexões de 24 polegadas (270 minutos), 16 polegadas (241 minutos) e 3 polegadas (134 minutos) – média de 215 minutos; b) quantidade de vasos fabricados no ano de 2010 (131 vasos, média de 11 vasos por mês); c) quantidade média de conexões por vasos (20 conexões); d) roteiros de fabricação disponíveis na engenharia industrial.

Com base nestes dados, calculou-se o número de horas necessárias da célula para fabricação de conexões, o qual resultou em 788 horas ($(215 \text{ min} \times 11 \text{ vasos} \times 20 \text{ conexões por vaso})/60$). Importante ressaltar que as conexões representam apenas uma parte da família Miscelâneas, havendo a necessidade de se considerar outra parcela de capacidade para os demais itens que também serão fabricados na célula.

Esta parcela de capacidade necessária para fabricação dos demais itens foi estimada a partir de discussões com o supervisor e encarregado de produção (para estes itens não haviam informações estruturadas de tempo como no caso das conexões), indicando que seria necessário algo em torno de 50% da capacidade da célula para fabricação de conexões e 50% para fabricação dos demais itens (clips, selas, reforços, nervuras e suportes – peças com processo de fabricação de menor complexidade).

Desta forma, tendo em vista as horas necessárias para fabricação de conexões, calculada anteriormente, obteve-se que seriam necessárias 1.580 horas produtivas da célula mensalmente. Isto resultou no dimensionamento da célula, envolvendo os recursos de mão-de-obra apresentados no Quadro 7, destacando-se que com a configuração proposta para a célula, a capacidade disponível da mesma seria de 1.760 horas (obtida pela multiplicação das horas disponíveis no primeiro turno (8,8h) pelo número de dias úteis médio de um mês (20), multiplicados pelo número de funcionários disponíveis na célula (10)).

No que se refere ao espaço físico necessário para instalação da célula foi levado em consideração as melhores condições logísticas, optando-se por uma área próxima ao almoxarifado (local onde são armazenadas as peças forjadas, tubos, flanges e chapas), assim como da área de corte e preparação – os dois principais fornecedores internos da célula. Além disso, a área já possui uma série de facilidades instaladas como rede elétrica e iluminação, pois anteriormente era uma área utilizada para manutenção de equipamentos.

Em vista dos recursos necessários para implantação e operação da célula, foram levantados os investimentos necessários. No que se refere à mão-de-obra, dos 10 funcionários necessários, 6 serão aproveitados internamente (03 ajudantes, 02 soldadores e 01 caldeireiro) sendo necessário a contratação de quatro funcionários (02 soldadores e 02 caldeireiros).

Algumas obras civis também serão necessárias para adequação do local onde a célula será instalada, entre elas: fechamento lateral da área, melhorias no piso e disponibilização de mais pontos de energia elétrica para máquinas de solda e esmerilhadeiras.

No que se refere às máquinas, será necessária a aquisição do pórtico de 2 toneladas, os demais recursos necessários serão remanejados de outras áreas fabris. A Tabela 2 mostra um resumo dos investimentos necessários associados a esta sugestão de melhoria.

Tabela 2: Investimentos necessários para formação da célula de miscelâneas.

Item de Investimento	Investimento Previsto (R\$)	Base de Referência
Contratações		
(02) Caldeireiro	6.223	Salário médio + encargos trabalhistas
(02) Soldadores	5.800	
Obras Civis	5.000	Estimativa
Movimentação de máquinas	644	20 horas de mão-de-obra da equipe de manutenção
Aquisição e instalação de pórtico	25.000	Pesquisa em fornecedor
Total	42.667	

Fonte: Proposto pelo autor.

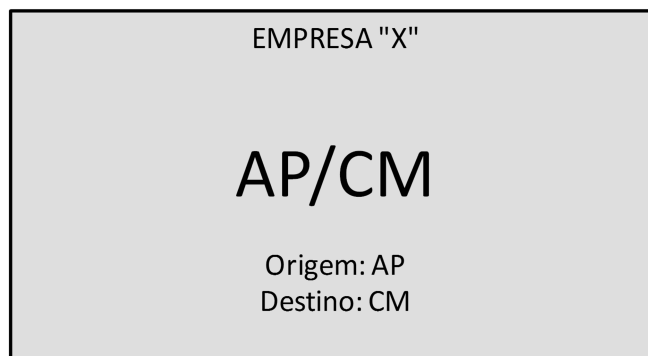
5.1.3 Montagem das miscelâneas

Quanto à montagem das miscelâneas no vaso de pressão propõe-se uma melhoria da coordenação das ordens no chão de fábrica principalmente entre os estágios produtivos que alimentam a montagem do vaso de pressão, a qual possui um *layout* por posição fixa, ou seja, tem recursos dedicados para este fim. Como estes recursos têm sido utilizados inadequadamente em virtude da alta variabilidade de chegada dos materiais, sugere-se a adaptação da ferramenta POLCA para coordenação destes estágios produtivos.

A proposta consiste na utilização de um sistema POLCA adaptado para a coordenação dos múltiplos estágios produtivos. A ideia central é fazer um reaproveitamento de alguns recursos e ferramentas já existentes na empresa. O funcionamento deste POLCA adaptado segue as características chaves do POLCA apresentado por Suri (1998) como descrito a seguir, já adaptado para o caso em questão:

- 1) Organização celular, como nem todos os estágios produtivos são formados por células, as áreas de preparação e montagem do vaso de pressão serão consideradas como células. Dessa forma tem-se os seguintes centros produtivos para a formação dos *loops*: área de corte e preparação (AP); célula de miscelânea (CM); montagem dos bocais/boca de visita (MB); montagem dos clips (MC); e montagem das selas (MS);
- 2) Autorizações de liberação serão realizadas pelo sistema ERP já utilizado na empresa, representadas pelas Ordens de Fabricação (OF);
- 3) O método de controle de material será baseado em cartões que serão utilizados para o controle do material movimentado entre as células. Neste caso, serão utilizados cartões POLCA designados para cada par de centros produtivos, conforme mostra Figura 27.

Figura 27: Proposta de Cartão POLCA.



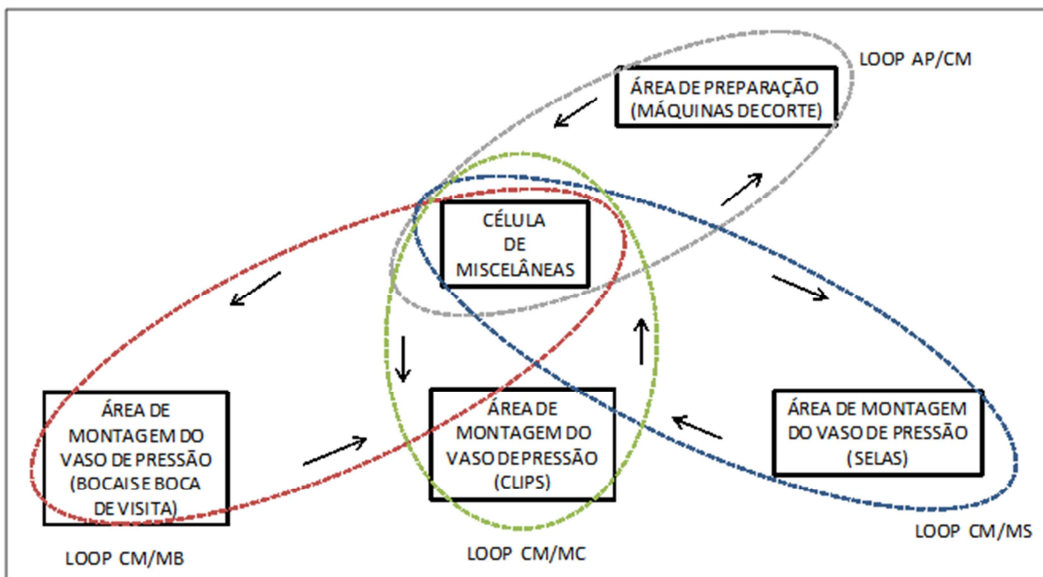
Fonte: Adaptado Suri (1998).

O cartão POLCA proposto traz as informações necessárias para orientar a movimentação do material (centros produtivos de origem e destino), enquanto as informações para identificação e processamento do material encontram-se na OF (número do projeto, que identifica a qual equipamento pertence o material; número de desenho, que identifica qual peça deverá ser fabricada; assim como materiais necessários).

Para cada par de centro produtivo, o cartão POLCA permanece com uma tarefa durante toda sua jornada por meio dos dois centros produtivos e depois retorna para o primeiro centro. A ideia é que o cartão POLCA seja acompanhado da respectiva OF, a qual traz maiores informações sobre os itens que serão processados.

De acordo com as características apresentadas, pode-se então, determinar o fluxo de cartões POLCA que proporcionará uma melhor coordenação dos múltiplos estágios produtivos. Este fluxo é mostrado na Figura 28.

Figura 28: Fluxo dos cartões POLCA.



Fonte: Proposto pelo autor.

O funcionamento do POLCA adaptado inicia-se com o procedimento de liberação das OF's por meio do ERP da empresa contendo os roteiros de fabricação. Estas ordens são controladas por meio de um sistema de apontamentos de produção por código de barras que registra o nome do operador, data do apontamento, localização do centro produtivo, identificação do recurso (máquina) utilizado e, o tempo gasto em cada operação conforme o roteiro de fabricação. As condições para iniciar a produção são: produção é autorizada pelo ERP, existência de matéria-prima e existência de cartão POLCA.

Com matéria-prima disponível em AP e cartão POLCA AP/CM, a tarefa é lançada em AP. Após ter completado as operações em AP, a tarefa e o cartão POLCA AP/CM seguem para o pulmão de entrada de CM. Quando um dos cartões CM/MB ou CM/MC ou CM/MS chega de volta a CM, a tarefa é lançada dentro de CM. Neste momento, a tarefa em CM carrega dois tipos de cartão POLCA. Quando a tarefa em CM é completada, o cartão AP/CM é devolvido para o início de AP para ser concluído e a tarefa é encaminhada para o pulmão de entrada de MB ou MC ou MS junto do cartão CM/MB ou CM/MC ou CM/MS.

Como a roteiro a ser seguido é pequeno, sendo MB ou MC ou MS o último centro produtivo, não haverá um cartão POLCA esperando para iniciar, então a tarefa é lançada em MB ou MC ou MS toda vez que estiver preparado para iniciar outra tarefa.

Assim que a tarefa em MB ou MC ou MS é completada, o cartão CM/MB ou CM/MC ou CM/MS é recolhido junto com as ordens de fabricação da montagem dos bocais, clips e selas. Neste momento o cartão retorna para sua origem e a OF segue para área de programação da produção para ser encerrada no sistema ERP.

Os investimentos necessários para a implementação do processo de utilização dos cartões POLCA foram estimados e referem-se, essencialmente, ao treinamento dos colaboradores e confecção/impressão dos cartões. Estes investimentos necessários são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Investimentos necessários para implementação do POLCA adaptado.

Item de Investimento	Investimento Previsto (R\$)	Base de Referência
Treinamento	3.000	30 horas de consultoria
Cartões	500	Estimada confecção de 50 cartões
Total	3.500	

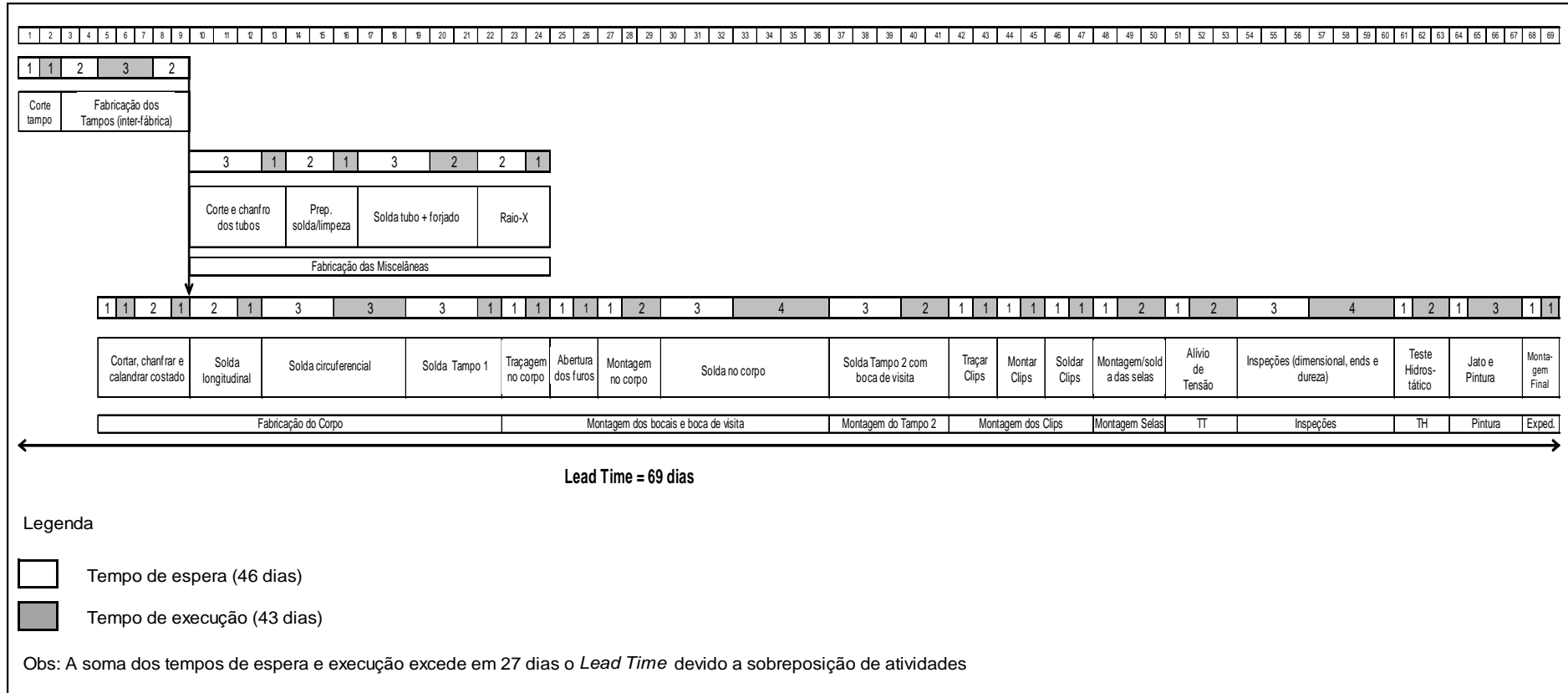
Fonte: Proposto pelo autor.

5.2 RESULTADOS ESPERADOS

O resultado geral esperado com a implantação das sugestões de melhoria propostas é a redução do *lead time* de fabricação do vaso de pressão. Para este fim, seguindo os passos determinados pela metodologia QRM, foram atacadas as principais esperas identificadas no

MCT. Estes resultados são demonstrados na Figura 29, a qual mostra o MCT futuro, com as respectivas reduções de *lead time* esperadas.

Figura 29: MCT futuro – resultado da implantação das sugestões de melhoria.



Fonte: Proposto pelo autor.

Os resultados esperados foram obtidos a partir de análises de cada proposta com o encarregado e colaboradores de cada área fabril conforme cada etapa do processo.

Na fabricação do tampo observa-se uma redução significativa do tempo de espera (21 dias), em virtude da eliminação dos tempos de espera relacionados a providências de transporte, fácil identificação e localização dos materiais na unidade 2 e melhoria da programação da produção. Nesta nova situação, a unidade 1 envia apenas o material que será processado naquele tempo reservado para fabricação de seus tampos na unidade 2 e deste modo, este material aguardará no máximo dois dias até que retorno para a unidade 1, conforme proposta apresentada na Figura 26.

Outro resultado direto possível de ser observado no MCT futuro, diz respeito aos 15 dias ganhos devido à fabricação das miscelâneas paralelamente ao processo de fabricação do corpo, em oposição ao processo sequencial que era adotado anteriormente.

Além disso, verifica-se uma redução de 11 dias no processo de montagem das miscelâneas (bocais, boca de visita, clips e selas) em virtude da melhoria da coordenação das ordens no chão de fábrica.

A Tabela 4 resume os resultados esperados referentes à redução do *lead time* no processo de fabricação do vaso de pressão.

Tabela 4: Resultados esperados na redução de *lead time*.

Item	Situação Atual	Situação Proposta	Redução
Tempo de execução (dias)	43	43	–
Tempo de espera (dias)	78	46	32 (41%)
Lead time total de fabricação (dias)	116	69	47 (40%)

Fonte: Dados da pesquisa.

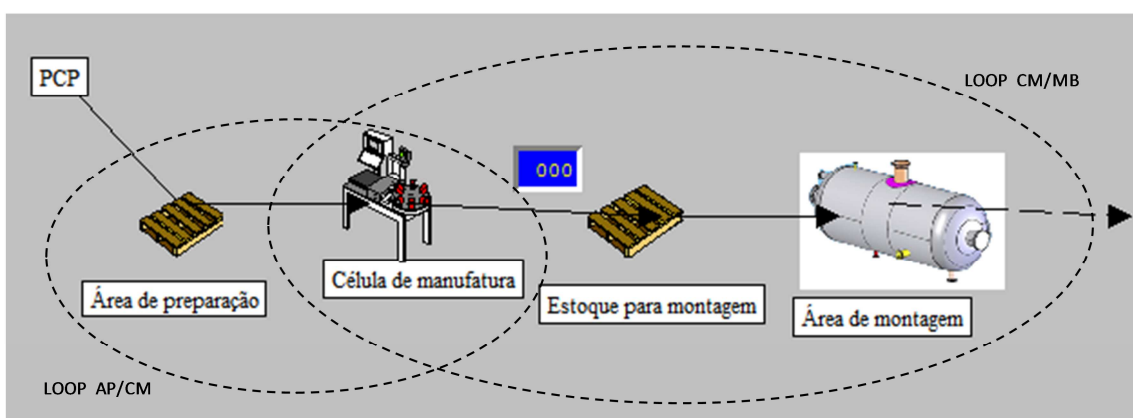
Outras reduções também podem ser observadas no MCT futuro e estas estão relacionadas a aspectos tais como: redução do tempo necessário envolvido com diversos alinhamentos do vaso, devido à redução da variabilidade de chegada dos materiais; aumento da qualidade, oriundo da fabricação das miscelâneas em uma célula especializada para tal; maior responsabilidade sobre os materiais movimentados no chão de fábrica, devido a melhoria na coordenação das ordens, proporcionada pelo POLCA adaptado.

Para verificação da funcionalidade da proposta de utilização do sistema POLCA adaptado, foi elaborado um modelo da situação no *software* PROMODEL, construído com os parâmetros apresentados nos Apêndices D, E e F. Destaca-se que em função da limitação da versão *student* deste *software* foi necessário algumas adaptações nos modelos de simulação. No entanto, o cerne da proposta foi mantido mesmo com as adaptações.

As simulações realizadas tiveram como objetivo comparar o *lead time* de uma parte específica da fabricação do vaso de pressão considerando o processo em que é realizado atualmente pela empresa e o proposto por meio das sugestões de melhorias apresentadas neste capítulo.

Para tanto, considerou-se fabricação dos bocais e bocas de visita e suas respectivas montagens no vaso de pressão, ou seja, a representação de dois *loops* do sistema POLCA proposto (*loop* AP/CM e *loop* CM/MB), uma vez que as conexões (bocais e bocas de visita) é a montagem mais crítica entre as miscelâneas. A Figura 30 mostra a interface gráfica das simulações realizadas.

Figura 30: Interface gráfica das simulações propostas.



Fonte: Proposto pelo autor.

A partir desta configuração, foram realizadas três simulações a fim de verificar se realmente há uma redução significativa no *lead time* de fabricação quando existe um sistema de coordenação entre as ordens no chão de fábrica, evitando-se, assim a chegada fracionada de materiais (alta variabilidade de chegada), problema que ocorre com grande frequência na empresa estudada.

Para a realização das simulações, foram levadas as seguintes considerações: processo de fabricação de um vaso de pressão de médio porte (aproximadamente 10 toneladas) contendo em média 20 conexões (bocais e bocas de visita), tempo de trabalho de um turno

(8,8 horas), tempo médio de execução das atividades coletados em campo durante o acompanhamento da fabricação do produto e, dados da célula de manufatura e sistema POLCA adaptado conforme detalhado na seção 5.1. Cada simulação ocorreu conforme descrição a seguir:

- Simulação 1: chegada fracionada das conexões na área de preparação em lotes de 4 peças em uma frequência de períodos de um dia.
- Simulação 2: chegada fracionada das conexões na área de preparação em lotes de 10 peças em uma frequência de períodos de um dia.
- Simulação 3: chegada de todas conexões juntas (lote de 20 peça) na área de preparação.

As simulações 1 e 2 demonstram duas situações que ocorrem no processo atual da empresa em que há um grande número de ordens de fabricação liberadas na área fabril com datas conflitantes e falta de sequenciamento. Já simulação 3 demonstra a proposta de utilização do POLCA adaptado em que uma das condições para liberação da produção é a existência de matéria-prima.

A Tabela 5 ilustra os resultados do *lead time* em cada simulação.

Tabela 5: Comparativo dos resultados das simulações realizadas no PROMODEL.

Simulação	Quant. de peças (chegada)	Nº de ocorrências (chegada)	Lead time (horas)	Lead time (dias)
1	4	5	127,2	14,4
2	10	2	100,8	11,4
3	20	1	74,4	8,4

Fonte: Dados da simulação.

Ao analisar os resultados apresentados, verificou-se que a simulação 3 proporcionou o menor *lead time* de fabricação e montagem dos bocais e bocas de visita, comprovando que a aplicabilidade do sistema POLCA adaptado pode trazer impactos positivos no processo de fabricação do vaso de pressão.

Já as simulações 1 e 2 ilustraram duas situações reais que acontecem na empresa devido à chegada fracionada de materiais, a qual é originada pela falta de coordenação entre as ordens no chão de fábrica. Os resultados mostraram que quanto maior o fracionamento na chegada dos materiais na área de preparação, maior é *lead time* de fabricação, uma vez que é necessário retrabalhos para alinhamento do vaso de pressão. Comparando-se as duas

primeiras simulações com a terceira, que obteve o melhor resultado, percebeu-se que há uma redução de 6 dias (42%) da simulação 1 e redução de 3 dias (27%) da simulação 2 para a simulação 3. É importante lembrar que estes resultados representam somente a fabricação das conexões (bocais e bocas de visita) na célula de miscelâneas, ou seja, não foi considerada a fabricação dos demais itens (clips, selas, reforços, nervuras e suportes).

Outra maneira de analisar a redução de *lead time* neste processo de fabricação é a partir dos resultados do MCT futuro (Figura 35) e da simulação. No MCT futuro mostra-se uma redução de 11 dias no processo de montagem das miscelâneas por causa da melhoria da coordenação das ordens no chão de fábrica e, a comparação das simulações 3 e 1 (que é o pior caso) mostra uma redução de *lead time* de 6 dias considerando somente as conexões. Como a capacidade da célula de miscelâneas está dividida em 50% para conexões e 50% para os demais itens, a simulação mostra coerência já que reduziu aproximadamente metade do *lead time* das miscelâneas.

Conforme a literatura destaca, avaliar os ganhos de um projeto QRM não é uma tarefa simples, principalmente se a empresa não entender a redução do *lead time* como métrica fundamental para a melhoria de desempenho. A partir da comparação entre o MCT atual e o MCT futuro, torna-se claro a verificação do potencial de ganhos gerados pelas propostas geradas com base na metodologia QRM. Porém a fim de analisar a viabilidade econômica da implementação das sugestões de melhoria, foram realizadas algumas análises financeiras.

O custo hora da unidade fabril estudada gira em torno de R\$ 32,00 e são trabalhadas 17,15 horas por dia (dois turnos). Partindo-se da hipótese de que 20% do custo hora está relacionado à manutenção do WIP e, tendo em vista que a redução do tempo de espera reduzirá o WIP, é possível estimar o potencial de ganho por vaso de pressão fabricado, a partir dos dias dias reduzidos. Este potencial de ganho é demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6: Ganhos financeiros estimados com a redução do *lead time*.

Processo	Redução <i>lead time</i> (dias)	Redução em horas	Potencial de Ganho (R\$)
Fabricação dos tampos	21	360	2.304
Implantação da célula de miscelâneas	15	250	1.600
Implantação do POLCA adaptado	11	154	985
Total	47	764	4.889

Fonte: Proposto pelo autor.

Na Tabela 7 é apresentado um resumo comparativo entre os investimentos necessários para implantação das sugestões de melhoria e os ganhos financeiros esperados com a redução do *lead time* de fabricação do vaso de pressão.

Tabela 7: Comparativo entre investimentos previstos e ganhos esperados.

Processo	Investimento Total Previsto (R\$)	Ganho Esperado (R\$)/vaso
Fabricação dos tampos	0	2.304
Implantação da célula de miscelâneas	42.667	1.600
Implantação do POLCA adaptado	3.500	985
Total	46.167	4.889

Fonte: Proposto pelo autor

A fim de avaliar a viabilidade da implantação das melhorias sugeridas é importante ressaltar que o ganho esperado está calculado para um vaso e deste modo é direta a constatação de que com a fabricação de 10 vasos de pressão os investimentos serão pagos. Somando-se a esta constatação o fato de que no ano de 2010 foram produzidos 131 vasos de pressão na unidade estudada, é possível inferir sobre a viabilidade das propostas apresentadas. Mesmo em períodos de baixa demanda, o histórico da empresa demonstra uma média de 3 vasos fabricados por mês, totalizando 36 vasos por ano, situação na qual, 4 meses de trabalho pagam os investimentos estimados.

Outro ganho significativo, porém de difícil mensuração, diz respeito ao aumento do potencial de vendas da empresa em função da redução do *lead time* de fabricação do vaso em 40%, ou seja, de modo geral, a empresa estaria apta a vender e produzir, 40% mais vasos de pressão, aumentando sua participação de mercado.

Por fim, no capítulo a seguir é apresentada a conclusão do presente trabalho.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal apresentar uma proposta para a redução de *lead time* a partir da aplicação dos conceitos e ferramentas da metodologia *Quick Response Manufacturing* (QRM) em uma empresa do setor de bens de capital.

Para tal propósito foi realizado um estudo de caso em uma empresa de bens de capital que desenvolve e fabrica máquinas e equipamentos sob encomenda, no qual foi analisado o processo completo de fabricação de vasos de pressão.

Através do mapeamento do *Manufacturing Critical-Path Time* (MCT), que apresentou um *lead time* inicial de 116 dias, foi possível investigar as principais causas de espera no processo de fabricação e, a partir de sugestões de melhorias, propor um novo MCT com um *lead time* de 69 dias, ou seja, uma redução de 40% no tempo de fabricação dos vasos de pressão.

O Quadro 7 mostra o resumo dos resultados e ganhos esperados de acordo com as causas de espera e propostas de melhorias desenvolvidas no estudo de caso.

Quadro 7: Resumo dos resultados e ganhos esperados.

Etapa do processo de fabricação	Causas de espera	Propostas de melhoria	Redução de <i>lead time</i> (dias)	Ganho esperado (R\$)
Fabricação do tempo	Transporte entre as unidades	Antecipação das providências relacionadas à solicitação do veículo e licenças	21	2.304
	Identificação e localização das chapas	Utilização de etiquetas auto-adesivas		
	Controle do processo inter-fábrica	Unificação do processo inter-fábrica com a utilização de uma única ordem de fabricação		
	Sistemática da programação de produção	Compartilhamento de recursos (<i>time-slicing</i>)		
Fabricação dos bocais e boca de visita	Interrupção do trabalho por falta de material (tubos e forjados)	Implantação da célula de miscelâneas	15	1.600
Montagem das miscelâneas	Chegada fracionada de material devido a falta de coordenação entre as ordens de fabricação	Implantação do POLCA adaptado	11	985
Total			47	4.889

Fonte: Proposto pelo autor.

Além disso, pôde-se comprovar a funcionalidade da proposta de utilização do sistema POLCA adaptado no processo fabricação e montagem dos bocais e bocas de visita por meio de três simulações realizadas no software PROMODEL. As duas primeiras simulações demonstraram a chegada fracionada das conexões na área de preparação e a terceira simulação apresentou a chegada coordenada dos materiais a partir da utilização do sistema POLCA. Os resultados mostraram que quanto maior o fracionamento na chegada dos materiais, maior é *lead time* de fabricação. Desta forma, simulação 3 proporcionou o menor *lead time* de fabricação, comprovando que a aplicabilidade do sistema POLCA adaptado pode trazer impactos positivos no processo de fabricação do vaso de pressão.

Reconhecidas as limitações deste trabalho no que diz respeito ao fato de se tratar de um estudo de caso único e à utilização de algumas estimativas, ressalta-se o potencial de ganhos gerados que poderá ser implementado na empresa a partir da aplicação da metodologia QRM. Os resultados esperados, além da redução de 40% do *lead time*, estão relacionados à melhoria de qualidade, aumento de responsabilidade no processo de fabricação e simplificação do controle de produção.

Os aspectos apresentados na literatura como oriundos da espiral do tempo de resposta, que de acordo com Suri (1998) ocorrem quando há uma sucessão de eventos com efeitos negativos à redução de *lead time*, são facilmente observados no caso estudado e demonstram que o uso de sistemas de medição, planejamento e controle tradicionais que não têm a redução do *lead time* com foco, levam ao negligenciamento de oportunidades significativas de melhoria.

Os resultados apresentados neste estudo demonstram o potencial de ganho proveniente da redução do *lead time* nas organizações, assim como a quantidade de oportunidades de melhoria que podem ser identificadas e atacadas a partir da adoção de uma metodologia estruturada focada nesta redução, na qual se pode mencionar:

- Melhoria na qualidade e diminuição de retrabalho;
- Otimização dos níveis de utilização de recursos;
- Melhoria no fluxo de materiais;
- Redução de custos;
- Cumprimento dos prazos de entrega;
- Crescimento das vendas;
- Aumento da participação de mercado.
- Maiores lucros.

Finalmente, pode-se concluir que o presente trabalho alcançou o objetivo proposto inicialmente contribuindo com a empresa estudada por meio de propostas de implantação de melhorias no processo de fabricação de vasos de pressão e, principalmente, com a ampliação da literatura da metodologia QRM e sistema POLCA no Brasil, uma vez que acredita-se que a aplicação do QRM nas empresas venha contribuir com o aumento do nível de competitividade das mesmas frente ao mercado.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS (ABIMAQ). **Apresentações conjunturais.** Disponível em: <<http://www.abimaq.org.br/site.aspx/apresentacao-conjuntural2>>. Acesso em: 29 out. 2013.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Relatório de acompanhamento setorial:** notas sobre a competitividade atual da indústria brasileira de bens de capital. Brasília: dez. 2011.

AGÊNCIA PAULISTA DE PROMOÇÃO DE INVESTIMENTOS E COMPETITIVIDADE (INVESTE SP). **Setores de negócios: máquinas e equipamentos.** Disponível em: <http://www.investe.sp.gov.br/setores-de-negocios/maquinas-e-equipamentos/>. Acesso em: 04 nov. 2013.

ARAÚJO, B. C. **Impacto da crise sobre o setor de máquinas e equipamentos.** Diretoria de Estudos Setoriais, IPEA, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INFRAESTRUTURA E INDÚSTRIA DE BASES (ABDIB). **Políticas de competitividade para a indústria de bens de capital sob encomenda.** São Paulo: fev. 2008.

BAYSAN, S.; KABADURMUS, O.; DURMUSOGLU, M. B. Economic Analysis of POLCA System Design via Simulation: A Multi-Cell Manufacturing Case Study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS AND INDUSTRIAL ENGINEERING, 37., 2007, Alexandria, Egypt. **Proceedings...** Alexandria, 2007.

BERENDS, P.; ROMME, G. Simulation as a research tool in management studies. **European Management Journal**, v.17, n.6, p.576-583, 1999.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v.22, n.2, p.241-264, 2002.

BONI, V.; QUAREMA, S. J. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em ciências. **Revista Eletrônica Pós-Graduandos em Sociologia Política da UFSC 2005**, v. 2, n. 1 (3), p. 68-80, 2005.

BRYMAN, A. **Research methods and organization studies.** Londres: Unwin Hyman, 1989.

CROOM, S. Topic issues and methodological concerns for operations management research. **Eden Doctoral Seminar on Research Methodological in Operations Management**. Bruxelas, 2005.

ERBER, F. E.; WERMULM, R. Cadeia: Bens de Capital. In: **Relatório de pesquisa Estudo da Competitividade de Cadeias Integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comércio**. Unicamp-IE-NEIT, MDIC, MCT e FINEP, 2002.

ERICKSEN, P. D.; STOFLET, N. J.; SURI, R. **Manufacturing Critical-path Time (MCT): the QRM metric for lead time**. Madison: University of Wisconsin-Madison, 2007. Technical Report Center for Quick Response Manufacturing.

EXAME MELHORES E MAIORES 2012: edição especial. São Paulo: Ed. Abril, v. 1019, n. 2, jul. 2012.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M.; FONSECA, R. A. Discussão a respeito do funcionamento, das características e da aplicabilidade de três recentes sistemas de Coordenação de Ordens: DEWIP, LOOR e POLCA. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005.

FERNANDES, N. O.; DO CARMO-SILVA, S. Generic POLCA: a production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v.104, n.1, p.74–84, 2006.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. Sistemas de coordenação de ordens: classificação, funcionamento e aplicabilidade. **Revista Gestão & Produção**, v. 14, n.2, p. 337-352, 2007.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. **Planejamento e controle da produção: dos fundamentos ao essencial**. São Paulo: Atlas, 2010.

GANGA, G. M. D. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, 2012.

GARROTE NETO, A. S. et al. O sistema de coordenação de ordens *kanban*: uma pesquisa teórico conceitual. In: ENCONTRO GOIANO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1., 2010. **Anais...** Catalão, 2010.

GERMS, R.; RIEZEBOS, J. Workload balancing capability of pull systems in MTO Production. In: INTERNATIONAL WORKING SEMINAR ON PRODUCTION ECONOMICS, 15., 2008, Innsbruck. **Preprints...** Innsbruck, 2008. p. 217-228.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GOOD, I. J. Categorisation of classification. In: BARTHOLOMAY, A. F. **Mathematics and computer science in medicine and biology**. London: HMSO, 1965. p. 115-128.

HARROD, J.; KANET, J. J. Applying work flow control in make-to-order job shops. **International Journal of Production Economics**, v. 143, n. 2, p. 620-626, 2013.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics: foundations of manufacturing management**. 2 ed. Chicago: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics: foundations of manufacturing management**. 3 ed. Nova York: Irwin/McGraw-Hill, 2008.

KABADURMUS, O. **A comparative study of POLCA and generic CONWIP production control systems in erratic demand conditions**. Auburn University, 2009. IIE Lean Division - Lean Student Paper Competition.

KRISHNAMURTHY, A.; SURI, R. Planning and implementing POLCA: a card-based control system for high variety or custom engineered products. **Production Planning & Control**, v.20, n.7, p.596-610, 2009.

KRISHNAMURTHY, A.; SURI, R.; VERNON, M. K. A new approach for analyzing queueing models of material control strategies in manufacturing systems. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON QUEUEING NETWORKS WITH FINITE CAPACITY, 4., 2000. Ilkley, West Yorkshire. **Proceedings...** Ilkley, 2000. p. 1-26.

KRISHNAMURTHY, A.; SURI, R.; VERNON, M. K. Re-examining the performance of MRP and KANBAN material control strategies for multi-product flexible manufacturing systems. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v.16, n.2, p. 123-150, 2004.

LÖDDING, H.; YU, K. W.; WIENDAHL, H. P. Decentralized WIP-oriented manufacturing control (DEWIP). **Production Planning and Control**, v.14, n.1, p. 42-54, 2003.

MAGACHO, G. R. **A indústria de bens de capital no Brasil: restrição externa e dependência tecnológica no ciclo de crescimento recente.** 2012. 153 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, 2012.

MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. M (Coordenador). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 226 p. (Coleção ABEPRO) Capítulo 3, p.45-61.

MEGLIORINI, E. **Análise crítica dos conceitos de mensuração utilizados por empresas brasileiras produtoras de bens de capital sob encomenda.** 2003. 213 f. Tese (Doutorado em Ciências Contábeis) – Departamento de Contabilidade e Atuária, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, 2003.

MEREDITH, J.R.; RATURI, A.; AMOAKO-GYAMPAH, K.; KAPLAN, B. Alternative research paradigms in operations. **Journal of Operations Management**, v.8, n.4, p. 297-326, 1989.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v.17, nº 1, p. 216-229, jan./abr. 2007.

MIGUEL, P. A. C. Adoção do estudo de caso na engenharia de produção. In:_____ (Coordenador). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 226 p. (Coleção ABEPRO) Capítulo 6, p.129-143.

NGAI, E. W. T. et al. RFID research: An academic literature review (1995-2005) and future research directions. **International Journal of Production Economics**, v.112, n.2, p. 510-520, 2008.

RIEZEBOS, J. Polca simulation of a unidirectional flow system. In: RIEZEBOS, J.; SLOMP, J. **Proceedings of the third international conference on group technology/cellular manufacturing.** Groningen: University of Groningen, 2006. p. 332–338.

RIEZEBOS, J. Design of Polca material control systems. **Internacional Journal of Production Research**, v.48; n.5, p.1455-1477, 2010.

RYAN, C. M.; CHOUBINEH, F. Total WIP and WIP mix for a CONWIP controlled job shop. **IIE Transactions**, v.35, n.5, p. 405–418, 2003.

SANDERSON, S. W.; UZUMERI, M. **Managing Product Families.** Burr Ridge, IL: Richard D. Irwin, 1997.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**, São Paulo: Atlas, 2002.

STALK, G.; HOUT, T. **Competing against time**. New York: The Free Press, 1990.

STEVENSON, M.; HENDRY, L. C.; KINGSMAN, B. G. A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. **International Journal of Production Research**, v.43, n.1, p.869–898, 2005.

STRACHMAN, E.; AVELLAR, A. P. M. Estratégias, desenvolvimento tecnológico e inovação no setor de bens de capital, no Brasil. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 29, n. 1, p. 237-266, jun. 2008.

SURI, R. **Quick response manufacturing**: a companywide approach to reducing lead times. Portland: Productivity Press, 1998.

SURI, R. **QRM and POLCA**: a winning combination for manufacturing enterprises in the 21st century. Madison: University of Wisconsin-Madison, 2003. Technical Report Center for Quick Response Manufacturing.

SURI, R. A lean strategy for job shops. Gear Technology. **Journal of Gear Manufacturing**, Nov–Dec. 2005.

SURI, R. **It's about time**: the competitive advantage of quick response manufacturing. New York: Productivity Press, 2010.

SURI, R.; KRISHNAMURTHY, A. **How to plan and implement POLCA**: a material control system for high-variety or custom-engineered products. Madison: University of Wisconsin-Madison, 2003. Technical Report Center for Quick Response Manufacturing.

TELLES, P. C. S. **Vasos de Pressão**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996.

ULRICH, K. D.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. New York: Mc Graw Hill, 1995.

VANDAELE, N. et al. **E-POLCA to control multi-product, multimachine job shops**. Working paper University of Antwerp, 2004.

VANDAELE, N. et al. Load-based POLCA: an integrated material control system for multiproduct, multimachine job shops. **Manufacturing & Service Operations Management**, v.10, n.2, p.181–197, 2008.

VEERAMANI, D.; JOSHI, P.: Methodologies for rapid and effective response to requests for quotation (RFQs). **IIE Transactions**, vol. 29, p. 823-838, 1997.

VERMULM, R. O setor de bens de capital. In: SCHWATZMAN, S. (Coordenador). **Ciência e Tecnologia no Brasil: uma nova política para um mundo global**. Rio de Janeiro: Editora da FGV, 1995.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v.22, n.2, p.195-219, 2002.

WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K.B. **Revolutionizing Product Development**. New York: The Free Press, 1992.

WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K.B. **Leading Product Development**. New York: The Free Press, 1995.

YIN, R K. **Case Study Research: design and methods**. 6 ed. Newbury Park: Sage, 1989.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZANGWILL, W. I. **Lightning Strategies for Innovation**. New York: Lexington Books, 1993.

APÊNDICE A – PROTOCOLO DE PESQUISA

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

PROTOCOLO DE PESQUISA

Pesquisadora: Fernanda Silva Chinet
Orientador: Prof. Dr. Moacir Godinho Filho

Visão geral do projeto de estudo de caso

A realização desta pesquisa constitui parte das obrigações da pesquisadora para apresentação da dissertação ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos necessária para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

O objetivo principal da pesquisa é desenvolver uma proposta para a redução do *lead time* no processo de fabricação de uma empresa de bens de capital, a partir da aplicação dos conceitos e ferramentas da metodologia *Quick Response Manufacturing* (QRM).

O *Quick Response Manufacturing* (QRM) ou Manufatura de Resposta Rápida é um método pragmático criado pelo professor Rajan Suri da Universidade de Wisconsin (EUA) com a finalidade de se obter reduções nos *lead times* e ao mesmo tempo, trabalhando em um ambiente com alta variedade de produtos distintos.

Desta forma optou-se um por uma empresa de bens de capital que desenvolve e fabrica equipamentos sob encomenda.

O nome da empresa e as fontes das informações obtidas em campo serão preservados.

Quaisquer documentos, que porventura, venham fazer parte da dissertação não serão identificados com o nome da empresa.

Procedimentos de Campo

Os procedimentos em campo deverão acontecer em três etapas: entrevistas (etapas 1 e 2) e acompanhamento do processo de fabricação (etapa 3).

a) Entrevistas

Nesta primeira fase, serão necessárias duas visitas à empresa, denominadas de etapa 1 e etapa 2 respectivamente, que deverão ocorrer por meio de agendamento prévio.

Na etapa 1, busca-se obter informações sobre os segmentos que a empresa atua e seus produtos para definir qual deles é mais adequado para o desenvolvimento da pesquisa, ou seja, tem maior lucratividade e representatividade. Para isto, serão realizadas entrevistas com o gerente geral da unidade e gerente industrial, além de visitas às instalações fabris.

Na etapa 2, pretende-se buscar informações mais detalhadas sobre o processo de fabricação do produto identificado após a primeira visita. Desta forma, as entrevistas deverão

ser aplicadas a pessoas ligadas diretamente a fabricação do produto: coordenador de Planejamento e Controle da Produção (PCP), supervisor da fábrica e encarregado da produção.

Para a realização das entrevistas será elaborado uma lista de questões ou tópicos a serem verificados, a partir de roteiros semi-estruturados. Os tópicos a serem discutidos devem ser apresentados aos entrevistados de forma aberta e não se deve exercer nenhum tipo de indução à resposta. Entretanto, outros tópicos considerados relevantes que por ventura não estejam abordados no roteiro poderão ser explorados pela pesquisadora.

Estima-se um tempo médio de uma hora para cada entrevista, sendo que esta duração poderá ser ajustada conforme a disponibilidade do entrevistado. Deve-se evitar entrevistas muitas curtas ou muitas longas.

O material a ser utilizado nas entrevistas resume-se em: cópias dos roteiros de entrevistas para a pesquisadora e entrevistado, bloco de anotações e caneta, formulário para coleta de dados e gravador.

b) Acompanhamento do processo de fabricação

Para a realização da etapa 3, será solicitada uma autorização para o acesso e permanência da pesquisadora nas dependências da empresa em regime de tempo integral a fim de acompanhar o ciclo de vida completo do produto que será estudado. Estima-se que este processo deverá ter uma duração de 3 a 4 meses.

As ferramentas e técnicas utilizadas nesta etapa são:

- Análise documental: aquisição do histórico de dados do produto estudado, a partir de documentos disponíveis na rede interna e no sistema ERP da empresa;
- Observação direta: acompanhamento diário das atividades e do cronograma de fabricação para elaboração do fluxograma do processo de fabricação e o mapeamento do MCT;
- Entrevistas não estruturadas (informal) com os colaboradores do chão de fábrica.

A pesquisadora deve sempre que possível cruzar as informações obtidas nas entrevistas e observações com diversas pessoas envolvidas no processo.

O material a ser levado nesta etapa constitui-se de prancheta, bloco de anotações, lápis e caneta, *pen drives*, máquina fotográfica quando permitido.

É importante ressaltar que a pesquisadora deverá estar com vestimenta adequado (sapato de couro fechado, calças e camisa/blusas fechadas) para o acesso às instalações fabris.

Questões de estudo de caso

Na primeira etapa dos procedimentos de campo, os tópicos a serem abordados nas entrevistas com o gerente geral da unidade e o gerente industrial são:

- Apresentação geral da empresa: ramo de atuação, capital de origem, unidades, número de funcionários, capacidade industrial;
- Principais segmentos e produtos da empresa;
- Principais clientes;
- Produtos com maior volume de vendas;
- Produtos de maior lucratividade;
- Fatores críticos de sucesso da empresa.

Na segunda etapa, os tópicos a serem abordados com o coordenador de Planejamento e Controle da Produção (PCP), supervisor da fábrica e encarregado da produção são:

- Volume da carteira de pedidos;
- Participação do cliente no processo de fabricação;
- Principais etapas de fabricação do produto;
- *Lead time* de fabricação do produto;
- Principais problemas para cumprimento dos prazos de entrega;
- Experiência com células de fabricação;

Por fim, no acompanhamento da fabricação busca-se realizar as seguintes atividades:

- Coleta de dados históricos a partir de documentos como: pedidos de fabricação, desenhos, cronogramas, ordens de produção, *packing lists*;
- Elaboração do fluxograma do processo de fabricação e o mapeamento do MCT por meio da observação direta.

Guia para elaboração do relatório de estudo de caso

Após a realização das entrevistas e o término da análise documental e observações em campo, a pesquisadora deverá fazer uma consolidação das informações obtidas e redigir o relatório do estudo de caso. Este relatório será dividido nas seguintes partes:

- Dados gerais da empresa estudada;
- Análise do problema;
- Aspectos do produto;
- Análise das causas de espera;
- Propostas de melhoria.

Nos dados gerais, devem constar informações da empresa como: localização, áreas de negócios, principais clientes e concorrentes, localização, número de funcionários, capacidade industrial.

A análise do problema deverá ser baseada nas informações obtidas nas primeiras entrevistas realizadas com o gerente geral da unidade e o gerente industrial a fim de se definir o segmento (*Target Market Segment*) e, posteriormente, o produto ou processo de fabricação a ser estudado (*Focused Target Market Segment - FTMS*).

Nos aspectos do produto, deverá ser feita uma breve descrição do produto e as etapas de fabricação do mesmo.

Na análise das causas de espera serão identificadas as causas de espera observadas no MCT mapeado durante o acompanhamento do processo de fabricação. Para isto deverá ser utilizado o método “Detetive QRM” que consiste, basicamente, de questionamentos sequenciais de modo que as causas raízes do problema (espera) sejam identificadas, priorizadas e atacadas por meio de sugestões de melhoria.

Por fim, na proposta de melhorias serão sugeridas algumas melhorias referentes às causas de espera de maior impacto a fim de reduzir o *lead time* do processo de fabricação do produto esperado e será realizada uma simulação por meio do software PROMODEL[®] para validação do sistema POLCA que é uma estratégia do QRM para a manufatura.

APÊNDICE B - ROTEIRO DE ENTREVISTA – ETAPA 1

Gerente Geral da Unidade

1. Quais os principais segmentos que a empresa atua e os respectivos produtos fabricados?
2. Qual destes segmentos tem maior representatividade em volume de vendas e lucratividade?
3. Quais os principais clientes?
4. Quais os objetivos de desempenho adotado pela empresa para tornar-se mais competitiva?
5. Quais os fatores críticos de sucesso da empresa?

Gerente Industrial

1. Como estão divididas as instalações fabris da empresa?
2. Qual a capacidade da fábrica?
3. Quantos funcionários têm operando na fábrica atualmente e em quantos turnos de trabalho?
4. Qual equipamento mais produzido no último ano?
5. Quanto este equipamento representa na carga da fábrica hoje?

APÊNDICE C - ROTEIRO DE ENTREVISTA – ETAPA 2

Coordenador de PCP

1. Qual o volume da carteira de pedidos atualmente?
2. Existe uma programação das ordens de fabricação a fim de atender os prazos de entrega dos equipamentos? Se sim, como esta programação é realizada?
3. Quais as principais dificuldades para o cumprimento dos prazos de entrega?
4. Como é realizado o apontamento de horas das ordens de produção?
5. O cliente tem participação no processo de fabricação dos vasos de pressão? Com qual frequência?

Supervisor de Produção

1. Qual o *lead time* de fabricação de um vaso de pressão?
2. De maneira macro, quais são as etapas envolvidas na fabricação de um vaso de pressão?
3. Qual destas etapas é a que tem mais problemas relacionados ao cumprimento de prazos? Quais são as principais causas?
4. Em sua opinião, quais ações seriam necessárias para se reduzir o *lead time* de fabricação de um vaso de pressão?
5. Você considera a fabricação das miscelâneas uma parte crítica do processo de fabricação de um vaso de pressão?

Encarregado de Produção

1. Qual o caminho que as miscelâneas percorrem na fábrica?
2. Houve alguma experiência com células para fabricação no passado? Se sim, por que esta célula não permaneceu?
3. Quais os principais benefícios que a célula trouxe? (para respostas positivas na questão 2)
4. Quais foram as principais dificuldades encontradas para montar e operar a célula? (para respostas positivas na questão 2)
5. Em sua opinião, uma célula para fabricação de miscelâneas contribuiria para a redução do *lead time* de fabricação do vaso de pressão?

APÊNDICE D – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO 1

simulação 1.MOD (Execução Normal - Rep. 1)	
Name	Value
Run Date/Time	26/01/2014 15:49:35
Model Title	Modelo_POLCA_FINAL
Model Path/File	C:\Users\Usuario\Documents\Meus Documentos\MESTRADO UFSCAR\Dissertação\Simulação Mestrado\Simulação final\simulação 1...
Warmup Time (HR)	0
Simulation Time (HR)	127.15

```

*****
*
*                               Listagem Formatada do Modelo:
* C:\Users\Usuario\Documents\Meus Documentos\MESTRADO UFSCAR\Dissertação\Simulação Mestrado\Simulação
final\simulação 1.MOD *
*
*****

```

```

Tempo:                Minutos
Distância:            Metros

```

```

*****
*                               Locais
*
*****

```

Nome	Cap	Unidade	Estatísticas	Regras	Custo
Area_preparação	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	
Celula_miscelaneas	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	
Armazenagem_de_conexoes_	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	
Area_de_montagem	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	

```

*****
*                               Entidades
*
*****

```

Nome	Velocidade (mpm)	Estatísticas	Custo
Peça	50	Série de Tempo	

```

*****
*                               Processamento
*
*****

```

Entidade Local de Movimento		Processo	Bl	Saída	Destino	Regra	Lógica
Peça	Area_preparação	ACCUM 4 WAIT 27 MIN WAIT 528 MIN					
FOR 3 MIN			1	Peça	Celula_misclaneas	FIRST 1	MOVE
Peça	Celula_misclaneas	WAIT 121 MIN GRAPHIC 2 WAIT 2640 MIN					
FOR 3 MIN			1	Peça	Armazenagem_de_conexoes_	FIRST 1	MOVE
Peça	Armazenagem_de_conexoes_	WAIT 27 MIN					
FOR 3 MIN			1	Peça	Area_de_montagem	FIRST 20	MOVE
Peça	Area_de_montagem	WAIT 211 MIN					
FOR 3 MIN			1	Peça	EXIT	FIRST 1	MOVE

* Chegadas *

Entidade Local	Quantidade	Primeira Vez	Ocorrências	Freqüência	Lógica
Peça Area_preparação	4	0	5	528	

APÊNDICE E – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO 2

simulação 2.MOD (Execução Normal - Rep. 1)	
Name	Value
Run Date/Time	26/01/2014 16:10:14
Model Title	Modelo_POLCA_FINAL
Model Path/File	C:\Users\Jusuario\Documents\Meus Documentos\MESTRADO UFSCAR\DISSERTAÇÃO\Simulação Mestrado\Simulação final\simulação 2...
Warmup Time (HR)	0
Simulation Time (HR)	100,75

```

*****
*
*                               Listagem Formatada do Modelo:
*
* C:\Users\Usuario\Documents\Meus Documentos\MESTRADO UFSCAR\Dissertação\Simulação Mestrado\Simulação
* final\simulação 2.MOD *
*
*****

```

```

Tempo:                Minutos
Distância:            Metros

```

```

*****
*                               Locais
*
*****

```

Nome	Cap	Unidade	Estatísticas	Regras	Custo
Area_preparação	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	
Celula_miscelaneas	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	
Armazenagem_de_conexoes_	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	
Area_de_montagem	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	

```

*****
*                               Entidades
*
*****

```

Nome	Velocidade (mpm)	Estatísticas	Custo
Peça	50	Série de Tempo	

```

*****
*                               Processamento
*
*****

```


Entidade Local de Movimento		Processo		Roteamento		
Operação		B1	Saída	Destino	Regra	Lógica
Peça	Area_preparação	ACCUM 10 WAIT 27 MIN WAIT 528 MIN				
FOR 3 MIN			1	Peça	Celula_miscelaneas	FIRST 1 MOVE
Peça	Celula_miscelaneas	WAIT 121 MIN GRAPHIC 2 WAIT 1056 MIN				
FOR 3 MIN			1	Peça	Armazenagem_de_conexoes_	FIRST 1 MOVE
Peça	Armazenagem_de_conexoes_	WAIT 27 MIN				
FOR 3 MIN			1	Peça	Area_de_montagem	FIRST 20 MOVE
Peça	Area_de_montagem	WAIT 211 MIN				
FOR 3 MIN			1	Peça	EXIT	FIRST 1 MOVE

 *
 * Chegadas *

Entidade Local	Quantidade	Primeira Vez	Ocorrências	Freqüência	Lógica
Peça	Area_preparação 10	0	2	528	

APÊNDICE F – PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO 3

simulação 3.MOD (Execução Normal - Rep. 1)	
Name	Value
Run Date/Time	26/01/2014 15:02:25
Model Title	Modelo_POLCA_FINAL
Model Path/File	C:\Users\Usuario\Documents\Meus Documentos\MESTRADO UFSCAR\Dissertação\Simulação Mestrado\Simulação final\simulação 3...
Warmup Time (HR)	0
Simulation Time (HR)	74,35

```

*****
*
*                               Listagem Formatada do Modelo:
*
* C:\Users\Usuario\Documents\Meus Documentos\MESTRADO UFSCAR\Dissertação\Simulação Mestrado\Simulação
* final\simulação 3.MOD *
*
*****

```

```

Tempo:                Minutos
Distância:            Metros

```

```

*****
*                               Locais
*
*****

```

Nome	Cap	Unidade	Estatísticas	Regras	Custo
Area_preparação	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	
Celula_miscelaneas	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	
Armazenagem_de_conexoes_	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	
Area_de_montagem	20	1	Série de Tempo	O Mais Velho, ,	

```

*****
*                               Entidades
*
*****

```

Nome	Velocidade (mpm)	Estatísticas	Custo
Peça	50	Série de Tempo	

```

*****
*                               Processamento
*
*****

```

Entidade Local de Movimento		Processo		Roteamento		
Operação	Bl	Saída	Destino	Regra	Lógica	
Peça Area_preparação ACCUM 20 WAIT 27 MIN	1	Peça	Celula_miscelaneas	FIRST 1	MOVE	
FOR 3 MIN						
Peça Celula_miscelaneas WAIT 121 MIN GRAPHIC 2	1	Peça	Armazenagem_de_conexoes_	FIRST 1	MOVE	
FOR 3 MIN						
Peça Armazenagem_de_conexoes_ WAIT 27 MIN	1	Peça	Area_de_montagem	FIRST 20	MOVE	
FOR 3 MIN						
Peça Area_de_montagem WAIT 211 MIN	1	Peça	EXIT	FIRST 1	MOVE	
FOR 3 MIN						

* Chegadas *

Entidade Local	Quantidade	Primeira Vez	Ocorrências	Frequência	Lógica
Peça Area_preparação	20	0	1	0	

ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE BENS DE CAPITAL

Os bens de capital compreendem uma variedade de produtos dos mais diversos portes e usos e, geralmente, são agrupados para facilitar o estudo do setor.

Neste trabalho, a segmentação toma como base a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), do IBGE, enquadrando as classes em cinco grandes grupos (MAGACHO, 2012):

- 1) Equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos: equipamentos para automação industrial, médico-hospitalares, instrumentos de precisão;
- 2) Equipamentos para o setor de energia elétrica: geradores, transformadores, motores elétricos;
- 3) Máquinas e equipamentos para agropecuária: tratores, máquinas e implementos agrícolas;
- 4) Máquinas e equipamentos de uso tipicamente industrial (bens de capital mecânicos): turbinas, laminadores, alto fornos, caldeiras, trocadores de calor, equipamentos de processos, máquinas para mineração, máquinas-ferramentas, etc;
- 5) Equipamentos de transporte: vagões e locomotivas, caminhões, aeronaves, navios.

Ao considerar empresas constituintes dos cinco grupos, o Quadro 8 mostra os 20 maiores fabricantes de bens de capital no ano de 2012 que obtiveram faturamento acima de US\$ 100 milhões.

Quadro 8: Maiores empresas do setor de bens de capital em 2012 (em volume de vendas).

Empresa	Sede	Origem do Capital	Vendas (em US\$ milhões)	Produtos
Weg Equipamentos	Jaraguá do Sul (SC)	Brasileiro	1.920,10	Motores, geradores, transformadores e equipamentos para automação industrial
Alstom	São Paulo (SP)	Francês	1.120,60	Equipamentos para geração de energia e transporte ferroviário
ABB	Osasco (SP)	Suíço	1.004,00	Equipamentos industriais, automação industrial e Geração, Transmissão e Distribuição de Energia - GTD
Atlas Schindler	São Paulo (SP)	Espanhol	764,9	Máquinas e aparelhos de elevação, de carga, de descarga ou de movimentação
Tecsis	Sorocaba (SP)	Brasileiro	665,8	Pás para turbinas eólicas
Metso	Sorocaba (SP)	Finlândia	632,7	Maquinário para indústria de processos, incluindo mineração, construção, automação, papel e celulose, energia e petróleo e gás
Jacto	Pompéia (SP)	Brasileiro	537,80	Equipamentos agrícolas como pulverizadores, adubadores e colhedoras
Usiminas Mecânica	Belo Horizonte (MG)	Brasileiro	512,50	Equipamentos para indústrias de siderurgia, mineração, papel e celulose, geração de energia, petróleo, petroquímica, etc), estruturas metálicas, blanks e estampagens, pontes e viadutos metálicos
Thyssenkrupp	Guaíba (RS)	Alemão	473	Elevadores, indústria automotiva (peças, subconjuntos e módulos) e construção de plantas de indústrias de alta tecnologia
Toshiba	Contagem (MG)	Japonês	464,4	Aparelhos eletrônicos e de informática e semicondutores de energia
Jaraguá Equipamentos	Sorocaba (SP)	Brasileiro	439	Equipamentos para a indústria de óleo e gás, petroquímica, biomassa, papel e celulose
Voith Hydro	São Paulo (SP)	Alemão	437,7	Equipamentos para usinas hidrelétricas
Comau	Betim (MG)	Italiano	345,2	Equipamentos para indústria automotiva, transporte público, veículos comerciais e aeroespaciais e indústria de automação
Codistil	Piracicaba (SP)	Brasileiro	338,2	Equipamentos para indústrias de açúcar e etanol, geração de energia, alimentos, siderurgia, mineração, química, óleo e gás, petroquímica, hidrogenação
Voith Paper	São Paulo (SP)	Alemão	331,5	Equipamentos para a indústria de papel e celulose
Schulz	Joinville (SC)	Brasileiro	324,1	Compressores e peças automotivas para veículos comerciais pesados, máquinas e implementos agrícolas e equipamentos de construção
Stara	Não-Me-Toque (RS)	Brasileiro	300,7	Máquinas agrícolas
Sandvik MGS	Belo Horizonte (MG)	Sueco	291,3	Ferramentas, máquinas de construção e mineração
Andritz Hydro Inepar	Araraquara (SP)	Austríaco/ Brasileiro	237,1	Equipamentos para usinas hidrelétricas
Romi	Santa Bárbara D' Oeste (SP)	Brasileiro	234,1	Máquinas-ferramenta, máquinas para plásticos e fundidos e usinados

Fonte: Exame Melhores e Maiores (2012).

Devido ao fato de ser um setor bastante heterogêneo, torna-se mais difícil mensurar o tamanho e as características de todo o setor de bens de capital. Desta forma, o setor

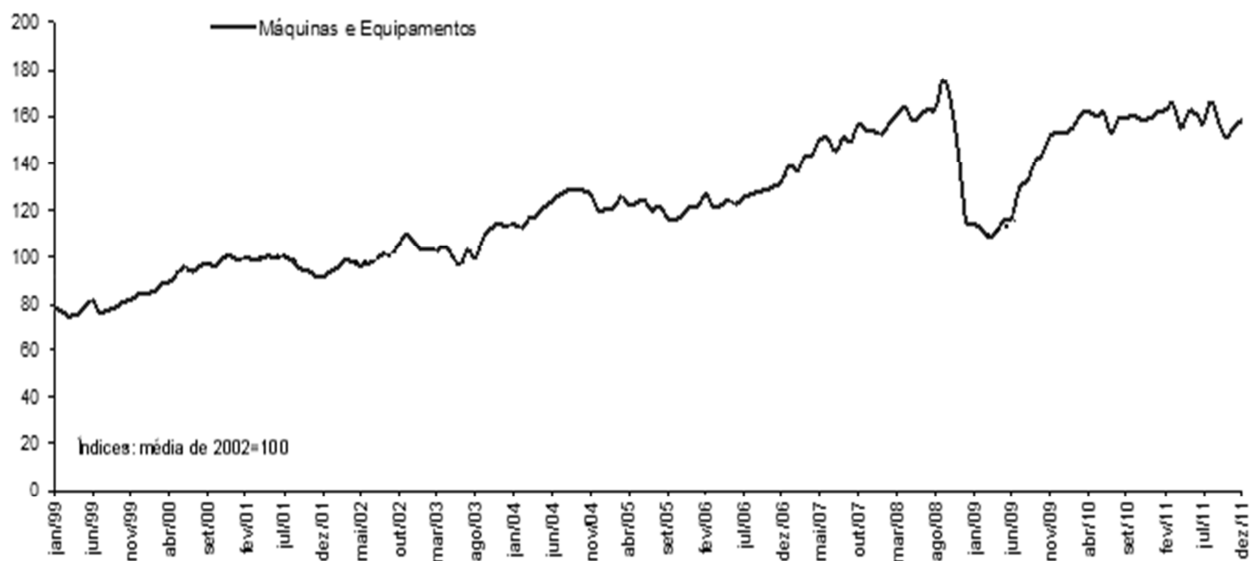
geralmente é representado no Brasil pelo segmento que mais se destaca: o de produção de máquinas e equipamentos (ABIMAQ, 2013).

Com o crescimento expressivo do investimento público e privado, resultante da melhoria das condições fiscais e tributárias e da mudança de estratégia na condução das políticas a demanda por bens de capital cresceu de maneira significativa a partir de 2003. O setor indústria de bens de capital brasileira reagiu de maneira expressiva: entre setembro de 2003 e setembro de 2008, a produção física de máquinas e equipamentos cresceu 62% (ABDI, 2011).

Este crescimento foi abruptamente interrompido com o início da crise financeira de 2008 em que o setor de bens de capital foi um dos segmentos mais afetados pela súbita paralisia do crédito, da demanda e do investimento, no Brasil e no mundo. Entre outubro de 2008 e fevereiro de 2009 a produção de máquinas recuou 32,4%. Porém, vale registrar que após a ação do governo para reestimular o consumo e o crédito e a consequente recuperação das expectativas, que, por sua vez, resultaram no aumento do consumo e dos investimentos, a indústria de bens de capital voltou a crescer de maneira significativa (ABDI, 2011).

A Figura 31 mostra a evolução da produção física do setor de máquinas e equipamentos no período de 1999 a 2011.

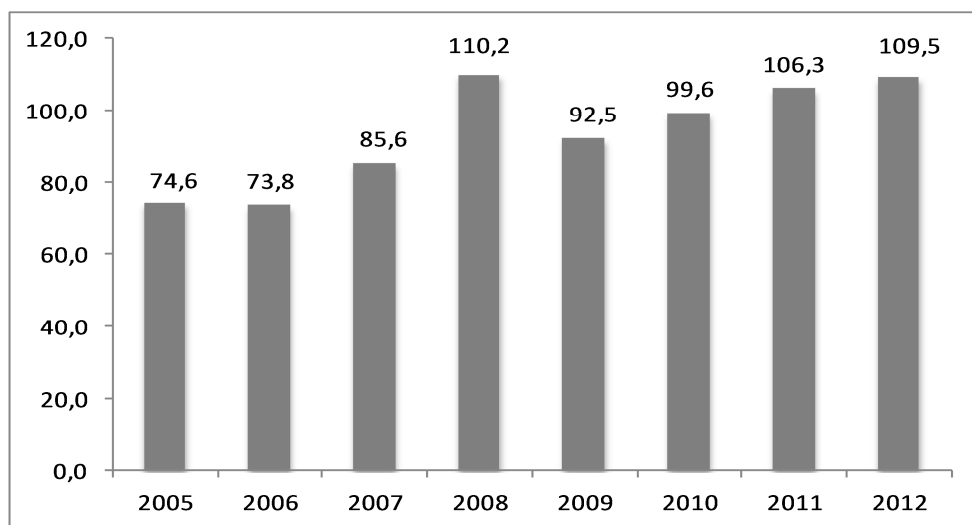
Figura 31: Evolução mensal da produção física no período de 1999 a 2011.



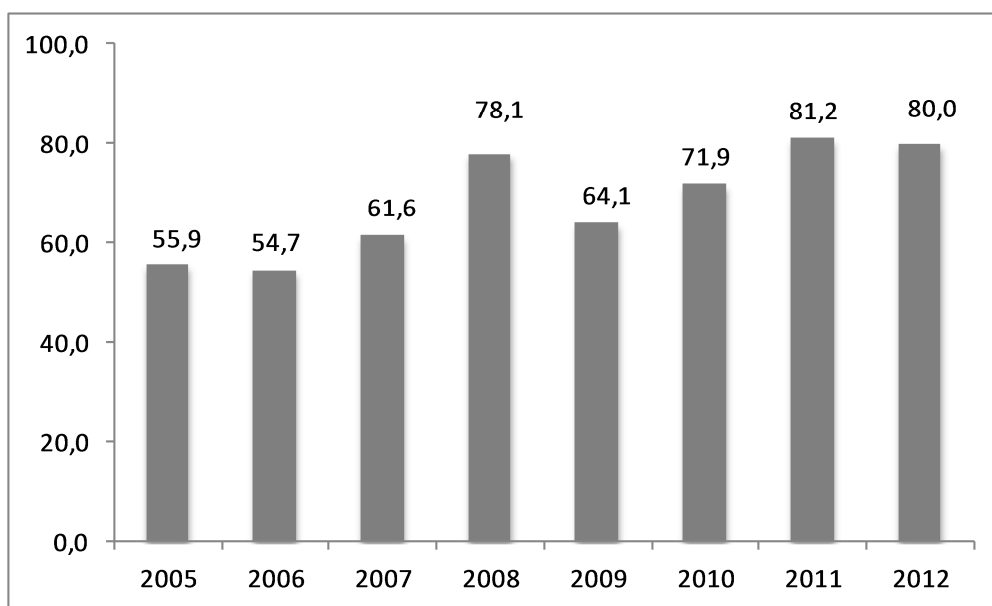
Fonte: ABDI (2011) a partir de dados do IBGE-PIM/PF.

Esta mesma evolução também pode ser observada no crescimento da demanda por máquinas e equipamentos (consumo aparente = produção interna – exportações + importações), na ampliação do faturamento das empresas do setor e na quantidade de empregos conforme mostra os indicadores conjunturais do setor de máquinas e equipamentos medidos pela Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ). Estes indicadores são visualizados nas Figuras 32, 33 e 34.

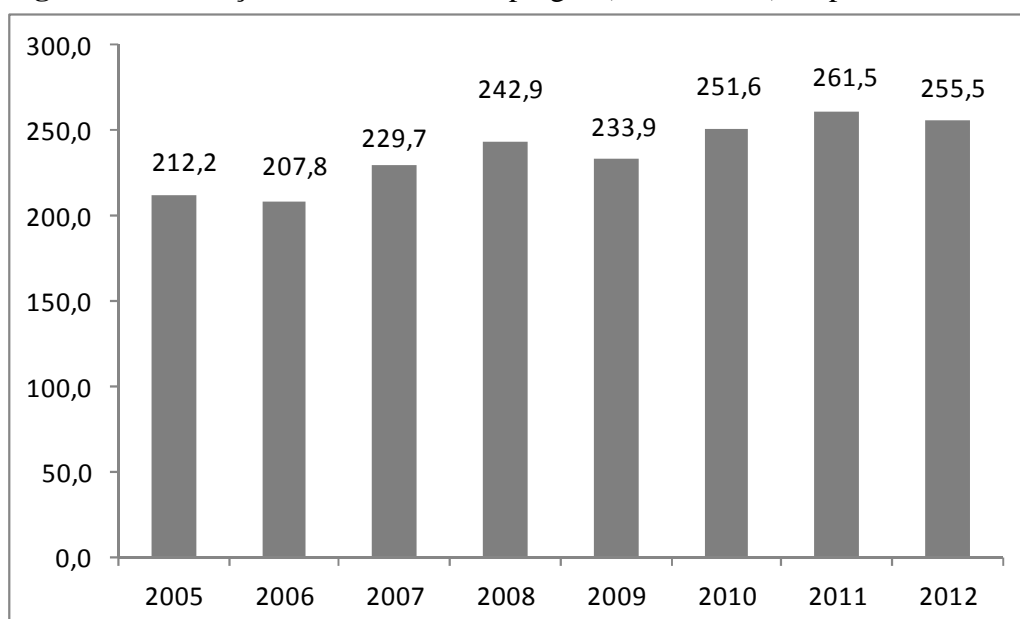
Figura 32: Evolução do consumo aparente (em R\$ bilhões) no período de 2005 a 2012.



Fonte: Dados da ABIMAQ (2013).

Figura 33: Evolução do faturamento (em R\$ bilhões) no período de 2005 a 2012.

Fonte: Dados da ABIMAQ (2013).

Figura 34: Evolução do número de empregos (em milhares) no período de 2005 a 2012.

Fonte: Dados da ABIMAQ (2013).

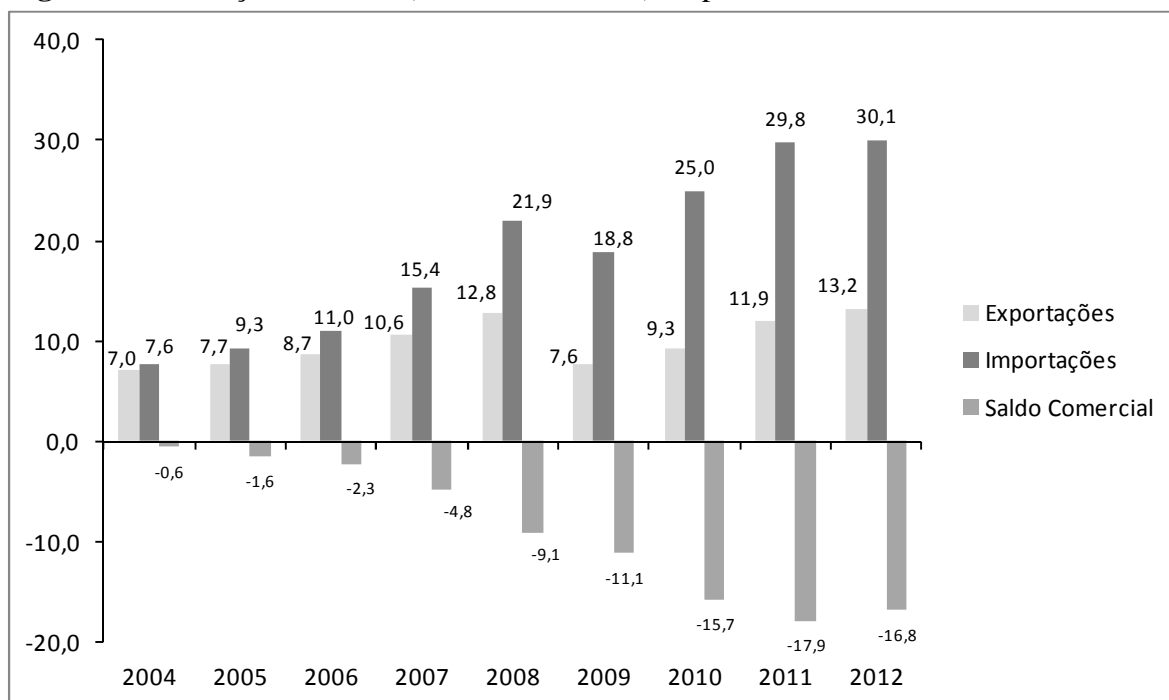
Outro aspecto a ser analisado é em relação à balança comercial. A indústria de bens de capital brasileira apresenta uma balança comercial deficitária, explicada principalmente por causa da especialização nacional em produtos com menor conteúdo tecnológico e a necessidade de importação dos produtos de maior conteúdo tecnológico, bem como a

importação de peças e componentes com similar nacional, mas com preços mais competitivos (ABDIB, 2008).

Em relação às importações, observou-se um crescimento exponencial do seu índice a partir do ano de 2006, após o período de desaquecimento da economia vivido entre 2001 e 2003 que atingiu tanto as importações e exportações brasileiras. Este resultado impactou, em grande parte, no crescimento do consumo aparente mostrado na Figura 18.

No período entre 2004 e 2012, pode ser observado um crescimento de 394% nas importações de máquinas e equipamentos, atingindo mais de US\$ 30 bilhões ao final do período. Já as exportações cresceram em ritmo bem menos intenso, resultando em aumento de 188% no mesmo período. Dessa forma, o resultado negativo no saldo comercial foi de grande impacto, saindo de US\$ 600 milhões em 2004 para um déficit de quase US\$ 17 bilhões em 2012. Estes dados podem ser visualizados na Figura 35.

Figura 35: Balança comercial (US\$ bilhões FOB) no período de 2004 a 2012.



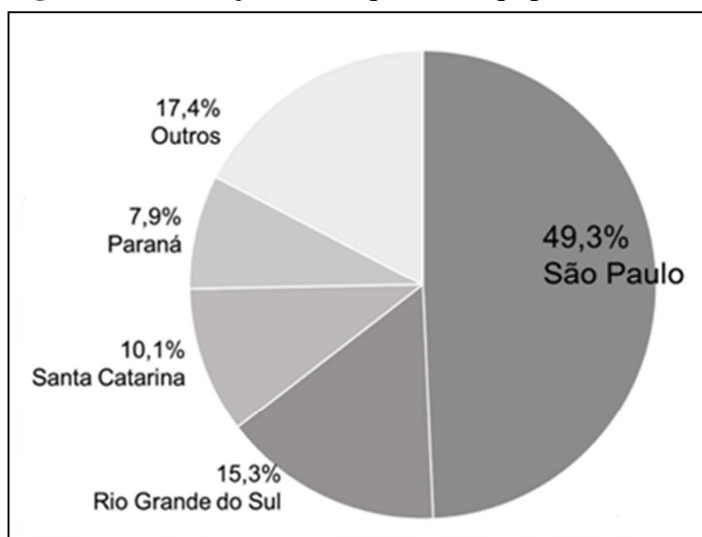
Fonte: Dados da ABIMAQ (2013).

De acordo com a Abimaq (2013), o segmento de máquinas e equipamentos é representado por aproximadamente 4.500 empresas, representando 33% do setor de bens de capital. Desse total, 60% são constituídas por pequenas empresas, com faturamento anual de até R\$ 10,5 milhões. Outros 30% são empresas de porte médio, que faturam anualmente entre

R\$ 10,5 milhões e R\$ 60 milhões. As grandes empresas são 10% do total e faturam acima de R\$ 60 milhões.

A maior concentração do grupo de máquinas equipamentos encontra-se no Estado de São Paulo conforme ilustrado na Figura 36.

Figura 36: Produção de máquinas e equipamentos no Brasil.



Fonte: Dados do Investe SP (2013) a partir de dados do IBGE (2011).

No Estado de São Paulo, o segmento está concentrado nas Regiões Metropolitanas e em Campinas (com respectivamente, 46% e 10% dos empregos do setor), além das regiões de São José dos Campos, Central (São Carlos, Araraquara, Matão) e Sorocaba. De acordo com levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2011, a produção em São Paulo representou 57% valor da transformação industrial (VTI), ou seja, a agregação de valor no setor, movimentando cerca de 13,9 bilhões de dólares. Segundo a Relação Anual de Informações Sociais do Ministério do Trabalho e Emprego (Rais/MTE), o Estado representa 49% do total de pessoal ocupado (288 mil empregados) neste setor no Brasil em 2012 (INVESTE SP, 2013).