

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

TATIANA KIMURA KODAMA

**Aplicação de um *framework* baseado nos conceitos de *Workload Control*
para identificação dos problemas relacionados à confiabilidade de entrega
em uma empresa do setor de manutenção aeronáutica**

Orientador: Prof. Dr. Moacir Godinho Filho

**SÃO CARLOS
2015**

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

TATIANA KIMURA KODAMA

**Aplicação de um *framework* baseado nos conceitos de *Workload Control*
para identificação dos problemas relacionados à confiabilidade de entrega
em uma empresa do setor de manutenção aeronáutica**

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

Orientador: Prof. Dr. Moacir Godinho Filho

**SÃO CARLOS
2015**



Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Tatiana Kimura Kodama, realizada em 08/06/2015:

Prof. Dr. Moacir Godinho Filho
UFSCar

Prof. Dr. Muris Lage Júnior
UFSCar

Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto
USP

À família Kimura com muito amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pela presença constante e pelas oportunidades oferecidas a mim.

Ao meu orientador, Professor Dr. Moacir Godinho Filho pela orientação e contribuições para a realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Matthias Thüerer, pela paciência, pelos conhecimentos transmitidos e pela solicitude apresentada durante todo o período.

Aos membros da banca, Professores Dr. Kleber Francisco Esposto e Dr. Muris Lage Junior, pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Leandro Zonta, que sempre esteve à disposição e pelas contribuições ao trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia de Produção, pela ajuda e solicitude. Agradeço também aos Professores do DEP, pelos conhecimentos e contribuições à minha formação.

Aos meus colegas do programa de pós-graduação em Engenharia da Produção da UFSCar e da EESC-USP.

Aos Professores Dr. Luciano Costa Santos e Dra. Eliana Sanjinez-Argandoña, meus queridos orientadores de IC, por me mostrar o caminho da área acadêmica e pela amizade.

Aos meus vizinhos e amigos do Solar Villas Boas.

À CAPES pelo apoio financeiro.

À minha família, o mais especial dos agradecimentos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização de mais uma etapa da minha vida.

Queremos ter certezas e não dúvidas, resultados e não experiências, mas nem mesmo percebemos que as certezas só podem surgir das dúvidas e os resultados somente através das experiências.

Carl Gustav Jung

RESUMO

A melhoria no desempenho da confiabilidade de entrega em empresas *Make-To-Order* (MTO) vem se tornando um importante critério competitivo na atual conjuntura de mercado. Diante do exposto, fica evidente a importância de pesquisas que apresentem ferramentas para o auxílio na identificação de oportunidades de melhorias no que se refere à confiabilidade de entrega. A identificação de oportunidades de melhorias requer uma estrutura de diagnóstico do desempenho da situação atual. No entanto, dependendo do problema de desempenho a ser diagnosticado, um arcabouço teórico com base no domínio de conhecimentos específicos da científica é necessário. Este trabalho apresenta o *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c), que se baseia nos conceitos de WLC. Tal *framework* consiste em uma estrutura para o processo de diagnóstico do desempenho da confiabilidade de entrega, que permite navegar a partir do desempenho alcançado para as causas subjacentes relacionadas ao PCP.

O objetivo do presente trabalho é apresentar o WLC, bem como as ferramentas de diagnóstico com o propósito de elucidar suas aplicabilidades através do *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c) em um contexto real através de um estudo de caso. Os resultados do estudo de caso apontaram que o *framework* é um importante instrumento de diagnóstico devido à precisão para a determinação das causas de atraso das ordens relacionadas às decisões de PCP. A aplicação do *framework* identificou que a falta de peças é o fator mais impactante nos atrasos, porém a mesma não é uma causa relacionada somente as decisões de PCP da empresa, mas a fatores externos que não podem ser controlados pela empresa. Outro resultado obtido é a constatação de que a maioria das ordens é concluída antes das datas estabelecidas. Esse fato é resultado da falta de acurácia na determinação das datas de entrega e do erro na estimativa da capacidade a ser utilizada para a manutenção de cada *part number*, cuja responsabilidade dessas atividades é do PCP.

Palavras-chave: *Workload Control, Framework*; Confiabilidade de entrega, Setor de manutenção aeronáutica.

ABSTRACT

The improvement in the delivery reliability performance in Make-To-Order (MTO) companies has been becoming an important competitive criterion in the recent market context. Thus, it gets clear the importance of researches able to present tools to help the identification of enhancement opportunities in the matter of delivery reliability. The identification of opportunities requires a structure of diagnosis of the recent situation. However, depending on the performance problem to be diagnosed, a theoretical understructure based on specific scientific knowledge is needed. This work presents the framework developed by Soepenberget al. (2012c) based on Workload Control (WLC) concepts. Such framework is composed by a structure for the diagnosis process of the reliability performance that allows browsing from the obtained performance to the subjacent causes related to Production Planning and Control (PPC). The aim of the present work is to present the WLC as well as the diagnostic tools with the purpose of elucidating their applicability through the framework developed by Soepenberget al. (2012c) in a real context through a case study. The results of the case study indicated that the framework is a key instrument for diagnosis due to the accuracy by which it defines the causes of delays of the orders related to the PPC decisions. The application of the framework indicated that the lack of spare parts is the most impacting factor on delays, however this is not a cause only related to the company PPC decisions, but to external factors that are out of the company's reach. Another result obtained is the verification that most of the orders are concluded before the date set. This is due to the lack of accuracy in the definition of the delivery dates and to the estimative mistakes of the capacity to be used for the maintenance of each part number, whose responsibilities rely on PPC.

Keywords: *Workload Control, Framework; Delivery Reliability, Aeronautical Maintenance Sector.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Estágios para o desenvolvimento da presente pesquisa	32
Figura 1.2 – Síntese das etapas para a efetiva condução da coleta de dados.....	36
Figura 1.3 – Resumo das fontes de dados utilizadas na pesquisa.....	40
Figura 2.1 – Estrutura do <i>Workload Control</i>	45
Figura 2.2 – Distribuição das publicações em seus respectivos anos.....	53
Figura 2.3 – Relação entre o número de artigos, ano e <i>Journal</i>	54
Figura 2.4 – Artigos publicados por universidade	55
Figura 2.5 – Número de artigos por classificação.....	56
Figura 2.6 – <i>Loops</i> dos cartões COBACABANA entre as estações de trabalho.....	57
Figura 2.7 – Cartões disponíveis indicando a situação atual do chão de fábrica	58
Figura 2.8 – Resumo da relação entre liberação de ordem e a aceitação do pedido.....	59
Figura 3.1 – Decisões de controle de entrada e saída.....	87
Figura 3.2 – A influência da média do atraso e da variância do atraso.....	89
Figura 3.3 – <i>Framework</i> para o diagnóstico	90
Figura 3.4 – Cálculo com base em uma lista de acontecimentos	92
Figura 3.5 – Construção do <i>throughput diagram</i> a partir das tendências de entrada e saída....	93
Figura 3.6 – Construção do <i>throughput diagram</i>	96
Figura 3.7 – Desempenho médio, capacidade média e utilização média.....	100
Figura 3.8 – <i>Z-diagram</i> : entrada, saída da ordem e <i>lead time</i>	103
Figura 3.9 – Derivação do <i>throughput diagram</i> a partir de um modelo de funil	105
Figura 3.10 – Princípios do <i>throughput diagram</i> de um centro de trabalho	106
Figura 3.11 – Os conceitos básicos do <i>throughput diagram</i>	107
Figura 3.12 – <i>Order Progress Diagram</i>	108
Figura 3.13 – Processo de fabricação de embalagens flexíveis.....	109
Figura 3.17 – <i>Order progress diagram</i> do processo de fabricação de embalagens flexíveis.....	110
Figura 4.1 – Monitoramento, diagnóstico e melhoria do desempenho	114
Figura 4.2 – Descrição do sistema em vários níveis de agregação	116
Figura 4.3 – <i>Framework</i> para diagnosticar o atraso.....	121
Figura 4.4. Diagramas-chave para o processo de diagnóstico	122

Figura 4.5. Diagnóstico orientado pela variância dentro da RP	126
Figura 4.6 Diagnóstico orientado pela média dentro da RP	127
Figura 5.1 – Esquema simplificado do processo de manutenção dos componentes nas oficinas.....	140
Figura 5.2 – Organograma resumido da MRO como destaque para o PCP, PCO e PCM	141
Figura 5.3 – Origem da demanda dos componentes aeronáuticos.....	144
Figura 5.4 – Distribuição dos atrasos na oficina de computadores.....	146
Figura 5.5 – Distribuição dos atrasos na oficina de computadores com escala (-20,20 dias)	147
Figura 5.6 – Frequência dos atrasos na oficina de computadores.....	148
Figura 5.7 – <i>Order progress diagram</i> da oficina de computadores.....	151
Figura 5.8 – Causas da falta de peças na oficina de computadores.....	154
Figura 5.9 – Causas dos outros motivos na oficina de computadores.....	155
Figura 5.10 – Histograma dos atrasos negativos da oficina de computadores.....	156
Figura 5.11 – <i>Throughput diagram</i> dos atrasos da oficina de computadores.....	158
Figura 5.12 – <i>Throughput diagram</i> dos atrasos da oficina de computadores (jan-abr de 2013)	159
Figura 5.13 – <i>Throughput diagram</i> dos atrasos da oficina de computadores (mai-ago de 2013)	159
Figura 5.14 – <i>Throughput diagram</i> dos atrasos da oficina de computadores (set-dez de 2013)	160
Figura 5.15 – <i>Throughput diagram</i> dos atrasos da oficina de computadores (jan-mai de 2014)	160
Figura 5.16 – <i>Order progress diagram</i> da oficina de computadores com os limites de atraso.....	163
Figura 5.17 – <i>Order progress diagram</i> da oficina de computadores simplificado.....	164
Figura 5.18 – Distribuição dos atrasos na oficina de componentes eletrônicos.....	167
Figura 5.19 – Distribuição dos atrasos na oficina de componentes eletrônicos com escala (-20,20 dias).....	167
Figura 5.20 – Frequência dos atrasos na oficina de componentes eletrônicos	168
Figura 5.21 – <i>Order progress diagram</i> da oficina de componentes eletrônicos.....	172
Figura 5.22 – Causas dos outros motivos de atraso na oficina de componentes eletrônicos.	174
Figura 5.23 – Histograma dos atrasos negativos da oficina de componentes eletrônicos	176
Figura 5.24 – Relação dos atrasos no tempo com o <i>lead time</i> estabelecido... ..	177

Figura 5.25 – <i>Throughput diagram</i> dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos.....	178
Figura 5.26 – <i>Throughput diagram</i> dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos (janeiro a agosto de 2013)	179
Figura 5.27 – <i>Throughput diagram</i> dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos (setembro a maio de 2014)	180
Figura 5.28 – Visão geral dos passos do diagnóstico e as conclusões.....	184

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 Dados contidos nas planilhas fornecidas pela empresa objeto de estudo.....	39
Quadro 2.1 Classificação e subclassificação para a categorização dos artigos.....	52
Quadro 2.3 – Resumo das pesquisas conceituais em WLC (1980-2014).....	61
Quadro 2.4 – Resumo das pesquisas analíticas em WLC (1980-2014).....	62
Quadro 2.5 – Resumo das pesquisas empíricas em WLC (1980-2014).....	65
Quadro 2.6 – Resumo dos principais pontos das pesquisas empíricas.....	67
Quadro 2.7 – Resumos das pesquisas baseadas em simulação em WLC (1980-2014).....	77
Quadro 2.8 – Resumo das propriedades de simulação.....	79
Quadro 2.9 – Resumo das características simuladas no <i>shop floor</i>	81
Quadro 4.1 – Decisões do PCP e o controle do atraso médio e da variância do atraso.....	118
Quadro 5.1 – Relação das oficinas e suas atividades	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Cálculo das curvas de entrada e saída de um centro de trabalho.....	95
Tabela 3.2 – Atrasos do processo produtivo de embalagens flexíveis	109
Tabela 5.1 – Resumo das análises dos atrasos da oficina de computadores.....	148
Tabela 5.2 – Resumo das análises dos atrasos dos meses de janeiro de 2013 a maio de 2014 da oficina de computadores.....	149
Tabela 5.3 – Análises dos atrasos positivos da oficina de computadores.....	153
Tabela 5.4 – Resumo dos atrasos negativos da oficina de computadores.....	156
Tabela 5.5 – Resumo das diferenças entre as curvas do <i>throughput diagram</i> da oficina de computadores.....	161
Tabela 5.6 – Análise considerando o <i>lead time</i> estabelecido pela oficina de computadores.....	162
Tabela 5.7 – Análise da capacidade estimada e utilizada pela oficina de computadores.....	165
Tabela 5.8 – Resumo das análises dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos.....	169
Tabela 5.9 – Resumo mensal das análises dos atrasos na oficina de componentes eletrônicos.....	170
Tabela 5.10 – Análises dos atrasos positivos da oficina de componentes eletrônicos.....	173
Tabela 5.11 – Resumo dos atrasos negativos da oficina de componentes eletrônicos.....	175
Tabela 5.12 – Análise dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos com o limite estabelecido	176
Tabela 5.13 – Tabela 5.5 – Resumo das diferenças entre as curvas do <i>throughput diagrams</i> da oficina de componentes eletrônicos.....	181
Tabela 5.14 – Análise da capacidade estimada e utilizada pela oficina de componentes eletrônicos.....	183

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - Artigo analítico

ACR - Ação corretiva retardada

AGGWNQ - *Aggregate Workload Trigger, Work In The Next Queue Selection*

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

AOG - *Aircraft on Ground*

AQWT - *Average Total Queue Waiting Time*

BIL - *Backward Infinite Load*

BILA - *Backward Infinite Load for assembly job shop*

BILWLC - *Backward Infinite Load with Workload Control*

BLAR - *Balancing Load Access Release*

BLR - *Balancing Release*

C- Artigo conceitual

CE - *Customer Enquiry*

CEM - *Customer Enquiry Management*

CHE - Certificado de Homologação da Empresa

CHT - Carteira de Habilitação Técnica

COBACABANA - *Control of Balance by Card-Based Navigation*

CR - *Continuous Release*

D - *Dispatching*

DD - *Due Date*

DWIQ - *Direct Work In Next Queue*

E - Artigo Empírico

EASA - *European Aviation Safety Agency*

EDD - *Earliest Due Date*

EDD - *Earliest Due Date*

PRD - *Planned Release Date*

EJOR - *European Journal of Operation Research*

ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção

EOCD- *Earlier Order Completion Date*

ERD - *Earliest Release Date*

ETO - *Engineer-To- Order*
FAA - *Federal Aviation Safety Agency*
FASFS - *First Arrival Into System First Served*
FFL - *Forward Finite Loading*
FIFO- *First-In First-Out*
FIL - *Forward Infinite Loading*
GSE - *Ground Support Equipment*
HPP - *Hierarchical Production Planning*
I/OC - *Input and Output Control*
IATA - *International Air Transport Association*
IdleMR - *Idle Machine*
IJOPM - *International Journal of Operations & Production Management*
IJPE - *International Journal of Production Economics*
IJPR - *International Journal of Production Research*
IMR- *Immediate Release*
IOSA - *IATA Operational Safety Audit*
IS - *Sistema Integrado*
IWIQ - *Imminent Work In Queue*
CWIQ - *Correct Work in Queue*
JCR - *Job of Smallest Critical Ratio*
JDD - *Product Due Date*
JIQ - *Job In Queue*
LM - *Lean Manufacturing*
LOMC - *Load-Oriented Manufacturing Control*
LRD - *Latest Release Date*
LT - *Lead- time*
LUMS - *Lancaster University Management School*
LUMS COR - *Lancaster University Management School Corrected Order Release*
LUMS OR - *Lancaster University Management School Order Release*
MAD - *Mean Absolute Deviation*
MAPE - *Mean Absolute Percentage Error*
MAS - *Multi Agent-Based Mould Due Date Setting*
MIL - *Modified Infinite Loading*
MLT - *Manufacturing Lead-Time*

MRO - *Maintenance, Repair and Overhaul*

MTO - *Make-to-order*

NUP - *Number of Unfinished Parts*

OA - *Order Acceptance*

ODD - *Operation Due Date*

OR - *Order release*

ORR - *Order Review and Release*

PRD - *Planned Release Date*

ORRWLC - *Order Review and Release Workload Control*

OSC - *Sistema de Coordenação de Operações*

P - *Periodic Release*

PM - *Planejamento de Materiais*

PCO - *Planejamento e Controle de Operações*

PCP - *Planejamento e Controle da produção*

PIOC - *Planned Input/Output Control*

PME`s - *Pequenas e médias empresas*

PP - *Intermediate Pull Release*

PPC - *Production Planning & Control*

PS – *Potencial de Saída*

LUMS - *Lancaster University Management School*

LUMS COR - *Lancaster University Management School Corrected Order Release*

LUMS OR - *Lancaster University Management School Order Release*

PSP - *Pre-Shop Pool*

PST - *Priority Dispatching Time*

QRM - *Quick Response Manufacturing*

RWIQ - *Regression based Work In Queue*

S - *Artigo baseado em simulação*

S/OPN - *Slack per Remaining Operation*

SA - *Sistema de Registro de Apontamento de Horas*

SCD – *Shop Calendar Day*

SCO - *Sistema de Coordenação de Operações*

SFTT - *Shop Floor Throughput Time*

SGBD - *Sistema Gerenciador de Banco de Dados*

SGM - *Sistema de Gestão da Manutenção*

SIMSET - *Similar set -up*
SLAR - *Superfluous-load-avoidance release*
SLRD - *Similar set-up Latest release date*
SOPST- *Set up oriented PST*
SOSPT - *Set-up Shortest Processing Time*
Space OR - *Space Control Order Release*
SPT - *Shortest Processing Time*
StandR - *Standard Rule*
SWIQ - *Simple Work In Next Queue*
TA – *Tempo de Avanço*
TAT - *Turn Around Time*
TBC - *Time Based Competition*
TWKCP - *Total Work Content Critical Path*
TWKR - *Total Working Remaining*
UBR - *Upper Bound-Only Release*
Wcedd- *Workstation workload trigger, earliest due date selection*
WCPRD - *Work Centre Workload trigger PRD*
WCWT - *Work Centre Workload Trigger*
WINQ - *Work-in-Next-Queue*
WLC - *Workload Control*
WIP - *Work-in-process*
WLCOR - *Workload Control Order Release*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	20
1.1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	20
1.2. QUESTÃO DE PESQUISA E OBJETIVOS DE PESQUISA	22
1.3. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	23
1.4. MÉTODOS DE PESQUISA	24
1.4.1. Método de abordagem	24
1.4.2. Abordagem de pesquisa	25
1.4.3. Métodos de Pesquisa	27
1.5. Estrutura do trabalho	40
CAPÍTULO 2: <i>WORKLOAD CONTROL</i>: CONCEITUAÇÃO BÁSICA, REVISÃO, CLASSIFICAÇÃO E ATUALIZAÇÃO DA LITERATURA	42
2.1. INTRODUÇÃO	42
2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO	42
2.3. CONCEITUAÇÃO BÁSICA	44
2.3.1. Gestão de pedidos de clientes (CEM)	45
2.3.2. Liberação de Ordens (<i>Order Release - OR</i>)	46
2.4. METODOLOGIA DE PESQUISA UTILIZADA PARA A REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O <i>WORKLOAD CONTROL</i>	49
2.5. RESULTADOS DA REVISÃO DA LITERATURA	52
2.5.1. Pesquisas Conceituais	56
2.5.2. Pesquisas Analíticas	62
2.5.3. Pesquisas Empíricas	63
2.5.4. Pesquisas baseadas em simulação	70
2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	83
CAPÍTULO 3: FERRAMENTAS DE APOIO PARA O DIAGNÓSTICO DA CONFIABILIDADE DE ENTREGA EM EMPRESAS MTO	85
3.1. INTRODUÇÃO	85
3.2. CONTEXTUALIZAÇÃO	85
3.3. <i>THROUGHPUT DIAGRAM</i>	91
3.3.1. <i>Throughput diagram</i> : Construção básica	91
3.3.2. Literatura sobre o <i>throughput diagram</i>	102
3.4. <i>ORDER PROGRESS DIAGRAM</i>	108
3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	111

CAPÍTULO 4: <i>FRAMEWORK</i> PARA DIAGNOSTICAR O DESEMPENHO DA CONFIABILIDADE DE ENTREGA EM EMPRESAS MTO	113
4.1. INTRODUÇÃO.....	113
4.2. CONTEXTUALIZAÇÃO	113
4.3. PROCESSOS PARA DIAGNOSTICAR A CONFIABILIDADE DE ENTREGA	115
4.3.1. Processos no <i>pre- shop floor</i> da fábrica.....	117
4.3.2. Processos no chão de fábrica	117
4.4. <i>FRAMEWORK</i> PARA DIAGNOSTICAR A CONFIABILIDADE DE ENTREGA	118
4.4.1. Processo de diagnóstico: Parte 1 - determinação das áreas problemáticas relevantes .	119
4.4.2. Processo de diagnóstico: Parte 2 - Determinar as principais causas dos problemas relacionados ao Planejamento e Controle da Produção.....	125
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	130
5. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i>.....	132
5.1. INTRODUÇÃO.....	132
5.2. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	132
5.2.1. Dados gerais da empresa	132
5.2.2. Unidade de estudo	132
5.3. APLICAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i> NA OFICINA DE COMPUTADORES E NA OFICINA DE COMPONENTES ELETRÔNICOS	145
5.3.1. Oficina de computadores	145
5.3.2. Oficina de componentes eletrônicos.....	166
5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	185
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES	187
CAPÍTULO 7: REFERÊNCIAS	189
APÊNDICE A- PROTOCOLO DO ESTUDO DE CASO.....	202
APÊNDICE C- ANÁLISE DOS ATRASOS POSITIVOS DAS OFICINAS.....	212
APÊNDICE D- ALGORITMOS UTILIZADOS NA DISSERTAÇÃO	216

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A atual conjuntura em que as empresas estão inseridas, aliadas ao aumento das exigências dos clientes faz com que as mesmas busquem vantagens competitivas. Nesse contexto, muitos são os métodos de Planejamento e Controle da Produção (PCP) desenvolvidos ao longo dos anos, porém, a maioria se concentra na produção repetitiva o que leva a uma carência de métodos de PCP para empresas *Make-To-Order* (MTO) (THÜRER; GODINHO FILHO, 2012).

De acordo com Fernandes e Godinho Filho (2010), o PCP envolve um conjunto de decisões com a finalidade de definir as principais atividades de produção. Ainda segundo esses autores, o conjunto de decisões de PCP pode ser dividido em médio e curto prazo que correspondem, respectivamente, ao Planejamento da Produção (PP) e ao Controle da Produção (CP).

De acordo com um grande número de autores da área (CORREA et al., 2008; FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010) as atividades principais de CP são: (i) programar a produção em termos de itens finais e determinar prazos aos clientes; (ii) controlar a liberação das ordens de produção e compra, determinando a possibilidade de liberação das ordens e o momento em que as mesmas devem ocorrer; (iii) programar e/ou explodir as necessidades em termos de componentes e materiais e, por fim; (iv) sequenciar as atividades nas máquinas.

Segundo Thürer e Godinho Filho (2012), o *Workload Control* (WLC) é uma abordagem que propõe realizar as quatro atividades de CP mencionadas. Tatsiopoulos e Kingsman (1983) e Kingsman et al. (1989) afirmam que a abordagem WLC é capaz de controlar simultaneamente o *lead time* dos produtos, a capacidade produtiva e o estoque em processo (*Work-In-Process* – WIP) através da integração entre os departamentos de venda e de produção em um sistema de carga de trabalho que "protege" a taxa de saída do processo (*throughput*) das diversas formas de variabilidade.

De acordo com Hopp e Spearman (2004), o WLC é totalmente coerente com os modelos de Gestão de Sistemas de Manufatura como a Produção Enxuta (*Lean Manufacturing* - LM) e a Manufatura Responsiva (*Quick Response Manufacturing* - QRM).

Pode-se dizer também que o WLC é um sistema que guarda forte relação com o *heijunka*, o qual busca nivelar a produção por tipo e quantidade de produto ao longo de um horizonte de tempo (MARCHWINSKI; SHOOK, 2003).

O WLC é uma abordagem de PCP elaborada primordialmente para empresas MTO, cuja característica é produzir conforme as especificações do cliente (sob encomenda), o que reduz a oportunidade de planejamento devido as incertezas que envolvem tanto os tipos de produtos que serão fabricados, bem como os volumes a serem demandados. Portanto, ao lidar com essa situação a empresa deve ser flexível em termos de capacidade e versatilidade. Diversos estudos evidenciam que o WLC apresenta resultados positivos nesses ambientes. No entanto, o número de trabalhos empíricos sobre esse tema é limitado, o que implica na necessidade de desenvolvimento de trabalhos empíricos para o refinamento de conceitos, bem como a aproximação entre teoria e prática para melhorar a aplicabilidade do WLC.

De acordo com Thüerer e Godinho (2012), a maioria das empresas MTO tem consciência que devem melhorar seu PCP, a fim de obter reduções de *lead time* e de WIP (como consequência, maior lucratividade). Entretanto, as mesmas não sabem como fazer isso, tendo em vista que as pesquisas e soluções preponderantes para o PCP são focadas em ambientes repetitivos (MUDA; HENDRY, 2003; THÜRER; GODINHO FILHO). Com a finalidade de preencher essa lacuna, Soepenberget al. (2012c) apresenta um *framework* que indica claramente como as decisões de PCP influenciam a confiabilidade de entrega dos pedidos. O *framework* baseia-se na análise dos atrasos com relação a sua orientação, ou seja, se as mesmas são orientadas pela média do atraso ou pela variância do atraso.

As análises dos atrasos são realizadas através de duas ferramentas de diagnóstico: *throughput diagram* (atraso médio) e o *order progress diagram* (variância do atraso). Tais ferramentas de diagnóstico são baseadas nos conceitos de WLC e, permitem determinar a origem dos distúrbios de atraso da ordem e os padrões de fluxo irregulares (WIENDAHL, 1995). As ferramentas possibilitam *insights* que auxiliam na determinação de quais indicadores de desempenho devem estar ligados com as decisões de controle de *input* e *output* para atingir a confiabilidade da data de entrega (SOEPENBERG, et al. 2012b).

1.2. QUESTÃO DE PESQUISA E OBJETIVOS DE PESQUISA

A questão de pesquisa que norteia esta pesquisa é a seguinte: “Como o *framework* desenvolvido por Soepenber et al. (2012c) baseado nos conceitos de *Workload Control* pode contribuir para identificação dos problemas de confiabilidade de entrega associados as decisões de Planejamento e Controle da Produção?”

O objetivo da presente pesquisa é apresentar o WLC, bem como as ferramentas de diagnóstico com o propósito de elucidar suas aplicabilidades através do *framework* desenvolvido por Soepenber et al. (2012c) em um contexto real através de um estudo de caso. O referido estudo visa à identificação das causas dos atrasos e geração de proposições de melhorias, cujo objetivo maior é contribuir de forma significativa para a literatura através de uma aplicação prática. Diante o exposto, os objetivos específicos que devem ser cumpridos para que o objetivo geral da presente pesquisa seja alcançado são:

- i) Atualizar a revisão da literatura realizada por Thürer et.al. (2011a) sobre a evolução do WLC, com a finalidade de apontar os avanços nas recentes pesquisas e as lacunas existentes;
- ii) Apresentar uma breve revisão da literatura sobre as ferramentas de apoio ao diagnóstico do atraso de ordens baseadas nos conceitos do WLC;
- iii) Apresentar o *framework* desenvolvido por Soepenber et al. (2012c) para diagnosticar o desempenho da confiabilidade de entrega influenciados pelas decisões de PCP;
- iv) Realizar um estudo de caso e aplicar o *framework* com o objetivo de diagnosticar os problemas existentes na oficina componentes eletrônicos e na oficina de computadores em relação aos atrasos do período analisado e propor melhorias;
- v) Contribuir com a teoria do WLC e da Gestão de Sistemas de Manufatura, além de difundir esse método de PCP para a comunidade científica e empresarial brasileira com a finalidade de motivar estudos futuros.

1.3. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O WLC é uma abordagem de PCP elaborada primordialmente para empresas MTO (STEVENSON et al., 2005). Apesar de estar sendo estudado há algum tempo, sobretudo, nos últimos anos, tal tema é pouco conhecido no Brasil (BERTRAND; WORTMANN, 1981; BECHTE, 1988; WIENDAHL et al., 1992; THÜRER et al., 2011a; THÜRER; GODINHO FILHO, 2012). Esta afirmação é confirmada através do levantamento dos artigos publicados no país que apontam somente dois trabalhos, sendo eles: Thüerer e Godinho Filho (2012) e Kimura e Godinho Filho (2014).

Como corolário, essa abordagem ainda está longe de ser colocada em prática nas empresas brasileiras, apesar das evidências empíricas apontarem que as implementações realizadas através dos conceitos WLC trazem benefícios para empresas MTO (HENDRY et al. 2008). O presente trabalho se insere exatamente nesse contexto, cujo um dos objetivos específicos é apresentar o WLC para a comunidade científica e empresarial brasileira.

Sousa e Voss (2008) afirmam que a moderna literatura em Gestão de Operações tem clamado por soluções contingenciais, focadas em ambientes e situações específicas e com grande potencial de aplicabilidade prática. Thüerer e Godinho Filho (2012), em consonância com Hopp e Spearman (2004), afirmam que o WLC é totalmente coerente com os modernos modelos de Gestão de Operações. Essa afirmação reforça ainda mais a importância da difusão desse tema no país.

A confiabilidade de entrega pode ser destacada como uma importante estratégia competitiva em empresas MTO, conforme supracitado. Porém, no que tange as ferramentas de auxílio ao diagnóstico dos atrasos influenciados pelas decisões de PCP, apenas duas ferramentas de apoio baseadas no conceito do WLC foram encontradas, sendo elas: o *throughput diagram* e o *order progress diagram*. Tais ferramentas são utilizadas no *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c) que auxilia no diagnóstico do desempenho da confiabilidade de entrega. Soepenberget al. (2012c) apresentou o *framework* e sua aplicabilidade o que motivou este trabalho devido a sua singularidade. A relevância da aplicação é justificada pelos seguintes pontos:

- i) Estudos empíricos que envolvem o tema WLC são limitados a 16 trabalhos, o que representa aproximadamente 12% dos trabalhos sobre o WLC ao longo dos 35 anos (período de análise dos trabalhos sobre WLC contabilizando as análises

apresentadas por Thüerer et. al., 2011a). Sendo este, um número pouco expressivo o que revela a necessidade do desenvolvimento de pesquisas empíricas;

ii) Estudos empíricos propiciam a aproximação entre teoria e prática. Dessa forma, auxiliam na redução do *gap* entre teoria e prática em PCP; *gap* esse reconhecido por um grande número de autores na área de WLC, como: MacCarthy e Fernandes (2000) e Land e Gaalman (2009);

iii) As características observadas na prática permitem o refinamento do conceito e proporcionam *insights* para o desenvolvimento de novos conceitos;

iv) Por fim, o trabalho busca contribuir de forma contundente para os benefícios que esta abordagem proporciona através da oportunidade de aplicação em uma empresa localizada no Brasil.

1.4. MÉTODOS DE PESQUISA

Esta seção apresenta detalhadamente os métodos de pesquisa utilizados, os quais conduzirão o estudo a fim de responder a questão de pesquisa proposta. À vista disso, as abordagens, os métodos, as técnicas e as etapas de pesquisa são apresentadas nas próximas subseções.

1.4.1. Método de abordagem

De acordo com Lakatos e Marconi (2001), o método caracteriza-se por ser uma abordagem mais ampla, em nível de abstração mais elevado dos fenômenos da natureza e da sociedade e denominado método de abordagem podendo ser classificado como:

i) Método indutivo: parte das constatações particulares em direção às leis e teorias, ou seja, a aproximação dos fenômenos caminha geralmente para planos cada vez mais abrangentes;

ii) Método dedutivo: pode ser caracterizado como o inverso do método indutivo, pois parte das teorias e leis, prediz a ocorrência dos fenômenos particulares em geral;

- iii) Método hipotético-dedutivo: esse método parte da percepção de uma lacuna nos conhecimentos acerca da qual formula hipóteses e, pelo processo de inferência dedutiva, testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese;
- iv) Método dialético: aprofunda-se no mundo dos fenômenos através de sua ação recíproca, da contradição inerente ao fenômeno e da mudança dialética que ocorre na natureza e na sociedade.

Diante da classificação e descrição apresentada por Lakatos e Marconi (2001), a presente pesquisa pode ser classificada com método de abordagem dedutivo, tendo em vista que a proposta dessa pesquisa é a aplicação de um *framework* que se apoia na abordagem do WLC e não tem como pretensão ou objetivo formular novas leis ou teorias.

1.4.2. Abordagem de pesquisa

A abordagem de pesquisa é caracterizada por ser a conduta que orienta o processo de pesquisa, sendo uma forma de aproximar ou focalizar o fenômeno que se pretende estudar (LAKATOS; MARCONI, 2003). No entanto, Ketokivi e Choi (2014) afirmam que as pesquisas muitas vezes utilizam uma definição errônea no que tange a classificação das abordagens em qualitativas e quantitativas.

Martins (2010) afirma que as pesquisas qualitativas abrigam uma série de técnicas de interpretação que procuram descrever, decodificar, traduzir e qualquer outro termo relacionado com o entendimento e não com a frequência de ocorrência das variáveis de determinado fenômeno. Sendo que a base subjetiva do pesquisador conduz a pesquisa e gera resultados particulares que visa à construção de uma realidade objetiva. As principais preocupações da abordagem qualitativa de acordo com Bryman (1989) são:

- i) Delineamento do contexto do ambiente da pesquisa;
- ii) Ênfase na interpretação subjetiva dos indivíduos;
- iii) Abordagem não muito estruturada;
- iv) Múltiplas fontes de evidências;
- v) Importância da concepção da realidade organizacional;
- vi) Proximidade com o fenômeno estudado.

A abordagem qualitativa é distinguida da quantitativa, pois a primeira prioriza a perspectiva do indivíduo que está sendo estudado. De acordo com Bryman (1989), as principais preocupações da abordagem quantitativa são:

- i) Mensurabilidade: exerce um papel central no processo de realização, pois tem como finalidade testar hipóteses através de um conjunto de variáveis passível de ser mensurado e que deve ser bem definido. Esse processo é denominado operacionalização;
- ii) Causalidade: busca relacionar as causas (variáveis independentes) aos efeitos (variáveis dependentes);
- iii) Generalização: trata da possibilidade dos resultados obtidos serem generalizados para além dos limites da pesquisa;
- iv) Replicação: possibilidade de reproduzir a pesquisa de outro pesquisador com a finalidade de encontrar seus resultados e verificar a existência de viés ou predileção dos pesquisadores na coleta de dados.

Existe ainda a abordagem denominada triangulação ou combinada (combinação das abordagens quantitativa e qualitativa). A vantagem da triangulação é que a mesma possibilita o melhor entendimento dos problemas de pesquisa que cada uma das abordagens permitiria isoladamente por prover evidências mais abrangentes do que seria proporcionado pelas abordagens separadamente (VOSS et al., 2002; MARTINS, 2010; CRESWELL; CLARK, 2006).

A abordagem combinada é adequada em algumas situações. Os autores Creswell e Clark (2006) reforçam essa afirmação apresentando os seguintes motivos pelas quais a abordagem combinada torna-se adequada:

- i) Uma abordagem, isoladamente, não é capaz de responder a questão de pesquisa;
- ii) Existe a necessidade de explicar os resultados de uma pesquisa quantitativa;
- iii) Existe a necessidade de utilizar uma segunda fonte de dados para a melhoria da pesquisa;
- iv) Existe a necessidade de explorar primeiro qualitativamente.

De acordo com as características identificadas nas abordagens, conclui-se que a mais adequada aos objetivos desta pesquisa é a abordagem combinada e, justifica-se de acordo com Creswell e Clark (2006) pelo motivo (i). Pois, a aplicação do *framework* com a finalidade de

identificar os problemas utiliza um conjunto de variáveis pré-determinadas, ou seja, há uma escolha intencional das variáveis a serem mensuradas através de análises estatísticas; a abordagem qualitativa ou quantitativa, isoladamente, não seria capaz de responder a questão de pesquisa.

1.4.3. Métodos de Pesquisa

Os principais métodos de pesquisa em Engenharia de Produção são: estudo de caso, levantamento tipo *survey*, desenvolvimento teórico-conceitual, modelagem e simulação, pesquisa-ação e pesquisas experimentais (FILIPPINI,1997; FILIPPINI; VOSS et al., 2002; MARTINS, 2010; BERTO; NAKANO, 2000).

O levantamento tipo *survey* tem como objetivo contribuir com o conhecimento em uma área particular de interesse por meio da coleta de informações sobre indivíduos ou sobre o ambiente desses indivíduos (FORZA, 2002). De acordo com Miguel e Lee (2010) o pesquisador geralmente avalia uma amostra significativa da população com o objetivo de extrair conclusões acerca do problema investigado.

Com relação à modelagem Berto e Nakano (2000) afirmam que a mesma compreende o uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema ou parte de um sistema produtivo. Já a simulação tem por objetivo construir um modelo de um processo individual ou em um grupo e experimentá-lo pela replicação do processo através da manipulação das variáveis em dado domínio e investigar o inter-relacionamentos das variáveis no âmbito quantitativo e de causa (BERENDS; ROMME, 1999; BERTRAND; FRANSOO, 2002).

A pesquisa-ação é um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e desenvolvida com estreita ligação com uma ação ou resolução de um problema na qual os pesquisadores e participantes estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. Sendo assim, a pesquisa não se restringe em descrever os acontecimentos, mas em criar acontecimentos que venham propiciar mudanças no sistema (THIOLLENT, 1997).

A pesquisa experimental é um método que se trata de um estudo de relação causal entre duas ou mais variáveis de um sistema sob condições controladas pelo pesquisador, geralmente conduzidas em laboratório (MIGUEL, 2007).

De acordo com Neuman (2003), a revisão da literatura, ou como definida nessa pesquisa como teórica-conceitual, é uma etapa essencial no projeto de pesquisa, independente da abordagem adotada, pois sumariza o conhecimento existente sobre o tema e proporciona

diretrizes para o desenvolvimento de futuras pesquisas. Com relação ao estudo de caso, esta consiste em uma forma de pesquisa empírica que visa investigar fenômenos contemporâneos que considera o contexto real do fenômeno estudado com fronteiras entre o contexto e fenômeno definidos (YIN, 2005). O procedimento de pesquisa do estudo de caso envolve análises do caso ou dos casos com o objetivo de criar uma relação e entendimento sobre o fenômeno estudado (BRYMAN, 1989).

Os métodos de pesquisa adotados nessa pesquisa são o teórico-conceitual e o estudo de caso. No que diz respeito à utilização do método de estudo de caso, as definições apresentadas reforçam essa escolha, pois vão em direção do objetivo proposto nesta pesquisa: apresentar o WLC, bem como as ferramentas de diagnóstico com o propósito de elucidar suas aplicabilidades através do *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c) em um contexto real identificando as causas dos atrasos e geração de proposições de melhorias.

No que concerne o método de pesquisa de cunho teórico-conceitual e o método de pesquisa estudo de caso, ambos serão apresentados, respectivamente, nas seções 1.4.3.1 e 1.4.3.2, pois, como citado, são os dois métodos de pesquisa adotados para o desenvolvimento deste trabalho.

1.4.3.1. Teórico conceitual

A definição de um referencial teórico-conceitual é importante para o mapeamento da literatura sobre o assunto. Esse mapeamento localiza os tópicos de pesquisa no contexto da literatura disponível sobre o tema e indica a abrangência da literatura demonstrando como o tópico em estudo é influenciado pelas fontes existentes (CROOM et al., 2000). Porém, Eisenhardt, (1989) ressalta que o desenvolvimento da teoria leva tempo e pode ser difícil.

Wacker (1998) reforça as razões pelas quais a teoria é importante, pois de acordo com este autor a importância do desenvolvimento teórico justifica-se pelos seguintes pontos: (i) fornece um quadro para análise; (ii) fornece um método eficiente para o desenvolvimento de campo; (iii) fornece explicações claras para o mundo pragmático e; (iv) enfatiza a importância de focar a pesquisa sobre o tipo "certo" de fenômenos para desenvolver a teoria (problemas práticos e gerenciamento de operações relevantes para explicar fenômenos complexos que não podem evoluir sem uma construção teórica).

Dessa forma, a revisão da literatura permite identificar lacunas onde a pesquisa pode ser justificada (em termos de relevância), bem como possibilita extrair os constructos

(elemento extraído da literatura que apresenta um constructo a ser verificado, nesse caso, empiricamente). Outras finalidades do referencial teórico são: delimitar as fronteiras do que será investigado; proporcionar o suporte teórico para a pesquisa (fundamentos) e também explicitar o grau de evolução (estado da arte) sobre o tema estudado. Além de, ser um indicativo de familiaridade e conhecimento do pesquisador sobre o tema (MIGUEL, 2007).

O uso da teoria, na realização do estudo de caso, é de grande auxílio na definição do projeto de pesquisa apropriado e na coleta de dados. A mesma orientação teórica também se torna o principal veículo para a generalização dos resultados do estudo de caso (YIN, 2010).

O primeiro método de pesquisa empregado neste trabalho é de cunho teórico-conceitual, ou seja, é uma discussão decorrente da análise da literatura, resultando em um levantamento de uma série de pontos relevantes para o planejamento e condução do estudo de caso. Os critérios empregados para a seleção, classificação e análise dos trabalhos utilizados na revisão da literatura desta pesquisa encontram-se, detalhadamente, descritos na seção 2.3.

1.4.3.2. Estudo de caso

O método de estudo de caso é de natureza empírica e trata-se de uma análise aprofundada de um ou mais objetos (casos) para que se permita seu amplo e detalhado conhecimento (MIGUEL, 2007). Esta pesquisa segue uma abordagem combinada com método de pesquisa de estudo de caso. Closs et al. (2008) aponta que o rigor e os benefícios deste método vem sendo discutidos em vários trabalhos (EISENHARDT, 1989, PATTON; APPELBAUM, 2003, YIN, 2003)

Existe uma preocupação no que diz respeito ao rigor empregado em pesquisas que aplicam o método de estudo de caso (MEREDITH, 1998). Porém, os princípios gerais e as regras são tão bem definidos quanto aos métodos racionalistas (LEE 1989, MEREDITH, 1993 e YIN, 2003). De acordo com Lee (1989), o método de estudo de caso é capaz de atingir os seguintes requisitos de rigor científico:

- i) Observações controladas: são alcançadas através de controle natural ao invés de controle estatístico ou laboratorial. O controle natural implica na seleção de um fenômeno para ser controlado durante o estágio de delineamento do experimento;
- ii) Deduções controladas: são obtidas através da aplicação da lógica formal às proposições verbais advindas do estudo de caso e não necessariamente pela quantificação matemática. Tal fato é explicitado por Meredith (1998) que aponta que

as deduções controladas são válidas para as teorias relativas às implementações, que são lógicas e não matematicamente deduzidas;

iii) Replicabilidade: este rigor científico é obtido por meio da aplicação da teoria resultante do estudo caso em outra configuração com diferentes condições que independe do cenário ou empresa onde será aplicado;

iv) Generalização: é o requisito mais difícil de ser alcançado no método de estudos de caso. Pois, de acordo com Meredith (1998) a generalização teórica representa a situação onde a teoria propriamente dita pode ser aplicada em uma situação particular.

Segundo Stuart et al. (1998), o método de estudo de caso é apropriado e essencial nas seguintes circunstâncias: (i) quando a teoria é inexistente ou sua aplicação é pouco provável; (ii) quando a teoria existe, porém o contexto ambiental em que se insere é diferente e; (iii) quando as causas e os efeitos geram dúvida. Meredith (1998) complementa que o estudo de caso é um excelente veículo para outras funções de pesquisa como: (iv) desenvolvimento da compreensão quando o assunto é complexo exercendo um papel fundamental nesse campo. O método ainda é condizente de acordo com Yin et al (1989) quando a questão central de pesquisa é “por que” os fenômenos observados ocorrem e quando: (v) não há controle sobre os eventos comportamentais e; (vi) o foco está em acontecimentos contemporâneos dentro de um contexto de vida real.

De acordo com as circunstâncias apresentadas pelas quais o método de estudo de caso é apropriado, o presente trabalho justifica-se pelas circunstâncias apresentadas nos itens (iv), (v) e (vi). Em conformidade ao item (iv), o trabalho aborda um novo método de PCP desenvolvido para empresas MTO que até então não possui relatos de aplicação no Brasil. A aplicação do *framework* faz uso dos dados da oficina de componentes eletrônicos e da oficina de computadores de uma empresa do setor de manutenção aeronáutica, sendo que as variáveis não são controladas por se tratar de dados empíricos justificando assim, o item (v). Já em relação ao item (vi), como supracitado nas justificativas anteriores, o estudo é focado na realidade de um setor de manutenção aeronáutico e a intenção do estudo é entender o fenômeno contemporâneo e pertinente: as influências das decisões de PCP nos atrasos das ordens.

Diante da necessidade de definir o delineamento da pesquisa, quanto os objetivos, a mesma pode ser definida de acordo com Yin (2003), como: pesquisas descritivas, pesquisas exploratórias e pesquisas explanatórias.

As pesquisas exploratórias são desenvolvidas com objetivo de proporcionar uma visão geral acerca de um determinado fato, pois o tema é pouco explorado tornando-se, assim, difícil a formulação de hipóteses precisas. Já em relação às pesquisas descritivas, as mesmas têm o principal objetivo de descrever características de determinada população ou fenômeno ou ainda, estabelecer o relacionamento entre as variáveis dentro de um contexto (GIL, 1999). Yin (2003) caracteriza as pesquisas de caráter explanatórias como sendo aquelas que englobam os dados através de relações de causa e efeito, explicando como os eventos relacionam-se entre si.

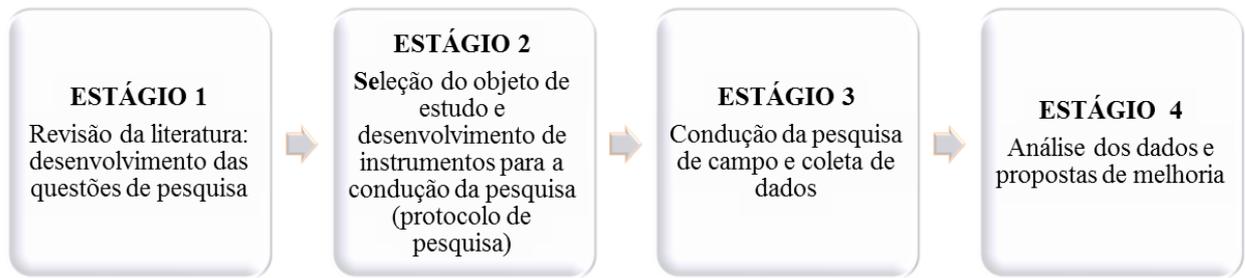
De acordo com a definição dos objetivos apresentados anteriormente, a presente pesquisa caracteriza-se como explanatória. Tendo em vista que o intuito da pesquisa é aprofundar o conhecimento da realidade por meio da análise de dados empíricos com o intuito de explicar a relação dos atrasos (efeito) influenciados pelas decisões de PCP (causa) através da aplicação do *framework* nas oficinas analisadas.

O estudo de caso com relação ao recorte no tempo pode ser classificado como: retrospectivo e longitudinal (VOSS et al., 2002). Com relação ao estudo de caso retrospectivo, o mesmo investiga o passado através de dados históricos o que dificulta determinar a relação entre causa e efeito partindo-se do pressuposto que, os participantes podem não recordar dos eventos estudados e a análise documental pode não refletir o que realmente aconteceu (SOUZA, 2005). Já o estudo de caso longitudinal para Souza (2005), investiga o presente que de certa forma supera as limitações do estudo de caso retrospectivo, no entanto, o estudo longitudinal pode apresentar limitação de informações e resultar em grande consumo de tempo para o pesquisador.

Diante às características referentes ao recorte de tempo a presente pesquisa é predominantemente longitudinal, pois os problemas de atraso são levantados no momento em que ocorrem e as observações são diretas para o alcance dos objetivos preestabelecidos.

Stuart et al. (2002) apresenta o processo de condução da pesquisa que consiste em cinco estágios críticos, sendo eles: (i) Estágio 1 - Definição da questão de pesquisa; (ii) Estágio 2 – Desenvolvimento de instrumentos para a coleta de dados e seleção do caso; (iii) Estágio 3- Coleta de dados; (iv) Estágio 4 - Análise de dados e; (v) Estágio 5 – Publicação da pesquisa. Com base nos estágios apresentados por Stuart et al. (2002), a Figura 1.1 ilustra de forma simplificada os estágios adotados para a realização desta pesquisa.

Figura 1.1 Estágios para o desenvolvimento da presente pesquisa



Fonte: Adaptado de Stuart et al. (2002).

A próxima subseção aborda cada estágio, separadamente, descrevendo-os de acordo com a relevância que as mesmas representam.

1.4.3.2.1. Definição das questões de pesquisa

A definição da questão de pesquisa envolve, invariavelmente, a construção de um corpo de conhecimento teórico que pode resultar em *insights* (EISENHARDT, 1989, SCHMENNE; SWINK, 1998). O método de estudo de caso é provavelmente, o mais apropriado para as questões “como” e “por que”, porém o mais complicado é chegar à essência das questões (YIN, 2010). De acordo com Yin (2003), a fundamentação básica para a definição das questões deve ser pautada na compreensão de que as mesmas são constituídas de essência (o tema da pesquisa a ser abordado e seus fundamentos) e forma (indagações, tais como: “quem”, “o quê”, “onde”, “como” ou “por que”).

A questão de pesquisa foi definida após a revisão da literatura como aconselhado por alguns autores como: Eisenhardt (1989), Schmenne e Swink (1998) e Stuart et al. (2002). A revisão contemplou estudos sobre a abordagem *Workload Control* e sobre as ferramentas de apoio ao diagnóstico de atraso baseadas no conceito do WLC (*throughput diagram* e *order progress diagram*) e, a partir disso, definiu-se a questão de pesquisa: “Como o *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c) baseado nos conceitos de *Workload Control* pode contribuir para identificar os problemas de confiabilidade de entrega associados as decisões de Planejamento e Controle da Produção?”

Na revisão da literatura encontrou-se o artigo de Soepenberget al. (2012c) que apresenta um *framework* para diagnosticar problemas referentes a confiabilidade de entrega influenciados pela decisões de PCP. Outro ponto importante constatado através da revisão é o pequeno número de trabalhos abordando as ferramentas de apoio baseado nos conceitos do

WLC, sendo eles: Soepenberget al. (2008), Soepenberget al. (2012b) e Soepenberget al. (2012c). Esses dois aspectos levantados somados ao pequeno número de trabalhos empíricos no mundo e, a inexistência de trabalhos empíricos no Brasil sobre o WLC apresentou-se como uma oportunidade de desenvolvimento desta presente pesquisa.

A formulação da questão e a associação da mesma com as variáveis potencialmente importantes é um aspecto relevante de acordo com Eisenhardt (1989). Dessa forma, as variáveis as quais se relacionam com a questão de pesquisa nesse estudo são as seguintes:

- i) Atraso do pedido em todas as etapas (chegada, produção, conclusão);
- ii) Oficina responsável pela manutenção do componente da aeronave;
- iii) Capacidade estimada;
- iv) Capacidade utilizada;
- v) A orientação do atraso (média ou variância).

1.4.3.2.1. Seleção do caso

A seleção do caso é um aspecto importante na construção da teoria para o estudo de caso. Pois, a seleção adequada permite o controle de variações, ajuda a definir os limites para generalizar as descobertas tornando este estudo mais rigoroso, pode ser utilizada para replicar casos anteriores ou estender teoria emergente preenchendo as lacunas teóricas (EISENHARDT, 1989). De acordo com Patton (1990), o processo de seleção de casos ricos do ponto de vista dos objetivos da investigação de um estudo particular é denominado amostra intencional. Neste estudo, a seleção da empresa estudada foi intencional. Pois, de acordo com Soepenberget al. (2010), a empresa precisa apresentar algumas características, tais como:

- i) A empresa deve possuir, relativamente, alta complexidade quanto à capacidade com foco na liberação controlada, pois o WLC é especialmente útil para tais empresas. Este critério pode indicar a restrição de capacidade, de complexas estruturas de roteamento ou pressão dos clientes sobre os prazos de entrega.
- ii) O WLC é especialmente desenvolvido para empresas MTO (SOEPENBERGET al., 2008) . Portanto, a empresa selecionada deve ser reconhecida por produzir, predominantemente, produtos sob encomenda.

As oficinas escolhidas preenchem as duas características citadas (i e ii). Portanto, enquadram-se no conjunto de características MTO e os clientes exercem pressão sobre os prazos de entrega (aeronave no solo é sinônimo de prejuízo). Outro fator determinante para a seleção da empresa foi a disponibilidade que a mesma apresentou quanto ao fornecimento de dados para o desenvolvimento da pesquisa.

O trabalho em questão trata-se de um estudo de caso único. Segundo Voss et al. (2002), o estudo de caso único permite um maior aprofundamento da investigação e é frequentemente utilizado em pesquisa longitudinal. Porém existe uma limitação no que tange a generalização das conclusões que, de acordo com Souza (2005), a limitação ocorre pelo risco de um julgamento inadequado em função de ser um evento único. Em contraste, o estudo de casos múltiplos pode reduzir a profundidade do estudo no que se refere a grau de avaliação de cada caso, porém pode tanto aumentar a validade externa e o grau de generalização e, assim, reduzir o viés do observador (YIN, 2003). Yin (2005) afirma que os estudos de caso único são adequados nas seguintes situações:

- i) Válidos e decisivos para testar a teoria;
- ii) Quando o caso é raro ou extremo;
- iii) Quando é representativo ou típico, isto é, se assemelha a muitos outros casos;
- iv) Quando é revelador, ou seja, quando o fenômeno é inacessível e longitudinal, em que se estuda o caso único em momentos distintos no tempo.

A escolha pelo estudo de caso único justifica-se pelo item (i). Sendo o estudo de caso deste trabalho válido e decisivo no teste da aplicação do *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c) na oficina de componentes eletrônico e na oficina de computadores.

1.4.3.2.2. Protocolo para o estudo de caso

O protocolo para o estudo de caso é um meio importante para aumentar a confiabilidade da pesquisa e destina-se a orientar o pesquisador na condução da pesquisa, pois contém os instrumentos, os procedimentos e as regras gerais para a realização do estudo (YIN, 2010). De acordo com o autor, o protocolo deve ter as seguintes seções:

- i) Uma visão geral do projeto do estudo de caso: objetivos, assuntos do estudo de caso e leituras relevantes sobre o tema pesquisado;

- ii) Procedimentos de campo: apresentação de credenciais, acesso ao "local" do estudo de caso, fontes de dados e advertências de procedimentos;
- iii) Questões do estudo de caso: questões específicas do estudo que o pesquisador deve ter em mente na coleta dos dados, estrutura da tabela para séries específicas de dados e potenciais fontes para responder cada questão;
- iv) Um guia para o relatório do caso: esboço, formato para os dados e apresentação de outra documentação e informação bibliográfica.

Voss et al. (2002) ressalta que, o núcleo do protocolo de pesquisa são as questões que serão utilizadas nas entrevistas, pois um protocolo de pesquisa, em estratégia de estudo de casos deve apresentar os seguintes itens: (i) questão principal da pesquisa; (ii) objetivo principal; (iii) temas da sustentação teórica; (iv) definição da unidade de estudo; (v) potenciais entrevistados e múltiplas fontes de evidência; (vi) período de realização da pesquisa; (vii) local da coleta de dados; (viii) obtenção de validade interna, por meio de múltiplas fontes de evidências e; (ix) síntese do roteiro de entrevista.

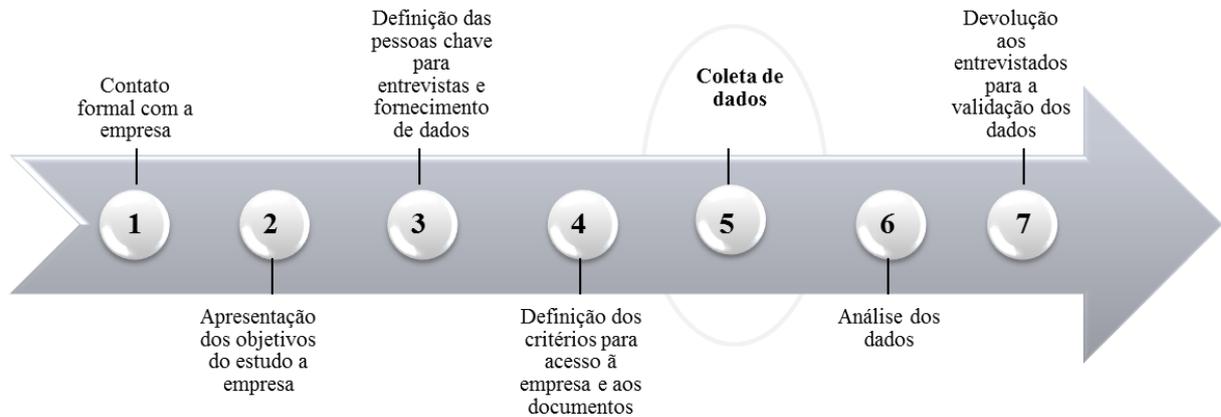
O protocolo também serve como um *check list* para o pesquisador, pois é um roteiro que deve ser seguido a fim de levantar todos os aspectos propostos na pesquisa (VOSS et al., 2002). Yin (2005) complementa a importância do protocolo afirmando que o desenvolvimento do mesmo é muito mais do que organizar as perguntas, pois engloba a documentação necessária para fornecer os dados à pesquisa, organizar as visitas e garantir que o rastro de evidências é completamente documentado (YIN,1989). O protocolo do estudo de caso utilizado nesta presente pesquisa com base em Yin (2010) e Voss et al. (2002) encontra-se no APÊNDICE A.

1.4.3.2.3. Coleta de dados e técnicas de pesquisa

A coleta de dados pode ser uma atividade complexa e difícil, caso não seja bem planejada e conduzida todo o trabalho de pesquisa pode ser prejudicado (YIN, 2005). Segundo Voss et al (2002), a quantidade de dados que podem ser potencialmente coletados é vasto em um estudo de caso. Para Mattar (2001), os dados obtidos na pesquisa de campo podem alcançar um alto grau de profundidade que permite caracterizar e explicar detalhadamente os aspectos singulares do caso em estudo, bem como apontar semelhanças e diferenças quando comparados com outros casos. Esse estudo utilizou sete etapas para uma

efetiva condução da coleta de dados e validação da presente pesquisa e encontram-se sintetizadas na Figura 1.2.

Figura 1.2 - Síntese das etapas para a efetiva condução da coleta de dados do estudo de caso



Fonte: Proposta pela autora

A Figura 1.2 ilustra de forma sintetizada as etapas para a condução da coleta de dados. As etapas 6 e 7 são posteriores a etapa de coleta, no entanto, as análises dos dados (etapa 6) serve como *feedback* para empresa validar os dados coletados (passo 7). Com relação à etapa 7 se os dados não forem validados, a coleta de dados deve ser efetuada novamente, afim de, garantir a confiabilidade da pesquisa. Após a definição das etapas para a efetuação da pesquisa é necessário definir as fontes para a obtenção de dados e evidências. Com relação às fontes de dados Barrat et al (2011) afirma que existem várias, tais como:

- i) entrevistas estruturadas (ferramenta de entrevista permanece fixo) ou entrevistas semiestruturadas (ferramenta de entrevista é atualizado com base em dados emergentes),
- ii) observações (visita pela fábrica, participação nas reuniões, entre outros) e;
- iii) arquivos (documentos, registros históricos, organogramas, entre outros).

Quanto a utilização das fontes de dados Barrat et al. (2011) aponta que podem ser utilizados apenas uma fonte de dados ou várias fontes de dados. A utilização de várias fontes de dados tem como finalidade a "triangulação" de diferentes fontes que proporciona maior confiabilidade (Boyer; McDermott, 1999; Hyer et al., 1999; Leonard-Barton, 1990) e torna mais robustas as fundamentações e as construções das proposições (Eisenhardt, 1989; Voss et al., 2002). As fontes de dados utilizados nesta pesquisa encontram-se, detalhadamente, descritas quanto aos procedimentos e o período em que foram realizadas a seguir:

Entrevista semiestruturada

Para a efetiva condução dessa pesquisa, a entrevista semiestruturada foi realizada com o analista de PCP pleno da oficina de componentes eletrônicos e da oficina de computadores (objetos de estudo desta pesquisa). A escolha pelo analista de PCP pleno justifica-se pelo seu profundo conhecimento no que tange a rotina organizacional e os processos produtivos pertencentes a estas oficinas.

Um ponto importante a se salientar, é que todas as entrevistas foram realizadas com o analista de PCP pleno, cuja razão está justificada no parágrafo anterior. Para a geração de informações relevantes foram realizadas duas entrevistas na unidade de estudo nos seguintes períodos: agosto do ano de 2013 e maio de 2014.

A primeira entrevista teve duração de aproximadamente 1 hora e meia, e teve como objetivo obter dados consistentes através do formato semiestruturado do roteiro de entrevista (o roteiro encontra-se no protocolo de pesquisa no Apêndice A). Anotações foram realizadas durante a entrevista com o intuito de gerar um banco de dados com as informações. Além disso, a entrevista foi gravada com a finalidade de garantir maior confiabilidade. Posteriormente, foi realizada a transcrição da mesma que permitiu maior fidelidade dos dados. Após a finalização da transcrição a mesma foi enviada ao entrevistado para complementar as informações, reajustar as interpretações e confirmar a autenticidade.

A segunda entrevista ocorreu no mês de maio de 2014 com a finalidade de elucidar algumas dúvidas quanto ao processo de manutenção e os sistemas de informação utilizados. A duração dessa entrevista foi de aproximadamente 40 minutos e novamente foi gravada e transcrita e o mesmo processo quanto ao envio da transcrição foi realizado como apresentado no parágrafo anterior.

No mês de abril de 2015 foi realizada uma reunião para a apresentação das conclusões relativas aos dados da oficina e abertura de questionamentos pertinentes às conclusões. Dessa forma, obteve-se a validação dos dados e um *feedback* do membro do setor estudado que encontra-se incluso no trabalho.

Observação

A observação direta foi possível através da visita técnica realizada no mês de agosto de 2013 e janeiro de 2015 na empresa estudada. Ambas visitas tiveram duração de 8 horas. As visitas proporcionaram conhecer todos os setores da empresa e os processos envolvidos em cada setor em especial a oficina estudada. Na visita técnica houve a inserção da pesquisadora

dentro do contexto estudado proporcionando compreender a complexidade e gerando *insights* para uma interlocução mais competente.

Trabalho acadêmico

Outra fonte de dado para a construção deste trabalho é a pesquisa realizada por Zonta (2013) que possibilita a contextualização da indústria do setor de manutenção aeronáutica no Brasil e sua importância.

Análises dos relatórios de produção

A análise do conjunto dos dados do setor de manutenção de componentes eletrônicos e computadores fizeram-se necessário para o entendimento do atraso das ordens. Os relatórios foram extraídos de SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados- neste caso o *Oracle*) e transferidos para planilhas eletrônicas. As planilhas eram fornecidas mensalmente e o período dos dados inicia-se no mês de janeiro do ano de 2013 e estende-se ao mês de maio de 2014.

As planilhas enviadas continham as informações apresentadas no Quadro 1.1. Neste quadro, cada especificação de dado representa uma coluna e cada ordem é representada em uma linha no período compreendido entre janeiro de 2013 e maio de 2014. O total de ordens analisadas foi de 9.625.

Segundo Van de Ven (1989), a análise de dados determina o que foi compreendido através dos dados e apresentá-los é parte integrante da tarefa do pesquisador podendo levar um longo tempo e o despendimento de muito esforço. Todos os dados apresentados no Quadro 1.1 foram tabulados e analisados através de planilhas eletrônicas e do *software Statistica 8* e parte da construção dos gráficos foi realizado no *Matlab 2013 A* (os algoritmos desenvolvidos para construção gráfica encontram-se no Apêndice D).

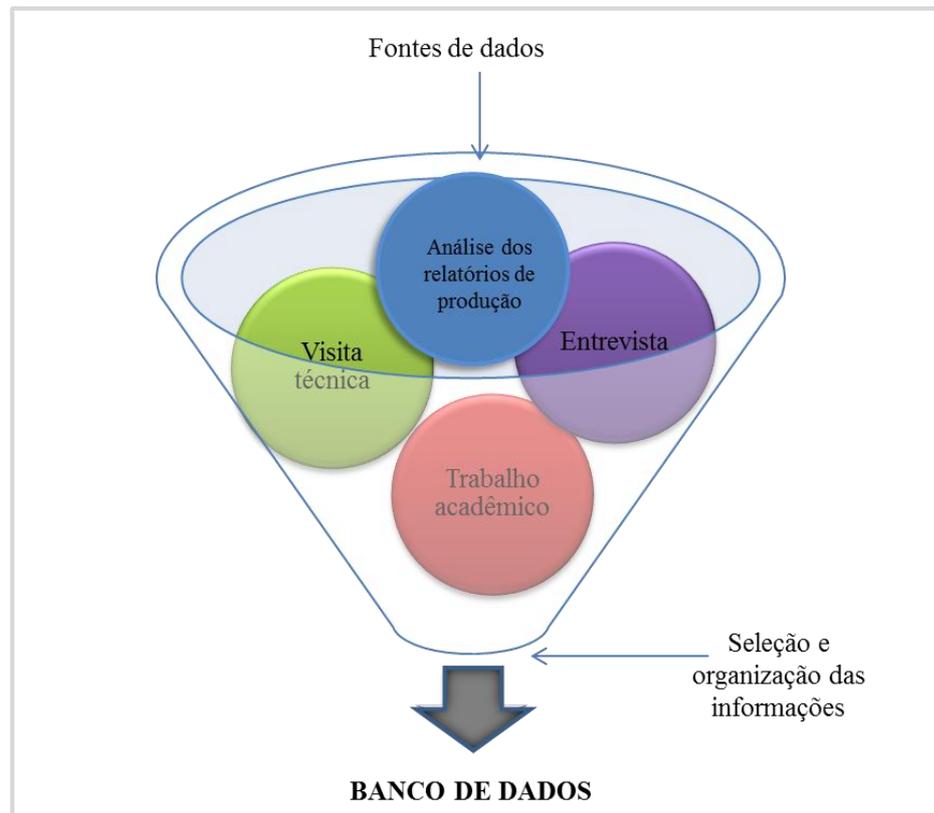
Quadro 1.1 Dados contidos nas planilhas fornecidas pela empresa objeto de estudo

Coluna	Especificação do dado
1	Número da ordem
2	Oficina
3	Part Number (SKU)
4	Descrição do SKU
5	Serial Number
6	Quantidade da ordem
7	Homem-hora estimado para o serviço
8	Data de chegada prevista;
9	Data de chegada real
10	Início da produção estimada
11	Início da produção real
12	Data de conclusão estimada
13	Data de conclusão real
14	Início da paralisação
15	Término da paralisação
16	TAT (em dias) paralisação por falta de material
17	TAT (em dias) da oficina
18	TAT/ dias total da ordem
19	Situação da ordem
20	Semana de recebimento
21	Mês de recebimento
22	Ano de recebimento
23	Semana de conclusão
24	Mês de conclusão
25	Ano de conclusão
26	TAT contratado
27	Situação da Ordem considerando apenas TAT da oficina
28	Situação da Ordem considerando TAT total
29	Data de vencimento TAT
30	Semana de vencimento TAT
31	Mês de vencimento TAT
32	Ano de vencimento TAT
33	Período do TAT que ocorreu a conclusão
34	Data da substituição da peça
35	Prefixo da aeronave e origem da peça

Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 1.3 representa de forma simplificada a construção do banco de dados através das fontes de dados. As informações relevantes de cada fonte de dado foram cruzadas com as demais, isto é, houve o cruzamento de informações. Tal fato permite uma maior compreensão dos eventos, bem como o aumento da acurácia dos resultados o que influi diretamente na confiabilidade da pesquisa.

Figura 1.3 Resumo das fontes de evidências utilizadas na pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora

1.5. Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por seis capítulos, incluindo este capítulo apresentado. Este primeiro capítulo tratou-se de um capítulo introdutório que buscou apresentar uma breve introdução sobre o tema, a questão de pesquisa, os objetivos, as justificativas para o desenvolvimento da pesquisa e os métodos adotados para a realização efetiva deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta os conceitos do *Workload Control* e seu mecanismo básico de funcionamento. Além disso, este capítulo inclui a revisão e classificação da literatura sobre o

tema WLC o que permite um maior conhecimento e comunicação entre os trabalhos existente e possibilita a melhor estruturação da pesquisa sobre o assunto estudado.

O capítulo 3 apresenta o *throughput diagram* e o *order progress diagram*, ferramentas de apoio para o diagnóstico da confiabilidade de entrega em empresas MTO, e suas respectivas aplicações. Esse capítulo é fundamental para entender em qual conjuntura a utilização de cada ferramenta é mais adequada.

O capítulo 4 apresenta o *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c) que é a base para o estudo de caso desta pesquisa. Esse *framework* tem como objetivo diagnosticar os problemas relacionados a confiabilidade de entrega em empresa MTO influenciadas pelas decisões de PCP.

O capítulo 5 apresenta o estudo de caso propriamente dito, através da aplicação do *framework*. A partir da aplicação e da análise dos dados este capítulo fornece as propostas de melhorias para a oficina de componentes eletrônicos e computadores.

Por fim, o capítulo 6 são apresentadas as conclusões acerca da pesquisa realizada com todos os aspectos relevantes, as limitações e apresenta sugestões para o desenvolvimento de futuros trabalhos.

CAPÍTULO 2: *WORKLOAD CONTROL*: CONCEITUAÇÃO BÁSICA, REVISÃO, CLASSIFICAÇÃO E ATUALIZAÇÃO DA LITERATURA

2.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura através da análise de 27 artigos sobre *Workload Control*, cujas publicações são datadas de 2009 a 2014. O objetivo da revisão é atualizar a revisão de Thüerer et al. (2011a) seguindo a classificação do mesmo, apontando as evoluções sobre o tema e as lacunas existentes para pesquisas futuras.

O capítulo está estruturado da seguinte forma: a seção 2.2 apresenta a contextualização, a seção 2.3 apresenta a conceituação básica sobre o WLC, seção 2.4 descreve o método sistemático de seleção e categorização dos artigos, os resultados da revisão da literatura são apresentados na seção 2.5 com as classificações dos artigos analisados e objetiva a construção de um quadro da evolução das pesquisas na área e as lacunas existentes para o direcionamento de pesquisas futuras, por fim, na seção 2.6 são apresentadas as considerações finais do capítulo.

2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A Competição Baseada no Tempo (*Time Based Competition* – TBC) é um dos paradigmas estratégicos da Gestão de Operações que vem se destacando como uma forma de vantagem competitiva. Esse paradigma foi inicialmente proposto por Stalk e Hout (1990) e enfatiza a redução no tempo de desenvolvimento e de produção dos produtos. Uma abordagem derivada desse paradigma é conhecida como *Quick Response Manufacturing* (QRM) desenvolvida por Suri (1998) e Suri (2010) que reconhece o tempo como um recurso limitado e o considera como um critério competitivo para atender as atuais exigências dos clientes. Thüerer et al. (2011a) afirma que o conceito de *Workload Control* (WLC) foi desenvolvido com o objetivo de superar a “síndrome do *lead time*” citada inicialmente por Mather e Plossl (1978).

O WLC é considerado como uma das principais soluções para Planejamento e Controle da Produção (PCP) em empresas *Make-To-Order* (MTO), em que os preços e os prazos de entrega são determinados para cada pedido e considerados como fatores cruciais para ganhar o pedido (KINGSMAN; HENDRY, 2002, STEVENSON et al., 2005). De acordo com Thüerer et al. (2011a), na abordagem WLC, as ordens são retidas do *pre-shop pool* e a entrada para o chão de fábrica (*shop-floor*) é regulada de acordo com os limites de capacidade ou normas (*workload norm*), permitindo estabilizar o *Work-In-Process* (WIP) em um nível ideal para manter o comprimento da fila curto nos centros de trabalho. Como benefícios, essa abordagem permite que os custos de produção e inventário sejam reduzidos, o que resulta em preços competitivos e prazos de entrega confiáveis (KINGSMAN; HENDRY, 2002).

Thüerer et al. (2011a) aponta que as pesquisas sobre o WLC vêm se desenvolvendo ao longo das últimas décadas, no entanto, o termo WLC foi utilizado pela primeira vez por Zapfel e Missbauer (1993) para se referir a um grupo de métodos de PCP que visavam controlar as cargas de trabalho. Ainda, segundo os autores, o grupo de métodos de PCP foi denominado WLC e agrupado em quatro correntes diferentes, citadas a seguir:

- i) Métodos de revisão e liberação de pedidos (*Order Review and Release - ORR*): desenvolvidos em grande parte na América do Norte (MELNYK; RAGATZ, 1989; MELNYK ET AL., 1991; AHMED; FISHER, 1992);
- ii) Métodos de controle de carga de trabalho, baseados no controle de entrada e saída (*Input and Output Control - I/ OC*): esse método foi desenvolvido originalmente por Plossl e Wight (1971). As pesquisas sobre I/OC concentram-se em sua maioria no Reino Unido, mais precisamente na Universidade de Lancaster (TATSIPOULOS; KINGSMAN, 1983; HENDRY; KINGSMAN, 1991a; HENDRY; KINGSMAN, 1993; SOEPENBERG, et al 2008);
- iii) Controle de produção orientada pela carga (*Load-Oriented Manufacturing Control - LOMC*): essa corrente de pesquisa foi desenvolvida em sua maioria na Alemanha pela Universidade de Hannover (BECHTE, 1988; WIENDAHL et al., 1992; BETCHE, 1994);
- iv) Land e Galman (1996a) revisaram as regras de liberação de ordem que objetivavam o controle de cargas de trabalho e as integrou em um sistema de PCP abrangente, referindo-se aos mesmos como Revisão e Liberação de Ordem *Workload Control (Order Review and Realease Workload Control ORR WLC)*.

O termo WLC destina-se a um grupo de métodos de PCP responsáveis pelo controle de filas em *job shops*. A padronização foi realizada por Hendry et al. (1989) que engloba os quatro grupos citados anteriormente (ORR, I/OC, LOMC e ORR WLC). De acordo com Thüerer et al. (2011a), todos os quatro conceitos referidos são geralmente aceitos como sendo parte da investigação do WLC. A próxima seção apresenta os conceitos básicos do WLC.

2.3. CONCEITUAÇÃO BÁSICA

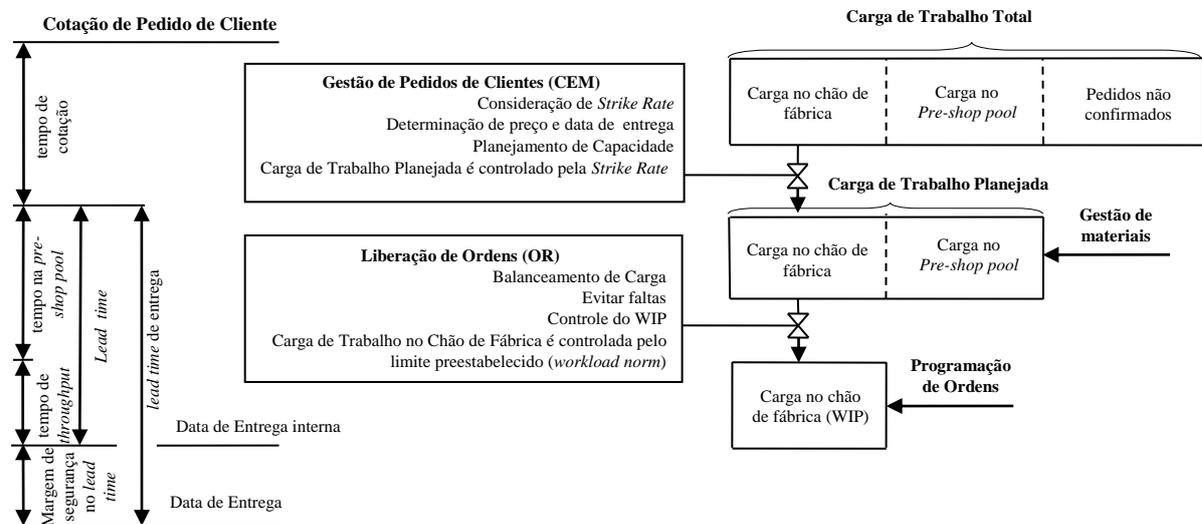
O mecanismo básico de funcionamento do WLC baseia-se no controle de entrada de pedidos e saída das ordens levando em consideração a variável capacidade. Corroborando com essa afirmação, Soepenbergh et al. (2008) alega que a carga admitida (entrada) não deve exceder a capacidade de executar as atividades para a obtenção do produto final (saída); se tal fato ocorrer, as consequências seriam: ordens atrasadas e aumento do estoque em processo (WIP), o que desestabilizaria o fluxo de produção e impossibilitaria o controle do *lead time*.

Portanto, essa abordagem visa a integração dos departamentos de produção e de vendas em um sistema hierárquico de cargas de trabalho o que permite controlar, simultaneamente, o estoque, a capacidade e o *lead time* produtivo (THÜRER; GODINHO, 2012; TATSIPOULOS; KINGSMAN, 1983; KINGSMAN et al., 1989; KINGSMAN et al., 1993; KINGSMAN, 2000). Thüerer e Godinho Filho (2012) apontam três níveis que formam esse sistema hierárquico de cargas de trabalho, sendo eles:

- i) Carga de trabalho do chão de fábrica ou WIP;
- ii) Carga de trabalho planejada: é a soma do WIP e da carga de trabalho formada pelas ordens aceitas no *pre-shop pool*;
- iii) Carga de trabalho total: é a soma de todas as cargas de trabalho e de uma porcentagem que reflete a probabilidade da empresa conseguir novos pedidos denominada de *strike rate* (para mais detalhes ver Thüerer e Godinho Filho (2012)).

Segundo Kigsman, Tatisioupoulos e Hendry (1989), o WLC é formado pela Gestão de pedidos dos clientes (*Customer Enquiry Management – CEM*) e Liberação de ordens (*Order Release – OR*). A Figura 2.1 apresenta o mecanismo de funcionamento desses dois níveis de controle

Figura 2.1 Estrutura do *Workload Control*



Fonte: Adaptado de Kingsman, Tatioupolous e Hendry (1989)

Segundo Thürer e Godinho Filho (2012), a carga de trabalho planejada é controlada pelo CEM, o qual dá suporte à determinação das datas de entrega (*Due ou Delivery Date – DD*) e a determinação do *strike rate*. Segundo os autores, em consonância com Duenyas e Hopp, (1995) e Kingsman e Mercer (1997), a consideração do *strike rate* adiciona uma dimensão estratégica ao processo de determinação de *lead times* do WLC, fornecendo à empresa um diferencial competitivo em relação aos seus concorrentes.

A carga de trabalho do chão de fábrica é controlada pelos mecanismos de liberação de ordens (OR). Esses mecanismos liberam ordens para o chão de fábrica de modo que a carga de trabalho no chão de fábrica seja mantida em um nível constante e as datas de entrega (DD) sejam cumpridas. Além disso, uma abordagem abrangente de PCP baseado no WLC integra também as funções de gestão de materiais e programação da produção. Os estágios de gestão de pedidos dos clientes (*Customer Enquiry Management – CEM*), e a liberação de ordens (*Order Release – OR*) serão apresentados e discutidos nas subseções 2.3.1 e 2.3.2 que foram extraídos de Thürer e Godinho Filho (2012).

2.3.1. Gestão de pedidos de clientes (CEM)

O fornecimento de prazos de entrega é um processo de importância estratégica em empresas MTO que deve ser realizado para cada pedido individualmente, uma vez que os requisitos de cada pedido podem ser bastante diferentes. Em tais ambientes, a habilidade de

fornecer aos clientes data de entrega ao mesmo tempo curtas e realistas é fundamental (THÜRER; GODINHO FILHO, 2012; SPEARMAN; ZHANG, 1999). Quando um pedido de cotação é recebido pela empresa, o WLC determina as datas de entrega por meio de uma análise comparativa entre a capacidade existente e a requerida, simulando a entrada do novo pedido de acordo com a carga total existente, de tal forma que este pedido possa ser produzido de forma lucrativa e na data estabelecida (TATSIPOULOS; KINGSMAN, 1983; HENDRY et al., 1998; KINGSMAN, 2000). Segundo Thüerer e Godinho Filho (2012), o CEM considera dois tipos de pedidos, a classificação e a definição dos mesmos está apresentada a seguir:

- i) Pedidos com datas de entrega negociáveis (proposto pela empresa). Nesse caso, uma data de entrega possível é determinada por meio de programação para frente do pedido (pedido já confirmado e materiais disponíveis) (KINGSMAN et al., 1989; KINGSMAN, 2000). Quando necessário e possível, a capacidade pode ser aumentada ou pode-se dar prioridade a um pedido de tal forma que a data de entrega fornecida pela empresa seja aceita pelo cliente. Por meio da combinação interativa do controle de capacidade com a probabilidade da empresa fechar novos pedidos, pode-se determinar os preços e as datas devidas de forma a maximizar a probabilidade de ganhar o pedido e manter a lucratividade.
- ii) Pedidos com data fixa (estabelecida pelo cliente). Nesse caso, o cálculo da possibilidade de cumprir a data requerida pelo cliente é feito por meio de programação para trás. Dessa forma, encontra-se uma data de início planejada (isto é, a data em que o pedido precisa ser liberado para que esse seja entregue no prazo).

2.3.2. Liberação de Ordens (*Order Release - OR*)

Os “congestionamentos” no chão de fábrica são causados pelos altos níveis de WIP causando lead times longos. De acordo com Thüerer e Godinho Filho (2012), na abordagem WLC, as ordens não são imediatamente liberadas para o chão de fábrica; elas ficam retidas na chamada pre-shop pool, sendo liberadas a partir de níveis pré-determinados de carga existentes no chão de fábrica, níveis esses denominados “limites” ou “normas” (workload norm). O controle da liberação das ordens “protege” o chão de fábrica contra a variabilidade, reduz o WIP e o lead time, facilitando a identificação dos desperdícios. Dessa forma, o WLC, integra OR e CEM com uma efetiva programação da produção e gestão de materiais. Dessa forma, consegue contribuir mesmo em um ambiente job shop, caracterizado pela alta

variedade de produtos. Segundo Thüerer e Godinho (2012), os métodos para OR dentro do WLC são basicamente divididos em dois grupos: métodos que liberam as ordens do "pre-shop pool" de forma periódica e métodos que liberam as ordens do "pre-shop pool" de forma contínua.

2.3.2.1. Métodos de Liberação Periódica

Tais métodos tomam a decisão de liberar novas ordens para o chão de fábrica em intervalos de tempo definidos. A grande parte dos métodos de liberação periódica apresenta algumas características comuns (LAND; GAALMAN, 1998):

- i) As ordens no "pre-shop pool" são consideradas para liberação de acordo com regras tradicionais, como por exemplo, Data de Entrega Mais Cedida (*Earliest Due Date* - EDD), menor folga ou Data de Liberação Planejada (*Planned Release Date* - PRD);
- ii) A carga de cada operação da ordem é somada à carga já existente em todos os centros de trabalho pertencentes ao roteiro da ordem em questão. Se essa(s) nova(s) carga(s) for(em) menor(es) que o limite pré-determinado (*workload norm*), a ordem é liberada e a carga das operações da ordem atribuída à carga dos centros. Se pelo menos um dos limites pré-determinados for excedido, então se aguarda o próximo período de liberação. Tal procedimento é repetido até que todas as ordens tenham sido consideradas.

A principal diferença entre os diversos métodos de revisão periódica é como o acréscimo de carga nos centros de trabalho é considerado, ou melhor, como a carga direta e indireta é tratada (LAND; GAALMAN, 1998). Carga direta é a carga existente na fila de um centro de trabalho e carga indireta é aquela carga que ainda não chegou ao centro de trabalho.

Existe uma incerteza a respeito do momento da chegada real de tais cargas nesses centros. Portanto, tal consideração pode levar a não liberação de uma ordem para um centro devido à sua carga indireta, podendo resultar em uma ociosidade no centro de trabalho, devido a uma carga que chegará a algum momento. Esse fenômeno é denominado por Land e Gaalman (1998) de ociosidade prematura do centro de trabalho. Tal ociosidade pode ser parcialmente evitada. Bechte (1988) e Betche (1994) utilizaram um fator de depreciação para estimar a carga indireta de uma ordem em um centro de trabalho. Tal fator se baseia na seguinte premissa: quanto mais longe do início do roteiro de uma ordem (mais *downstream*)

um centro de trabalho estiver, menos carga (indireta) deve ser atribuída a esse centro de trabalho. Como tal fator de depreciação utiliza dados históricos, tal abordagem é denominada abordagem probabilística.

Uma abordagem alternativa é simplesmente somar a carga de uma operação à carga do centro, sem considerar a posição da operação no roteiro da ordem (portanto não diferenciando carga direta e indireta). Tal abordagem é chamada de abordagem atemporal ou abordagem da carga agregada clássica. Uma extensão importante de tal abordagem foi apresentada por Land e Gaalman (1996) e denominada abordagem da carga agregada corrigida. Tal abordagem estima a carga direta de forma similar à abordagem probabilística, mas transformando a carga indireta de forma simplificada: a carga de trabalho atribuída a um centro de trabalho é a carga de trabalho total dividida pela posição do centro de trabalho no roteiro da ordem. Das abordagens periódicas existentes na literatura, estudos de Oosterman et al. (2000), mostraram que as abordagens de carga agregada corrigida e probabilística apresentaram melhor desempenho.

2.3.2.2 Métodos de Liberação Contínua

Utilizar um método de liberação contínua significa que a decisão sobre a liberação de um novo pedido no chão de fábrica deve ser feito em qualquer momento (em vez de periodicamente, uma vez por dia, por semana, etc.). Normalmente, a liberação é iniciada por um evento no chão de fábrica, tal como:

- i) Carga de um equipamento gargalo cair abaixo de um determinado nível (GLASSEY; RESENDE, 1988; ENNS; PRONGUE COSTA, 2002);
- ii) Carga de um centro de trabalho cair abaixo de um determinado nível (MELNYK; RAGATZ, 1989);
- iii) Carga do chão de fábrica como um todo cair abaixo de um determinado nível (MELNYK; RAGATZ, 1989; QI et al., 2009).

As ordens que serão liberadas do "*pre-shop pool*" são escolhidas por meio de regras, da mesma forma que nos métodos periódicos. No caso (c), a ordem também pode ser liberada segundo a regra denominada *Work-In-Next-Queue* (WINQ), a qual seleciona para ser liberada a ordem cuja primeira operação do seu roteiro produtivo contém o centro de trabalho com a menor fila. As ordens são liberadas até que a carga de trabalho exceda o nível de liberação.

Melnyk e Ragatz (1989) compararam vários métodos de liberação contínua e identificaram que os métodos de liberação contínua que consideram informações a respeito da carga dos centros de trabalho apresentam melhor desempenho em *job shops*. Esse resultado foi mais tarde confirmado por Hendry e Wong (1994) e Sabuncuoglu e Karapinar (1999).

2.3.2.3. LUMS COR - Combinando as abordagens de liberação contínua e periódica

Essa abordagem foi proposta por Hendry e Kingsman (1991b) e é conhecida como *Lancaster University Management School Order Release* ou “LUMS OR”. Nessa abordagem, a liberação periódica é combinada com um mecanismo contínuo que tenta evitar que um centro de trabalho fique ocioso (*starvation avoidance mechanism*) devido a uma possível alta carga indireta (ociosidade prematura). Dessa forma, tal abordagem libera novos pedidos para o chão de fábrica periodicamente. Porém, se em algum momento, a carga de trabalho de qualquer centro de trabalho cair para zero, uma nova ordem é liberada.

O LUMS OR original inclui a abordagem de carga agregada clássica (ou atemporal). Conforme salientado na seção 2.2.1, tal abordagem é considerada inferior comparada com abordagens alternativas em uma série de estudos recentes (OOSTERMAN et al., 2000; THÜRER et al., 2011a). Dadas essas novas evidências, a abordagem da carga agregada corrigida foi adicionada ao LUMS OR. A partir daí, o LUMS OR passou a ser denominado de LUMS COR (*LUMS Corrected Order Release*). Portanto, o método realiza o balanceamento da carga no chão de fábrica, porém, se em algum momento do tempo, a carga de algum centro de trabalho cai para zero, então é realizada uma liberação. Por exemplo, se o centro de trabalho A está sem trabalho, todas as ordens no *pre-shop pool* cuja primeira operação é no centro de trabalho A passam a serem candidatas à liberação.

Esta seção apresentou conceitos básicos do WLC. A próxima seção abordará a revisão sistemática da literatura sobre o tema *Workload Control*, onde inicialmente é apresentada a metodologia aplicada para a seleção e análise dos artigos e posteriormente os artigos são discutidos.

2.4. METODOLOGIA DE PESQUISA UTILIZADA PARA A REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O *WORKLOAD CONTROL*

Esta seção tem o propósito de apresentar as etapas e os critérios adotados para a seleção e análise dos artigos na obtenção de um banco de dados consistente sobre o tema

Workload Control (WLC). Segundo Brocke et al. (2009), o rigor da revisão sistemática refere-se, particularmente, a confiabilidade e a validade do processo de busca. A revisão sistemática mostra as decisões relativas à base de dados, palavras-chave, períodos o que permite a validade da pesquisa e garante a sua replicabilidade através da documentação do processo de busca, o que confere confiabilidade ao processo.

A revisão sistemática da literatura desenvolvida teve como objetivo apresentar a evolução do tema WLC. Este estudo seguiu os quatro passos executado por Thüerer et al. (2011a). A seguir, cada passo é detalhado.

Passo 1: Definição dos critérios de busca

De acordo com Colicchia e Strozzi (2012), este passo corresponde à localização dos estudos e engloba a identificação das palavras-chave relacionadas com o tema. Outro ponto importante nesse passo é a escolha das bases de dados que serão utilizadas para localizar os estudos (WONG et al., 2012).

Para a realização das buscas, optou-se apenas por estudos que continham no título e/ou palavra-chave e/ou resumo as seguintes palavras: “*Workload Control*”, “*Order Review and Release*”, “*Load Oriented Manufacturing Control*” e “*Input and Output Control*”.

As bases de dados selecionadas para a realização das buscas foram: *Engineering Village*, *Web of Science*, *Scopus*, além do *Google Scholar*. Com relação ao intervalo de publicação dos estudos, a busca considerou as publicações delimitadas entre os anos de 2009 a 2014. As buscas foram realizadas entre os meses de maio de 2013 a dezembro de 2014. Os artigos encontrados foram analisados e todos os artigos potencialmente relevantes sobre WLC foram pré-selecionados.

Passo2: Seleção dos artigos

Nesse passo da revisão sistemática, os critérios de inclusão e exclusão são fundamentais para selecionar os estudos importantes e relevantes para a pesquisa (COLICCHIA; STROZZI, 2012). Os estudos que não estavam publicados em *journals* internacionais foram excluídos, a fim de aumentar a qualidade da pesquisa, pois as mesmas não passaram por uma avaliação tão crítica e justifica-se pelo fato de ser um dos critérios adotados por Thüerer et al. (2011a).

Foram selecionados apenas os artigos em língua inglesa, o que garante uma boa representatividade sobre o tema, considerando-se que o inglês é uma língua universal. Todos os artigos encontrados nas bases de dados foram lidos na íntegra para que fosse avaliada a

verdadeira relevância; se considerados relevantes, os mesmos eram selecionados para um banco de dados preliminar.

Passo 3: Análise das citações dos artigos selecionados

Todos os trabalhos citados nos artigos identificados no passo 2 que se referiam à abordagem WLC e não abordados na revisão de Thüerer et al. (2011a) foram lidos cuidadosamente para determinar a relevância sobre o tema WLC. Isso garantiu que artigos relevantes não identificados durante o primeiro estágio não fossem desconsiderados.

Passo 4: Obtenção do banco de dados final

Todos os artigos do banco de dados relacionados com o tema WLC e citados mais de uma vez foram selecionados para banco de dados final. Um ponto importante a se enfatizar, com relação aos artigos publicados no ano de 2009 e inclusos nesse banco de dados final, é que os mesmos foram publicados após a revisão realizada por Thüerer et al. (2011a), portanto, não foram contemplados em seu trabalho.

No que concerne à categorização dos artigos, certifica-se que os mesmos seguiram a rigor a classificação proposta por Thüerer et al. (2011a), que segmenta as pesquisas em quatro classes distintas como: pesquisas conceituais, pesquisas analíticas, pesquisas empíricas e pesquisas baseadas em simulação. No que tange à classificação das pesquisas, a mesma incorpora uma subclassificação apresentada no Quadro 2.1.

Os artigos que integram o banco de dados final foram agrupados conforme a classificação e subclassificação de acordo com o Quadro 2.1. Esse procedimento permitiu uma análise e discussão mais estruturada e coerente dos estudos. Com o intuito de entrelaçar os resultados da revisão realizada por Thüerer et al (2011a) e compreender de forma mais precisa a evolução dos conceitos do WLC foi realizada uma leitura breve dos 107 artigos abordados em seu trabalho, o que permitiu uma análise mais fidedigna dos artigos. Os resultados da revisão da literatura a partir do banco de dados finais obtidos encontram-se apresentados na seção 2.4.

Quadro 2.1 - Classificação e subclassificação para a categorização dos estudos

Classificação	Subclassificação
Pesquisa Conceitual (C)	<ol style="list-style-type: none"> 1 Categorização do <i>Workload Control</i> (WLC) 2 Revisão dos diferentes conceitos de PCP e WLC 3 Desenvolvimento da teoria da aborgagem LUMS 4 Desenvolvimento da teoria LUMSCOR
Pesquisa Analítica (A)	<ol style="list-style-type: none"> 1 Modelos analíticos aplicados à teoria de filas 2 Análises matemáticas dos novos métodos de liberação 3 Ferramentas de análise para facilitar as decisões gerenciais
Pesquisa Empírica (E)	<ol style="list-style-type: none"> 1 Pesquisa baseada em caso único 2 Pesquisa baseada em vários casos 3 Estudo de caso único com sistema de PCP híbrido
Pesquisa baseada em simulação (S)	<ol style="list-style-type: none"> 1 Testar a influência do WLC no desempenho para encontrar o melhor ajuste entre os estágios de controle 2 Desenvolver novos métodos de liberação e comparar o desempenho 3 A influência dos parâmetros ambientais (externo) no desempenho 4 A influência das características WLC (parâmetros internos) no desempenho

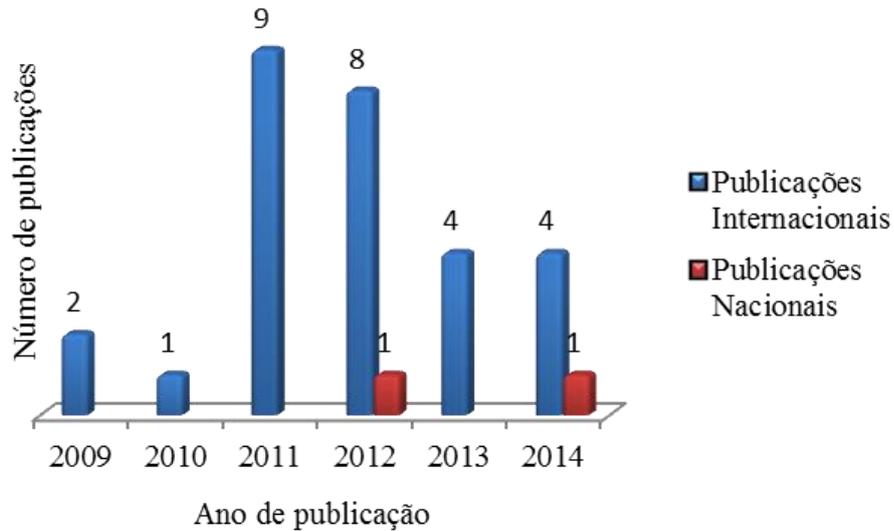
Fonte: Elaborado pela autora

2.5. RESULTADOS DA REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção apresenta os resultados da revisão sistemática da literatura, sobre o *Workload Control* com a finalidade de atualizar a revisão da literatura realizada por Thürer et al. (2011a) propiciando uma visão da evolução das pesquisas e, por conseguinte, apontar lacunas para o desenvolvimento de futuras pesquisas.

Os dados globais das pesquisas iniciam-se com a quantificação do número de publicações em relação aos anos em que os mesmos foram publicados. A Figura 2.2 sintetiza os resultados, e através da mesma é possível constatar que o número de publicações internacionais representam 27 artigos. Um ponto a ser destacado é o número representativo de publicações nos anos de 2011 e 2012 que juntos representam aproximadamente 63% do total de artigos analisados no período.

Figura 2.2- Distribuição das publicações e seus respectivos anos



Fonte: Elaborado pela autora

No que se refere ao número de publicações nacionais, foram encontradas apenas dois artigos, porém salienta-se que os mesmos não serão incluídos nas discussões da revisão sistemática da literatura, por não serem artigos publicados em *journals* internacionais (representa um dos critérios do primeiro estágio de seleção definido na seção 2.4).

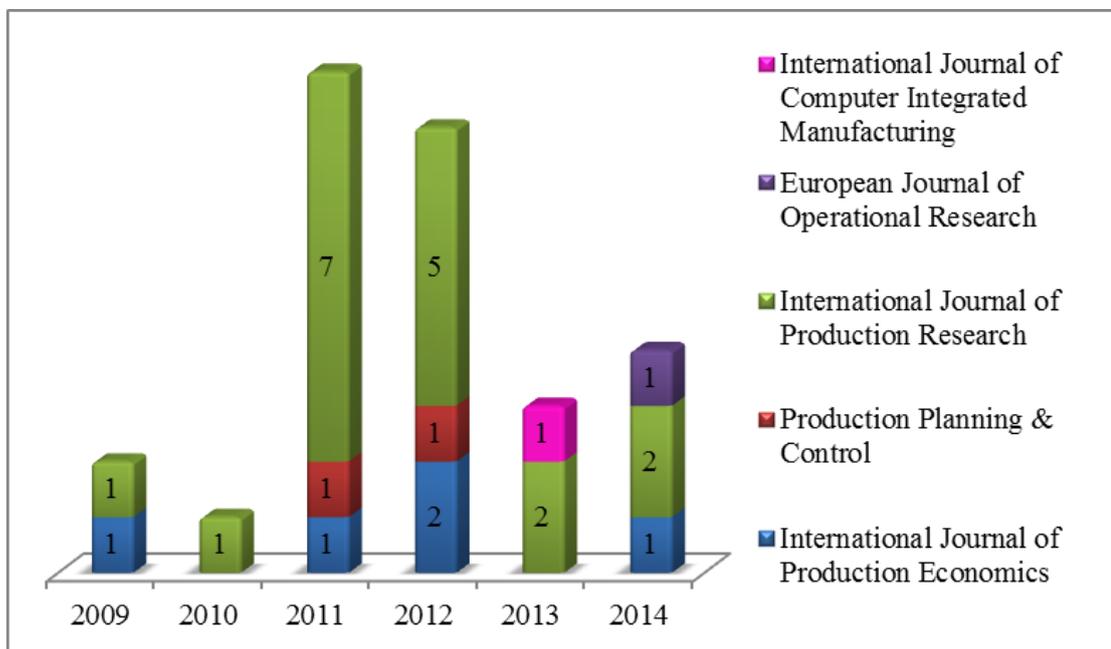
Apesar dessa restrição, os artigos nacionais serão discutidos brevemente abaixo com o propósito de ilustrar as pesquisas no Brasil.

O primeiro trabalho publicado no Brasil foi o de Thüerer e Godinho Filho (2012), na Revista *Gestão & Produção*, que objetivava introduzir a abordagem WLC na literatura brasileira e, posteriormente, testar o desempenho do WLC por meio da simulação. Os resultados da simulação apontaram que a abordagem WLC superou a política tradicional da determinação das datas de entrega e liberação de ordens utilizadas em empresa MTO com a utilização de três indicadores (*lead time* total, tempo de *throughput* e porcentagem de pedidos atrasados).

O segundo trabalho publicado no Brasil foi o de Kimura e Godinho Filho (2014), no XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). O estudo visou classificar e analisar os artigos de acordo com os mesmos critérios de seleção e classificação adotados nesse capítulo (seção 2.4.). O trabalho contemplou a análise de 22 artigos cujos resultados revelaram que as pesquisas de simulação continuam sendo as pesquisas que vem recebendo maior atenção.

O segundo ponto refere-se aos diferentes *journals* em que os 27 artigos que compõem o banco final foram publicados. Através desta quantificação, constatou-se que os estudos foram publicados em cinco diferentes *journals*. Sendo que *International Journal of Production Research* revela-se com o *journal* com o maior número de publicações (18 artigos) no que se relacionam ao WLC nos últimos seis anos, representando, aproximadamente 66,7% do total de publicações. A Figura 2.3 apresenta a relação do número de artigos e o ano de publicação nos respectivos *journals*.

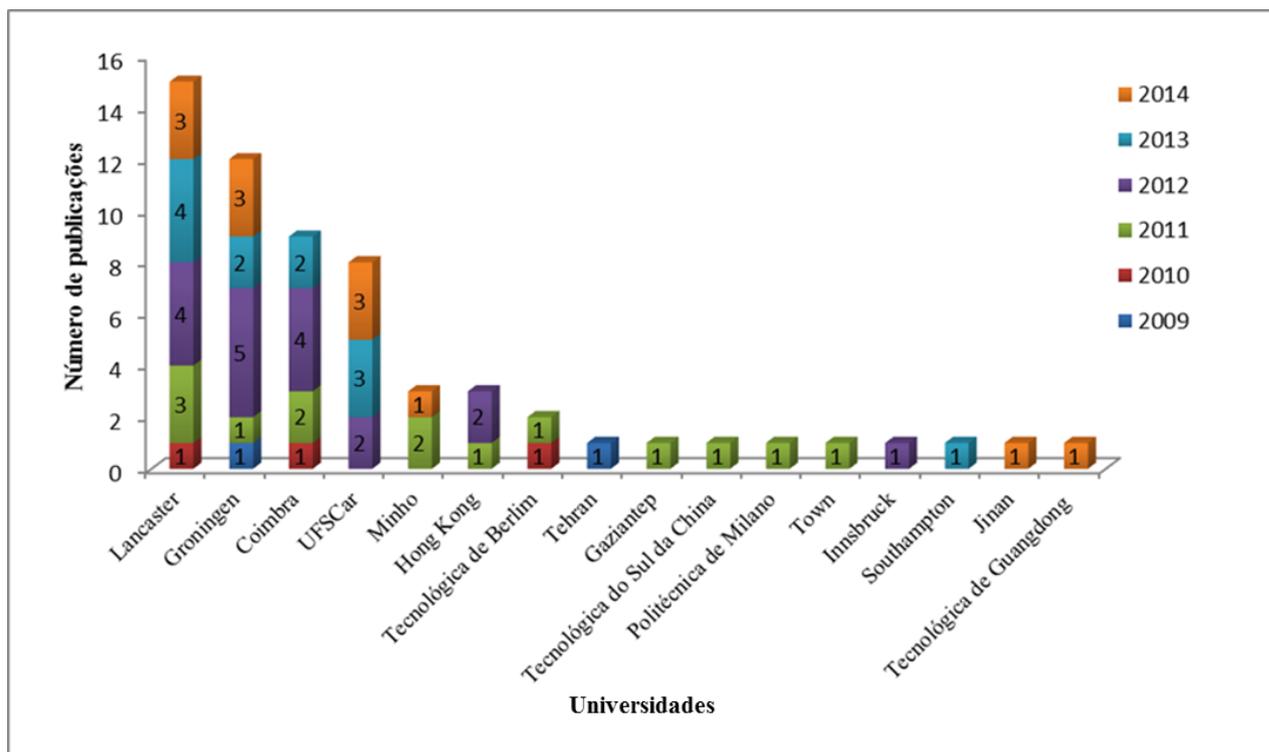
Figura 2.3 - Relação entre o número de publicação, o ano e o *Journal*



Fonte: Elaborado pela autora

O segundo *journal* com o maior número de artigos publicados no período analisado é o *International Journal of Production Economics*, com cinco artigos (18,5%) seguidos do *Production Planning & Control*, com dois artigos (7,4%).

O próximo resultado da análise dos artigos que compõem o banco de dados final se refere às universidades que desenvolvem as pesquisas sobre o tema. A Figura 2.4 apresenta o número de artigos publicados em cada ano por universidade (país). Uma consideração a respeito dessa análise diz respeito aos autores, se cada autor do artigo pertence a uma universidade; cada universidade receberá um ponto, ou seja, será contabilizada uma publicação para cada universidade de acordo com o autor pertencente à mesma. Portanto, o número de estudos por universidades será superior aos 27 artigos.

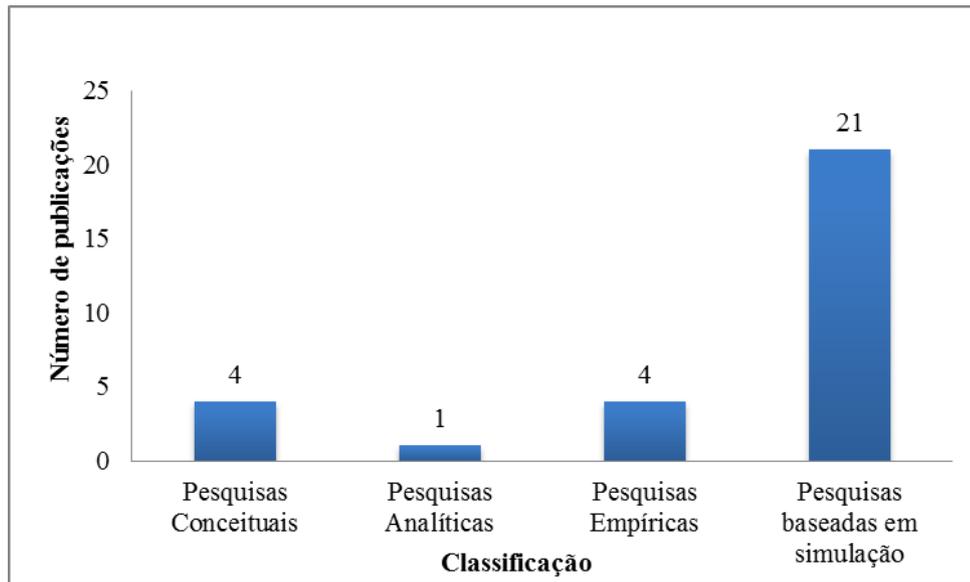
Figura 2.4 - Artigos publicados por Universidades

Fonte: Elaborado pela autora

As universidades que mais se destacam no tema do WLC quanto ao número de publicações analisadas no período são respectivamente: Universidade de Lancaster, no Reino Unido, com 15 trabalhos publicados; Universidade de Groningen, na Holanda, com 12 trabalhos publicados; Universidade de Coimbra, em Portugal com 9 trabalhos publicados e a Universidade Federal de São Carlos, no Brasil, com 8 trabalhos publicados.

O APÊNDICE B, onde encontra-se o Quadro B, apresenta um breve resumo dos 27 artigos analisados. Nesse quadro estão contidas informações como: autor e ano de publicação, tipo de pesquisa, *Journal* em que foi publicado e um breve resumo do que cada trabalho aborda.

A Figura 2.5 apresenta o número de artigos publicados em relação a sua classificação. Uma consideração a respeito dessa análise diz respeito ao número de artigos por classificação, pois a contabilização das mesmas será superior a 27 artigos devido a alguns artigos se enquadrarem em duas diferentes classificações.

Figura 2.5- Número de artigos por classificação

Fonte: Elaborado pela autora

Como pode ser observado na Figura 2.5, a maior parte dos trabalhos se concentra nas pesquisas baseadas em simulação. Os 27 trabalhos selecionados para a revisão da literatura são apresentados a seguir de acordo com os quatro critérios de classificação de Thürer et al. (2011a).

2.5.1. Pesquisas Conceituais

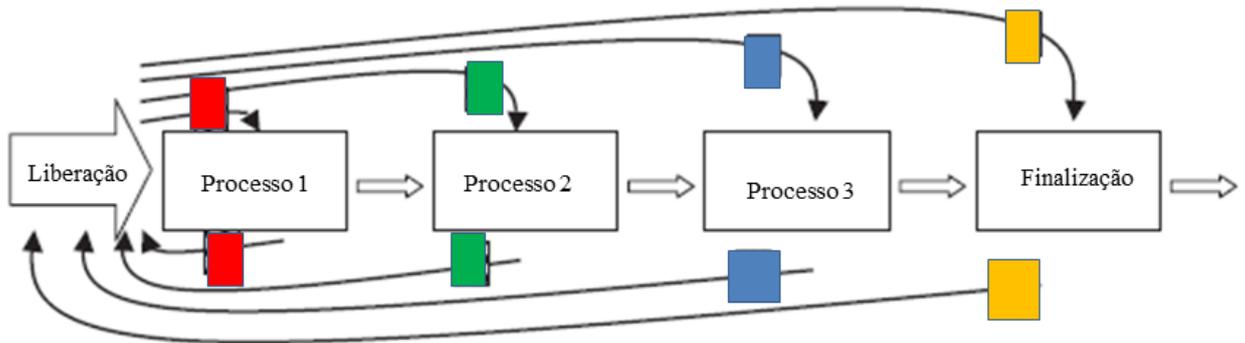
No que compreende os estudos encontrados no período, quatro podem ser classificados como conceituais, sendo eles: Thürer et al. (2014a), Thürer et al. (2012a), Land (2009), Soepenberget al. (21012 c).

O trabalho de Land (2009) apresenta o COBACABANA (*Control of Balance by Card-Based Navigation*), um sistema de controle baseado em cartões desenvolvido para *job shops* através dos conceitos do WLC. O trabalho objetivou preencher uma lacuna no que se refere a sistemas baseados em cartões destinados a empresas MTO. De acordo com Hendrich et al., (2004a), o conceito WLC se encaixa nas características típicas de fabricação em *job shops* e Oosterman et al. (2000) mostra que as normas da carga de trabalho utilizando métodos clássicos de WLC são sensíveis a mudança no *mix* de ordem. Porém, o desenvolvimento em relação às normas mais robustas pode permitir transformar o conceito em um sistema simples baseado em cartões.

De acordo com Land (2009), o sistema COBACABANA foi organizado em relação às decisões de aceitação e de liberação de pedido, sendo essas decisões a chave no controle

dos processos no *job shop*. O sistema COBACABANA permite estabelecer um *link* entre o planejador (*order pool*) e cada centro de trabalho, através de cartões que interligam as informações de cada ordem. A Figura 2.6 representa o sistema citado, onde cada operação é representada por uma cor diferente.

Figura 2.6 - Loops de cartão de liberação COBACABANA entre as estações de trabalho

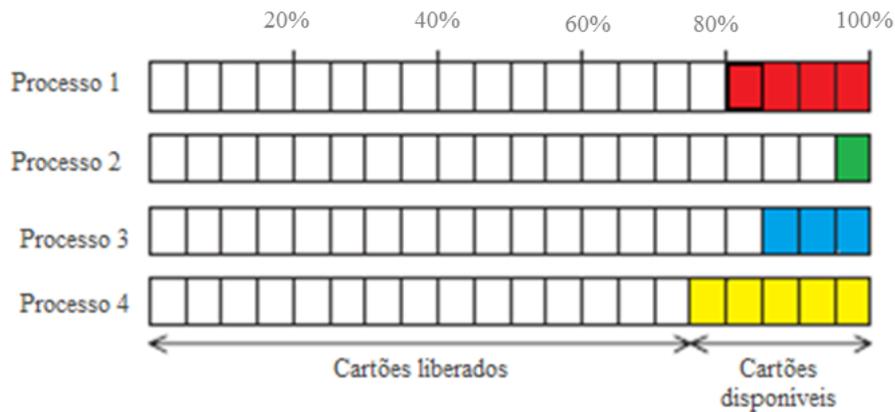


Fonte: Adaptado de Land (2009)

Através da Figura 2.6 é possível ilustrar o mecanismo de funcionamento do COBACABANA. Os cartões de liberação autorizam o planejador a liberar novos pedidos, para isso é necessário que o planejador anexe a quantidade certa de cartões para cada centro de trabalho da ordem com o objetivo de orientar seu encaminhamento e, após a conclusão da operação em determinado centro de trabalho os cartões regressam ao planejador. Como citado anteriormente, o COBACABANA estabelece um *loop* entre planejador e centro de trabalho. O sistema equilibra a carga de trabalho para todas as estações, permitindo que um número fixo de cartões circule no chão de fábrica, cuja soma de cartões seja 100% da capacidade por estação de trabalho (LAND, 2009).

De acordo com Land (2009), a atividade de liberação de cartões pelo planejador é suportada por um painel que apresenta os cartões recolhidos e distribuídos. A Figura 2.7 apresenta de forma simplificada da situação no *shop floor*.

Figura 2.7 - Cartões de libertação disponíveis indicando a situação atual do chão de fábrica



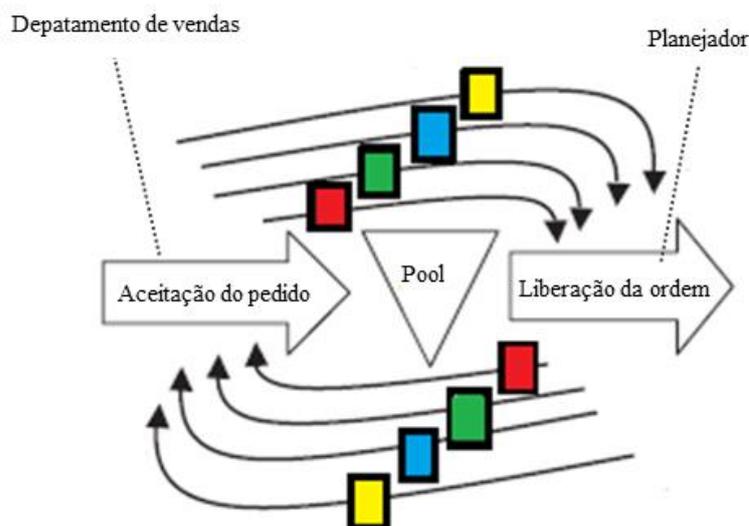
Fonte: Adaptado de Land (2009)

Na Figura 2.7 os cartões no painel representam a disponibilidade de liberar novas ordens e os espaços vazios no painel representam a porcentagem do tempo de atravessamento planejado na estação preenchido por ordens liberadas. O painel de cartões é útil para identificar os gargalos que são obrigatórios para a tomada de decisão central em um *job shop*.

Segundo Land (2009), o sistema de liberação pode ser estendido para apoiar a aceitação da ordem em função da data de entrega prometida. Desde que o sistema COBACABANA mantenha as várias estações com uma taxa de transferência constante, o tempo de espera antes da liberação é o único componente variável no tempo de entrega. Dessa forma, o tempo pode ser suportado por um *loop* do cartão entre a realização da liberação pelo planejador e da aceitação do pedido pelo departamento de vendas.

A Figura 2.8 representa resumidamente as considerações desse *loop* entre a liberação da ordem realizada pelo planejador e a aceitação do pedido pelo departamento de vendas bem como o tempo no *pool* (refere-se ao tempo de espera entre aceitação da ordem até a sua liberação para o chão de fábrica).

Figura 2.8 – Resumo da relação entre a liberação da ordem e a aceitação do pedido.



Fonte: Adaptado de Land (2009)

O conceito desenvolvido por Land (2009) baseou-se nos princípios de WLC que foca no controle do tempo de atravessamento entre os centros de trabalho, o qual permite mensurar o tempo para realizar a liberação de ordens e garantir a confiabilidade da data de entrega. O autor ressalta que o sistema COBACABANA assume um nível de capacidade constante o que é uma limitante deste estudo e, sugere que os estudos futuros incorporem uma flexibilidade a capacidade para a melhoria desse método.

Thürer et al. (2014a) afirma que a abordagem do COBACABANA apresentada por Land (2009), apresenta deficiências que limitam a sua aplicabilidade na prática, o que motivou o refinamento desse método de liberação de ordens baseadas em cartões. Thürer et al. (2014a), propôs a incorporação de técnicas recentes de liberação consolidada por Thürer et al. (2012a) como o LUMS COR e a redução do número de cartões.

Thürer et al. (2014a) incorporou o método de liberação LUMS COR, pois a liberação periódica permite que a carga de trabalho seja equilibrada, em contrapartida, a carga contínua evita a ociosidade prematura do centro de trabalho. A redução no número de cartões que circulavam entre os centros de trabalho e o *pool* foi outro refinamento. Tais refinamentos proporcionaram a redução dos atrasos e dos tempos de atravessamento em relação à abordagem inicial. Estes resultados foram obtidos por meio da simulação que confirmou a melhoria no desempenho proporcionado pelo refinamento do COBACABANA.

Quanto a LUMS COR esse método de liberação foi proposto por Thürer et al. (2012a) baseado na abordagem LUMS OR (*Lancaster University Management School Order*

Release) em que a liberação de pedidos periódica é combinada com um mecanismo contínuo, que tenta evitar que um centro de trabalho fique ocioso devido a uma possível alta carga indireta. Essa abordagem busca propor a adição de uma carga agregada corrigida ao LUMS OR (*Lancaster University Management School Order Release*) que foi denominada como LUMS COR (*Lancaster University Management School Corrected Order Release*). Os resultados das pesquisas utilizando simulação demonstraram que LUMS COR é considerada a melhor solução em relação aos demais métodos de liberação, devido ao seu excelente desempenho e facilidade de implementação.

Soepenberget al.(2012c) apresenta um *framework* que visa diagnosticar problemas relacionados a confiabilidade de entrega influenciados pelas decisões de PCP. Segundo este trabalho, os atrasos podem estar diretamente relacionados com a variância ou com a média. Se os atrasos estão sendo influenciados pela variância utiliza-se a ferramenta *order progress diagram* para diagnosticar as causas, porém, se a média do atraso for o foco utiliza-se a ferramenta *throughput diagram*. O estudo mostra ainda, que as ordens podem atrasar por duas questões: fixação errônea da data de entrega prometida (ocorre quando os dados históricos, bem como uma falta de compreensão do processo não são estipulados corretamente) e quando o processo de realização da ordem é ineficiente.

O Quadro 2.2 apresenta resumidamente as pesquisas conceituais que contribuem com a abordagem sobre o WLC no período delimitado de 1980 a 2014. Como pode ser observado no Quadro 2.2., os estudos de Thüerer et al. (2014a), Soepenberget al. (2012a) e Land (2009) se concentram nos mecanismos de liberação de ordens que se enquadram no grupo 2. Já o estudo de Thüerer et al (2012a) enquadra-se no grupo 3, que apresentou um novo método de liberação de ordens denominado LUMS COR baseado no desenvolvimento da teoria LUMS.

Quadro 2.2 - Resumo das pesquisas conceituais em WLC (1980-2014)

Grupo	1980s	1990s	2000s	2009-2014
Grupo 1: Categorização do WLC	Nenhum	Bergamaschi et al. (1997), Winer (1995)	Hendrich et al. (2004a)	Nenhum
Grupo 2: Revisão de diferentes conceitos de PCP e WLC	Hendry e Kingsman (1989)	Land e Gaalman (1996a), Zäpfel e Missbauer (1993b)	Stevenson et al. (2005), Fowler et al. (2002)	Land (2009), Thüerer et al. (2014a), Soepenber et al. (2012c)
Grupo 3: Desenvolvimento da teoria da abordagem LUMS	Kingsman et al. (1989), Tatsipoulos e Kingsman (1983)	Kingsman et al. (1993), Kingsman et al. (1993), Hendry e Kingsman (1991a), Hendry e Kingsman (1991b)	Stevenson et al. (2009), Hendry et al. (2008), Soepenber et al. (2008); Stevenson e Silva (2008), Stevenson e Hendry (2007a), Stevenson e Hendry (2007b), Stevenson (2006), Stevenson e Hendry (2006)	Thüerer et al. (2012a)
Grupo 4: Desenvolvimento da teoria LOMC	Bechte (1988)	Bechte (1994)	Breithupt et al. (2002)	Nenhum

Fonte: Adaptado de Thüerer (2011a)

A revisão realizada por Thüerer et al. (2011a) apontou que as pesquisas conceituais se concentravam no desenvolvimento da teoria LUMS, no período que compreende os anos de 1990 a 2000. A partir das análises realizadas neste trabalho é possível notar que a questão dos métodos de liberação de ordem continua recebendo grande importância dentro da abordagem do WLC. Tal fato justifica-se devido à liberação de ordem ser um dos níveis essenciais para o bom funcionamento do método WLC como supracitado (LAND; GAALMAN, 1998; MELNYK; RAGATZ, 1989; HENDRY; KINGSMAN, 1991).

As futuras pesquisas conceituais relacionadas ao *framework* devem considerar o seu refinamento, com o objetivo de melhorar a sua aplicabilidade a partir das necessidades observadas pelos gestores, bem como *insights* e a incorporação dos avanços na abordagem WLC.

Com relação à liberação baseada em cartões, a lacuna identificada para pesquisas futuras é a necessidade de implementação de COBACABANA na prática, para confirmar as

melhorias de desempenho observados nos estudos de simulação por Thürer et al. (2014a) e refinar os conceitos através das necessidades observadas na prática.

2.5.2. Pesquisas Analíticas

No que compreende os estudos encontrados no período que se inicia em 2009 e se finda em 2014, apenas um trabalho pode ser classificado como analítico, sendo ele o de Liu et al. (2011).

O estudo realizado por Liu et al. (2011) vai de encontro com uma das lacunas identificadas por Thürer et al. (2011a), no que se referia ao desenvolvimento de modelos ou ferramentas que facilitem as tomadas de decisões gerenciais. O estudo de Liu et al. (2011) propõe uma ferramenta de apoio à tomada de decisão denominada como MAS (*Multi-agent-based mould due date setting*), que considera a confiabilidade de entrega como um critério de desempenho em um ambiente estocástico e apresenta-se como excelente recurso de tomada de decisão, pois apoia a integração das informações e das tomadas de decisões. O Quadro 2.3 apresenta resumidamente as pesquisas analíticas que contribuem com a abordagem sobre o WLC. As pesquisas são referentes ao período de 2009-2014.

Quadro 2.3 - Resumo das pesquisas analíticas em WLC (1980-2014)

Grupo	1980s	1990s	2000s	2009-2014
Grupo 1: Modelos analíticos aplicando a teoria de filas	Kanet (1998)	Missbauer (1997)	Missbauer (2009), Haskose et.al (2004), Haskose et.al. (2002), Missbauer (2002a), Missbauer (2002b)	Nenhum
Grupo 2: Análises matemáticas de novos métodos de liberação	Nenhum	Nenhum	Enns (2000)	Nenhum
Grupo 3: Ferramentas de análise para facilitar decisões gerenciais	Nenhum	Nenhum	Corti et.al. (2006), Kingsman (2000)	Liu et al. (2011)

Fonte: Adaptado de Thürer (2011a)

Através do Quadro 2.3 é possível notar que as pesquisas se concentravam no grupo 1 até o ano de 2009, onde os modelos analíticos aplicando teoria de filas era o tema principal.

Posteriormente a 2009, somente um trabalho foi desenvolvido no grupo 3, sendo este o estudo de Liu et al. (2011). O objetivo do estudo de Liu et al. (2011) era o desenvolvimento de ferramentas de análise que facilitavam as decisões gerenciais. Futuros estudos analíticos devem considerar um ambiente dinâmico, pois o estudo de Liu et al. (2011) foi realizando considerando um ambiente estocástico. Tal consideração pode aumentar a veracidade das conclusões devida à aproximação para o ambiente real.

2.5.3. Pesquisas Empíricas

No que compreende os estudos encontrados no período, quatro podem ser classificados como empíricos, sendo eles: Stevenson et al. (2011), Soepenberget al. (2012 a), Soepenberget al. (2012b) e Hendry et al. (2013).

O estudo de casos múltiplos realizado por Stevenson et al. (2011), objetivou o levantamento das características que afetam as implementações do WLC nas pequenas e médias empresas (PME's) com recursos financeiros limitados. A motivação da pesquisa, partiu da necessidade de descrever adequadamente os processos e as características das empresas pelas quais se obteve sucesso na implementação da abordagem WLC, pois estudos anteriores não os descreviam. Os resultados desse estudo apontaram que a mudança organizacional é um dos critérios primordiais para o sucesso da implementação, seguida da necessidade de aproximação entre teoria e prática, para refinar os conceitos de WLC proporcionando melhoria do alinhamento entre ambas.

O estudo de Stevenson et al (2011) apontou ainda, a necessidade de desenvolver um estudo mais aprofundado, que englobasse as características das três fases de implementação (pré-implementação, implementação e pós-implementação) com o objetivo de identificar a adequação dos o conceito do WLC em cada uma das fases. Tal constatação converge com a lacuna apontada no estudo de Thürer et al. (2011a), onde o mesmo sugere que as implementações utilizando as técnicas de WLC devem ser revistas com o objetivo de verificar se o conceito é praticado na sua concepção inicial ou se sofreu adaptações ao longo do tempo.

O estudo de caso único feito por Soepenberget al. (2012b) aborda as questões-chave das medidas desempenho logístico no que tange à confiabilidade de entrega nas três fases de implementação. Os autores definem três fases: pré-implementação, implementação e pós-implementação, respectivamente, como: medida de base, incorporação do uso de WLC e pós-medida. A pós-medida serve de comparativo com as medidas de base a fim de avaliar e mensurar o desempenho alcançado. Este trabalho objetivou a identificação e classificação das

questões-chave que afetam o desempenho logístico em relação à confiabilidade de entrega em um ambiente dinâmico através da utilização de ferramentas do WLC (*throughput diagram* e *order progress diagram*). A partir do levantamento das questões-chave verificou-se que, a confiabilidade de entrega é atingida pelo controle do tempo médio de atravessamento no chão de fábrica e pela variância no tempo dos processos. O estudo de caso ainda revelou que, ao usar uma abordagem do WLC, a empresa teve de lidar com um ambiente muito mais dinâmico do que se supõe em estudos de simulação.

Soepenberget al. (2012c) apresenta um *framework* para diagnosticar problemas na confiabilidade de entrega devido às decisões de PCP, tal *framework* analisa os atrasos e em relação a média ou a variância o que leva a utilizar ferramentas de diagnósticos para apurar as causas e solucionar os problemas encontrados. Os resultados mostram que se as dinâmicas internas e a dinâmicas externas não forem consideradas corretamente, o tempo de processamento irá se tornar descontrolado ao longo do tempo mesmo com a utilização da abordagem WLC.

O refinamento dos conceitos de WLC aplicados ao PCP de um *job shop* com roteiros complexos de montagem foi realizado por Soepenberget al. (2012a), e os resultados revelaram que o controle do progresso de ordem nos últimos estágios de produção pode ser usado de forma eficaz para o cumprimento dos prazos de conclusão da ordem, pois acelerações em algumas fases de produção resultaram em muitas encomendas entregues no prazo.

O estudo de Soepenberget al. (2012a) concluiu que, apesar do WLC ser visto como o conceito PCP mais adequado para a produção em *job shops*, o foco principal que se baseia na liberação não é suficiente para o controle dos tempos em *job shops* complexos, pois o WLC não incorpora um mecanismo para sincronizar o progresso da ordem a fim de inter-relacionar subordens em estruturas do tipo de montagem. As pesquisas empíricas apresentadas centram-se nos seguintes pontos:

- i) Aproximação entre teoria e prática, pois quando a aplicação dos conceitos de WLC é realizada, observa-se certa divergência entre teoria e os resultados obtidos na prática, devido ao ambiente real ser muito mais dinâmico que o descrito teoricamente;
- ii) As características observadas na prática permitem o refinamento do conceito, além de proporcionar *insights* para o desenvolvimento de novos conceitos.

As pesquisas empíricas que contribuíram com a abordagem do WLC compreendida no período de 1980 a 2014 estão apresentadas resumidamente no Quadro 2.4 a seguir.

Quadro 2.4 - Resumo das pesquisas empíricas em WLC (1980-2014)

Grupo	1980s	1990s	2000s	2009-2014
Grupo 1: Pesquisa baseada em caso único	Bechte (1988), Fry; Smith (1987)	Bechte (1994), Hendry et al. (1993)	Silva et al. (2006), Stevenson (2006)	Hendry et al. (2013), Soepenberget al. (2012b)
Grupo 2: Pesquisa baseada em múltiplos casos	Nenhum	Wiendahl (1992)	Land; Gaalman (2009)	Stevenson et al.(2011)
Grupo 3: Estudo de caso único com sistema de PCP híbrido	Nenhum	Park et al. (1999)	Riezebos et al. (2003)	Soepenberget al. (2012a);

Fonte: Adaptado de Thürer (2011a)

As pesquisas empíricas somam quatro artigos e os anos de publicação estão distribuídos conforme o Quadro 2.4. Em relação à quantidade de artigos que compreende esta análise (2009-2014), os mesmos representam aproximadamente 3,7 % em um intervalo de aproximadamente 35 anos. As pesquisas empíricas nos últimos cinco anos pode ser justificados pelos itens a e b citados anteriormente.

As pesquisas empíricas analisadas encontram-se distribuídas em todos os grupos. Sendo os estudos de Hendry et al (2013) , Soepenberget al (2012b) enquadrados no grupo 1 que diz respeito a estudo de casos únicos. Com relação ao grupo 2 enquadra-se o estudo de Stevenson et al. (2011), pois o mesmo desenvolveu um pesquisa com múltiplos casos (41 PME`s) elencando as características que afetam a implementação do WLC. Por fim, no grupo 3 enquadra-se o estudo de Soepenberget al. (2012a) que objetivou-se refinar o conceito de WLC em *job shops* complexo através do estudo de caso único.

Os estudos empíricos tornam-se fundamentais para testar a teoria existente, pois através do processo empírico é possível estreitar a ligação entre teoria e prática e a partir dessa ligação, desenvolver novas teorias e fazer adequações a teoria existente a fim de melhorar sua aplicabilidade. A partir dos resultados das análises realizadas dos estudos pertinentes a esta categoria, identificou-se dois direcionamentos para pesquisas futuras:

- i) Os estudos baseados em simulação devem considerar as características das pesquisas empíricas para o seu desenvolvimento, pois as conclusões obtidas seriam

mais condizentes com a realidade. Esse fato ocasionaria a maior acurácia dos resultados e resultaria na redução das discrepâncias observadas nos trabalhos empíricos.

- ii) O desenvolvimento dos conceitos de WLC para *job shops* com roteiros complexos, pois a abordagem do WLC é identificada como uma das mais condizentes para empresas MTO. Tal lacuna foi apresentada por Soepenbergh (2012a), que aponta que somente os métodos de liberação não são suficientes para controlar as ordens e atingir prazos de entrega confiáveis em *job shops* complexos.
- iii) Focar no refinamento do *framework* a partir da identificação de necessidades práticas dos gestores e dos novos *insights* com base científica.

O Quadro 2.5 apresenta resumidamente os principais pontos das pesquisas empíricas discutidas.

Quadro 2.5 – Resumo dos principais pontos das pesquisas empíricas

Autor	Propriedades da amostra (compania)			Conceitos do WLC			Pesquisa		
	Número e tamanho	Ramo da indústria	Estratégia de Produção	Configuração do shop e do job	Tipo	Nível	Objetivo	Método	Resultados
Stevenson et al. (2011)	41 pequenas e médias empresas, dentre as quais 3 empresas possuíam mais de 250 funcionários. Um ponto crucial para a seleção da empresas é que as mesmas deveriam apresentar o faturamento inferior ou igual a 50 milhões de euros	Ampla gama de setores industriais tais como: automotivo; ferroviário; eletrônicos; alimentos e bebidas; máquinas e ferramentas; produtos químicos aeroespaciais e de defesa; e industrial de equipamentos	MTO	Várias	Conceito geral de WLC	Não informado	Levantar o processo através do qual o sucesso da implementação do WLC é alcançado. Por meio de entrevistas semiestruturadas construiu-se um corpo de evidências sobre as características das PME's que afetam a implementação do WLC.	Estudo de caso múltiplo	Uma agenda de pesquisa para refinar o conceito WLC e melhorar o alinhamento entre teoria e prática e o desenvolvimento de uma estratégia para implementação do WLC incluindo elementos tais como: mudança organizacional e as etapas pré implementação, implantação e pós-implantação.
Soepenberget al. (2012a)	Empresa única. Não possui mais informações	Produz ferramentas de precisão e matrizes para produção de componentes eletrônicos	MTO	40 centros de trabalho; <i>layout</i> funcional, as operações nos centros de trabalho exigem habilidade especiais o que resulta em uma intercambialidade limitada de recursos (funcionários)	Ferramentas de apoio do WLC: <i>throughput diagram</i> e <i>order progress diagram</i>	Todos os níveis de controle	A pesquisa investiga como adaptar os conceitos do WLC para as necessidades do <i>job shop</i>	Estudo de caso único	Resultados revelam que o controle da evolução da ordem nos últimos estágios de fabricação pode ser usado de forma eficaz para o cumprimento dos prazos pre-estabelecidos.

Quadro 2.5 – Resumo dos principais pontos das pesquisas empíricas (Continuação)

Autor	Propriedades da amostra (compania)				Conceitos do WLC			Pesquisa	
	Número e tamanho	Ramo da indústria	Estratégia de Produção	Configuração do shop e do job	Tipo	Nível	Objetivo	Método	Resultados
Soepenberget al . (2012b)	Empresa única	Produz janela de PVC e portas	MTO	Não possui informações	Controle dos níveis	CE	Identificar e classificar as questões-chave que afetam o desempenho logísticos com relação à confiabilidade de entrega utilizando ferramentas do WLC	Estudo de caso único	Destaca que se as dinâmicas não forem bem consideradas, mesmo com a utilização de métodos de WLC, o tempo de processamento irá se tornar descontrolado ao longo
Soepenberget al. (2012c)	3 empresas	Empresa A: produz grande variedade de folhas perfuradas. Empresa B: produz lâminas e componentes especiais para turbinas a gás e a vapor. Empresa C: produz dispositivos mecânicos e elétricos para medir temperatura.C:	MTO	Não possui informações	Controle dos níveis	Todos os níveis de controle	Apresentar um <i>framework</i> para o diagnóstico de desempenho da confiabilidade de entrega em empresas MTO.	Estudo de caso múltiplo	Os pontos fortes do <i>framework</i> são: (i) selecionar as áreas problemáticas, (ii) fornece os instrumentos de diagnóstico preciso e (iii) detecta causas relacionadas com decisões de PPC. Suporta o diagnóstico a partir de dados quantitativos disponíveis em pacotes de software ERP padrão e permite o diagnóstico de triangulação usando dados qualitativos dos processos de decisão subjacentes.

Quadro 2.5 – Resumo dos principais pontos das pesquisas empíricas (Continuação)

Autor	Propriedades da amostra (compania)			Conceitos do WLC			Pesquisa		
	Número e tamanho	Ramo da indústria	Estratégia de Produção	Configuração do shop e do job	Tipo	Nível	Objetivo	Método	Resultados
Hendry et al (2013)	Empresa única classificada como PME, 32 funcionários, volume de negócios de 1,5 milhões de libras por ano.	Presta serviços diferentes segmentos industriais, tais como: aeroespacial, comercial, têxteis e alimentos, entre outros	MTO	25 funcionários	LUMS COR	OR	Apresentar uma implementação bem sucedida do conceito d WLC e descreer os processos associados à implementação	Estudo de caso único	Fornecer uma compreensão aprofundada do efeito dos conceitos de WLC que abrangem as medidas de desempenho em PME's e confirma a eficiência da abordagem LUMS COR permitindo que o paradigma Lean seja adotado no contexto MTO.

Fonte: Elaborado pela autora

2.5.4. Pesquisas baseadas em simulação

No período que compreende esta pesquisa, 21 trabalhos podem ser classificados como baseados em simulação. Isso representa aproximadamente 78% do total de artigos analisados (2009-2014), os mesmos serão discutidos individualmente a seguir.

O primeiro estudo baseado em simulação no período analisado é o de Ebadian et al (2009). Os autores propuseram um modelo de estrutura hierárquica de planejamento de produção (*Hierarchical Production Planning* - HPP) com o objetivo de gerenciar a data de chegada das ordens, a fim de atingir prazos de entrega curtos e confiáveis, usando a tomada de decisões e técnicas adequadas em cada nível (nível 1: entrada de pedidos; nível 2: liberação da ordem; nível 3: sequenciamento e expedição da ordem). As principais vantagens de se aplicar a estrutura proposta HPP, resumem-se em fornecer um plano de produção robusto e confiável no nível de entrada de pedidos, concentrando na decisão de rejeitar/aceitar e determinar as melhores datas de entrega (se negociável).

Baykasoğlu e Göçken (2011) trazem uma explanação sobre os níveis hierárquicos de decisão que o conceito do WLC incorpora. Os autores explicitam que atualmente, os estudos centram-se na gestão do controle no chão de fábrica (SPC- *Shop Floor Control*). No estudo desenvolvido por estes autores, cada ponto de decisão em todos os níveis e suas interações em relação ao desempenho no *shop* foi investigada. Land e Gaalman (1996) apontam a importância de manter o tamanho do conjunto do *pre-shop pool* em um determinado nível, pois todo *shop* pode ser protegido contra dinâmica externa através da elevada flexibilidade da capacidade.

Portanto, Baykasoğlu e Göçken (2011) consideram este fator e a partir da literatura publicada sobre ORR, o efeito estacionário do *pre-shop pool*, bem como flexibilidade da capacidade sobre a eficácia da ORR foram consideradas em conjunto e utilizadas como parâmetros na simulação. Os resultados da pesquisa apontam que o MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) é a medida de desempenho mais importante, pois é sinônimo de confiabilidade data de entrega (a magnitude dos erros entre tempos de realização e os tempos planejados de conclusão das ordens). Sendo assim, o maior desempenho MAPE significa clientes mais satisfeitos.

Fernandes e Silva (2011a) apresentam um estudo de simulação sobre o papel do *set-up* com sequência dependente na tomada de decisão no nível de liberação de ordem de uma carga de trabalho controlada em um ambiente MTO. Os resultados da pesquisa indicam que a estratégia local, que tem sido tradicionalmente adotada na prática e na maioria dos estudos

que tratam de *set-up* de sequencia dependentes, nem sempre apresentam os melhores resultados. A frequência de liberação e a carga de trabalho do *shop* são fatores críticos para a seleção da estratégia a se adotar, pois estes influenciam fortemente o desempenho. A importância do papel da sequência, dependente dos tempos de *setup* na tomada de decisão no nível de liberação de pedidos, se relaciona com o controle da capacidade de carga no chão de fábrica e representa influência sobre o desempenho do sistema de produção.

Thürer et al (2010) aponta que o mecanismo de liberação de ordem advindo do conceito de WLC tem recebido muita atenção nos últimos tempos. Apesar disso, a pesquisa não conseguiu resolver muitas das considerações práticas, envolvendo a liberação das ordens nos centros de trabalho que afetam a capacidade de aplicar o conceito na prática. De acordo com o mesmo autor, várias abordagens têm sido testadas para satisfazer as necessidades especiais dos pequenos e grandes *jobs* e melhorar a aplicabilidade na prática da metodologia WLC. O estudo testou a influência do tamanho dos *jobs* e conclui que a priorização apresentase, dentre os métodos de liberação, a solução mais adequada por proporcionar o melhor equilíbrio entre as diferentes necessidades dos dois tamanhos de *jobs* (pequeno e grande).

Fernandes e Carmo-Silva (2011b) apontam que a liberação de ordem contínua tem sido de alguma forma negligenciada, apesar de seu aparente potencial para melhorar o desempenho do sistema, incluindo a redução dos tempos de fluxo da ordem. O estudo contribui para melhorar para o estabelecimento de normas de carga de trabalho. Os resultados mostram que a permutabilidade da máquina tem uma grande influência sobre a decisão de roteamento.

Lu et al (2011) avalia a capacidade de diferentes combinações de regras OR e despacho, otimizando data de entrega e as medidas de desempenho relacionados ao tempo de fluxo. Os resultados da simulação mostraram que tanto OR quanto as regras de despacho são altamente relevantes no que diz respeito à data de entrega e o tempo de fluxo como medidas de desempenho.

Thürer et al. (2011b) buscou prever normas de carga de trabalho sem requisito de *feedback*, analisando a influência das características do chão de fábrica na norma carga de trabalho. Os parâmetros considerados são as características de fluxo do *job* e o número de possíveis centros de trabalho no encaminhamento de um trabalho (isto é, o comprimento de encaminhamento). Através do uso de *software* otimização, uma norma de carga de trabalho resultante é determinada para cada centro de trabalho, objetivando orientar a carga agregada através de dois métodos: método de carga agregada clássica e método de carga agregada corrigida. Os resultados sugerem que o desempenho da abordagem clássica é fortemente

afetado pelas características do chão de fábrica. Em contraste, os resultados sugerem que o desempenho da abordagem de carga agregada corrigida não é influenciado pelas características do chão de fábrica e a norma carga de trabalho resulta em desempenho ótimo para todos os experimentos. Dada à natureza mutável da produção MTO e as dificuldades encontradas com a abordagem clássica, a abordagem de carga agregada corrigida é considerada a melhor opção e mais robusta para aplicação prática.

Portioli- Staudacher e Tantardini (2012) apontam que as implementações de *Lean* já não se limitam a produção de alto volume e estão se tornando cada vez mais comum em baixo volume e alta variedade nas empresas. Tais empresas, geralmente possuem produção *Make-To-Order* (MTO) ou *Engineer-To-Order* (ETO) e possuem, normalmente, um sistema de produção estruturado em *job shop*. Porém, muitas vezes apresentam um fluxo de produção dominante. Além disso, uma das principais características de implementação de produção enxuta é que ela otimiza o fluxo de produção, torna unidirecional e reduz o tamanho da instalação. Isso tem um impacto sobre as abordagens de gestão da produção e, nomeadamente, sobre a revisão da ordem e sistemas de liberação. A simulação foi utilizada para testar o novo modelo e demonstrou que o método de liberação produz prazos menores e aumenta a produção.

Pürgstaller e Missbauer (2012), apresentam um estudo de simulação que compara modelos multi-períodos para a otimização da liberação de ordem (Controle de Entrada/Saída com *lead time* fixo e um modelo de função de compensação) com um mecanismo tradicional baseado no controle de carga de trabalho de liberação da ordem (controle de carga de trabalho agregada com a liberação periódica). Para os modelos de otimização, o estudo assume um replanejamento periódico e, portanto, avaliou-se os efeitos da previsibilidade da demanda. O modelo de simulação é baseado em um caso prático de um fabricante de armazenamento de produtos ópticos. Os resultados indicam que os modelos de otimização para a liberação ordem planejada em grande parte, executam mecanismos tradicionais de carga de trabalho com base em controle de liberação de ordem, mesmo no caso das previsões de poucas demandas.

Thürer et al (2012a) estendeu a aplicabilidade do WLC para um conjunto de *job shops* através da determinação da melhor combinação de: (i) WLC devido data (DD) a política de ajuste, (ii) método de liberação e (iii) pela coordenação da política progresso das ordens. Quando DDs são predominantemente definidos pela empresa, a política de configuração DD deve desempenhar o papel principal, enquanto o papel de liberação de ordem deve ser limitado e os progressos das ordens de trabalho não devem ser coordenados de acordo com a DD do produto final. Mas quando DDs são predominantemente especificados

pelo cliente, a importância da liberação da ordem como um segundo mecanismo de balanceamento aumenta a carga de trabalho, e as ordens devem ser coordenadas por agendamento para trás a partir do DD do produto final. Os resultados indicam que WLC pode melhorar o desempenho na montagem de *job shops* e superar as políticas de controle alternativas.

Thürer et al. (2012b) apresentam um estudo que avalia o desempenho de quatro dos melhores métodos de liberação apresentados na literatura em um *job shop* com tempos de *set up* com sequencia dependente por meio da simulação. Em primeiro lugar, os quatro métodos são comparadas sem considerar o *set-up* como requisitos a liberação. Em segundo lugar, os métodos são refinados para considerar os requisitos *de set-up* antes de serem comparados com os métodos originais. Um método de liberação que combina liberação contínua e periódica emerge como o método de melhor desempenho. Os resultados sugerem ainda que considerando *set-up* como requisito de liberação, o mesmo não tem um efeito significativo positivo no desempenho, e pode até ser contraproducente: objetivos conflitantes entre a regras de seleção empregados na liberação e na expedição que pode levar a um aumento da percentagem de trabalhos atrasados.

Thürer et al. (2012c) investigou a influência de *set-up* dependentes da sequência sobre o desempenho do WLC em um *job shop*, através da introdução de novas regras de despacho em conjunto com a avaliação do impacto da liberação da ordem no desempenho. Os resultados das simulações demonstram que a combinação de uma regra de liberação de ordem eficaz WLC com uma regra de expedição adequada, melhora o desempenho ao longo do tempo do que apenas a utilização de uma regra de despacho isoladamente.

Thürer et al. (2012d) avalia o desempenho de regras de fixação de DD no contexto de produto com estruturas complexas, considerando dois cenários com dois *job shops*, que trabalham em conjunto em que as ordens convergem para um final a operação de montagem. São propostas novas regras, que são substancialmente mais simples e mais adequadas para uso prático do que os descritos na literatura, no entanto, estas regras são apenas superadas por uma regra mais sofisticada, recém introduzida no contexto da montagem e multe estágio de *job shops* denominada LUMS COR apresentada por Thürer et al. (2012a).

Thürer et al. (2013a) apresenta um trabalho que se concentra especificamente na gestão do pedido de cliente, e utiliza a simulação para comparar e contrastar o desempenho de regras de data de entrega em um *job shop*, onde parte da carga de trabalho consiste em ordens não confirmadas ou ordens de contingentes. Os melhores resultados são atingidos por uma regra de carga finita, que explicitamente considera a carga de trabalho ordens contingentes ao

estimar prazos. Isso permite nivelar a demanda ao longo do tempo, possibilitando determinar datas de entregas curtas e confiáveis - melhorando assim a competitividade de uma empresa MTO.

Thürer et al. (2013b) apresenta a necessidade de estudar o espaço de armazenagem considerando-o como limitado ou finito, pois esta variável tem recebido pouca atenção; isso é um problema complexo para o qual otimizando agendamento pode levar a soluções inviáveis e de má qualidade. A alternativa de uma solução de programação é o uso de liberação de ordem controlada. Este estudo utiliza a simulação para avaliar o desempenho de regras de controle de liberação de quatro pedidos.

O estudo de Thürer et al. (2013b) indica que os melhores resultados são alcançados pela regra de liberação de ordem, através do controle de carga de trabalho (WLCOR). Esta regra produz resultados comparáveis à solução ótima identificada por modelagem analítica em termos de espaço de armazenamento necessário para alcançar uma determinada taxa de produção. Pode-se concluir que: o WLCOR permite que o espaço necessário para realizar uma determinada redução na taxa de produção ou taxa de saída, o que pode ser particularmente útil onde o espaço é crucial; o WLCOR permite a determinação de prazos mais curtos e mais viáveis, o que deve melhorar o desempenho de uma empresa, permitindo-lhe citar datas de entrega competitivas e realistas. Além disso, os resultados destacam a importância de controlar WIP em termos de carga de trabalho, mesmo que o espaço é o recurso limitante. Controlando a carga de trabalho deve, eventualmente, resultar em requisitos de espaço reduzido, mas sem comprometer o desempenho global.

Thürer et al (2013c) abordou uma das questões de investigação mais importantes levantadas na literatura recente sobre o método de liberação WLC, que deve ser aplicado em lojas de montagem. O estudo centrou-se em um dos dois níveis multi estágio do *job shop*, como comumente encontrado na prática em pequenas e médias empresas MTO através da comparação do desempenho de um conjunto de métodos de liberação, a fim de proporcionar aos profissionais orientações sobre qual o método de liberação deve ser aplicado neste contexto. Os resultados das experiências salientam o potencial do PCP e os seus métodos de liberação, a fim de limitar o WIP e reduzir a percentagem de trabalhos atrasados neste ambiente de produção; este deve fornecer confiança para futuras implementações. Mais especificamente, SLAR e LUMS COR foram identificadas como as soluções de melhor desempenho. Além disso, questão importante sobre quando considerar a liberação dos pedidos. Controlando a liberação no *job shop* tem-se que o mesmo apresenta um significativo efeito positivo sobre um método de liberação LUMS COR.

Fernandes e Carmo-Silva (2014) examinaram o desempenho de métodos de liberação de WLC para *job shop* desequilibrados, e mostraram como *jobs* desequilibrados podem exigir diferentes considerações relativas à utilização de normas de carga de trabalho para centros de trabalho com proteção da capacidade. Obviamente, o nível de proteção da capacidade é crítico para o desempenho do sistema, independentemente do método de liberação de WLC aplicada, uma vez que uma menor utilização em parte dos centros de trabalho irá reduzir os tempos de produção. Em relação à escolha do método de liberação adequado, os resultados deste estudo apoiam as conclusões de Fredendall et al.(2010), que mostraram que as diferenças de desempenho entre métodos de liberação de WLC tendem a diminuir para níveis mais altos de proteção da capacidade. No entanto, em níveis baixos de carga de trabalho, um método recentemente apresentado por Thüerer et al (2012d), que combina liberação periódica com versões intermediárias, supera os outros métodos. Contrariamente, os métodos de liberação com oportunidades de liberação contínua vão atrasar parte das ordens, mas pode levar a uma menor percentagem de atrasado em níveis relativamente elevados de carga de trabalho.

O estudo de Fernandes e Carmo-Silva (2014) mostrou que, em geral, WLC também pode ser eficaz em *job* desequilibrado, mas uma atenção especial deve ser dada à escolha dos níveis de norma adequados para centros de trabalho com proteção de capacidade. Os resultados suportam apenas parcialmente a prática, solução de senso comum que se assemelha a abordagem DBR (Goldratt e Cox 1984) de ignorar as normas de carga de trabalho para centros de trabalho com proteção de capacidade. Assim, os centros de trabalho considerados gargalos seriam submetidos às normas de carga de trabalho. As simulações mostram que esta abordagem vai sempre levar a deterioração do desempenho em níveis de baixa carga de trabalho, especialmente se a quantidade de proteção de capacidade é restrita.

Thüerer et al (2014a) refinou o COBACABANA apresentado por Land (2009), que apresentou um primeiro passo no sentido de um método de liberação de ordem baseada em cartão apropriado para *job shops* com base nos conceitos de WLC. Segundo Thüerer et al., (2014a) o projeto original do COBACABANA tinha uma série de lacunas e o mesmo revisou COBACABANA de duas maneiras. Primeiramente, refinou COBACABANA para limitar o número de cartões que têm de se deslocar com uma ordem para a operação. Isto foi realizado modificando a exibição de cartões para o planejador, permitindo um tamanho de cartão flexível que refletisse a contribuição da carga de trabalho final. Posteriormente, realizou a combinação do mecanismo de liberação periódica incorporando-a ao COBACABANA com um “start” de carga de trabalho contínuo, para evitar a ociosidade prematura do centro de

trabalho através dos recentes desenvolvimentos na teoria do WLC, tal como LUMS COR consolidada por Thüerer et al. (2012d).

A simulação foi usada para analisar o desempenho do COBACABANA, com encaminhamentos aleatórios, e os resultados demonstraram o potencial significativo de melhoria no desempenho do COBACABANA em termos de tempo de processamento e percentual de atrasos. As simulações também confirmaram a importância do refinamento das propostas para a realização de melhorias. Além disso, as simulações indicaram as possibilidades de simplificação do sistema para cumprir com as necessidades práticas por um tamanho totalmente flexível de cartão para um conjunto limitado de tamanho. Este cartão simplifica o modo em que os tempos de processamento devem ser estimados na fase de liberação da ordem.

Land et al. (2014) abordou um conflito de longa data que tem persistido na literatura sobre o WLC por mais de três décadas, desde o trabalho inicial sobre a liberação de pedidos baseado na carga na década de 80-90 (Bechte 1980; Bertrand e Wortmann 1981; Tatsiopoulos 1983). Muitos estudos de simulação anteriores indicaram que métodos de liberação de pedidos baseado em carga só deve ser combinada com regras de priorização de despacho simples, por exemplo, FIFO; e que as regras orientadas para a data de entrega mais sofisticada pode perturbar o funcionamento do método de liberação de ordem. No entanto, a evidência empírica recente, apoiou a necessidade de regras mais poderosas de priorização de despacho que FIFO na prática, levando a uma exigência clara para superar este conflito e preencher a lacuna entre a teoria e a prática.

Recentes avanços em métodos de liberação de pedidos baseado na combinação de cargas de trabalho como a liberação periódicas consolidadas por Thüerer et al. (2012d). Estes refinamentos já têm provado serem muito eficazes na melhoria do desempenho da data de entrega. Este estudo identificou que o ajuste das probabilidades é o próximo refinamento necessário para melhorar ainda mais o desempenho do WLC conceito. A sinergia provou ser a chave para melhorias de desempenho, especialmente quando as datas de entrega são apertadas e o balanceamento de carga torna-se então um pré-requisito para o bom desempenho das datas de entrega. O Quadro 2.6 apresenta resumidamente as mais importantes pesquisas baseadas em simulação que contribuem sobre o WLC e estão delimitadas no período que compreende os anos de 1980 a 2014.

Quadro 2.6 - Resumo das pesquisas em WLC com base de simulação (1980-2014)

Grupo	1980s	1990s	2000-2009	2009-2014
Grupo 1: Testar a influência do WLC no desempenho em busca do melhor ajuste entre os estágios de controle	Regatz e Mabert (1998), Baker (1984) e Bertrand (1983a)	Fredendall et al. (1996), Salegna (1996), Melnyk et al. (1994), Ahmed e Chevalier (1992) e Melnyk et al. (1991)	Moreira e Alves (2009) e Weng et al. (2008)	Ebadian et al. (2009), Baykasoğlu e Göçken (2011), Thüerer et al. (2012a)
Grupo 2: Desenvolver novos métodos de liberação e comparar o desempenho	Glasse e resende (1998), Onur e Frabrycky (1987) e Shimoyashiro (1984)	Sabuncuoglu e Karapinar (1999), Land e Gaalman (1998), Lingayat et al. (1995), hendry e Wong (1994), Philipoom et al. (1993) e Roderick et al. (1992)	Frededall et al. (2009), Enns e Prongue Costa (2002) e Sabuncuoglu e Karapinar (2000)	Portioli- Staudacher e Tantardini (2012); Pürgstaller e Missbauer (2012), Land et al. (2014), Thüerer et al. (2014a); Thüerer et al. (2014b)
Grupo 3: A influência dos parâmetros do ambiente (externo) no desempenho	Borbrowski e Park (1989) e Park e Borbrowski (1989)	Phulipoom e Fry (1999), Malhotra et al. (1994) e Philipoom e Fry (1992)	Thüerer et al (2009a), Hendrich et al. (2004b), Henrich et al. (2006), Henrich et al. 92007), Bertrand e Van Ooijen (2002), Missbauer (2002a), Oosterman et al. (2000)	Fernandes e Carmo-Silva (2011b)
Grupo 4: A influência das características WLC (parâmetros internos) sobre o desempenho	Nenhum	Perona e Portioli (1998) e Cigolini et al. (1998)	Land (2006), Cigolini e Portioli- Staudacher (2002) e Hendry e Kingsman (2002)	Lu et al. (2011); Thüerer et al. (2011b), Thüerer et al. (2010), Thüerer et al. (2011a), Thüerer et al. (2012b), Thüerer et al. (2012c), Thüerer et al. (2012d), Thüerer et al. (2013a), Thüerer et al. (2013b), Thüerer et al. (2013c), Fernandes e Carmo-Silva (2011a), Fernandes e Carmo-Silva (2014)

Fonte: Adaptado de Thüerer (2011a)

A partir da tabela 2.6 é possível afirmar que as recentes pesquisas baseadas em simulação vêm se desenvolvendo nos quatro grupos. Porém, com pouca expressão no grupo 3,

que concentra-se no estudo da influência dos parâmetros do ambiente externo no desempenho apresentando apenas um trabalho. Em contraste, o grupo 4 que estuda a influência das características WLC através de parâmetros internos sobre o desempenho, apresenta um grande número de trabalhos representando mais de 57, 1% do total de trabalhos classificados como baseados em simulação. O grupo 2, que visa desenvolver novos métodos de liberação e comparar o desempenho, apresenta 5 estudos no período analisado, Thürer et al. (2012d) destaca-se dentro desse grupo ao apresentar o LUMS COR método de liberação que vem apresentando os melhores resultados de acordo com as pesquisas apresentadas. O grupo 1 que testa a influência do WLC no desempenho em busca do melhor ajuste entre os estágios de controle, apresenta 3 estudos no período analisado.

As características das propriedades utilizadas em cada trabalho para a realização da simulação são apresentadas resumidamente na tabela 2.7. Já as características utilizadas em cada trabalho para a realização da simulação no chão de fábrica são apresentadas na tabela 2.8.

Quadro 2.7 - Resumo das propriedades de simulação

Autor(es)	Regra do <i>Pre-shop pool</i>	Regras na liberação ordem	Critério de desempenho	Análise estática
Ebadian et al. (2009)	FIFO, SPT, S/OPN, PST, EOCD	Liberação imediata, WCEDD, SLAR, BLAR	<i>Lead time</i> de produção (MLT), Tempo de atravessamento no chão de fábrica (SFTT), Percentual de ordens atrasadas, Desvio padrão do atraso	ANOVA
Thürer et al. (2010)	FIFO	Carga agregada clássica, carga agregada corrigida, carga agregada estendida	Tempo médio de espera, Tempo de atravessamento	Não informado
Baykasoğlu e Göçken (2011)	FIFO, EDD, SPT	IMR, Start da carga de trabalho total, seleção do trabalho na próxima fila (AGGWNQ), Start da carga do centro de trabalho (WCWT)	Porcentagem de erro absoluto, Atraso médio, Proporção de atraso dos <i>jobs</i> , <i>makespan</i> , SFTT, MLT, Número total de ordens rejeitadas, Tempo médio total de espera na fila, Tempo médio de espera no <i>pre-shop pool</i> , comprimento médio da fila em cada centro de trabalho	ANOVA
Fernandes e Carmo- Silva (2011a)	FIFO, SIMSET	Última data de lançamento (LRD-latest Release Date) , Similar set-up última data de lançamento(SLRD -Similar set-up Latest release date)	Tempo no sistema e desvio padrão do atraso do trabalho	t- Student
Fernandes e Carmo-Silva (2011b)	FIFO	Carga agregada corrigida, liberação imediata (IMR)	Tempo no chão de fábrica, tempo no sistema, porcentagem de atraso, desvio padrão do atraso	t- Student
Lu et al. (2011)	FIFO, FASFS (primeiro a chegar no sistema, primeiro a sair), SPT, NUP (Número intermináveis de partes); TWKR (trabalho total restante), JDD (Data de entrega do produto)	IMR, BIL, Carga infinita para trás para <i>assembly job shop</i> (BILA), Carga infinita para trás com controle de carga (BILWLC),	Desvio Padrão absoluto (MAD- Mean Absolute Deviation); Tempo de atravessamento no chão de fábrica (SFTT- <i>Shop Floor Throughput Time</i>)	ANOVA
Thürer et al. (2011b)	FIFO	Carga agregada clássica e carga agregada corrigida	Tempo de atravessamento no chão de fábrica, tempo de atravessamento total	ANOVA
Portioli-Staudacher e Tantardini(2012)	FIFO	Liberação balanceada (BLR), Liberação apenas com o limite superior (UBR)	Tempo médio do tempo de atravessamento total, SFFT	Não informado
Pürgstaller e Missbauer (2012)	FIFO	IOC (Input and output control), CF, TradRM	Demanda, mix de produtos	Não informado
Thürer et al. (2012a)	ERD, PRD	Liberação imediata (IMR), LUMS COR	Tempo de montagem do pedido, porcentagem de atraso (atraso interno), <i>Lead time</i> da ordem de serviço, tempo de atravessamento da ordem de serviço, tempo de espera da ordem de serviço	t- Student
Thürer et al. (2012b)	PST, SOPST	Carga agregada corrigida, WCPRD, SLAR, LUMS COR	SFTT, tempo de atravessamento total, tempo do <i>set up</i> médio de realização, porcentagem de atraso da ordem	t- Student

Quadro 2.7 - Resumo das propriedades de simulação (Continuação)

Autor(es)	Regra do <i>Pre-shop pool</i>	Regras na liberação ordem	Critério de desempenho	Análise estática
Thürer et al. (2012c)	FIFO, SPOPST, SIMSET, PST, SOSPT, JCR	Carga agregada corrigida, IMR	Tempo de atravessamento e percentagem de atraso	ANOVA
Thürer et al. (2012d)	TWKCP,EDD, FIL, ODD, RWIQ, SIM, FIFO, DWIQ E FFL	Liberação imediata	<i>Lead time</i> e número de atrasos	t- Student
Thürer et al. (2013a)	FIL, JIQ, IWIQ e CWIQ	Liberação imediata	Média do <i>lead time</i> , média estimada do <i>lead time</i> e desvio médio do atraso	ANOVA
Thürer et al. (2013b)	FIFO	Liberação imediata (StandR, IdleMR, WLCOR e SpaceOR)	Comprimento da fila, percentagem de atrasos e <i>lead time</i>	Não informado
Thürer et al (2013c)	PST e PRD	Carga agregada corrigida, LUMS COR, SLAR, WCPRD	<i>Lead time</i> de montagem, percentagem de atrasos, tempo de atravessamento	t- Student
Fernandes et al. (2014)	PST	Liberação periódica, Liberação contínua, Liberação contínua e periódica e Carga agregada corrigida	Índice de gargalo, tempo de atravessamento no sistema, percentagem de trabalhos atrasados e desvio padrão do atraso	t- Student
Land et al. (2014)	ODD, PRD	LUMS COR	Tempo total de atravessamento, percentagem de pedidos atrasados e desvio padrão médio do atraso	ANOVA
Thürer et al (2014a)	COBACABANA	Carga agregada clássica e Carga agregada corrigida	Tempo de atravessamento e tempo de atraso	Não informado
Thürer et al. (2014b)	ODD, SPT	Regras de subcontratação	Porcentagem de atraso das ordens no processo de montagem, <i>Lead time</i> médio das ordens na montagem	ANOVA

Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 2.8 – Resumo das características simuladas no chão de fábrica

Autor(es)	Routing		Tipo de processo	Taxa de utilização	Distribuição do tempo de chegada	N. de centros de trabalho	Restrições do buffer	Tipo	Software
	Seqüência	Comprimento							
Ebadian et al. (2009)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme (1-6)	2-Erlang (0.75)	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Arena
Thürer et al. (2010)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme (1-6)	2-Erlang (1.0)	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	SIMUL 8
Baykasoğlu e Göçken (2011)	Aleatória, com fluxo de reentrada	Uniforme (1-10)	Não informado	Não informado	Distribuição Exponencial	10	Infinito	Hipotético	SIMAN
Fernandes e Carmo-Silva (2011a)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	2-Erlang (0.75)	90%	Distribuição Exponencial	6	Limitado	Hipotético	Arena
Fernandes e Carmo-Silva (2011b)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	2-Erlang (1.0)	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Arena
Lu et al. (2011)	Aleatória	Uniforme(2-6)	Exponencial (1.0)	80%, 85% e 90%	Distribuição de Poisson	6	Infinito	Hipotético	Tecnomatix Plant Simulation 8.1
Thürer et al. (2011b)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme (1-8)	2-Erlang	90%	Distribuição Exponencial	12	Infinito	Hipotético	OptQuest e SIMUL8
Portioli-Staudacher e Tantardini(201)	Não Informado	Uniforme(1-5)	Não Informado	Não Informado	Distribuição Lognormal	5	Infinito	Hipotético	Não Informado
Pürgstaller e Missbauer (2012)	Não Informado	Não Informado	Não Informado	Não Informado	Não Informado	Não Informado	Infinito	Hipotético	FLEXSIM e LINGO
Thürer et al. (2012a)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-4)	90%	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Phyton
Thürer et al. (2012b)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	2-Erlang Truncado	Não Informado	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Phyton
Thürer et al. (2012c)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	2-Erlang Truncado	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	SIMUL 8
Thürer et al. (2012d)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-4)	2-Erlang Truncado	75%, 80%, 85% e 90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Phyton
Thürer et al. (2013a)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	Lognormal Truncado	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Phyton

Quadro 2.8 – Resumo das características simuladas no chão de fábrica (Continuação)

Autor(es)	Routing	Tipo de processo	Taxa de utilização	Distribuição do tempo de chegada	N. de centros de trabalho	Restrições do <i>buffer</i>	Tipo	Software	
Thürer et al. (2013b)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	2-Erlang Truncado	90%, 85% e 80%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Phyton
Thürer et al. (2013c)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	2-Erlang Truncado	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Phyton
Fernandes et al. (2014)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	2-Erlang Truncado	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Arena
Land et al. (2014)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	2-Erlang Truncado	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Phyton
Thürer et al. (2014a)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme (1-6)	2-Erlange Truncado	90%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Python
Thürer et al. (2014b)	Aleatória, sem fluxo de reentrada	Uniforme(1-6)	2-Erlang Truncado	90% e 95%	Distribuição Exponencial	6	Infinito	Hipotético	Phyton

Fonte: Elaborado pela autora

Os estudos futuros que foram baseados em simulação de acordo com Lu et al (20011), deveriam utilizar uma meta-heurística (algoritmos genéticos, algoritmo de colônia de formigas) ou heurísticas para otimizar o problema de *job shops* de montagem. Tais métodos podem oferecer melhores resultados, utilizando uma quantidade moderada de tempo computacional.

Nas simulações os centros de trabalho possuem capacidades constantes e iguais no *job shop*, porém na vida real, as capacidades dos centros de trabalhos podem diferir-se. Portanto, simulações futuras poderiam investigar a influência de diferentes capacidades nos centros de trabalho. Outro parâmetro que nas simulações é mantido constante são os tempos de *set-up* e, na realidade os *set-ups* muitas vezes não são igualmente distribuídos por tipos de trabalho e centros de trabalho. Com isso, pesquisas futuras devem investigar os parâmetros de *set-up* considerando-os dinâmicos e os tempos de ajuste distribuídos de forma não uniforme.

Como identificado por Thüerer et al. (2011a) e confirmada através desta revisão, há uma necessidade de se realizar mais pesquisas a fim melhorar a aplicabilidade do conceito WLC para a implementação na prática. Primeiramente, é necessário encontrar um meio adequado para modelar o comportamento humano durante o processo de CEM. Dada a sua influência sobre o desempenho no sistema.

2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A revisão da literatura sobre o tema WLC realizada nesse capítulo permitiu verificar um número crescente de estudos. Dentre as classificações dos trabalhos, constatou-se que grande número de trabalho estão concentrados no desenvolvimento de pesquisas baseadas em simulação, os quais correspondem a aproximadamente 78% do total de artigos analisados no período.

No que tange as pesquisas conceituais, verifica-se que as mesmas estão focadas no desenvolvimento de métodos de liberação de pedidos, com atenção especial a desenvolvimento da teoria LUMS. O estudo conceitual com maior respaldo é o de Thüerer et al. (2012d) que apresentou o método de liberação de ordem denominada LUMS COR, que vem se destacando como o método que apresenta os melhores resultados.

Outra pesquisa conceitual é o COBACABANA, método de liberação de ordens baseada em cartões, apresentado inicialmente por Land (2009) e refinada por Thüerer et al.

(2014). O refinamento do COBACABANA centrou-se na redução do número de cartões e na incorporação do método de liberação de ordens LUMS COR.

Em relação às recentes pesquisas analíticas, houve apenas o trabalho de Liu et al. (2011) no período de análise desse trabalho. O trabalho de Liu et al. (2011) desenvolveu uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão que visa garantir à confiabilidade de entrega.

As recentes pesquisas no campo da simulação relacionam os métodos de liberação de pedidos com o objetivo de melhorar os critérios de desempenho que afetam o WLC e simulam ambientes mais dinâmicos e complexos, porém ainda há muito que evoluir nesse campo para implantação prática do WLC. As pesquisas futuras devem simular de tal forma a englobar tempo de *setup* não distribuído igualmente entre diferentes centros de trabalho, estudar a influência dos tempos de *setup* em relação aos processos, considerar a capacidade dos centros de trabalhos distribuídos de forma não uniforme e incorporar as lacunas identificadas através de trabalhos empíricos. A incorporação de lacunas identificadas na prática permite simular ambientes mais realistas e reduzir as discrepâncias observadas durante a implantação.

Os estudos empíricos são escassos, o que induz a seguinte conclusão: apesar do aumento do número de estudo nos últimos anos, a aplicabilidade dos conceitos ainda são restritos e, como constatados nos estudos empíricos analisados, os resultados obtidos pela simulação e os desenvolvimentos conceituais ainda não contemplam o dinamismo encontrado em situações reais. Portanto, identifica-se uma lacuna no que tange a necessidade de trabalhos empíricos para o refinamento dos conceitos, bem como a aproximação entre a teoria e a prática para melhorar a aplicabilidade do WLC.

CAPÍTULO 3: FERRAMENTAS DE APOIO PARA O DIAGNÓSTICO DA CONFIABILIDADE DE ENTREGA EM EMPRESAS MTO

3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo apresentar o *throughput diagram* e o *order progress diagram*, ferramentas de apoio do WLC e seus mecanismos de funcionamento. O capítulo está estruturado da seguinte forma: na seção 3.2 é apresentada a contextualização das ferramentas de apoio, na seção 3.3 é apresentado o *throughput diagram*, na seção 3.4 é apresentado o *order progress diagram* e na seção 3.5 são apresentadas as considerações finais do presente capítulo.

3.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Em empresas MTO, a alta confiabilidade de entrega é um dos critérios de desempenho ganhadores de pedidos (SOEPENBERG; LAND; GAALMAN, 2008). Thürer e Godinho Filho (2012) corroborando com Spearman e Zhang (1999) afirmam que em tais ambientes, a maestria em fornecer aos clientes datas de entrega ao mesmo tempo curtas e realistas é fundamental.

A determinação das datas de entrega de um pedido através da abordagem WLC é realizada por meio de uma análise comparativa entre a capacidade existente e a capacidade requerida, de tal forma que o pedido possa ser produzido de forma lucrativa e na data estabelecida (TATSIPOULOS; KINGSMAN, 1983; HENDRY et al., 1989; KINGSMAN et al., 2000).

De acordo com a abordagem WLC, a determinação das datas de entrega estão diretamente relacionadas às decisões referentes aos controles de entrada e saída. Soepenberget al (2012c) afirmam que tais decisões, podem influenciar tanto o atraso médio quanto a variância de atraso.

De acordo com Baker (1974), o atraso pode ser definido como uma conformidade de um cronograma para uma determinada data de entrega. Sendo assim, a mensuração do atraso é o resultado da subtração entre a data de entrega real e a data de entrega prometida. O resultado dessa operação matemática pode ser: zero; um número positivo ou um número negativo. A partir das possibilidades apresentadas, o atraso pode ser discriminado de três maneiras diferentes, descritas a seguir:

- i) Zero: ocorre quando a diferença entre a data de entrega real e a data entrega prometida resulta no número zero. Dessa forma, a data de entrega real é igual à data de entrega prometida. Portanto, os pedidos são entregues na data estabelecida (pontualmente);
- ii) Positivo: ocorre quando a diferença entre a data de entrega real e a data entrega prometida resulta em um número positivo, ou seja, quando o data de entrega real é maior que a data de entrega prometida. Portanto, os pedidos são entregues após a data de entrega prometida e denominados como atrasos positivos, como proposto por Soepenberget al (2012c);
- iii) Negativo: ocorre quando a diferença entre a data de entrega real e a data de entrega prometida resulta em um número negativo, ou seja, quando a data de entrega é menor que a data de entrega prometida. Portanto, os pedidos são entregues antecipadamente, isto é, antes a data de entrega prometida. Soepenberget al (2012c) propõe denominá-los como atrasos negativos.

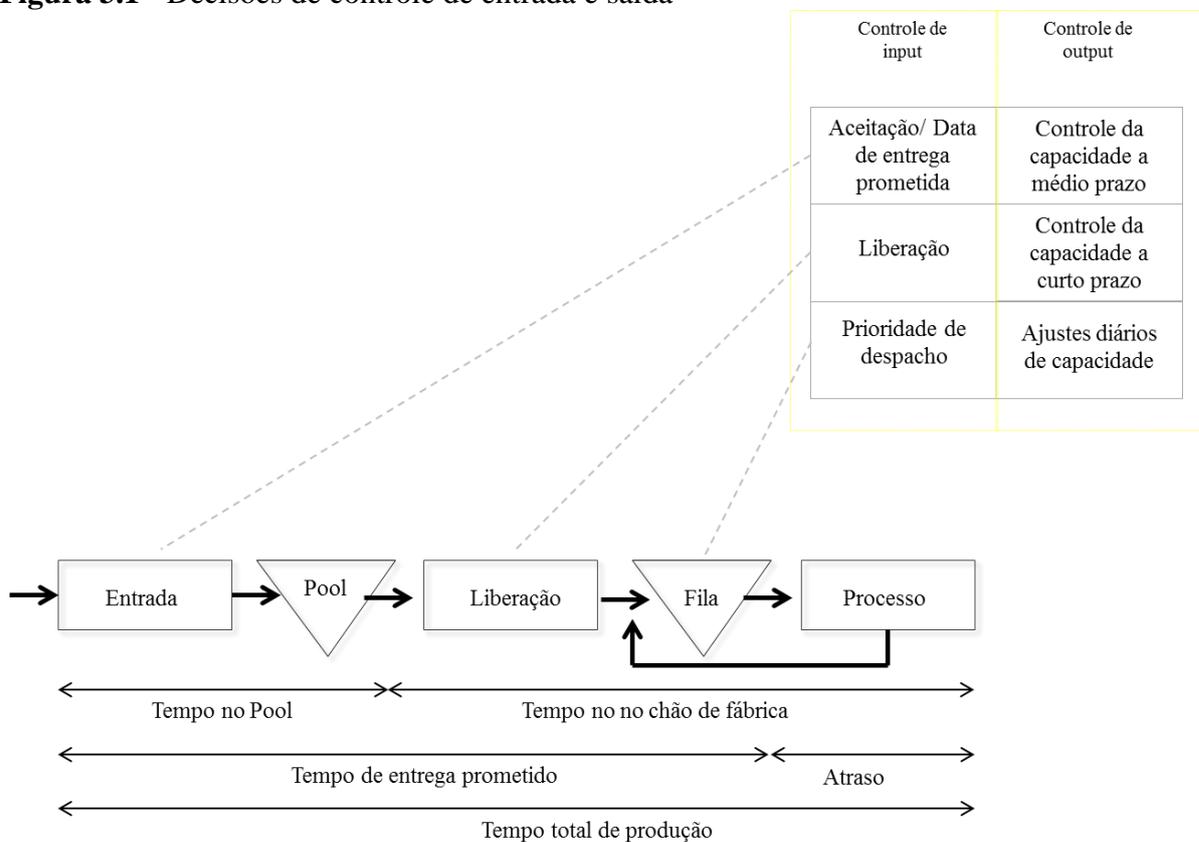
Os atrasos podem ser considerados como indicadores de desempenho da confiabilidade de entrega, no entanto; esses indicadores apenas sinalizam o nível de desempenho do sistema operacional (SOEPENBERG; LAND; GAALMAN, 2008). Segundo Stoop e Beltrand (1997), é imprescindível a existência de ferramentas que auxiliem na fase do diagnóstico do desempenho, cuja finalidade é fazer um *link* entre o indicador de desempenho da confiabilidade de entrega e as decisões que afetam esse indicador.

No que concerne o desempenho da confiabilidade de entrega, este capítulo, delimita-se a analisar somente as decisões de PCP que influenciam o mesmo. De acordo com Kingsman e Hendry (2002), as decisões de PCP que influenciam a confiabilidade de entrega são:

- iv) Controle de entrada: engloba as variáveis de decisão - data da aceitação do pedido, data de entrega prometida, data de liberação da ordem e prioridade de despacho;
- v) Controle de saída: engloba a variável capacidade e suas adaptações.

A estrutura com base no conceito de WLC introduzida por Land e Gaalman (1996), representada na Figura 3.1, proporcionam uma visão geral da relevância das decisões de controle de entrada e de saída.

Figura 3.1 - Decisões de controle de entrada e saída



Fonte: Adaptado de Soepenber, Land e Gaalman (2008)

Conforme apresentado na Figura 3.2, a aceitação e a determinação da data de entrega prometida é a primeira decisão do controle de entrada. Segundo Kingsman et al (1996), lidar com pedidos dos clientes implica em um complexo processo de tomada de decisão. Esse processo ocorre, pois em algumas situações os clientes exercem o poder de determinar completamente a data de entrega, em outras situações, a empresa tem uma forte influência sobre as datas de entrega (PARK et al, 1999).

Segundo Soepenber, Land e Gaalman (2008), a aceitação do pedido resulta em um número de pedidos a ser produzido em um determinado período com uma data de entrega prometida para cada ordem. Nesse caso, o atraso médio pode ser mensurado através da diferença entre o tempo médio de entrega prometido e a média do tempo de atravessamento realizado.

O aumento do atraso médio ocorre quando um grande número de pedidos necessita ser produzido em um determinado período, mantendo-se inalterado a capacidade e as datas de entrega prometidas (SOEPENBERG; LAND; GAALMAN, 2008). Já a variação do atraso, segundo os autores, é influenciada pelas características das ordens aceitas .

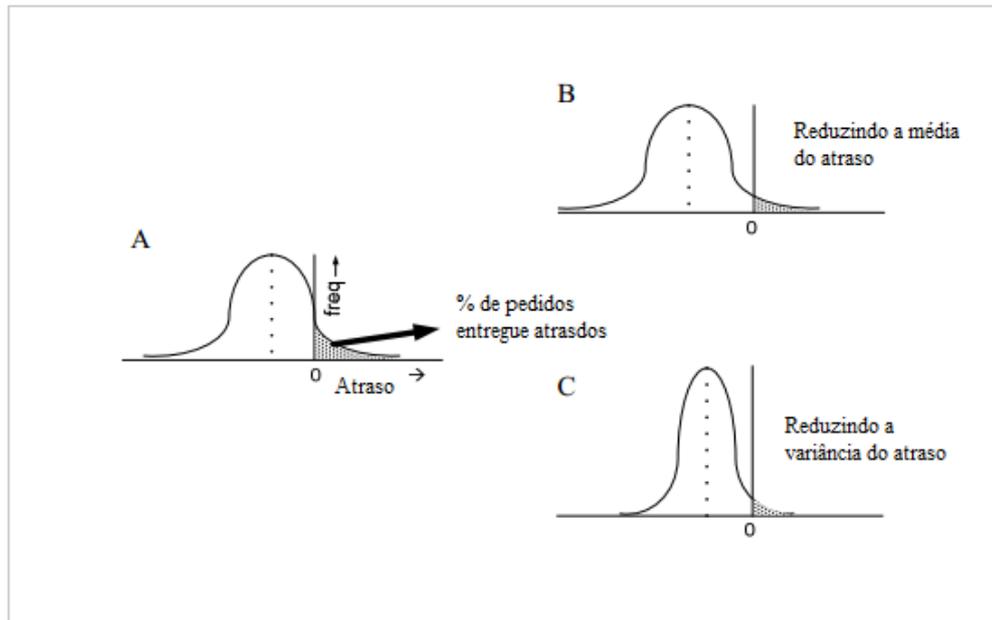
A segunda decisão do controle de entrada refere-se à liberação das ordens. Soepenber, Land e Gaalman (2008) afirmam que na maioria das vezes a capacidade é restrita; portanto, a liberação do pedido deve ser realizado de forma que um *shop* tenha sua capacidade de carga equilibrada. Land (2004) afirma que o equilíbrio de cargas resulta em fluxos suaves no chão de fábrica, que impede “congestionamentos” em frente aos centros de trabalho.

A prioridade de despacho é última decisão de controle de entrada. De acordo com Kingsman e Hendry (2002), essa decisão possui uma limitada influência sobre o atraso médio e a variância de atraso considerando uma precisa decisão de liberação

A decisão do controle de saída refere-se à capacidade. Segundo Soepenber, Land e Gaalman (2008), as decisões de controle de saída geralmente se concentram em controlar o atraso médio das ordens.

As decisões de controle de entrada e saída podem influenciar, tanto o atraso médio quanto a variância do atraso, como supracitado. O papel de reduzir a média e a variância do atraso encontra-se ilustrado na Figura 3.2 que representa uma função de distribuição do atraso.

Figura 3.2 - A influência da média do atraso e da variância do atraso



Fonte: Adaptado de Soepenber, Land e Gaalman (2008)

Na Figura 3.2, a porcentagem de pedidos entregues pontualmente ou com atraso negativo estão representadas na área em branco e a porcentagem de pedidos entregues com atraso positivo está representada pela área sombreada. As distribuições dos atrasos nas Figuras 3.2B e 3.2C requerem um julgamento diferenciado entre si para a obtenção de melhorias. Pois na Figura 3.2B, a porcentagem de pedidos entregues com atraso positivo pode ser reduzido se o atraso médio for reduzido. No entanto, na Figura 3.2C a porcentagem de pedidos entregues com atraso positivo só pode ser reduzido se ocorrer a redução da variância do atraso.

De acordo com Soepenber et al (2012c), é fundamental reconhecer que as conclusões úteis só podem ser elaboradas a partir da plotagem da distribuição do atraso das ordens para uma população homogênea, representada pela Figura 3.2A. Tal fato se deve as diferenças entre as ordens (pressões do mercado; sequenciamento do pedido; tempo de processamento; tamanho do lote; entre outros) e devem ser consideradas no processo de diagnóstico.

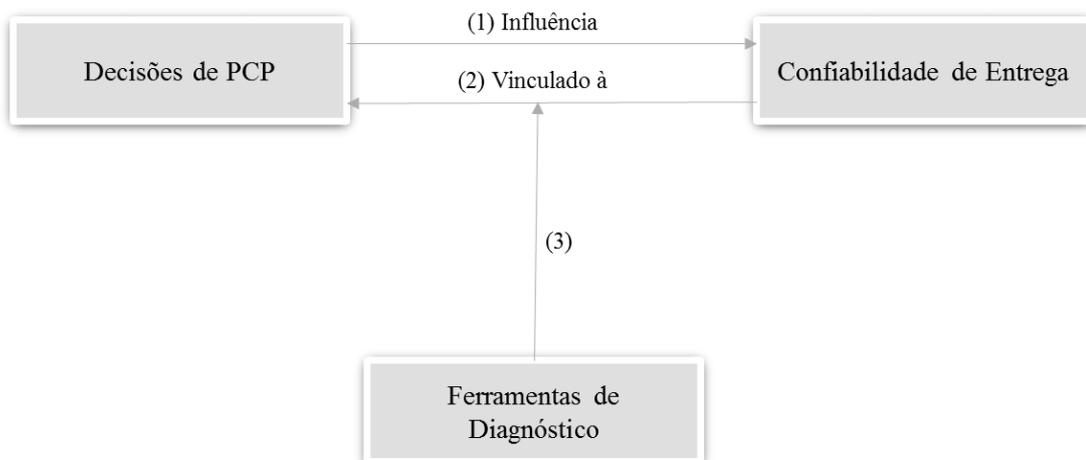
Soepenber et al (2012c) observa que em algumas situações, as diferenças podem ser visíveis na distribuição do atraso e as circunstâncias observadas podem dar origem a subconjuntos de ordens distintas. Deve-se notar que as distribuições plotadas na Figura 3.2 somente fornecem uma visão estacionária do desempenho; pois em uma situação prática,

tanto a média quanto o desvio padrão podem se alterar, consideravelmente, ao longo do tempo e este fato deve ser avaliado no processo de diagnóstico.

De acordo com Soepenber, Land e Gaalman (2008), a aplicação de ferramentas do WLC pode proporcionar *insights* que possibilitam a determinação dos indicadores de desempenho; tendo em vista que; tais ferramentas relacionam as decisões dos controles de entrada e de saída.

De acordo com Soepenber, Land e Gaalman (2008), as decisões do PCP influenciam o desempenho da confiabilidade de entrega (seta 1 na Figura 3.3). Para os autores, um bom diagnóstico exige que o desempenho mensurado possa ser rastreado até as decisões tomadas pelo PCP como mostrado pela seta 2 na Figura 3.3. As ferramentas de diagnóstico bem desenvolvidas tem como objetivo facilitar a ligação entre esses dois aspectos (seta 3 na Figura 3.3).

Figura 3.3 - Framework do diagnóstico



Fonte: Adaptado de Soepenber et al. (2008)

As próximas seções apresentarão as ferramentas de apoio ao diagnóstico da confiabilidade de entrega facilitar o diagnóstico do atraso com base no WLC. Segundo Land et al (2004), o *throughput diagram* auxilia no processo para a obtenção da alta confiabilidade de entrega, pois fornece o controle do tempo médio de atravessamento. Com relação ao *order progress diagram*, os autores afirmam que, o mesmo fornece o controle do andamento das ordens individualmente.

3.3. THROUGHPUT DIAGRAM

O *throughput diagram* é uma ferramenta de apoio ao diagnóstico da confiabilidade de entrega baseado nos conceitos do WLC. De acordo com Wiendahl (1995), a finalidade desta ferramenta é descrever graficamente o comportamento dos *inputs* e *outputs*, cumulativamente, de um dado centro de trabalho ao longo do tempo. O autor ainda afirma que, o *throughput diagram* pode representar graficamente os quatro objetivos da produção ao longo do tempo: estoque; utilização; *lead time* e; atraso.

Betche (1988) acrescenta que, o *throughput diagram* pode auxiliar na visualização das causas do atraso médio. Segundo o mesmo autor, os tempos médios de produção controlados são representados, graficamente, por curvas de entrada e saída paralelas e qualquer desvio observado nesta situação ideal pode representar muitas causas para o atraso médio.

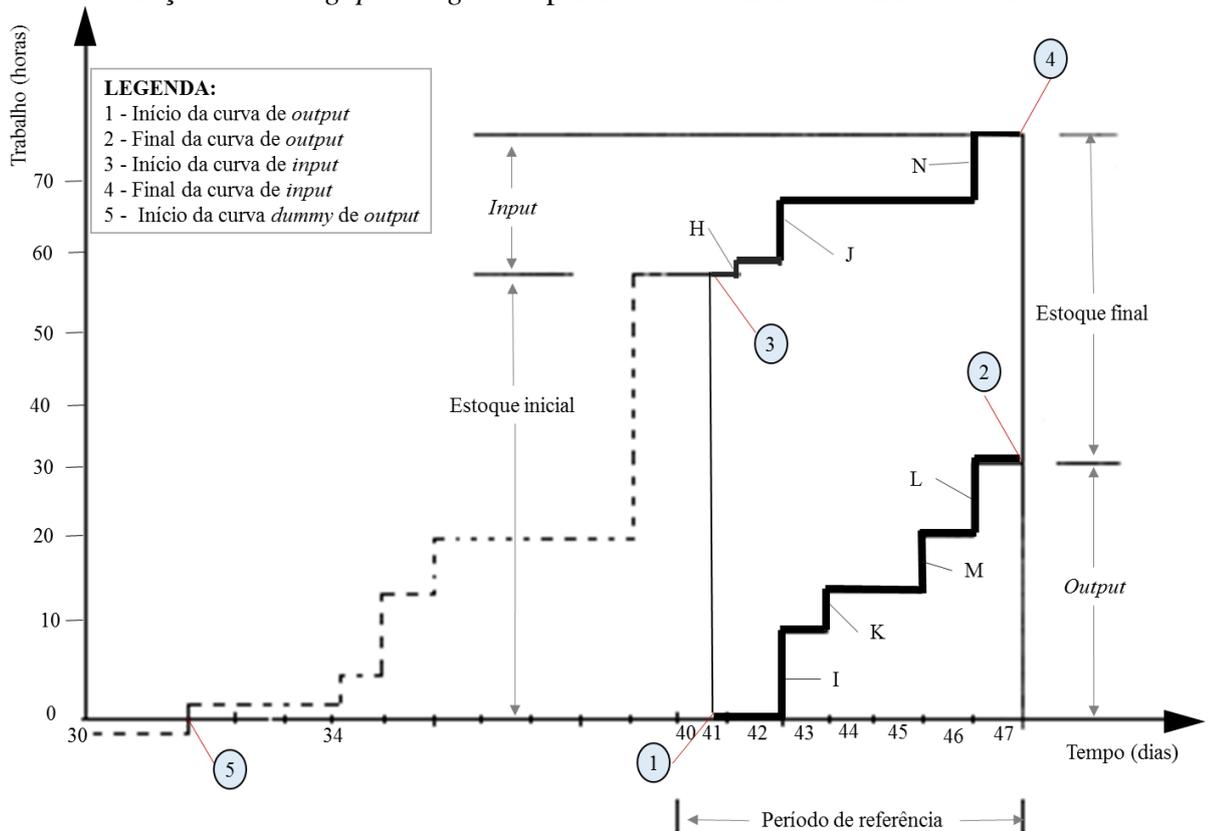
3.3.1. Throughput diagram: Construção básica

O primeiro passo para a construção do *throughput diagram*, é a utilização de um sistema que forneça dados de produção. A partir dos dados coletados dos centros de trabalho através do sistema, inicia-se o processo de tabulação dos eventos e dos valores obtidos (WIENDAHL, 1995). O exemplo apresentado por Wiendahl (1995, p. 96) foi adaptado e representado na Figura 3.4 para facilitar o entendimento desse passo.

Na Figura 3.4A, denominada Lista de eventos, é apresentada a tabulação dos eventos de um determinado centro de trabalho com alguns valores de referência de forma simplificada. Os dados contidos na Figura 3.4A incluem: o número do pedido (representado pela ordenação alfabética); o tempo do pedido (representando o tempo-padrão para a realização de cada ordem); os *inputs* e; *outputs*.

Com o objetivo de facilitar a compreensão da construção básica do *throughput diagram*, Wiendahl (1995) utilizou apenas o período de referência, com início no dia 41 e fim no dia 46, como base para o desenvolvimento dos passos subsequentes. O período de referência pode ser definido nesse caso como uma "janela", através da qual o processo no centro de trabalho é observado.

Figura 3.5 - Construção do *throughput diagram* a partir das tendências de entrada e saída



Fonte: Adaptado de Wiendahl (1995)

De acordo com Wiendahl (1995), para determinar o ponto inicial da curva de entrada (*input*) é necessário a determinação do estoque inicial. A determinação do estoque inicial é realizada através da soma das horas de todas as ordens que antecedem o período de referência, ou seja, todas as ordens que não haviam sido concluídas até o período de referência são consideradas como o estoque inicial.

A Figura 3.4B apresenta todas as ordens e os respectivos valores de *inputs* das mesmas através da coluna denominada estoque inicial. As ordens dos estoques iniciais a serem considerados são A, D, F e G, cujos valores (em horas) correspondem, respectivamente, 3,9, 8,5, 5,0, 25,3. A soma dos valores dessas ordens é de 42,7 horas, esse valor é considerado como o ponto inicial para a construção da curva de entrada (*input*). Segundo Wiendahl (1995), se o valor do estoque inicial não estiver disponível no sistema, é possível determiná-lo através da contagem física dos pedidos a serem processados.

Para a plotagem da curva de entrada (*input*), considera-se o valor de estoque inicial que antecede o período de referência como o ponto de inicial da curva (42,7 horas) e, posteriormente, somam-se as horas das ordens que entraram durante o período de referência. No exemplo apresentado, a determinação do valor da curva de entrada final é a soma das

ordens entrantes H, J e N, cujos valores correspondem, respectivamente, 0,3, 7,1 e 6,5 (horas). Sendo assim, o valor final da curva de entrada é de 56,6 horas. Numericamente, este valor pode ser observado na coluna denominada Tendência de entrada na Figura 3.4B e, graficamente, esta curva de entrada final está apresentado pelo número 4 circulado na Figura 3.5. Matematicamente, a curva de entrada final é expressa da seguinte maneira:

$$C_{ef} = Vei_{A \rightarrow G} + \sum_H^N Ve \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

C_{ef} : Curva de entrada final (em horas);

$Vei_{A \rightarrow G}$: Estoque inicial antes do período de referência (em horas);

$\sum_H^N Ve$: Soma das ordens que entraram no período de referência (horas)

Portanto,

$$C_{ef} = 42,7 + (0,3 + 7,1 + 6,5)$$

$$C_{ef} = \quad \quad \quad 56,6 \quad \quad \quad \text{horas}$$

No exemplo, o cálculo para a determinação do estoque final no final do dia 47 e início do dia 48, é realizado através da diferença entre os valores de entrada (coluna denominada Tendência de entrada) e os valores de saída (coluna denominada *output*) ambos ilustrados na Figura 3.4B. Matematicamente, esta operação está representada na Equação 2.

$$E_f = T_e - O \quad \quad \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

E_f = Estoque final (em horas);

T_e = Valores da Tendência de entrada (em horas);

O = Valores de saída (em horas).

Sendo assim,

$$E_f = 56,6 - 24,5 = 32,1 \text{ horas}$$

Para Wiendahl (1995) uma discussão mais aprofundada sobre o *throughput diagram* exige um exemplo com dados mais complexos. Portanto, a Tabela 3.1 apresenta dados mais complexos para uma análise mais aprofundada do *throughput diagram*.

Tabela 3.1 Cálculo das curvas de entrada e saída de um centro de trabalho

Número da linha	Número da ordem	Data de entrada (dias)	Data de saída (dias)	Tempo do pedido (horas)	Estoque até o final do SCD 195 (horas)	Entrada do dia SCD 195 até o dia 220 (horas)	Entrada cumulativa geral (horas)	Saída entre SCD 195 a 220 (horas)	Estoque até o final do SCD 220
1	10	71	236	3,5	3,5	-	-205,3	-	3,5
2	13	81	330	14,6	18,1	-	-190,7	-	18,1
3	16	141	188	26,3	-	-	-164,4	-	-
4	15	146	146	19,0	-	-	-145,4	-	-
5	11	147	171	17,4	-	-	-128,0	-	-
6	14	147	150	1,8	-	-	-126,2	-	-
7	20	147	177	35,1	-	-	-91,1	-	-
8	22	156	170	65,0	-	-	-26,1	-	-
9	12	160	198	16,3	34,4	-	-9,8	16,3	-
10	17	168	188	32,0	-	-	22,2	-	-
11	19	171	196	0,7	35,1	-	22,9	0,7	-
12	21	176	191	12,2	-	-	35,1	-	-
13	23	177	210	7,6	42,7	-	42,7	7,6	-
14	18	184	197	11,5	54,2	-	54,2	11,5	-
15	25	186	199	6,9	61,1	-	61,1	6,9	-
16	28	186	203	7,3	68,4	-	68,4	7,3	-
17	29	185	225	3,2	71,6	-	71,6	-	21,3
18	24	188	212	4,1	75,7	-	75,7	4,1	-
19	26	189	204	8,9	84,6	-	84,6	8,9	-
20	32	192	212	12,9	97,5	-	97,5	12,9	-
21	30	195	202	10,1	-	10,1	107,6	10,1	-
22	27	196	198	4,3	-	14,4	111,9	4,3	-
23	33	197	219	12,7	-	27,1	124,6	12,7	-
24	36	198	209	2,3	-	29,4	126,9	2,3	-
25	34	198	203	5,7	-	35,1	132,6	5,7	-
26	31	202	223	4,2	-	39,3	136,8	-	25,5
27	37	203	210	2,8	-	42,1	139,6	2,8	-
28	39	203	248	5,1	-	47,2	144,7	-	30,6
29	40	205	216	13,7	-	60,9	158,4	13,8	-
30	35	209	216	7,2	-	68,1	165,6	2,6	-
31	38	212	217	5,3	-	73,4	170,9	5,3	-
32	43	212	224	27,2	-	100,6	198,1	-	57,8
33	45	213	237	60,3	-	160,9	258,4	-	118,1
34	41	216	220	2,3	-	163,2	260,7	2,3	-
35	44	216	240	14,8	-	178,0	275,5	-	132,9
36	47	216	226	2,5	-	180,5	278,0	-	135,4
37	42	217	219	4,9	-	185,4	282,9	-	-
38	46	220	288	4,9	-	190,3	287,8	4,9	140,3
TOTAL					97,5	190,3	287,8	143,0	140,3

Fonte: Adaptado de Wiendahl (1995)

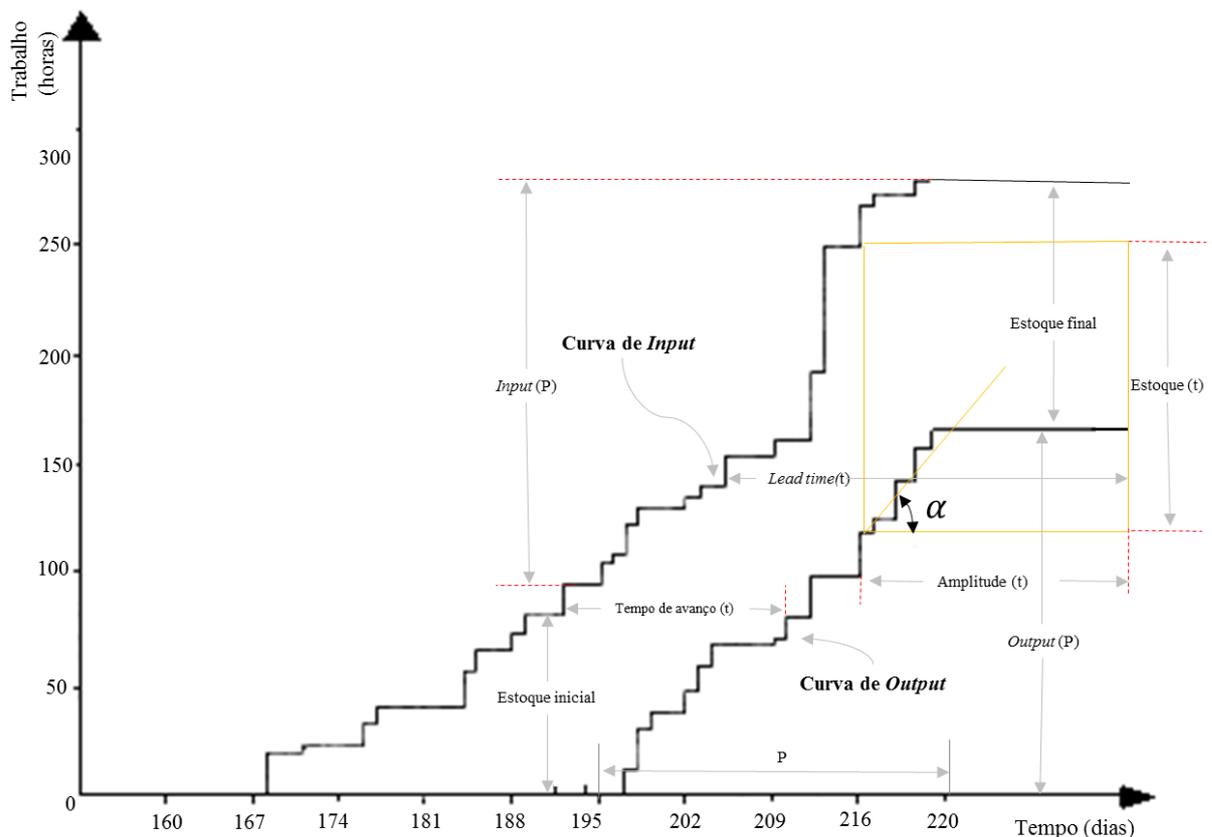
Os valores pontilhados na Tabela 3.1 representa o período de referênica, que se inicia no número 21 e estende-se até o número 38 da coluna denominada “Número da ordem”. Sendo assim, o período de referênica corresponde a aproximadamente duas semanas. a partir do dia 195 até o dia 220.

Wiendahl (1995) utiliza a sigla SCD (*Shop Calendar Day*) para contabilizar os dias de forma corrida, ou seja, considerando os feriados e os finais de semana nos cálculos. Um

fato interessante, é que Suri (2010) adota a metodologia “dias de calendário” na abordagem do QRM.

De acordo com Wiendahl (1995), o primeiro passo para a construção do *throughput diagram* é determinar o estoque inicial para o primeiro dia do Período de Referência. Conforme os valores apresentados na Tabela 3.1, o valor do estoque inicial para o primeiro dia de P é de 97,5 horas, como apresentado na coluna denominada “Estoque até o final do SCD 195 (horas)”, esse valor representa o início da curva de entrada. Os valores referentes as datas de entrada do P determinam a curva de entrada e, conforme os valores apresentados na coluna “Entrada do dia SCD 195 até o dia 220 (horas)” da Tabela 3.1, o valor total de entrada no P foi de 190,3 horas. A soma do valor total de entrada no P e do valor do estoque inicial determina o ponto final da curva de entrada, que nesse caso é de 287,8 horas. A Figura 3.6 apresenta o *throughput diagram* dos valores apresentados na Tabela 3.1.

Figura 3.6 Construção do *throughput diagram*



Fonte: Adaptado de Wiendahl (1995)

A partir das curvas apresentadas na Figura 3.6, é possível realizar várias análises. O estoque do centro de trabalho em um momento arbitrário (t) pode ser determinado por uma

linha vertical, paralela ao eixo das ordenadas no gráfico que denominamos de Estoque (t). A distância entre as interseções resultantes desta linha com as curvas de entrada e saída representa o estoque no centro de trabalho no respectivo horário, medido em horas de trabalho. Estas horas de trabalho podem ser horas padrão ou horas reais, dependendo dos dados disponíveis. As diferenças entre as curvas de entrada e saída, portanto, são iguais ao estoque naquele dado momento.

A partir dos dados apresentados na Tabela 3.1, consideremos o seguinte exemplo: A coluna denominada “Entrada cumulativa geral” na linha 37, o valor da entrada é de 282,9 horas para este dia. Já na coluna denominada “Saída entre SCD 195 a 220”, obtém-se o valor de saída para este dia, subtraindo as horas de saída reportadas entre os dias 220 e 217, ou seja, as ordens 41, 42 e 33. A partir disso, o valor da curva de saída para o dia 217 é : $143,0 - (2,3+4,9+12,7) = 123,1$ horas. Portanto, o estoque para este dia é de $282,9 - 123,1 = 159,8$ horas.

Na Figura 3.6, o valor da amplitude (t) é utilizado para o gerenciamento, pois expressa quanto tempo durará o estoque de um item individual. Tendo em vista, uma taxa conhecida de consumo. Pode-se definir como a proporção do estoque disponível para o consumo esperado. Ao aplicar essa definição a um centro de trabalho, o "estoque" corresponde ao descrito pela distância vertical entre as curvas e o "consumo" é a taxa de saída, ou desempenho, do centro de trabalho. O valor da amplitude (A) descreve o tempo que o centro de trabalho precisaria para processar o estoque (t) com o desempenho (t). O intervalo da amplitude (t) em um centro de trabalho é definido como a proporção do estoque (t) para o desempenho (t) expressa pela Equação (3), a seguir:

$$A_{(t)} = \frac{E(t)}{D(t)} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$A_{(t)}$ = Amplitude no tempo t;

$E_{(t)}$ = Estoque no tempo t;

$D_{(t)}$ = Desempenho no tempo t;

Para ilustrar a definição apresentada sobre a amplitude (A), considera-se que a capacidade do centro de trabalho foi de 8 horas por dia e que, o centro de trabalho foi carregado à sua capacidade no tempo t, e que a capacidade era igual ao desempenho $D_{(t)}$, isto

é, ao horário efetivo processado por dia. Então, $A_{(t)}$ é: $159,8 \text{ horas} / 8 \text{ horas} / \text{dia} = 19,97 \text{ dias}$, aproximadamente 20 dias.

Através do desenho de outras duas linhas horizontais no *throughput diagram*, apresentadas na Figura 3.6, é possível a determinação do *lead time* (LT) e do Tempo de Avanço (TA). O LT, nesse caso, é definido como o tempo necessário para que o último o último produto seja processado no tempo t .

Já o TA é a diferença, em horas, entre a curva de entrada e a curva de saída no tempo t . O motivo da diferença entre os dois valores é a transposição da seqüência de entrada e saída, se as ordens foram processadas na mesma seqüência que chegaram, isto é, seguindo a regra de prioridade FIFO (primeiro que entra é o primeiro que sai), as curvas de entrada e saída seriam idênticas e os valores LT e TA seriam iguais para todo t .

Para exemplificar as definições apresentadas, os dados da Tabela 3.1 serão utilizados. Aleatoriamente, escolhe-se a ordem 35, nota-se que, a sua data de entrada é 209 e sua data de saída 216. Portanto, o LT é sete dias.

Em contrapartida, o TA só pode ser calculado de forma indireta. Primeiramente, é necessário encontrar a data em que a curva de entrada tem o mesmo valor que a curva de saída no tempo t . Neste caso, o valor como descoberto ao determinar o estoque é de 123,1 horas. Na Tabela 3.1 na coluna denominada “Entrada cumulativa geral”, o valor encontrado mais próximo é um pouco superior ao estoque citado anteriormente, sendo de 124,6 horas que corresponde a ordem 33 no Dia 123,1 horas que é de 124,6 sendo a ordem 33 é apenas superior a este valor (125,4 horas) no dia 213. Portanto, o TA é: $217 - 197 = 20$ dias.

De acordo com Wiendahl (1995), na prática, uma medida diária de estoque, amplitude, LT e TA é pouco utilizado, pois existem grandes variações nos valores por das curvas de entrada e saída devido a vários fatores, tais como: variação dos tempos de processamento das ordens e as transposições arbitrárias no sequenciamento das ordens. No entanto, o autor afirma que, os valores médios podem ser úteis para para o monitoramento de processos.

As próximas seções apresentarão os cálculos para a obtenção dos valores de desempenho médio, capacidade média e utilização média de um centro de trabalho com base nos dados apresentados na Tabela 3.1.

3.3.1.1. Desempenho médio ($D_{médio}$)

O $D_{médio}$ é expresso como a razão entre os valores totais de saída em um período t sobre um período de referência t . Analogamente, $D_{médio}$ pode ser representado como a tangente de um ângulo α , formado entre curva de saída e um reta que representa o período t . O $D_{médio}$ é expresso, matematicamente, pela Equação 4:

$$\tan \alpha = D_{médio} = \frac{OUT}{P} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

OUT = valores das saídas no período de referência t (horas);

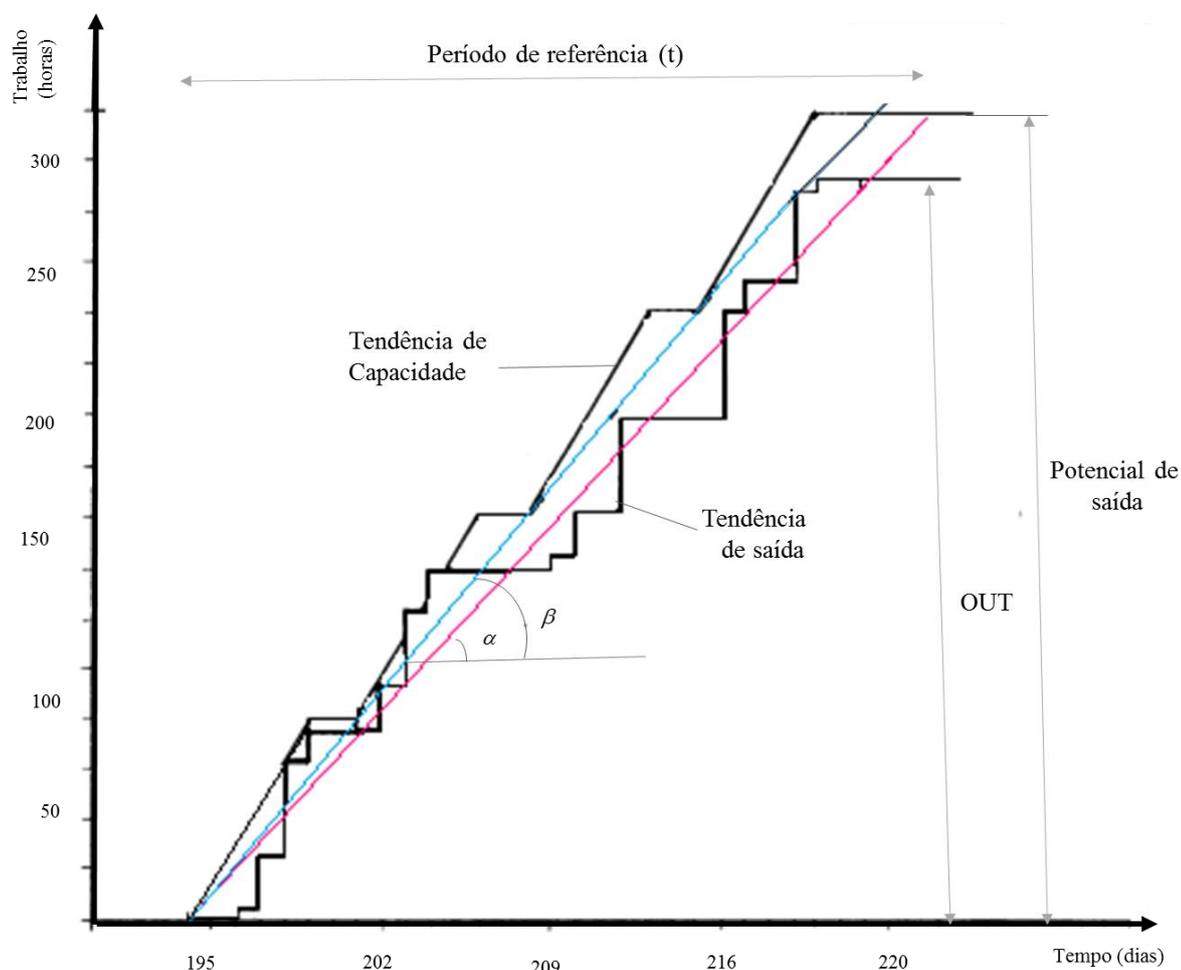
t = Período de referência t (dias)

De acordo Wiendahl (1995), o cálculo do desempenho médio é realizado a partir da dos valores da curva de saída (OUT) de um dado centro de trabalho. Com o objetivo de ilustrar essa afirmação, analisou-se a Tabela 3.1. A partir das análises, verificou-se que, tempo de saída total no período de referência t foi de 143 horas no período de 20 dias. Dessa forma, temos que o $D_{médio}$ é:

$$D_{médio} = \frac{143}{20} = 7.2 \text{ horas}$$

Portanto, o desempenho médio de acordo como os dados da Tabela 3.1, do centro de trabalho é de 7,2 horas por dia de trabalho. A relação geométrica descrita sobre o $D_{médio}$ encontra-se ilustrado na Figura 3.7.

Figura 3.7 - Desempenho médio, capacidade média e utilização média



Fonte: Adaptado de Wiendahl (1995)

3.3.1.2. Capacidade Média ($C_{média}$)

O potencial de saída, isto é, a capacidade está representada na Figura 3.7. No exemplo, assumiu-se que o centro tem capacidade de 8 horas por dia. De acordo com Wiendahl (1995), a $C_{média}$ no período de referência t pode ser interpretada como uma linha reta com o ângulo de inclinação β . Dessa maneira, pode-se calcular capacidade média de acordo com a seguinte expressão:

$$C_{média} = \tan \beta = \frac{PS}{t} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

PS = Potencial de saída

A $C_{média}$ pode ser relacionada com os dias de trabalho produtivos, o que naturalmente, nesse caso, resulta em valor da capacidade diária (8 horas por dia de trabalho). Portanto, o potencial de saída (PS) é o produto entre a $C_{média}$ e do período de referência t como demonstrado na Equação 6.

$$PS = t.C_{média} \quad (\text{Equação 6})$$

Considerando os dados utilizados para este exemplo, temos:

$$PS = 20 \times 8 = 160 \text{ horas}$$

3.3.1.3. Utilização média ($U_{média}$)

Este cálculo foi baseado no pressuposto de que as horas efetivamente processadas correspondem ao tempo de término. De acordo com Wiendahl (1995), a $U_{média}$ é a razão entre o desempenho médio e a capacidade média.

$$U_{média} = \frac{D_{médio}}{C_{média}} \quad (\text{Equação 7})$$

De acordo com a expressão acima, o valor da utilização média ($U_{média}$) do exemplo apresentado é:

$$U_{média} = \frac{7.2}{8} = 0,9$$

De acordo com os valores obtidos através da Tabela 3.1, o resultado acima aponta que a utilização média do centro de trabalho em questão é de 90%, ou seja, em um turno de 8 horas o centro de trabalho fica ocioso por aproximadamente 1 hora e 12 minutos.

A próxima seção apresenta o desenvolvimento do *throughput diagram* desde o seu primórdio.

3.3.2. Literatura sobre o *throughput diagram*

Schmitz (1961) foi um dos primeiros autores a tentar representar graficamente o processamento de um pedido. O autor tentou descrever as interdependências entre a produção planejada e a utilização da capacidade na fábrica de Carl Zeiss, localizada na Alemanha. A ideia fundamental era traçar o progresso do processamento na máquina, cumulativamente, ao longo do tempo relacionando as datas de início e término do pedido. A construção básica do gráfico proposto por Schmitz (1961), forneceu uma representação geral de todo o processo de produção de produtos que relaciona, analiticamente, e descreve os objetivos fundamentais como o *lead time*, o inventário e o desempenho.

Posteriormente, Conway et al. (1967) propôs uma representação gráfica que, simultaneamente, apresentasse o número de chegadas e conclusões dos pedidos, ambos cumulativos, em um determinado centro de trabalho e em um determinado intervalo de tempo. No entanto, ao relizar as plotagens notou-se que, nem sempre os pedidos são concluídos na mesma ordem em que chegam.

Dessa forma, Conway et al. (1967) concluiu que, em um processo estacionário com um grande número de postos de trabalho, o tempo médio de fluxo no sistema é o resultado do produto entre o número médio de trabalhos no sistema e o tempo médio entre as chegadas. Os autores reforça essa conclusão através de Little (1961), que publicou uma prova formal desta relação em um contexto de filas conhecida como Lei de Little, apresentada na Equação 8.

$$L = \lambda.W \qquad \text{Equação (8)}$$

Onde:

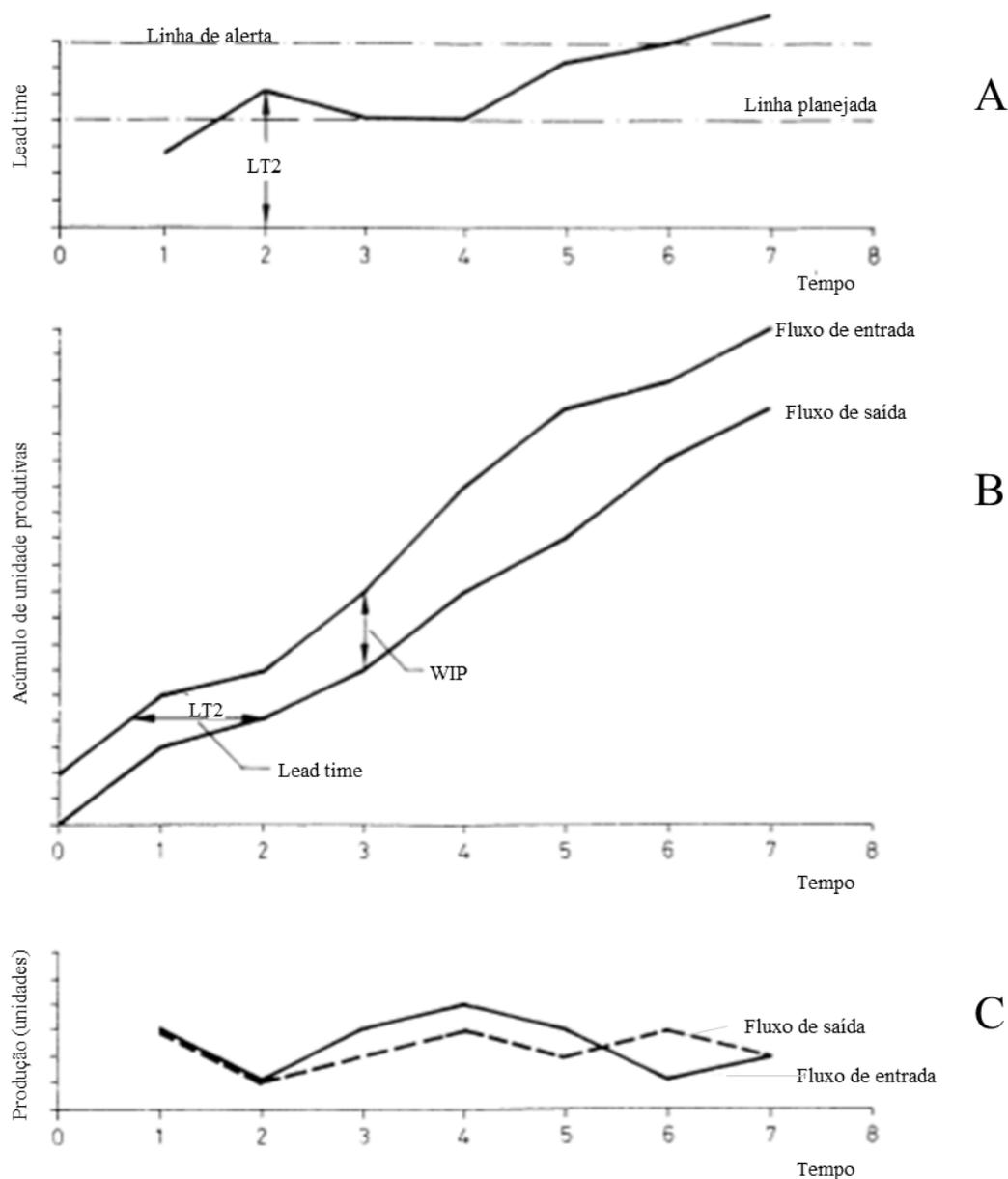
L - tempo médio de fluxo no sistema;

λ - tempo médio entre as chegadas

W - número médio de pedidos.

Wiendahl (1995 *apud* In't Veld (1971)) apresentou ideias semelhantes a Conway et al. (1967). As ideias de In't Veld (1971) surgiram através de suas experiências na planta de manufatura de aeronaves Vocker, localizada na Holanda que, propunham uma representação dos eventos de *input* e *output* semelhantes ao apresentado por Conway et al. (1967) em um gráfico denominado "*Z-diagram*" que consiste em três gráficos individuais apresentados na Figura 3.8.

Figura 3.8 - Z-diagram: entrada, saída e lead time



Fonte: Adaptado de Wiendahl (2005 *apud* In't Veld (1971))

O primeiro gráfico (Figura 3.8a) apresenta a tendência do *lead time* com o valor planejado e o valor limite de alerta. Já gráfico central (Figura 3.8b), apresenta as curvas de entrada e saída, como os diagramas de Schmitz (1961) e Conway et al. (1967), onde as distâncias verticais e horizontais representam, respectivamente, o estoque em processo (WIP) e o *lead time*. O terceiro gráfico (Figura 3.8 c) foi obtido através do cálculo das alterações nas curvas de entrada e de saída para cada intervalo de tempo, em relação a uma quantidade produzida.

Heinemeyer (1974) retomou as ideias de Schmitz (1961) e sugeriu uma nova representação gráfica, que permitesse uma análise do processamento da ordem em um determinado centro de trabalho período a período. Um ponto interessante das representações gráficas de Heinemeyer (1974) é a definição de inventários iniciais e finais, bem como as tendências essencialmente arbitrárias das curvas de entrada e de saída.

Com o objetivo buscar uma generalização da unidade de trabalho, Kreutzfeldt (1977) ampliou a quantidade de unidades no *Z-diagram*. O sucessor das ideias de Kreutzfeldt (1977) foi Betche (1984) que utilizou um esquema denominado “conteúdo de trabalho em função do tempo” como base na descrição completa do processo de fabricação, a partir do qual seguindo as ideias de Jendralski (1978) desenvolveu o método de liberação de carga orientada.

Com os estudos evoluindo nessa área, Betche (1991) propôs uma comparação entre um centro de trabalho e um funil. A analogia parte dos seguintes pressupostos:

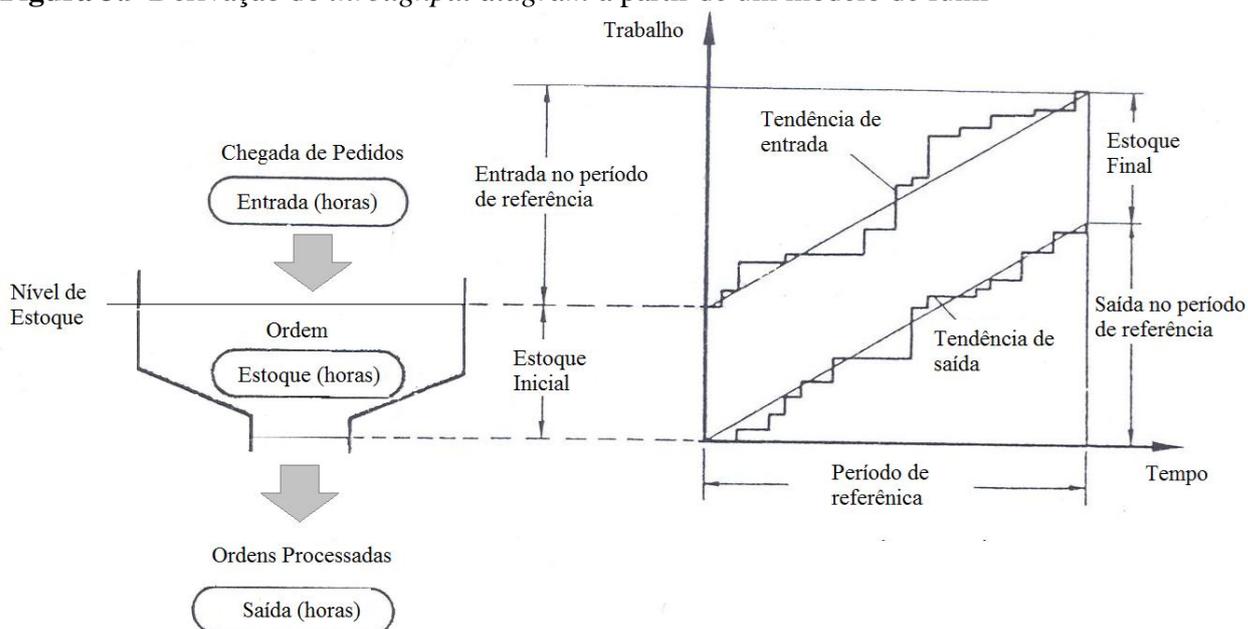
- i) A chegada de um pedido pode ser considerada um *input*;
- ii) A espera para o processamento da ordem pode ser considerado como um estoque;
- iii) A saída do sistema pode ser considerada um *output*.

A Figura 3.9 ilustra a comparação entre o centro de trabalho e um funil proposto por Betche (1991). Segundo Wiendahl (1995), ao considerar um centro de trabalho ao longo do tempo, o resultado das atividades descritas acima pode ser representado graficamente através de curvas.

Na Figura 3.9 é possível visualizar o comparativo entre o funil e às curvas de tendência (entrada e saída). Na curva de tendência de entrada a quantidade de trabalho aguardando para entrar no centro de trabalho no referido período é determinante, pois é considerado como o estoque inicial. A partir deste ponto, a curva é representada pela entrada de trabalho, em horas, nos respectivos tempos de entrada até ao final do referido período.

Por conseguinte, a tendência de saída está representada por adição dos pedidos concluídos nos respectivos tempos de saída relatados e, inicia-se na origem em um sistema de coordenada. Tendo em vista que ambas as curvas descrevem o processamentos das ordens no sistema, essa representação foi denominada por Erdlenbruch (1984) como *throughput diagram*.

Figura 3.9 Derivação do *throughput diagram* a partir de um modelo de funil

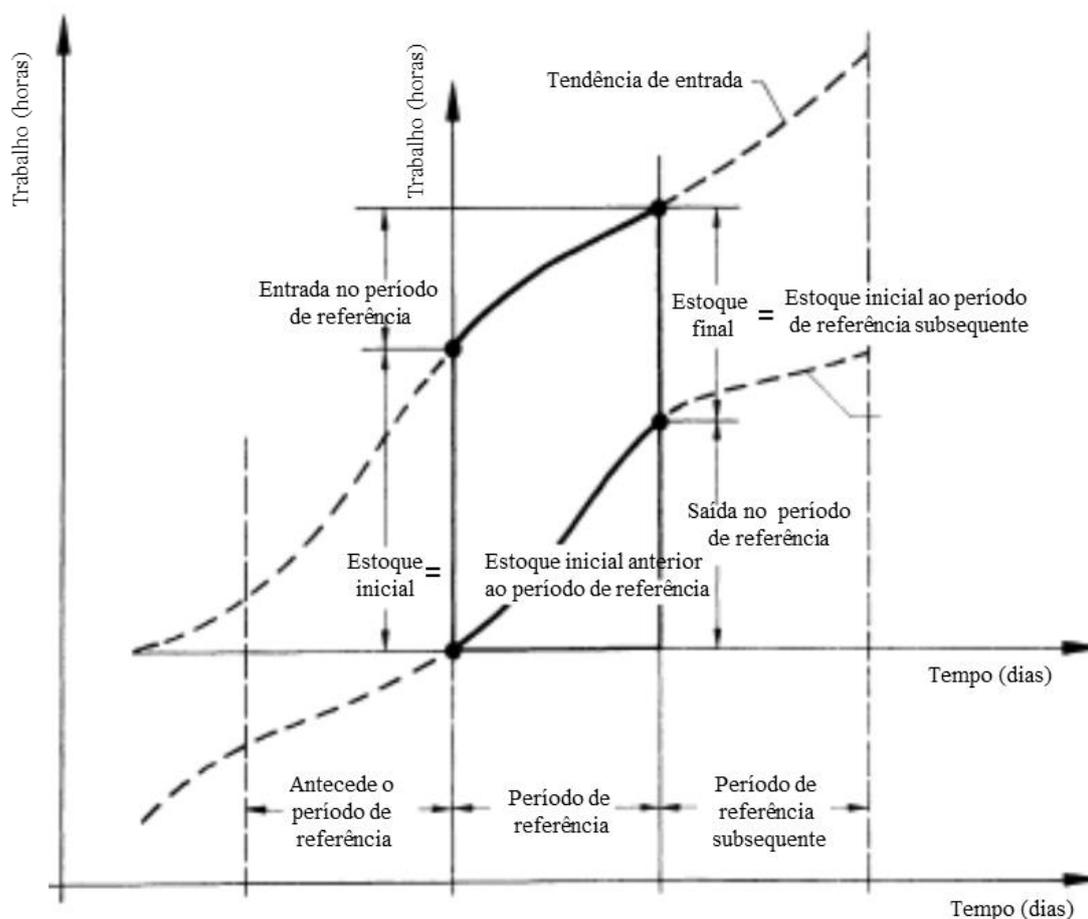


Fonte: Adaptado de Wiendahl (1995)

No final do período de referência, há certo estoque denominado estoque final como pode ser observado na Figura 3.9. Se este estoque final é entendido como sendo o estoque inicial do próximo período de referência, o *throughput diagram* pode ser considerado como um diagrama que descreve de forma instantânea e contínua um determinado centro de trabalho (WIENDAHL, 1995). A Figura 3.10 descreve o processamento de uma ordem no centro de trabalho através da curva de entrada (*input*) e da curva de saída (*output*) traçadas arbitrariamente ao longo do tempo.

Posteriormente, Bechte (1988) descreveu os princípios de controle de produção para carga orientada, como uma nova solução para *job shops* devido a uma implementação bem sucedida. A ideia de controle de produção para carga orientada é limitar e equilibrar os WIP no nível mais baixo possível, a fim de obter uma alta utilização do centro de trabalho, bem como, reduzir o *lead time* dos pedidos. Esse sistema de controle permitiu a programação de data de entregas mais confiáveis e o apontamento dos gargalos em um planejamento de capacidade a curto e médio prazo.

Figura 3.10 Princípios do *throughput diagram* de um centro de trabalho

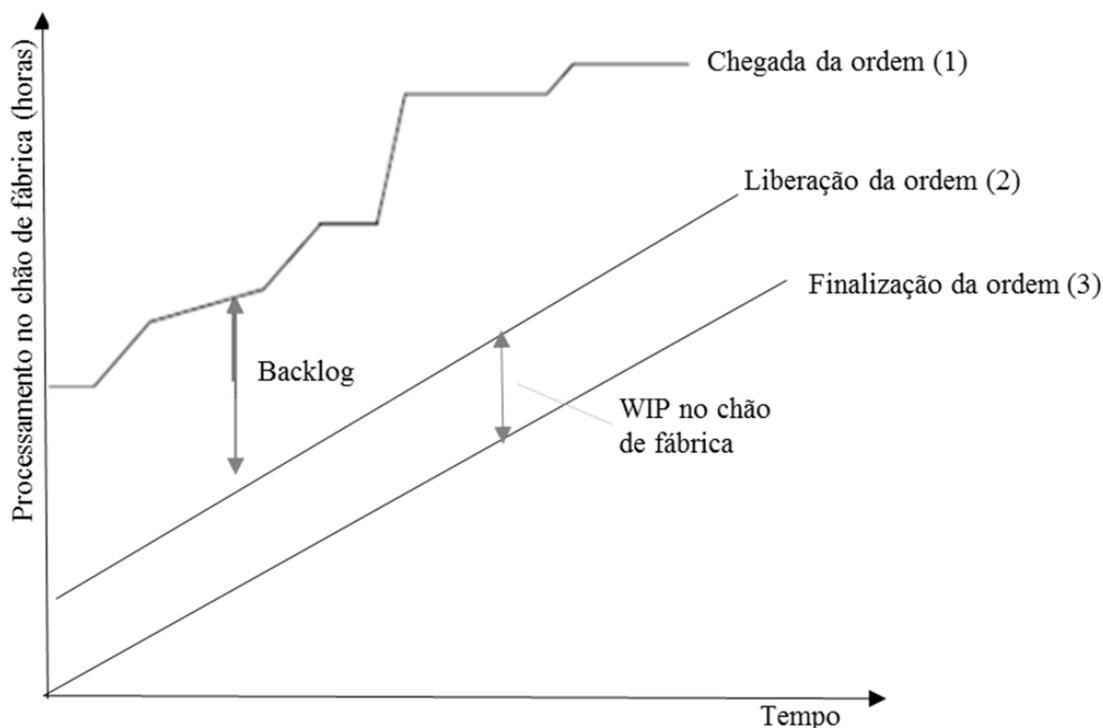


Fonte: Adaptado de Wiendahl (1995)

Wiendahl et al. (1992), descreveu a aplicação do modelo denominado de funil e do *throughput diagram* para monitorar e controlar o processo de produção em uma empresa de engenharia mecânica de médio porte. Como resultados, o *throughput diagram* possibilitou ilustrar os objetivos logísticos de controle da produção: redução do *lead time*, aumento do desempenho das datas de entrega, redução do WIP e utilização.

Dessa forma, o *throughput diagram* tornou-se o meio mais importante para descrever processos de produção complexos e, é especialmente adequado para visualizar o estado do processo. Além de ser utilizado para fins de planejamento, pois é um modelo geral do processo de produção que pode ser traduzido em meios matemáticos. A figura 3.11 apresenta o esquema de funcionamento do *throughput diagram* proposto por Soepenberget al. 2012a.

Figura 3.11 Os conceitos básicos do *throughput diagram*



Fonte: Adaptado de Soepenberget al. (2012a)

Na figura 3.11 os eixos representam:

- i) Eixo horizontal representa o tempo acumulado (geralmente a unidade utilizada é dia);
- ii) O eixo vertical representa trabalho medido em horas de tempo de processamento para uma dada capacidade;
- iii) A curva de entrada (*input*) aumenta com as horas de chegada de ordens. A curva de produção acumulada aumenta as horas de trabalho concluídas para uma dada capacidade no momento da conclusão;
- iv) A distância vertical entre as duas curvas (*input* acumulado e *output* acumulado) representa o estoque em processo ou *work-in-process* (WIP);
- v) A distância horizontal entre as curvas *input* acumulado e *output* acumulado representam os tempos médios de processamento.

O *throughput diagram* pode contribuir de forma muito significativa em relação as análises dos efeitos da aplicação do mecanismo de controle do WLC. Como exemplo, a adoção do *throughput diagram* contribuiria no balanceamento de carga central, que objetiva atingir pequenos e constantes *buffers* no chão de fábrica (Soepenberget al. 2012a).

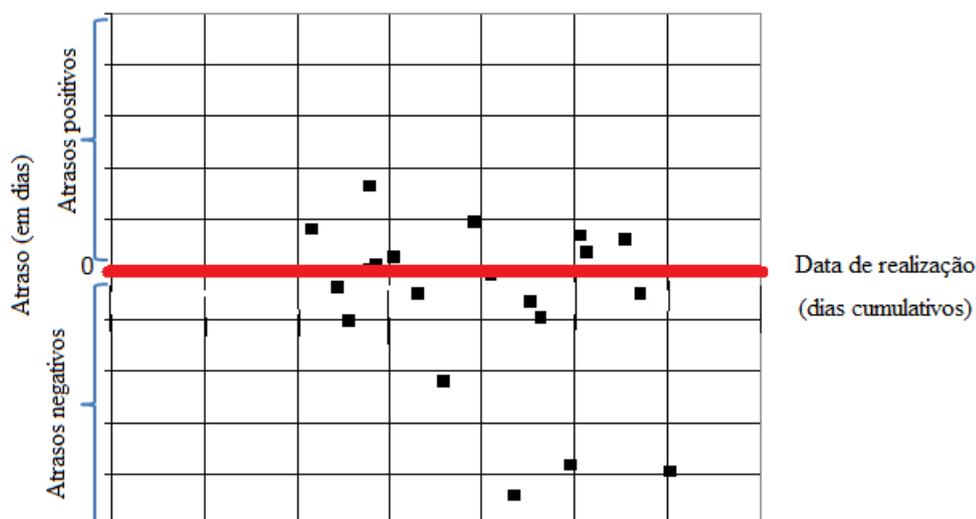
A próxima seção abordará o *order progress diagram* que também é uma ferramenta de diagnóstico para garantir a confiabilidade de entrega. Ao contrário do *throughput diagram* que analisa as ordens como um todo, ou seja, o atraso médio. O *order progress diagram* busca analisar individualmente cada ordem para explicar a variância no atraso.

3.4. ORDER PROGRESS DIAGRAM

O *order progress diagram* é uma ferramenta desenvolvida com o objetivo de auxiliar na explicação da variação de atraso, pois relaciona o atraso dos pedidos individualmente e o progresso do pedido através de um controle de decisões de entrada e saída de determinado processo do centro de trabalho (SOEPENBERG et al., 2008).

A construção do *order progress diagram* para o auxílio do diagnóstico de atraso, inicia-se através de um gráfico de dispersão, que representa o andamento de cada pedido no processo produtivo. A Figura 3.12 representa um exemplo do início da construção do gráfico de dispersão.

Figura 3.12 - *Order progress diagram*



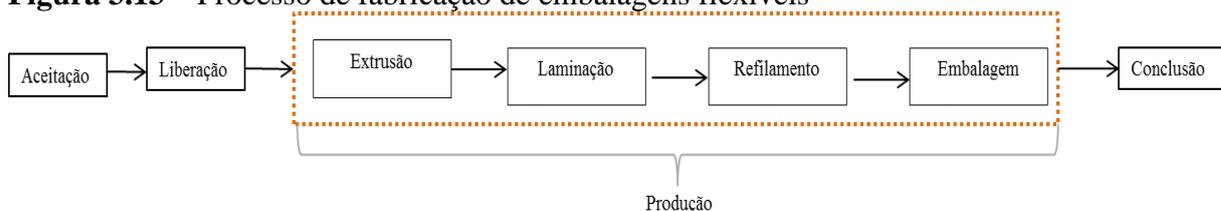
Fonte: Adaptado de Soepenber et al. (2008)

Na Figura 3.12, o eixo horizontal representa os dias decorridos (cumulativamente), ou seja, inicia-se no dia zero e estende-se até o dia n. Já o eixo vertical mostra o atraso em dias de uma ordem. Acima da linha vermelha são as ordens com atraso positivo, ou seja, ordens que ultrapassam os prazos pré-estabelecidos (concluídos depois do prazo previsto) o

que pode acarretar no atraso do produto final. Em contrapartida, os atrasos negativos são as ordens concluídas antes da data planejada, ou seja, houve um adiantamento da ordem. Ainda com relação à Figura 3.12, é possível observar que no diagrama existem pontos acima e outros abaixo da linha vermelha o que indica uma variação no atraso (SOEPENBERG et al. (2008).

Soepenberget al. (2008) afirma que o *order progress diagram* indica a diferença entre o curso das ordens individuais e o padrão da evolução das mesmas. Dessa forma, é possível analisar as ordens que estão atrasadas e as que estão adiantadas em cada fase do pedido. Além disso, é possível estender essa análise do atraso ou aceleração e relacioná-la com o atraso estimado. Para cada etapa, o *order progress diagram* mostra a relação entre tempos de processamento individuais realizados e os tempos médios de processamento. A Figura 3.13 apresenta um exemplo do processo de fabricação de embalagens flexíveis.

Figura 3.13 – Processo de fabricação de embalagens flexíveis



Fonte: Elaborada pela autora

A Tabela 3.2 apresenta os dados do processo de fabricação de embalagens flexíveis e os atrasos em cada etapa de produção.

Tabela 3.2 – Atrasos do processo produtivo de embalagens plásticas flexíveis

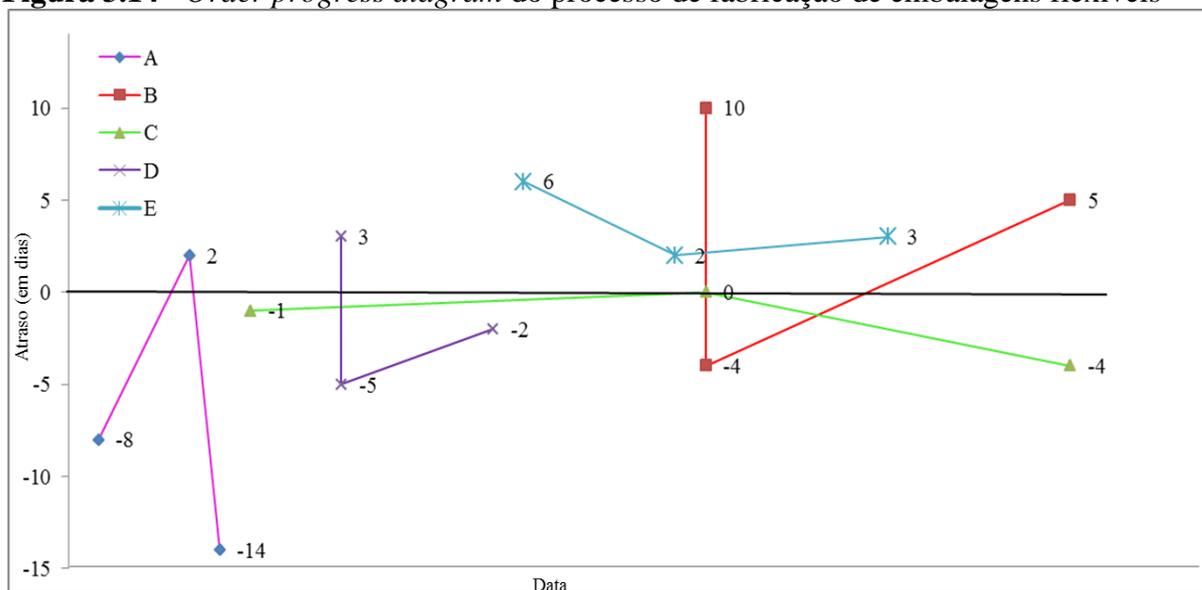
Ordem	Data de chegada planejada	Data de chegada real	Atraso na chegada (dias)	Data de liberação planejada	Data de liberação real	Atraso na liberação (em dias)	Data de conclusão planejada	Data de conclusão real	Atraso na conclusão em (dias)
A	10/10/2014	02/10/2014	-8	03/10/2014	05/10/2014	2	20/10/2014	06/10/2014	-14
B	12/10/2014	22/10/2014	10	26/10/2014	22/10/2014	-4	29/10/2014	03/11/2014	5
C	08/10/2014	07/10/2014	-1	09/10/2014	09/10/2014	0	15/10/2014	11/10/2014	-4
D	07/10/2014	10/10/2014	3	15/10/2014	10/10/2014	-5	17/10/2014	15/10/2015	-2
E	10/10/2014	16/10/2014	6	19/10/2014	21/10/2014	2	25/10/2014	28/10/2014	3

Fonte: Elaborado pela autora

A Tabela 3.2 apresenta os processos de fabricação hipotéticos de embalagens flexíveis. Os atrasos positivos ocorrem quando as datas de realização ultrapassam os dias planejados (valores positivos) e os atrasos negativos ocorrem quando as datas de realização são concluídas antes do planejado (valores negativos). Para ilustrar, claramente, o

funcionamento do *order progress diagram* os dados da Tabela 3.2 foram utilizados para a construção da Figura 3.14 que representa o *order progress diagram* do processo de produção das embalagens flexíveis.

Figura 3.14 - *Order progress diagram* do processo de fabricação de embalagens flexíveis



Fonte: Elaborado pela autora

O eixo horizontal da Figura 3.14 representa as datas e o eixo vertical representa o atraso médio em diferentes fases (aceitação da ordem, liberação da ordem e conclusão da ordem). O atraso estimado após cada fase é definida como a diferença entre a data real e a data planejada em cada estágio. Atraso positivo ou atraso negativo de certo estágio, significa que a ordem será entregue, respectivamente mais cedo ou mais tarde se tempos de produção em fases posteriores são iguais aos tempos médios de taxa de processamento para cada estágio.

O progresso individual de uma ordem é representado por uma única curva. Cada curva representa as datas de conclusão de uma operação em um dado estágio, o que correspondente ao atraso médio estimado no momento da conclusão. Em uma situação ideal, todos os pontos se encontrariam no eixo horizontal (atraso igual à zero, ou seja, sem atraso e nem antecipação da ordem). Dessa forma, se todos os pontos estivessem no eixo horizontal, a estimativa do atraso depois de completar cada estágio seria zero e não existiria a variação entre ordens. Quando a curva está em ascendência ou descendência em cada segmento da reta na curva representa, respectivamente, aumento do atraso estimado da ordem e diminuição do atraso estimado da ordem em que estágio particular.

Na Figura 3.14, é possível acompanhar o progresso da ordem em cada estágio, pois a análise individualizada permite saber em qual estágio houve o atraso ou adiantamento da ordem. Conforme a Figura 3.14, as ordens B e E são finalizadas com atraso (atraso positivo). No caso da ordem B, ela iniciou o processo de aceitação com o atraso de 10 dias, porém no processo seguinte (liberação) adiantando-se 4 dias e o resultado foi um atraso de 5 dias na conclusão do pedido.

A ordem A iniciou-se com 8 dias de antecedência na aceitação do pedido, posteriormente, no processo de liberação houve um atraso positivo de 2 dias e concluiu a ordem com 14 dias de antecedência. As ordens C e D também tiveram um atraso na conclusão negativo, isto é, estas ordens foram concluídas antecipadamente.

Esta seção apresentou as ferramentas *throughput diagram* e *order progress diagram*, bem como o mecanismo de funcionamento das mesmas. Tais ferramentas facilitam, respectivamente, o diagnóstico do atraso médio e da variância de atraso. A próxima seção apresenta as considerações finais de ambas às ferramentas.

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A confiabilidade de entrega é um dos critério de desempenho ganhador de pedido em empresas MTO, pois os gestores são cada vez mais confrontados com a necessidade de melhorar o desempenho de confiabilidade de entrega. O aumento do nível de desempenho nesse critério competitivo exigiu ferramentas de diagnóstico, pois as mesmas possuem boa capacidade de “rastrear” as decisões relevantes do PCP.

Uma poderosa ferramenta identificada na literatura é o *throughput diagram*. Esta ferramenta é particularmente útil na identificação das decisões de PCP que auxiliam no desempenho por meio do controle de entrada e saída que incide diretamente sobre as influências do atraso médio. Porém, esta ferramenta fornece suporte limitado para rastrear as causas da variação de atraso.

A segunda ferramenta apresentada é *order progress diagram*, que incide diretamente sobre a variação de atraso e as relaciona com as decisões PCP por meio da análise do progresso de diferentes ordens individuais. Tal progresso de ordem pode ser observado em diferentes etapas do processo produtivo e individualmente, que compreende desde estágio de aceitação do pedido até a sua conclusão. Este diagrama ainda permite que as ordens sejam

observadas quanto sua antecipação ou atraso em cada estágio produtivo, possibilitando os *insights* sobre quais as decisões de PPC são compatíveis com os requisitos de confiabilidade de entrega e fornece um bom ponto de partida para encontrar estratégias adequadas para melhorar o desempenho confiabilidade das entregas.

O próximo capítulo se concentrará na apresentação de um *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c) que utiliza as ferramentas abordadas neste capítulo para diagnosticar como as decisões de PCP influenciam a confiabilidade de entrega.

CAPÍTULO 4: FRAMEWORK PARA DIAGNOSTICAR O DESEMPENHO DA CONFIABILIDADE DE ENTREGA EM EMPRESAS MTO

4.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta o *framework* desenvolvido por Erik Soepenbergh et al. (2012c) que tem como objetivo diagnosticar o desempenho da confiabilidade de entrega afetadas pelas decisões do PCP. Este capítulo está estruturado da seguinte forma: na seção 4.2 é contextualizado como a confiabilidade de entrega pode ser afetada pelas decisões do PCP, a seção 4.3 apresenta os processos para diagnosticar a confiabilidade de entrega, a seção 4.4 apresenta os passos do *framework* para o diagnóstico da confiabilidade de entrega e a relação com o PCP e, por fim, a seção 4.5 apresenta as considerações finais do presente capítulo.

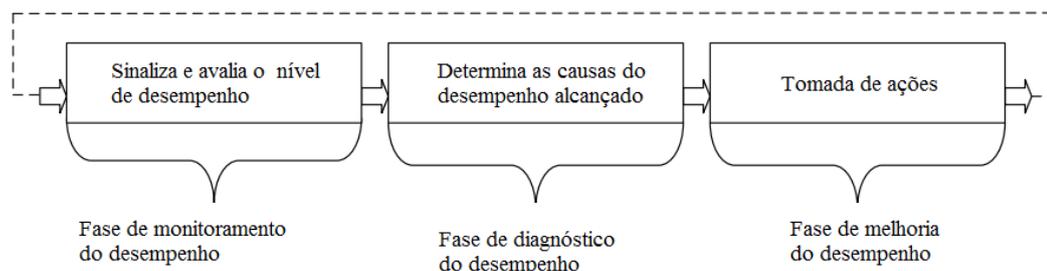
4.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Em empresas MTO, a alta confiabilidade de entrega é um critério de desempenho que vem ganhando uma importância inquestionável. A confiabilidade significa cumprir a data de entrega que influencia na satisfação do cliente. A confiabilidade e a velocidade são vantagens competitivas intimamente relacionadas. Quando uma empresa decide ser confiável em termos das datas de entrega, ela pode atingir esta confiabilidade através de longos prazos de entrega. Entretanto, esse procedimento pode tornar-se prejudicial a sua competitividade, pois esta ficará impossibilitada de concorrer com outras empresas mais velozes quanto aos prazos e, igualmente confiáveis.

De acordo com Thüerer e Godinho Filho (2012) uma das competências operacionais importantes para empresas MTO é atingir um *lead time* reduzido e previsível com o objetivo de manter a promessa ao cliente, enquanto reduzir os prazos de entrega pode ser um critério determinante para ganhar o pedido. Portanto, as decisões de PCP devem estar alinhadas para o alcance desse objetivo. No entanto, para que as decisões de PCP se tornem cada vez mais bem sucedidas é necessário ferramentas de diagnóstico de desempenho focado na confiabilidade de entrega (SOEPENBERG et al. 2012).

A fase de diagnóstico do desempenho pode ser considerada como uma etapa de um ciclo de melhoria, onde as causas do desempenho são determinadas (Figura 4.1) e, tem como objetivo indicar se as decisões de PCP tem influência negativa sobre a confiabilidade de entrega em empresas MTO. Além de, fornecer um direcionamento adequado para a melhoria do desempenho (SOEPENBERG, 2010).

Figura 4.1 - Monitoramento, diagnóstico e melhoria do desempenho



Fonte: Adaptado de Stoop e Bertrand (1997)

A fase de diagnóstico de desempenho para a realização de melhorias é extremamente importante e reconhecida na literatura sobre gestão de operações. Neely et al. (1997) concluiu que a empresa, ao notar que seu desempenho em relação a confiabilidade de entrega é insatisfatório, a mesma necessita iniciar uma investigação sobre as razões do atraso na entrega e criar uma equipe comprometida a solucionar esse problema eliminando as principais causas.

Uma estrutura de diagnóstico para garantir a confiabilidade de entrega que incorpore conhecimento de solução de problemas gerais e tragam o domínio do conhecimento, não foi explicitamente considerado na literatura (SOEPENBERG, 2010). No Instituto de Sistemas de Produção e Logística, em Hannover na Alemanha, foi relatada uma abordagem notável por Von Cieminski e Nyhuis (2007) discutem um *software* de diagnóstico que inclui um modelo logístico que, posteriormente, foi adaptado por Soepenber (2010 *apud* Lödding, 2005). Esse *software* solicita ao usuário informações logísticas relevantes, através de um questionário interativo. Porém, cabe destacar que o processo de diagnóstico do referido *software* é apenas explicado superficialmente.

De acordo com Nyhuis e Wiendahl (2008), a análise logística quantitativa orientada para diagnosticar o gargalo indica relevantes oportunidades de melhoria para reduzir o tempo médio de processamento e, portanto, o atraso médio. Isso é possível através de curvas de operação logística e *order progress diagram* (que identifica a variação do atraso em certa fase de produção). Embora, as medidas necessárias para identificar dessas causas específicas não sejam discutidas em detalhes pelos autores.

Soepenbergh et al. (2008), apresentou uma contribuição inicial que foca especificamente em diagnóstico de desvios e demonstra claramente como a variação pode estar ligada às decisões de PCP com o auxílio do *order progress diagram*. O estudo de Soepenbergh et al. (2012c) objetivou construir um *framework* de diagnóstico abrangente que permite analisar a confiabilidade de entrega a partir de registros das decisões advindas do PCP. O diagnóstico faz uso de dados quantitativos do progresso da ordem. Além disso, é possível analisar as causas dos problemas em determinada fase da produção, pois a representação através do *order progress diagram* permite a visualização do andamento da ordem através da representação gráfica tornando-o uma importante ferramenta de apoio para o diagnóstico de problemas.

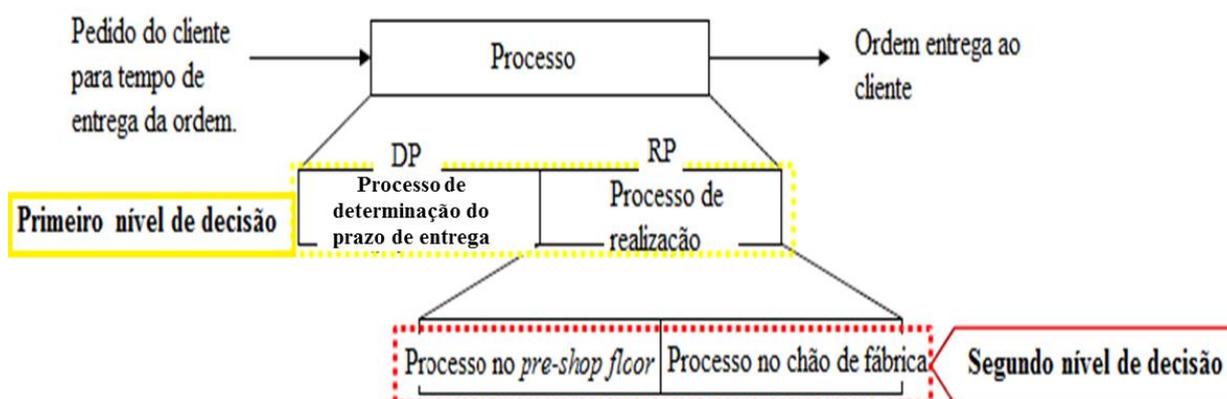
4.3. PROCESSOS PARA DIAGNOSTICAR A CONFIABILIDADE DE ENTREGA

O sistema em estudo consiste no processo entre uma data requerida de entrega pelo cliente e a real data de entrega da ordem para o cliente. Neste processo, as atividades e decisões realizadas influenciam o progresso de cada pedido. Desde que essas atividades e decisões sejam específicas para cada caso, a desagregação do processo global em sub-processos deve ser estruturada em torno de características genéricas que se aplicam a empresas MTO.

A desagregação em sub-processos se baseia no conhecimento de domínio, ou seja, *insights* de literatura científica sobre PCP. A utilização de uma estrutura baseada no conceito de controle de carga (WLC) projetado especificamente para empresas MTO com o objetivo de atender às necessidades das empresas MTO é de suma importância (STEVENSON et al., 2005).

Um primeiro nível de desagregação pode ser encontrado no ponto de entrada de ordens. Isto coincide com a decisão de aceitação de ordens, que corresponde à primeira decisão do conceito WLC (KINGSMAN; HENDRY, 2002). Existem dois principais sub-processos que podem ser distinguidos neste ponto: o processo de prazos de entrega prometidos e o processo de realização do pedido (Figura 4.2).

Figura 4.2 - Descrição do sistema em vários níveis de agregação



Fonte: Adaptado de Soepenber (2010)

O processo de determinação do prazo de entrega (DP) que se encontra no primeiro nível de decisão refere-se às decisões de PCP, pois um pedido pode ter uma data prometida ao cliente muito mais longa que a necessária ou o prazo de entrega é muito menor que o necessário para a realização do pedido. Ambas as situações são ruins para uma empresa MTO, pois datas longas demais podem comprometer a fidelização ou ganho do cliente e prazos curtos demais acabam por configurar o atraso na entrega do pedido, o que fere um dos critérios competitivos de empresas MTO que é a confiabilidade de entrega (SOEPENBERG et al., 2012C).

Land e Gaalman (2009) apontam que o desempenho de entrega fora da data estimada pode ser o resultado de não utilização de informações relevantes para a determinação dos prazos de entrega prometidos em muitas empresas MTO. Soepenber (2010) embasa a teoria dos autores citados anteriormente, afirmando que o atraso médio é normalmente influenciado pela incapacidade de usar corretamente as informações de chão de fábrica.

Após o estabelecimento da data de entrega prometida (DP), o processo de realização (RP) se inicia. O alcance da pontualidade na entrega dos pedidos requer o controle de entrada e saída de ordens em diferentes fases da realização do pedido. Geralmente, este processo de realização pode ainda ser subdividido em processos de *pre-shop floor* e processos de chão de fábrica como pode ser observado na Figura 4.2.

A entrada para o estágio de *pre-shop floor* é desencadeada pela decisão de aceitação de ordens. A influência dessa decisão é altamente relacionada com a DP. Os estágios de *pre shop floor* e de chão de fábrica são separados pela decisão de liberação, que regula quando os pedidos são autorizados a serem processados no chão de fábrica. Um dos principais objetivos

da decisão de liberação é equilibrar as cargas de trabalho em todo os grupos de máquina (capacidade) ao longo do tempo (BERGAMASCHI et al., 1997).

4.3.1. Processos no *pre-shop floor* da fábrica

O processo no *pre-shop-floor* em algumas empresas pode ser visto como nada mais do que a fila de pedidos que estão aguardando para serem processados no chão de fábrica. A maioria das empresas MTO tem de realizar atividades preliminares antes das operações no chão de fábrica serem iniciadas. O número de atividades realizadas depois de receber uma ordem é muitas vezes relacionado com o nível de personalização que uma empresa oferece (AMARO et al., 1999).

4.3.2. Processos no chão de fábrica

O processo no chão de fábrica normalmente consiste na realização de várias operações. Após a liberação da ordem para o chão de fábrica, o padrão de progresso de uma ordem através das suas operações pode ser influenciado pela programação detalhada ou regras de despacho. Algumas regras concentram-se em tempos de produção médios mais curtos, outras na redução da variação de atraso. Além de controlar o momento de entrada de pedidos para o chão de fábrica, a produção também pode ser controlada. O controle de saída regula a capacidade que é disponibilizada para que as ordens possam avançar para a próxima fase e, finalmente, ser concluída. Para reduzir o atraso médio, capacidade adicional pode ser atribuída aos recursos onde ocorrem os “congestionamentos” (SOEPENBERG et al, 2012c). Além disso, os requisitos de pico para ordens específicas também podem ser gerenciados através do ajuste de capacidade. Alterações na capacidade, resultantes de controle de saída, podem ser utilmente considerados, ao mesmo tempo em que faz importantes decisões de controle de entrada (LAND; GAALMAN, 1996).

O Quadro 4.1 resume as influências de todas as decisões de entrada e de controle de saída, tanto sobre o atraso médio quanto sobre a variância de atraso. O *throughput diagram* e *order progress diagram* podem ajudar a identificar a influência das decisões de PCP individuais sobre o desempenho da confiabilidade de entrega (SOEPENBERG ET AL., 2008).

Quadro 4.1: Como as decisões PCP permitem o controle do atraso médio e a variância do atraso.

Decisões de PCP	Controle do atraso médio	Controle da variância do atraso
Prazo de entrega prometido	Prazos de entrega prometidos com base no estado de chão de fábrica	Tomando informações relatadas do pedido em relação ao prazo de entrega prometidos
Aceitação do pedido	Controle do número de pedidos aceitos dentro de um determinado período	Controlando o número de pedidos aceitos com características específicas
Liberação	Considerar as ordens com o objetivo de proporcionar aos grupos com capacidade um bom balanceamento ao longo do tempo	Considerar a urgência relativa do pedido quanto à liberação
Prioridade de despacho	Usar regras de prioridade que se concentram na aceleração do processamento	Usar regras de prioridade que se concentram na redução de variância atraso
Controle de saída	Dedicar capacidade para aqueles recursos, onde os pedidos estão congestionados.	Dedicar a capacidade para atender picos de requisitos de ordens específicas

Fonte: Adaptado de Soepenber (2010)

4.4. FRAMEWORK PARA DIAGNOSTICAR A CONFIABILIDADE DE ENTREGA

Esta seção apresenta o *framework* que apoia o diagnóstico do desempenho da confiabilidade de entrega através de um processo estruturado. O *framework* desenvolvido por Soepenber et al. (2012c) divide-se em duas partes:

- a) Parte 1: nos ramos que compreendem a Parte 1, os passos de diagnóstico são seguidos, sequencialmente, a fim de determinar as áreas de problemas relevantes que fundamentam o desempenho da confiabilidade de entrega. Onde se aponta quatro problemas principais distintos que são: a média ou variância de atraso e o controle da DP ou do RP;
- b) Parte 2: Passos detalhados do diagnóstico são realizados nessas áreas problemáticas que são identificados como tendo uma influência negativa sobre a confiabilidade de entrega. O processo termina quando o diagnóstico das causas dos

atrasos é identificado e estão relacionados com as decisões PCP dentro de cada área de problema.

4.4.1. Processo de diagnóstico: Parte 1 - determinação das áreas problemáticas relevantes

Nesta subseção será apresentado o framework desenvolvido por Soepenbergh et al. (2012c) e sequência de passos proposta para o diagnóstico da confiabilidade de entrega influenciada pelas decisões de PCP.

Passo 1: Analisar a distribuição de atraso

O diagnóstico inicia-se com a determinação da porcentagem de pedidos entregues atrasados em um determinado período. Para este efeito, os dados quantitativos sobre as datas de entregas prometidas e tempos de realização da produção devem ser coletados a partir de um conjunto de ordens entregues em determinado período. Com base nos valores dos atrasos de todas as ordens, a distribuição de atraso é construída. O estudo da distribuição de atraso, conforme mostrado na Figura 4.3, pode ajudar na decisão de focar no ramo do atraso médio ou no ramo da variação de atraso.

Passo 2: Analisar as diferenças entre subconjuntos de ordem

Ao analisar o atraso médio, deve-se verificar se um número limitado de subconjuntos de ordem é responsável pela média alta. Isso pode permitir um refinamento para as análises posteriores a estes subconjuntos. Em termos de variação de atraso, duas situações podem surgir:

- (i) Alguns subconjuntos de ordem têm uma alta variância interna de atraso, o que resultaria na continuação da análise da variância dentro desses subconjuntos;
- (ii) A variação interna desses subconjuntos é limitada e a variância de atraso é principalmente o resultado de variância entre os subgrupos. Neste último caso, a análise deve proceder, focando esse subconjunto onde o atraso médio é alto.

Passo 3: Analisar as diferenças ao longo do tempo

Para obter *insights* sobre a dependência do tempo, o diagnóstico continua analisando mudanças do atraso ao longo do tempo. O *order progress diagram*, ferramenta que pode ser utilizada como suporte para análise do atraso, é discutido em detalhes no quarto passo do diagnóstico. A análise do atraso médio pode revelar que períodos específicos de tempo apresentam valores de atrasos relativamente elevados em comparação com outros, sugerindo foco específico sobre esses períodos. Em termos de variância, duas situações podem tornar-se evidentes:

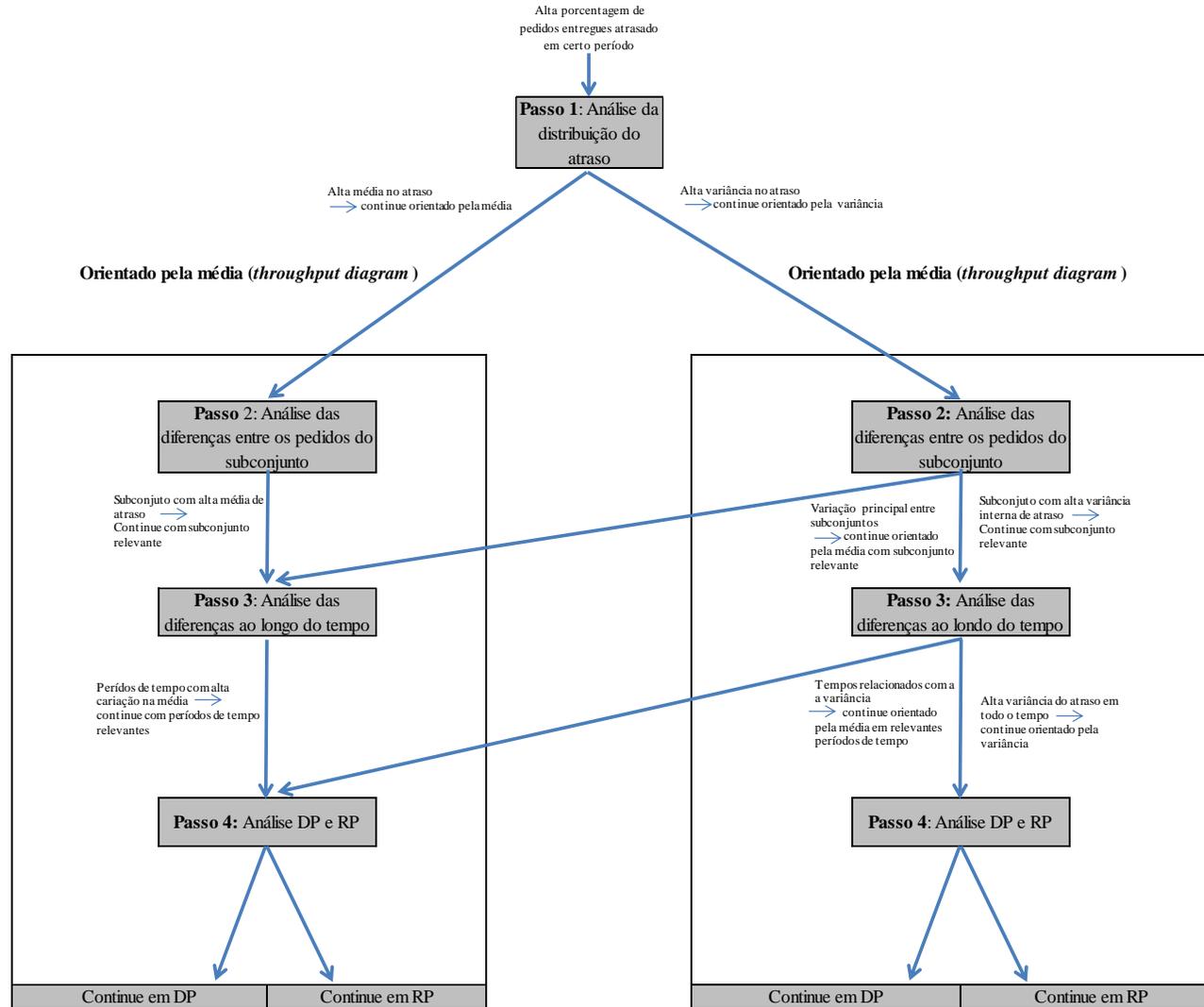
- Primeiro, se variância de atraso é dependente do tempo no processo de diagnóstico, pode-se alternar análise da variância de atraso para análise direcionado pelo atraso médio;
- Posteriormente, se a variância de atraso é independente do tempo, o diagnóstico continua ao longo dos ramos relacionados com a variação de atraso.

Passo 4: Analisar DP e RP

Dependendo das decisões tomadas nas etapas anteriores, o diagnóstico será orientado pela média do atraso ou pela variância do atraso. O quarto passo do diagnóstico visa determinar se o diagnóstico deve focar-se no processo da determinação do prazo de entrega (DP-*Delivery Time Promissing*) ou no processo de realização do pedido (RP – *Realisation Process*).

A Figura 4.3 apresenta o *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c), que é o resumo dos quatro passos apresentados nesta subseção

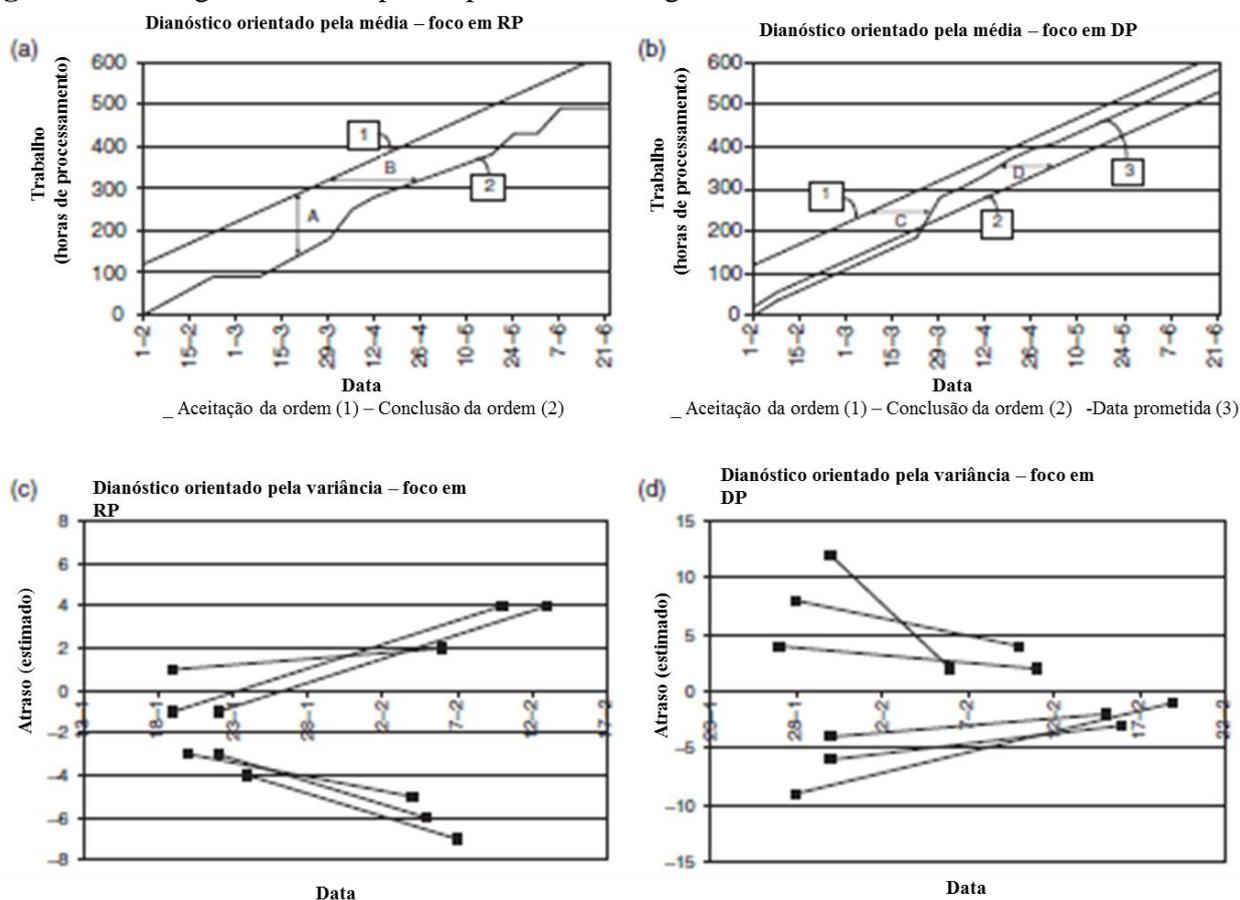
Figura 4.3 – *Framework* para diagnosticar o atraso



Fonte: Adaptado de Soepenberget al.(2012c)

O diagnóstico fornecido pelo *framework* implica em orientar os atrasos pela média ou pela variância. Dessa forma, o último passo é determinar se o diagnóstico deve focar-se no DP ou no RP. Esta decisão pode ser apoiada pelo *throughput diagram* (Wiendahl, 1995) e pelo *order progress diagram* (Soepenberget al., 2008). A Figura 4.4 ilustra como essas ferramentas podem ser aplicadas para decidir qual dos processos garante investigações futuras e encontra-se detalhadamente explicado a seguir.

Figura 4.4 – Diagramas chave para o processo de diagnóstico



Fonte: Adaptado de Soepenberget al. (2012c)

4.4.1.1 Diagnóstico orientado pela média: DP ou RP?

O *throughput diagram* representado pelas Figuras 4.4 (a) e (b) é particularmente útil para busca de *insights* quando a tomada de decisão sobre o atraso médio deve concentrar-se na DP ou na RP. Nestes gráficos citados, o eixo horizontal representa o tempo (datas) e o eixo vertical mostra, para cada curva do *throughput diagram*, a entrada e saída de trabalho em relação a um fluxo do processo de ordens cumulativas. O trabalho pode ser medido em

unidades de ordens ou unidades de tempo de processamento, sendo a última medição a mais comumente usada.

As curvas podem ser plotadas para cada momento de entrada / saída do fluxo de uma ordem. Nesta fase do diagnóstico, busca-se um resumo agregado com apenas duas ou três curvas. A curva de entrada (1) na Figura 4.4 (a) e (b) refere-se à ordem de aceitação. A curva de produção cumulativa (2) refere-se à conclusão real da ordem. Estas curvas aumentam, respectivamente, em valor, as necessidades de capacidade da ordem no momento da sua aceitação ou a sua conclusão. Além disso, a Figura 4.4 (b) mostra uma curva de data de entrega planejada ou estimada (3), que aumenta em valorizar cada vez que um pedido é prometido para ser entregue a um cliente. A distância vertical entre a curva de aceitação da ordem e a curva de execução (A) mostra o estoque em processo (WIP) da empresa, e a distância horizontal (B) refere-se aos tempos médios de atravessamento da RP. Analogamente, (C) reflete a média dos prazos de entrega prometidos e (D) o atraso médio.

De acordo com Soepenberget al. (21012c) um atraso médio que justifique uma investigação mais aprofundada seria indicado no diagrama por uma curva de conclusão real (2), que se situa próximo ou mesmo abaixo da curva de conclusão planejada (3), durante um período considerável de tempo, como se mostra na Figura 4.4 (b). Muitas vezes, é difícil excluir totalmente a RP ou a DP, que, respectivamente, influenciam a curva final da conclusão e a curva de data de chegada do diagnóstico. No entanto, algumas orientações podem ser utilizadas para decidir em quais desses processos devem se concentrar.

Um DP descontrolado é muitas vezes indicado por irregularidades ao longo do tempo na curva da data de conclusão planejada (3). Isto é mostrado na Figura 4.4 (b), onde existe uma mudança súbita em um determinado período de tempo, resultando em uma média elevada do atraso (positivo) a partir desse momento. A RP descontrolada pode muitas vezes ser indicado por irregularidades na conclusão da ordem curva (como na curva 2 na Figura 4.4 (a)), a menos que estas flutuações sigam a curva de data de entrega prometida.

Deve notar-se que, embora um nível estável na conclusão da ordem pode sugerir um controle adequado da RP, mas os tempos médios de taxa de atravessamento podem ser percebidos como demasiadamente longos. Para o estágio do *pre-shop pool*, este poderia ser o resultado dos prazos médios de entrega de materiais relativamente longos, enquanto que no chão de fábrica poderia resultar de espera desnecessária muitas vezes causada por excesso de proteção da capacidade.

4.4.1.2. Diagnóstico orientada a variância: DP ou RP?

O *order progress diagram* é uma ferramenta útil para uma clara obtenção da compreensão sobre o DP e o RP quando há uma variância de atraso. O eixo horizontal no *order progress diagram* mede o tempo, e o eixo vertical indica atraso. Cada pedido é representado graficamente como uma curva individual neste diagrama, que mostra o seu progresso desde o início até ao fim de um processo. Pontos na curva de ordem indicam o início ou conclusão de um processo, e podem ser incluídas para cada um dos processos na RP subjacente.

A Figura 4.4 (c) e (d) mostram o progresso de seis ordens de sua aceitação até a sua conclusão. As posições horizontais dos pontos da esquerda e da direita, em cada curva representam os momentos de aceitação e conclusão da ordem, respectivamente. A posição vertical de cada ponto de cada curva representa o atraso no fechamento do pedido. Os pontos restantes representam o atraso estimado em relação à aceitação do pedido.

Um atraso positivo ou negativo estimado na aceitação indica que uma ordem seria entregue antecipadamente ou com atraso em relação ao período preestabelecido. Ordens com um atraso positivo e negativo são estimadas na aceitação (ou em fases intermédias) e iria ser comumente referido como pedidos urgentes e não urgentes, respectivamente. Curvas com uma tendência ascendente no processo de realização são as ordens que estão atrasadas nesse processo. Já as curvas com uma tendência descendente indicam ordens que estão adiantadas. Os eixos verticais da esquerda e da direita indicam, respectivamente, a variação de atraso estimado na aceitação e no atraso real da ordem de conclusão.

Para decidir se entre o DP ou RP, uma comparação da variação do atraso estimado em na aceitação da ordem e da variância de atraso no fechamento do pedido é realizado e ilustrado usando a Figura 4.4 (c) e (d). A Figura 4.4 (d) mostra uma situação em que a variância de atraso estimado já é elevada no momento da aceitação. Nesta situação, a RP, embora acelerando os pedidos mais urgentes, não podem compensar suficientemente para a variabilidade nos prazos de entrega prometidos. Esta conclusão iria dirigir uma investigação mais aprofundada para a DP.

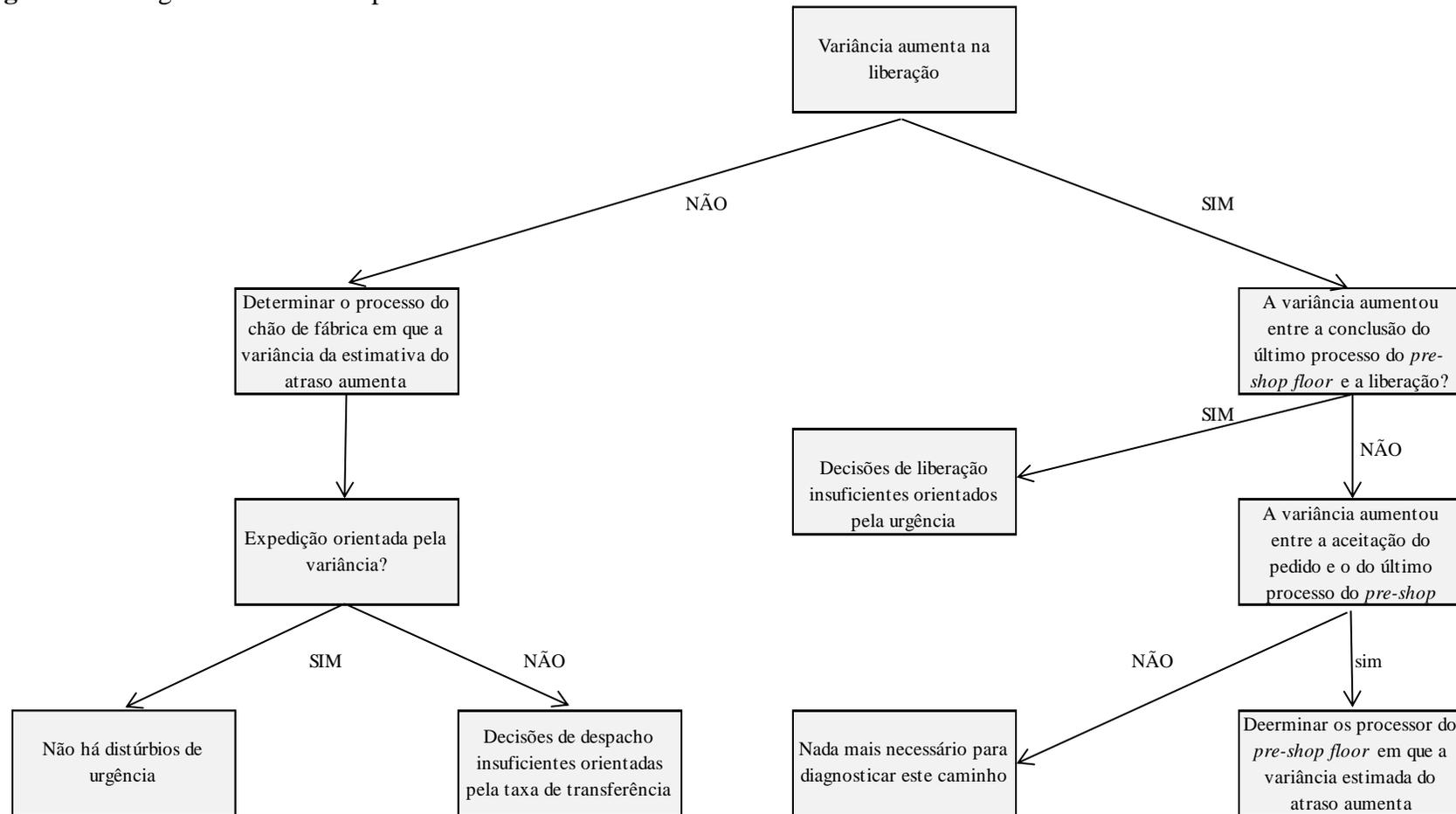
Já a Figura 4.4 (c) mostra uma situação em que a variância estimada de atraso no tempo de aceitação é relativamente baixa. No entanto, as encomendas urgentes abrandaram no RP, enquanto as encomendas menos urgentes são aceleradas. Como resultado, a variância (estimativa) e aumento dos atrasos durante o RP, resultando em atrasos na entrega de algumas ordens. Este fato sugere uma investigação com foco mais aprofundada sobre a RP.

4.4.2. Processo de diagnóstico: Parte 2 - Determinar as principais causas dos problemas relacionados ao Planejamento e Controle da Produção

Esta subseção está centrada na discussão concisa sobre o processo de diagnóstico dentro das duas áreas problemáticas relacionadas com a RP, pois o processo diagnóstico nas áreas problemáticas DP é bastante simples. Dessa forma, para o diagnóstico DP orientado pela média ocorre quando o tempo médio de entrega prometido é assumido como sendo demasiado curto em certos períodos. Portanto, deve-se determinar se o status de chão de fábrica é levado em conta para determinação dos prazos de entrega prometidos. Com um diagnóstico orientado a variância, deve-se investigar se as características relevantes de ordem são consideradas na determinação dos prazos de entrega prometidos. Pois, negligenciar características que levam a prazos de entrega mais curtos (como roteiros mais curtos) o que normalmente leva ao aumento da variabilidade de atraso.

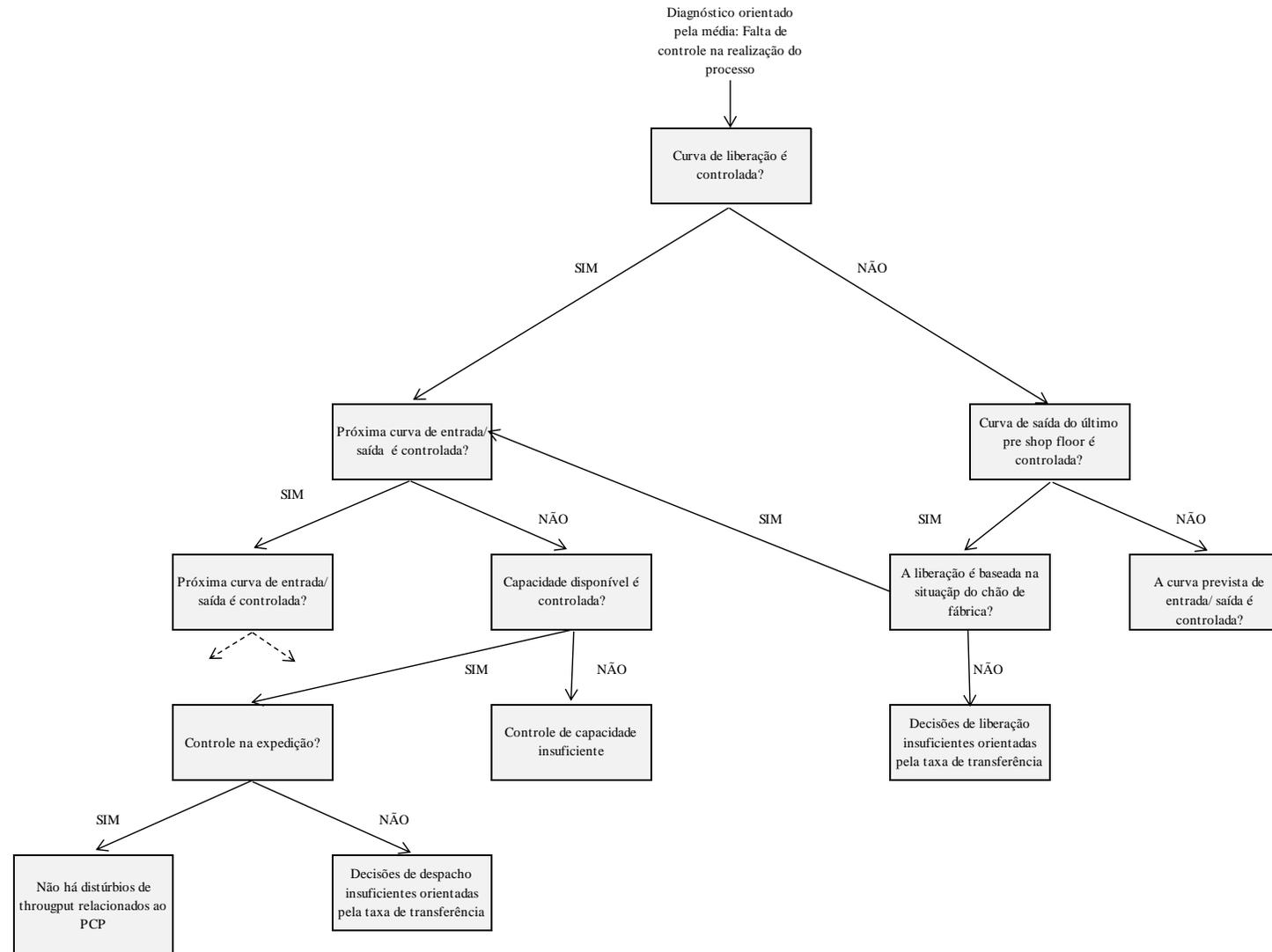
As Figuras 4.5 e 4.6 fornecem uma visão geral do processo de diagnóstico para o RP em relação tanto ao atraso médio e pela variância do atraso.

Figura 4.5- Diagnóstico orientado pela variância do atraso dentro da RP



Fonte: Adaptado de Soepenberget al. (2012c)

Figura 4.6 - Diagnóstico orientada pela média do atraso dentro da RP



Fonte: Adaptado de Soepenberget al. (2012c)

Diagnóstico orientado pela média dentro do RP

Identificar uma área problemática é o resultado de diversas conclusões anteriores extraídas durante o processo de diagnóstico. Em primeiro lugar, o atraso médio foi considerado excessivo no primeiro passo de diagnóstico, que pode ser ligada a um período de tempo ou ordem subconjunto específico identificado como nos passos 2 e 3. Além disso, o quarto passo tem revelado que a curva de ordem conclusão do caudal diagrama tinha irregularidades indesejáveis. Isto leva a continuar com um diagnóstico orientado pela média dentro do RP.

O diagnóstico subsequente dentro desta área problema centra-se em detectar as decisões de PCP que levaram às irregularidades indesejadas na curva de fechamento do pedido. A primeira etapa é diagnosticar se as curvas de libertação de recursos são controladas ao longo do tempo.

Controle da curva de libertação de ordem

Quando a curva de libertação de ordem é bem controlada, o diagnóstico continua considerando os processos de chão de fábrica. Os passos envolvidos no diagnóstico tentam detectar primeiro a curva de entrada / saída (potencial gargalo) dos processos de chão de fábrica que não é controlada após a libertação, por exemplo, uma curva que mostra as irregularidades ao longo do tempo.

Em seguida, deve-se verificar se as irregularidades na curva do processo de conclusão é resultado de decisões de PCP sobre a capacidade. Isto poderia levar a conclusão de que as alterações na capacidade de um recurso atribuído explicam as irregularidades nos tempos de conclusão. Como tal, neste momento, o desempenho de entrega poderia ser rastreado até uma decisão de PCP específica que é o objetivo do diagnóstico. Além disso, o diagnóstico do atraso poderia incidir sobre as causas de decisões relativas à capacidade total ao longo do tempo e / ou sobre as decisões que causam o atraso devido a diferenças de capacidades dedicadas nas operações ao longo do tempo. Neste caso, se a capacidade disponível é considerada suficientemente controlada, um passo alternativo é considerar a influência das decisões priorização no atraso médio.

Deve notar-se que a influência destas decisões é muitas vezes limitada quando a curva de libertação é controlada. No entanto, as decisões de despacho que não são orientadas para a produção podem ser identificadas como causas do aumento nos tempos médios de

processamento. Quando as decisões de capacidade e de despacho não podem explicar as curvas de entrada / saída mal controlada, o desempenho deve estar sendo afetado por fatores fora do âmbito da PCP. Esses fatores fora do âmbito do PCP poderiam ser explicados como o resultado de distúrbios, tais como quebra de máquinas ou ausência de trabalhadores devido a alguma doença.

Curva descontrolada da liberação de ordem

Quando uma curva de liberação de ordem descontrolada é detectada, a mesma poderia ser o resultado da falta de controle dos processos de *pre-shop floor* de fábrica ou suas causas podem estar relacionadas com a própria decisão de liberação. Em primeiro lugar, as irregularidades na curva de liberação da ordem pode ser o resultado de um controle deficiente dos processos de *pre-shop floor*, que então não fornecem um conjunto apropriado de ordens para a escolha da liberação. Se este for o caso, o diagnóstico deve continuar através da análise das curvas dos processos de *pre shop floor* de entrada / saída. Quando uma curva de entrada / saída na fase de *pre-shop floor* é considerada como não controlada, um posterior diagnóstico pode ser realizado semelhante ao utilizado na situação em que uma curva de entrada / saída descontrolada é detectado na linha de montagem.

Em segundo lugar, se a saída dos processos de *pre-shop floor* é controlada, em seguida, irregularidades na curva de liberação de ordem deve ser atribuído à própria decisão de lançamento. As duas principais causas subjacentes relacionadas com a liberação do pedido que podem explicar as irregularidades da curva de liberação, são:

- i) As irregularidades podem ser resultados das decisões de liberação que não são destinadas ao balanceamento de cargas;
- ii) As irregularidades ser resultantes dos ajustes de valores liberados com base em desvios observados de saída planejados. Esta última situação sugere buscar novas perspectivas sobre a origem destes distúrbios de saída no chão de fábrica.

Diagnóstico orientada a variância dentro do RP

O diagnóstico relacionado a uma variação excessiva no atraso se concentra em identificar aquelas decisões que levaram ao aumento da variância do atraso entre a aceitação e a conclusão da ordem. O diagnóstico dentro desta área problemática centra-se em analisar as diferenças de variância entre a aceitação e a liberação e entre a liberação e a conclusão.

Como tal, o diagnóstico deve centrar-se nos sub-processos em que a variância de atraso aumenta significativamente. Este tipo de diagnóstico pode ser suportado por meio de *order progress diagram*.

Maior variação entre liberação de ordem e ordem de conclusão

Se a variação do atraso aumenta entre a liberação e a conclusão da ordem, o diagnóstico deve incidir sobre os processos de chão de fábrica, mais especificamente, deve ser determinado em qual dos sub-processos de chão de fábrica há aumento no atraso. Para cada um destes processos pode ser investigado se o aumento da variância é o resultado de decisões que ultrapassam o âmbito da PCP.

Maior variação entre aceitação do pedido e liberação da ordem

Se uma variação na liberação da ordem é encontrada, o diagnóstico deve apontar para detectar se esse aumento pode ser atribuído à decisão de liberação. Esta conclusão poderia ser desenhada se a variância do atraso aumenta entre o momento em que uma ordem é disponibilizada para a liberação e no momento em que a mesma é liberada. Na verdade, uma vez que esta ordem é liberada sem que as corretas decisões de liberação considerem adequadamente a sua urgência.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O *framework* desenvolvido e apresentado por Soepenberget al. (2012c) apresenta-se como uma importante ferramenta para diagnosticar os problemas de confiabilidade de entrega que são influenciados pelas decisões de Planejamento e Controle da Produção em empresa MTO. Tal fato proporciona a oportunidade de testar uma ferramenta de simples análise de dados capaz de indicar em qual área devem-se focar as análises dos atrasos: DP ou RP.

Um importante ponto a destacar é que o estudo de Soepenberget al. (2012c) apresenta-se como o único na literatura sobre um *framework* que utiliza as ferramentas de apoio ao diagnóstico de desempenho da confiabilidade de entrega com base nos conceitos de WLC. Tal fato reforçou a oportunidade de aplicar *framework* na presente pesquisa, pois a

mesma incorpora os novos avanços sobre tema em questão e, oportuniza a avaliação da aplicabilidade dessa estrutura como uma importante ferramenta para identificação e melhoria no que refere-se ao critério de desempenho confiabilidade de entrega.

Como apresentado neste capítulo o framework utiliza as ferramentas *throughput diagram* e *order progress diagram* para analisar o comportamento dos atrasos das ordens ao longo do tempo. A utilização destas ferramentas permite *insights* que auxiliam na detecção dos problemas dos atrasos influenciados pelo PCP.

O próximo capítulo visa aplicar o *framework* apresentado neste capítulo em um contexto real com o objetivo de identificar as causa dos atrasos nas ordens que são influenciados pelas decisões de PCP.

5. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DO FRAMEWORK

5.1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo deste capítulo é identificar como as decisões de PCP influenciam a confiabilidade de entrega por meio da aplicação do *framework*, descrito detalhadamente no Capítulo 4. Com o intuito de alcançar este objetivo o capítulo está estruturado da seguinte maneira: seção 5.2 Caracterização do caso, 5.3 Aplicação do *framework*, 5.4 análise dos problemas encontrados e sugestões de melhorias e, por fim, a seção 5.5 tece as considerações finais deste capítulo.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

5.2.1. Dados gerais da empresa

A empresa da presente pesquisa atua no setor aeronáutico. Sendo a mesma considerada uma das maiores companhias aéreas brasileiras com um *market share* doméstico de 38,9% e considerando as empresas aéreas brasileiras que operam voos internacionais segue com a liderança consolidada com um *market share* de 84,9% de acordo com os dados da ANAC (2014). A empresa conta com mais de 30 mil funcionários e conta com uma frota de 150 aeronaves que operam voos para 42 destinos no Brasil e 18 destinos para outros países.

A operação de mais de 150 aeronaves demanda manutenção que é indispensável e muito importante, tanto pela questão de confiabilidade quanto pela questão de disponibilidade. Devido a essa necessidade, uma das suas unidades de negócio é a MRO (*Maintenance, Repair and Overhaul*), voltada especificamente ao mercado de manutenção aeronáutica. A unidade em questão será caracterizada mais detalhadamente na seção 5.2.2.

5.2.2. Unidade de estudo

A unidade de negócio MRO, objeto de estudo desta pesquisa, encontra-se instalada no interior do Estado de São Paulo e possui cerca de 1.200 funcionários. As instalações

contam com hangares que têm a capacidade para atender simultaneamente sete aeronaves possibilitando atender mais de 120 aeronaves por ano. Dentre as atividades executadas pela MRO destacam-se:

- Manutenção de aeronaves: refere-se à manutenção dos aviões em si, com grandes inspeções, revisões, modificações e reparos estruturais e é considerada pela empresa como a atividade foco;
- Manutenção de componentes: refere-se à manutenção das partes da aeronave ou componentes que é tão complexa quanto à primeira;
- Treinamento, manutenção de linha e fornecimento de equipamentos de apoio no solo (GSE - *Ground Support Equipment*).

Apesar das atividades de manutenção de aeronaves e manutenção de componentes estarem diretamente relacionadas, as mesmas possuem especificidades que as diferenciam. A eficiência na atividade de manutenção de componentes é importante, tendo em vista que, a mesma possui o papel de apoiar a atividade foco e suprir a necessidade de manutenção de toda a frota em operação. Portanto, o alinhamento dessas atividades garante a maximização de disponibilidade das aeronaves na malha aérea como um todo.

A unidade tem incorporado a prestação de serviços para terceiros em suas atividades, pois a identificou como instrumento eficaz na redução de custos, através da diluição dos custos fixos pela utilização da capacidade ociosa dos recursos da unidade e tornou-se uma importante fonte de receita para a empresa.

A ANAC exige que toda atividade de manutenção de aeronaves e componentes seja executada por empresas homologadas (denominadas empresas de manutenção aeronáutica). A homologação deve ser obtida junto a ANAC, que emitirá um certificado conhecido como Certificado de Homologação de Empresa (CHE) específica para empresas da aviação civil. Além da homologação da ANAC, a MRO possui as seguintes certificações:

- a.) FAA (*Federal Aviation Safety Agency*): certificação da autoridade aeronáutica dos Estados Unidos
- b.) EASA (*European Aviation Safety Agency*): certificação da autoridade aeronáutica europeia.
- c.) IOSA (*IATA International Air Transport Association*) *Operational Safety Audit*): essa certificação representa o mais completo e aceito atestado internacional em segurança operacional. A empresa é certificada desde o ano de 2007.
- d.) Entre outras certificações dos países da América.

As homologações juntamente com as certificações citadas permitem que a MRO atenda as principais companhias aéreas mundiais e permite ainda, efetuar a manutenção em mais de 5.500 componentes aeronáuticos. A seguir, estão elencados, respectivamente, os fabricantes e os modelos atendidos nas atividades de manutenção da MRO:

- a) Airbus (A318, A319, A320, A321, A330);
- b) Boeing (B767)
- c) Fokker (F100)
- d) ATR (ATR42, ATR72).

5.2.2.1. Sistemas de Informações

Na MRO são utilizados quatro sistemas de informação para gerenciar suas atividades. Sendo os dois primeiros de uso em comum com sua empresa aérea operadora.

5.2.2.1.1 Sistema de Gestão da Manutenção (SGM)

O Sistema de Gestão da Manutenção (SGM) tem o objetivo de permitir um melhor gerenciamento e controle sobre todo o processo de manutenção das aeronaves e de seus componentes. O sistema registra cada aeronave pelo seu prefixo e todos os seus subsistemas e componentes são registrados como instalados naquele prefixo. As principais vantagens da estrutura desse sistema são:

- Monitoramento das horas de voo e ciclos das aeronaves: esta atividade permite que todos os componentes instalados nas aeronaves sejam monitorados permitindo gerar os planos de manutenção para as aeronaves, componentes e subsistemas;
- Visualização e monitoramento de todas as trocas de componentes e partes: possibilita o armazenamento do histórico de movimentação de determinado componente;
- Acompanhamento da ordem: acompanha todas as fases da ordem (abertura, andamento e finalização da solicitação da ordem de reparo para cada uma de suas oficinas);
- Emissão dos documentos e certificados de realização da manutenção;

- Emissão de relatórios, utilizados pela equipe de PCP e para a construção e alimentação de indicadores de desempenho.

5.2.2.1.2. Oracle®

Esse sistema é utilizado para a gestão de estoques, movimentação, requisições, baixas e transferências de materiais em todos os aeroportos (base) onde a empresa opera voos. Com o objetivo de mapear o custo das ordens de serviço realizadas nas oficinas são abertas ordens similares as do SGM, porém com números diferentes e abrangendo todas as oficinas.

Os materiais utilizados em cada componente são apontados em sua respectiva ordem juntamente com o total de horas gastas pelos mecânicos na execução dos serviços. Dessa forma, quando uma ordem é fechada no SGM a mesma é fechada *Oracle* possibilitando a contabilização de custos e geração de saldo no estoque para que o componente seja movimentado e armazenado até sua utilização.

5.2.2.1.3. Sistema de Registro de Apontamento de hora (SA):

O SA é o sistema que consiste em registrar quantas horas são gastas por mecânico em cada ordem de serviço, assim, todas as etapas das ordens são registradas, resultando no montante que é utilizado na composição dos custos da manutenção do componente.

5.2.2.1.4. Sistema de Coordenação de Operações- OSC

O OSC se assemelha com o SGM, porém é utilizado apenas para gestão, registros e documentos dos componentes de terceiros. Esse sistema é pouco utilizado, pois apresenta uma série de limitantes como a falta de geração de relatório, outro ponto da baixa utilização desse sistema é que a manutenção de terceiros representa uma pequena porcentagem do total de manutenções.

5.2.2.2. Oficinas da unidade

Os requisitos para uma oficina ser habilitada para realizar a manutenção de aeronaves são: documentação técnica necessária, manuais de manutenção, todo o ferramental e testes exigidos pelo fabricante e mão de obra capacitada e treinada para aquele componente. Diante do exposto, as oficinas são agrupadas segundo suas especialidades em determinadas

áreas e sistemas das aeronaves para a maximização dos recursos através do uso do mesmo ferramental e testes para componentes similares.

A manutenção de componentes está distribuída entre 19 oficinas, agrupadas conforme suas especialidades em determinadas áreas e sistemas das aeronaves. Na área produtiva encontram-se 18 oficinas e na área de qualidade encontra-se 1 oficina e o fluxo do modelo de manufatura adotada é o *jobshop*.

Com relação às 19 oficinas algumas possuem homologação dos componentes e as outras servem de apoio e/ou suporte (pintura, tratamentos de superfície, testes não destrutivos) e existem oficinas que realizam a fabricação de partes das aeronaves (capas e assentos de poltronas, carpetes, cortinas, placares adesivos, entre outros). O Quadro 5.1. lista as oficinas destacando em vermelho quais são as atividades majoritárias em cada uma delas.

Quadro 5.1- Relação das oficinas e suas atividades

Nome da Oficina	Componentes Homologados	Apoio	Fabricação
Componentes elétricos e Baterias	✓	✓	✓
Componentes Eletrônicos e	✓		
Computadores		✓	✓
Termoplásticos	✓	✓	✓
Tapeçaria	✓	✓	✓
Poltronas	✓	✓	✓
Laminado Decorativo	✓	✓	✓
<i>Silk Screen</i> (Placares Adesivos)	✓	✓	✓
Usinagem	✓	✓	✓
Materiais Compostos	✓	✓	✓
Estruturas	✓	✓	✓
Componentes Hidráulicos e Geradores	✓	✓	✓
Componentes Pneumáticos e Miscelâneas	✓	✓	✓
Equipamentos de Emergência	✓	✓	✓
Trem de Pouso	✓	✓	✓
Rodas e Freios	✓	✓	✓
Galvanoplastia (tratamento de superfície)	✓	✓	✓
Pintura	✓	✓	✓
Limpeza Técnica	✓	✓	✓
NDT (testes não destrutivos)	✓	✓	✓

Fonte: Adaptado de Zonta (2013)

5.2.2.3. Oficina de componentes eletrônicos e computadores: objeto de estudo

A oficina de componentes eletrônicos e computadores representa a amostra definida para este estudo de caso. A escolha encontra-se devidamente justificada na seção 1.4.3.2.1 do capítulo 1.

Esta oficina possui 24 funcionários e dois gestores. O segmento de manutenção dos componentes eletrônicos opera suas funções durante dois turnos. Já o segmento de computadores opera os três turnos que é justificada pela limitação do equipamento que realiza os testes. Os funcionários desta oficina que é homologada não realizam a manutenção de todos os componentes, pois existe a restrição de capacitação cujos motivos encontram-se citados na seção 5.2.2. A manutenção de componentes eletrônicos e computadores desmembram-se em dois segmentos elencados a seguir:

- a) Segmentos de manutenção de computadores: computadores que gerenciam dados de voo, computadores responsáveis pelo controle dos motores, computadores do sistema de navegação, ar condicionado, sistema de freios, alertas de voo, piloto automático, combustível, tráfego aéreo, dados de falhas, detecção de problemas, acionamento trem de pouso, entre outros.
- b) Segmento dos componentes eletrônicos: antenas em geral, radar meteorológico, amplificadores, toda parte do sistema de entretenimento tanto áudio quanto vídeo (fones, interfones, monitores, etc), detectores de fumaça, dispositivos de localização, gravadores de dados de voo e voz da cabine (caixas pretas), impressoras de dados da cabine, luminárias e todos os painéis de controle, instrumentos e sensores que envolvem o monitoramento de posicionamento da aeronave, temperatura dos freios, pressão dos pneus, velocidade, altitude, pressão, componente que mensura a quantidade de combustível, sistema hidráulico, rádio, entre outros.

A subseção 5.2.2.4 apresentará os processos de manutenção dos componentes desde a sua chegada até a finalização da manutenção do componente.

5.2.2.4. Processo de manutenção dos componentes

Os componentes para manutenção são recebidos nas oficinas de destino e registrados nos sistemas de informação utilizados (SGM e SA). Nesse ponto do processo, os

componentes aguardam na fila até serem iniciados e passam a ser visíveis nos relatórios do SGM. Ao iniciar o processo de manutenção é realizado o registro no SGM e no SA e o mecânico e/ou técnico responsável fazem os testes de entrada, limpeza e inspeção das condições do componente. Com relação a essa atividade são definidas duas questões: os materiais necessários para o reparo do item e a oficina destino

Caso o componente não necessite de materiais para execução da manutenção o mesmo segue para a fase montagem e/ou manutenção e/ou testes. Porém, se os materiais forem necessários o responsável irá listar as peças e o responsável pelo Planejamento e Controle Operacional (PCO) na determinada oficina abrirá uma requisição no sistema *Oracle*, onde será verificada a disponibilidade. Se todos os materiais estiverem disponíveis, a área de Suprimentos (estoque) irá fazer a separação, dar baixa no sistema *Oracle* e entregar ao solicitante. Se houver a falta de materiais, a ordem de serviço será paralisada no SA, o status dela será alterado para *Holding* no SGM e os materiais pendentes serão informados no *Oracle*, mais precisamente em um módulo chamado *Quality*, onde o Planejamento de Materiais (PM) passará a visualizar que há um item em oficina com falta de material e precisa ser retirado.

Após retirar o item, o PM estoca o mesmo na área apropriada, verifica a situação dos pedidos em andamento ou uma nova compra do material faltante e monitora sua reposição até estar disponível em estoque, onde será requisitado e vinculado ao respectivo componente, que, por sua vez, será retirado do status *Holding* e devolvido a respectiva oficina para que seja terminado.

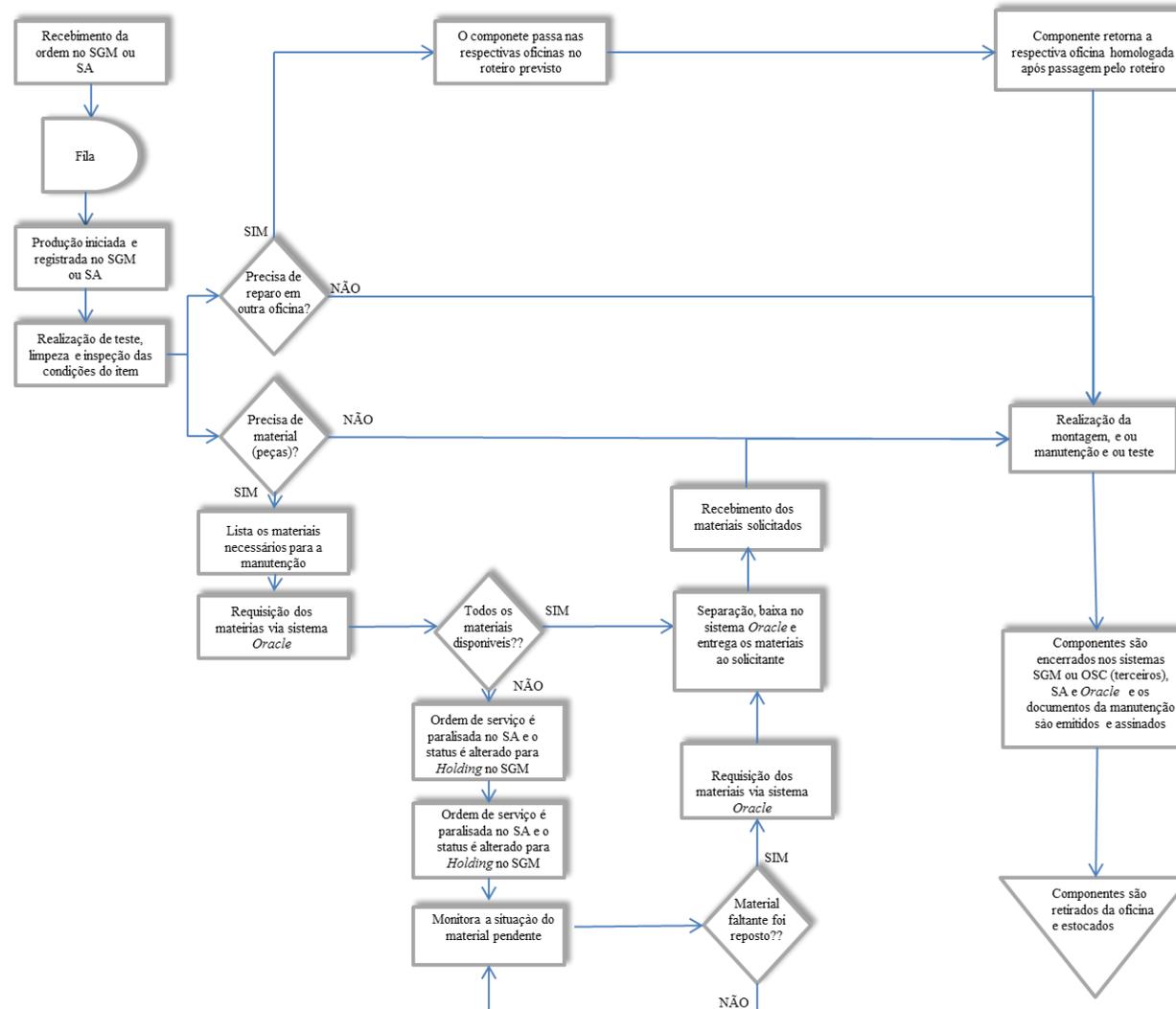
No caso do componente não precisar de reparo em outras oficinas e o mecânico e/ou técnico já tenha em mãos o material disponível, ele já segue direto para a fase montagem e/ou manutenção e/ou testes. Caso seja necessário o reparo em outras oficinas, o componente e/ou suas subpartes passarão pelas oficinas de apoio (apresentadas no Quadro 5.1) designadas no respectivo roteiro até retornar a oficina de origem. Os roteiros não são fixos, assim como a quantidade de oficinas em que cada ordem passará, evidenciando o fluxo do tipo *job shop*.

Após retornar das oficinas de apoio e com os materiais disponíveis, o componente seguirá para a fase montagem e/ou manutenção e/ou testes. Após o término da manutenção, a ordem do componente será encerrada nos sistemas SA, *Oracle* e SGM (ou OSC caso seja de uma empresa aérea terceira) onde serão emitidos os documentos e certificados cabíveis a manutenção realizada e assinados pelos responsáveis pelo serviço.

Posteriormente, os componentes são retirados pela área de Suprimentos e enviados ao estoque centralizador em Congonhas ou se necessário, podem ser estocados localmente

para atender as aeronaves em manutenção nos hangares locais. Para melhor visualização das etapas descritas acima, a Figura 5.1 apresentada a seguir é uma representação do fluxo no processo de manutenção dos componentes nas oficinas descrito acima.

Figura 5.1. Esquema simplificado do processo de manutenção dos componentes nas oficinas

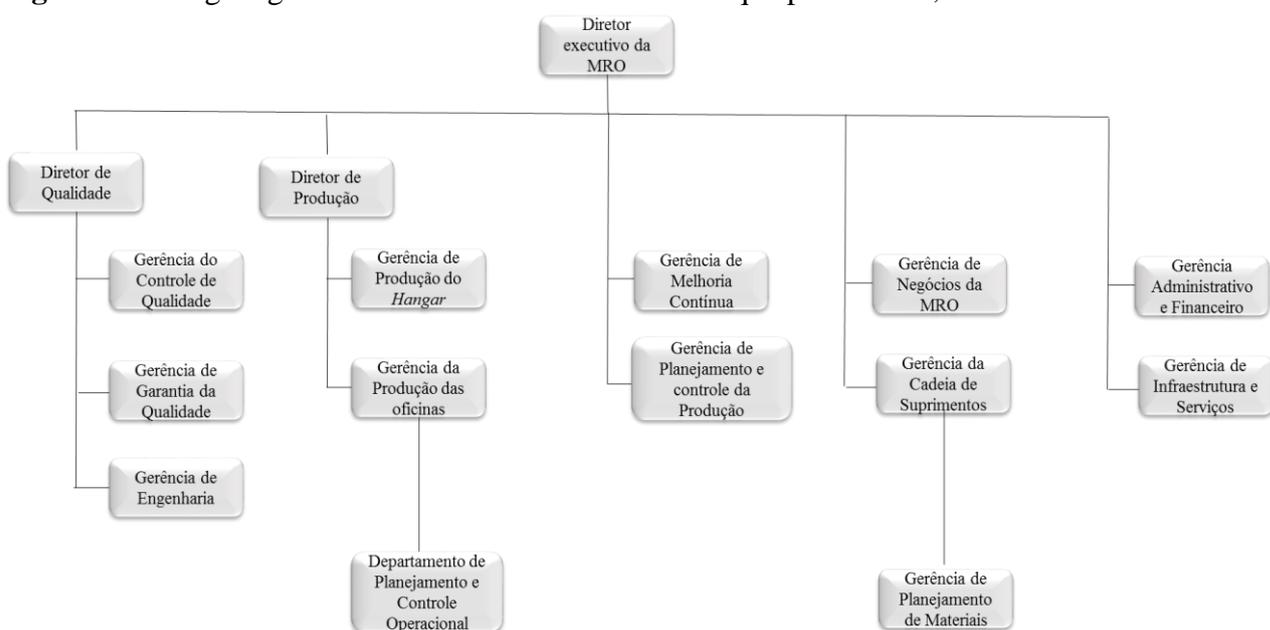


Fonte: Elaborado pela autora

5.2.2.4. Estrutura do Planejamento e Controle da Unidade

O organograma da MRO está representado na Figura 5.2 onde é possível visualizar que a Gerência de Planejamento e Controle da Produção (PCP) não está vinculada ao Planejamento de Materiais (PM) e nem ao Planejamento e Controle Operacional (PCO), as mesmas estão alocadas, respectivamente, na gerência de Cadeia de Suprimentos e na Gerência de Produção das Oficinas.

Figura 5.2 - Organograma resumido da MRO com destaque para o PCP, o PCO e o PM



Fonte: Adaptado de Zonta (2013)

As atividades referentes ao planejamento tanto no nível gerencial (PCP) quanto nos níveis departamentais (PCO e PM) estão apresentadas detalhadamente a seguir:

5.2.2.3.1. Planejamento e Controle da Produção (PCP)

As principais atividades são: atualização e divulgação dos indicadores de produção das oficinas, realizar análises específicas por famílias quando necessário, estimar a previsão de demanda mensal agregada para o horizonte de um ano com base no histórico de cada família de componentes, porém essa demanda ainda não é utilizada pelo PM e informar à

produção com relação às entregas previstas para as próximas semanas que são calculadas com base nos TAT (*Turn Around Time*) contratados de cada família.

5.2.2.3.2. Planejamento de Materiais (PM)

A garantia de disponibilidade de materiais para a realização das manutenções nas oficinas é a principal atividade do PM. A realização do planejamento das reposições dos materiais nos estoques baseia-se na previsão de demanda desagregada e combinada entre histórico de manutenção e as previsões de remoções dos itens *hart time* desagregada das peças dos componentes com base no *breakdown* de cada componente.

O termo *breakdown* utilizado na empresa se refere à lista de materiais que, por sua vez, é chamada de BOM (*Bill of material*). Portanto, *breakdown* é uma lista estruturada de todas as peças e suas quantidades necessárias para compor uma unidade de determinado componente, a grande diferença é que o *breakdown* traz o índice/ porcentagem de troca de cada uma das peças que compõem o componente.

5.2.2.3.3. Planejamento e Controle Operacional (PCO)

As principais atividades do PCO são: controlar e monitorar a produção nas oficinas com a finalidade de garantir que os componentes sejam entregues no prazo contratado (TAT), realizar apontamentos ligados à produção (requisitar os materiais necessários para a manutenção dos componentes, receber ordens, suspender ordens, alterar a situação das ordens e concluir as ordens de serviço nos sistemas de informação utilizado) e acompanhar o andamento das ordens através dos roteiros de produção visto que o sistema utilizado não contempla essa opção.

5.2.2.5. Processo de determinação do prazo de entrega

A definição dos prazos depende do histórico e das particularidades das ordens executadas para cada família de componentes. O prazo contratado para a conclusão da ordem, nesse estudo é denominado TAT (*Turn Around Time*) ou tempo de permanência (nomenclatura utilizada na manutenção) e possui valores fixos. Os principais motivos pelos quais se trabalha com valores fixos (TAT) são:

1. Incerteza da demanda e os altos custos dos recursos (principalmente o recurso mão de obra);
2. Restrições de capacitação, pois cada oficina possui um número restrito de mão de obra que está ligado a restrições de capacitação, ou seja, nem todos os mecânicos e/ou técnicos disponíveis podem trabalhar em todos os componentes. Por exemplo, os mecânicos mais experientes trabalham em componentes com maior grau de complexidade ou que exigem CHT (Carteira de Habilitação Técnica) emitida pela ANAC.

Para a grande maioria dos componentes é o TAT quem rege as datas de entrega, porém existem algumas situações em que os componentes necessitam ser entregues antes do prazo contratado, que são as seguintes:

- **AOG (*Aircraft On Ground*):** a aeronave está parada e impossibilitada de voar devido à necessidade de um componente imprescindível. É o grau de prioridade mais alto, porém com um índice de ocorrência muito pequena, para esses casos os componentes são tratados como prioridade total, tornando o prazo contratado inválido.
- **Ação Corretiva Retardada (ACR):** quando detectado um problema em determinado componente que não afeta a segurança do voo, sua troca pode ser efetuada, posteriormente, dentro de um prazo limite estipulada pela ANAC, porém dependendo do componente a aeronave tem que voar com restrição de capacidade de passageiros. É uma prioridade média com ocorrência moderada, e se necessário os componentes também são priorizados, tornando o prazo contratado inválido.

Todos os componentes que estão sem saldo em estoque são candidatos a se tornarem um AOG ou uma ACR, assim os componentes que estão em oficinas são priorizados a pedido da empresa aérea operadora para repor o estoque e evitar que uma aeronave fique parada ou tenha que voar com restrição.

5.2.2.6. Origem da demanda dos componentes

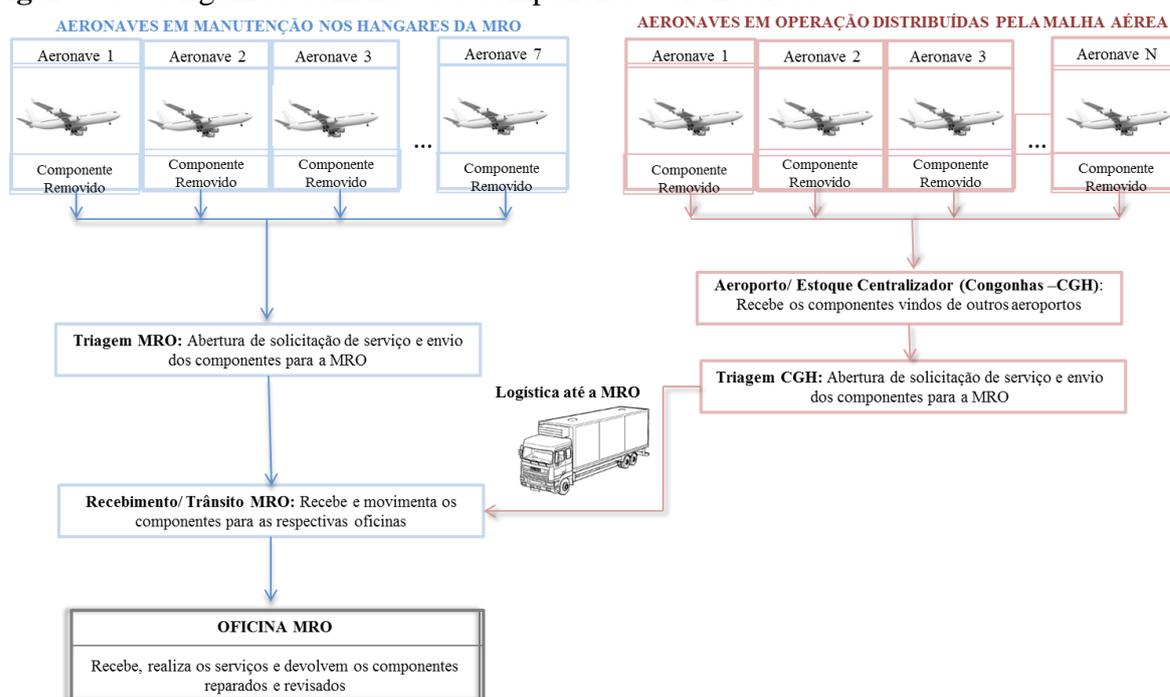
Ao referir-se a origem da demanda dos componentes aeronáuticos, primeiramente, é fundamental compreender a relação dos tipos de manutenção pelas quais os mesmos são submetidos. A seguir serão apresentados os tipos de manutenção e um breve detalhamento de como as mesmas são consideradas na empresa:

- **Manutenção preventiva:** é a prática de substituir componentes ou subsistemas antes da falha, normalmente com frequência pré-determinada (*hard time*) ou em virtude de inspeção e teste. O objetivo é manter a operação contínua da aeronave;

- Manutenção corretiva: é aquela que ocorre após a identificação e diagnóstico de um problema (*condition monitoring*). Durante este diagnóstico os técnicos de manutenção têm que identificar as partes que falharam e executar as respectivas ações de reparo
- Manutenção preditiva: considera o contínuo acompanhamento dos limites de operação de um dado componente ou subsistema (*on-condition*). Nesse tipo de manutenção é verificada a tendência para a ocorrência de uma falha funcional do componente ou subsistema.

A demanda de componentes removidos para a manutenção da MRO estudada pode ser originada por aeronaves em manutenção nos hangares locais ou pela substituição de componentes de aeronaves em operação na malha aérea. A figura 5.3 ilustra simplificada o fluxo do componente removido para a manutenção até as oficinas.

Figura 5.3 - Origem da demanda dos componentes aeronáuticos



Fonte: Adaptado de Zonta (2013)

A demanda de componentes proveniente das aeronaves em manutenção nos hangares locais é previsível em curto prazo, entre uma a duas semanas antes da chegada da aeronave, nesse período o plano de manutenção é definido. Entretanto, apenas a manutenção dos componentes que já possuem tarefas de manutenção programadas (*hard time* e *on-condition*) é previsível. No que refere à manutenção dos demais componentes a mesma surge durante a execução dos testes em toda a aeronave. Durante os testes, os componentes com problemas

são detectados (*condition monitoring* e *on-condition*) e os mesmos são removidos para serem testados, reparados ou revisados pelas respectivas oficinas capacitadas. Sendo assim, os componentes que apresentam anomalias são movimentados fisicamente até suas respectivas oficinas (esse processo ocorre após o setor de triagem realizar a abertura da solicitação de serviço dos componentes no sistema de informação).

A substituição de peças de aeronaves que estão em operação na malha aérea é responsável pela grande parte da demanda de componentes que chega até as oficinas. Em contrapartida, é a parte menos previsível, pois o grau de incerteza associado é elevado com exceção dos itens *hard time* que são previsíveis num horizonte de até três meses. Nesse caso, os componentes removidos para a manutenção na malha aérea são enviados do aeroporto onde foi realizada a troca para um aeroporto/estoque centralizador em São Paulo (Congonhas - CGH) que faz a abertura das solicitações de serviço dos componentes, no sistema de informação utilizado (SGM) e o envio dos componentes para o MRO, onde são distribuídas para as respectivas oficinas.

A próxima seção apresentará a aplicação do *framework* com base nos dados da oficina de componentes eletrônicos e computadores com a finalidade de analisar como as decisões de decisões de PCP influenciam nos atrasos (positivos e negativos) e, por fim, propor sugestões de melhoria.

5.3. APLICAÇÃO DO *FRAMEWORK* NA OFICINA DE COMPUTADORES E NA OFICINA DE COMPONENTES ELETRÔNICOS

Esta subseção destina-se a aplicação do *framework* na oficina de componentes eletrônicos e computadores. A mesma está dividida na prática em oficina de computadores e oficina de componentes eletrônicos

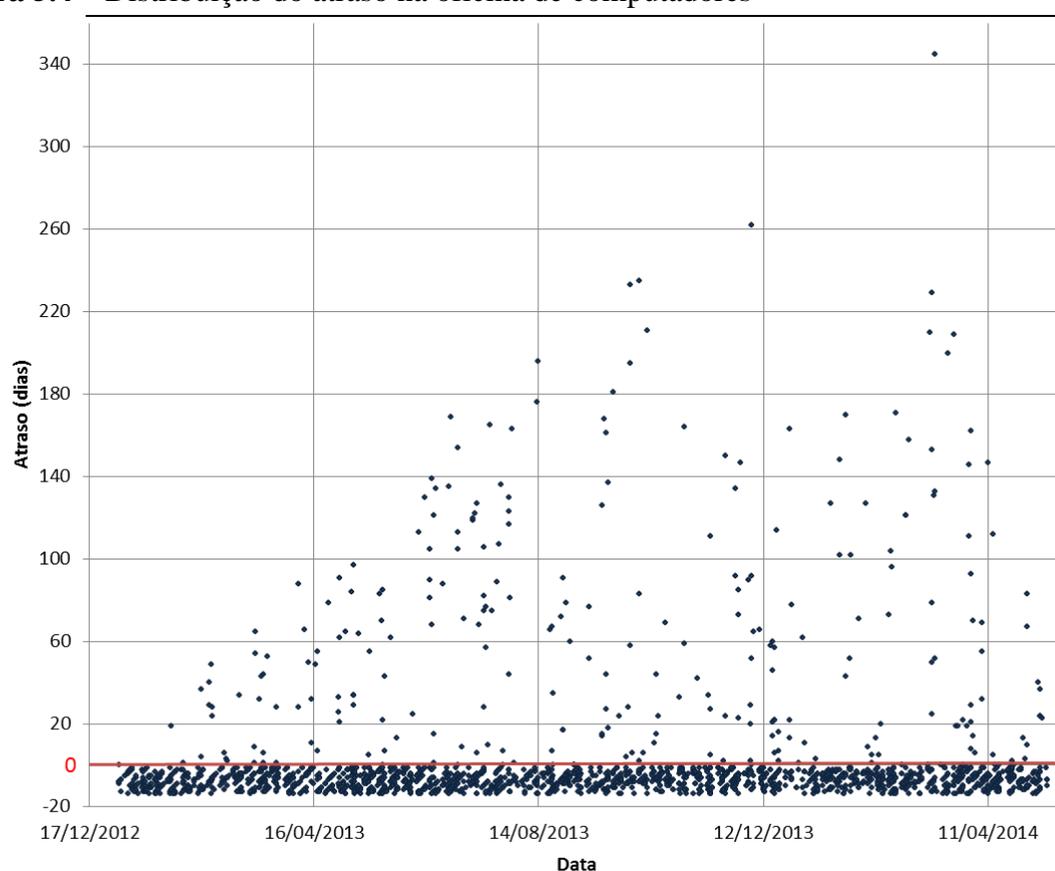
5.3.1. Oficina de computadores

A oficina de computadores é responsável pela manutenção de 228 *part numbers*, ou seja, realiza manutenção em 228 diferentes peças e opera em três turnos, devida à restrição de equipamento para a realização de um teste específico. De acordo com Soepenberget al. (2012c), as análises dos atrasos seguem os seguinte passos:

Passo 1: Análise da distribuição do atraso

Este passo consiste na determinação da porcentagem de pedidos entregues atrasados no período que compreende o mês de janeiro de 2013 e estende-se até maio de 2014. Para atender o passo 1, realizou-se análise a partir dados quantitativos das ordens referentes às datas de conclusão estimada e as datas de conclusão real das mesmas. Com base nos dados dos atrasos das 2.496 ordens plotou-se uma distribuição do atraso, a qual pode ser visualizada na através da Figura 5.4.

Figura 5.4 – Distribuição do atraso na oficina de computadores

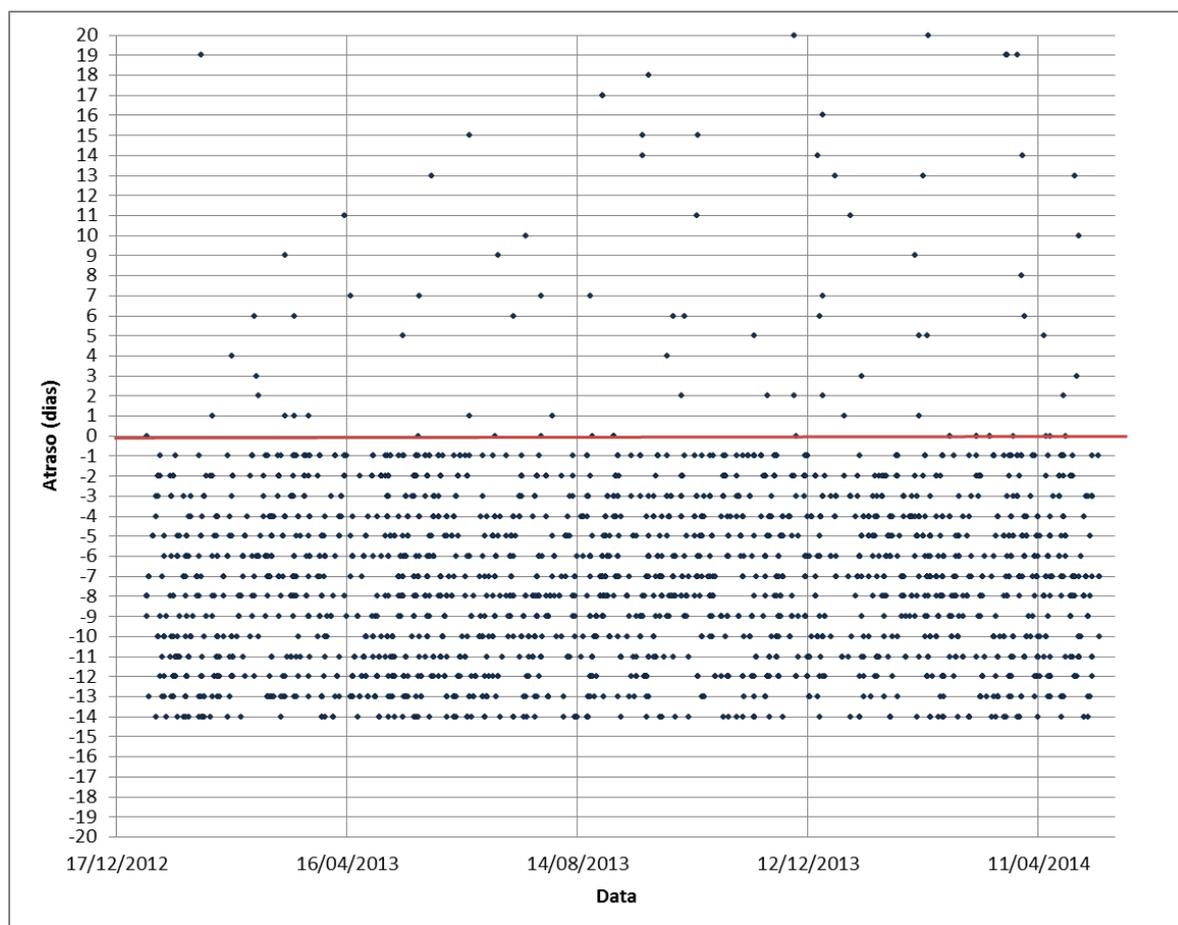


Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 5.4 apresenta a distribuição do atraso ao longo do tempo com o objetivo de entender o comportamento dos atrasos no horizonte de tempo analisado. A visualização da Figura 5.4 permite verificar que a maioria das ordens é concluída antes da data estimada (pontos localizados abaixo de zero no eixo Atraso (dias)) e as ordens concluídas após o prazo estabelecido estão dispersas em um grande intervalo de atraso (de 1 à 345 dias).

A Figura 5.5 ilustra a distribuição do atraso em um intervalo menor (-20 a 20 dias) para melhor visualização do comportamento dos atrasos em relação ao horizonte de tempo analisado.

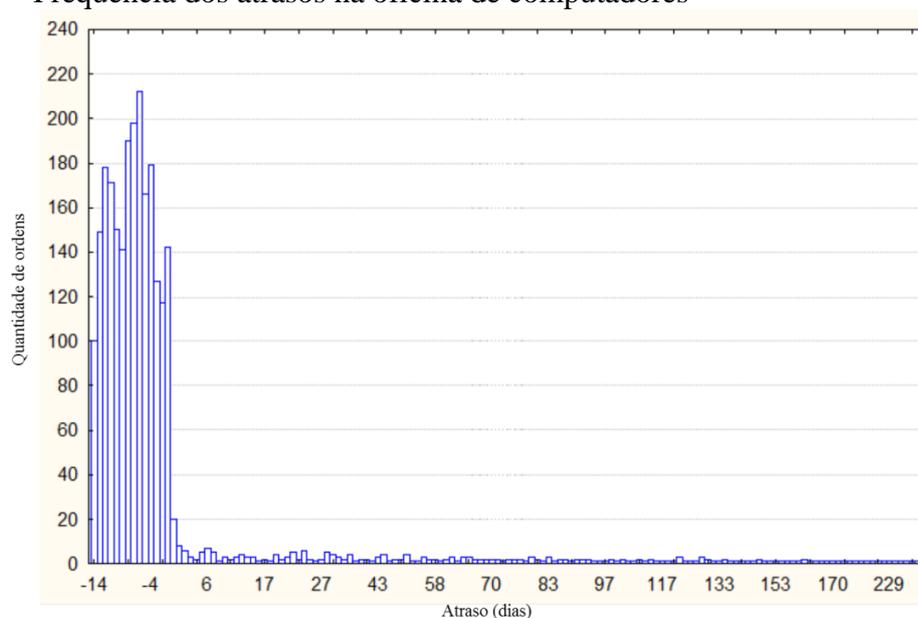
Figura 5.5. Distribuição do atraso na oficina de computadores com escala (-20 a 20 dias)



Fonte: Elaborado pela autora

Nota-se na Figura 5.5 que as ordens concluídas antes do prazo estabelecido encontram-se limitadas no intervalo de -14 a -1. Portanto, as maiores antecipações de ordens na oficina são de 14 dias.

No que diz respeito às entregas concluídas após o prazo estabelecido, as mesmas não apresentam um comportamento padrão. A Figura 5.6 apresenta a frequência dos atrasos em relação ao número de ordens.

Figura 5.6 – Frequência dos atrasos na oficina de computadores

Fonte: Elaborado pela autora

O histograma representado pela Figura 5.6 relaciona a quantidade de ordens e o atraso das mesmas. Como é possível visualizar a maior quantidade de ordens se concentra no intervalo de -14 a 0 dias, ou seja, a maior parte das ordens são concluídas antes do prazo pré-estabelecido. A Tabela 5.1 apresenta um breve resumo das análises dos atrasos através da estatística descritiva e a Tabela 5.2 apresenta uma análise detalhada mês a mês do período analisado.

Tabela 5.1 – Resumo das análises dos atrasos da oficina de computadores

Análise Estatística Descritiva	
Média (dias)	0,25
Desvio Padrão (dias)	29,83
Variância da Amostra (dias)	889,83
Atraso mínimo (dias)	-14
Atraso máximo (dias)	345
Quantidade de Ordens	2.496
Ordens concluídas após o prazo estabelecido	256
Ordens concluídas antes o prazo estabelecido	2.220
Ordens concluídas no prazo	20
Percentual de ordens concluídas após o prazo	10,26%
Percentual de Ordens concluídas antes do prazo	88,94%
Percentual de ordens concluídas no prazo	0,80%

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 5.2 - Resumo das análises dos meses de janeiro de 2013 a maio de 2014 da oficina de computadores

Mês /Ano	Número de ordens analisadas	Média de atrasos	Desvio padrão	Variância	Maior atraso	Menor atraso	N. ordens no prazo	N. de ordens concluídas antes do prazo	N. de ordens concluídas após o prazo	% ordens concluídas no prazo	% ordens concluídas antes do prazo	% de ordens concluídas após o prazo
jan/13	132	-8,43	4,42	19,51	19	-14	0	131	1	0,00%	99,24%	0,76%
fev/13	109	-5,18	10,71	114,67	49	-14	0	99	10	0,00%	90,83%	9,17%
mar/13	156	-3,73	11,53	133,03	65	-14	0	142	14	0,00%	91,03%	8,97%
abr/13	135	-2,73	17,99	323,76	88	-14	0	120	15	0,00%	88,89%	11,11%
mai/13	210	-3,3	16,78	281,66	85	-14	1	192	17	0,48%	91,43%	8,10%
jun/13	148	0,89	33,35	1.112,52	169	-14	0	133	15	0,00%	89,86%	10,14%
jul/13	170	8,64	40,24	1.619,47	163	-14	2	138	30	1,18%	81,18%	17,65%
ago/13	148	-2,37	22,45	503,78	176	-14	1	134	13	0,68%	90,54%	8,78%
set/13	146	-0,68	22,47	754,51	168	-14	4	130	12	2,74%	89,04%	8,22%
out/13	151	2,51	35,83	1.284,27	235	-14	0	135	16	0,00%	89,40%	10,60%
nov/13	164	-1,42	23,15	535,96	147	-14	0	150	14	0,00%	91,46%	8,54%
dez/13	129	3,44	27,25	742,64	163	-14	1	101	27	0,78%	78,29%	20,93%
jan/14	137	-1,37	23,45	550,04	148	-14	0	127	10	0,00%	92,70%	7,30%
fev/14	165	-1,05	26,11	681,78	158	-14	2	148	15	1,21%	89,70%	9,09%
mar/14	155	3,64	41,94	1.758,61	345	-14	6	129	20	3,87%	83,23%	12,90%
abr/14	188	-1,61	23,52	553,11	147	-14	3	167	18	1,60%	88,83%	9,57%
mai/14	53	-2,81	15,69	245,96	67	-14	0	44	9	0,00%	83,02%	16,98%
Média	147						1	131	15			
Total	2.496						20	2.220	256	0,80%	88,94%	10,26%

Fonte: Elaborado pela autora

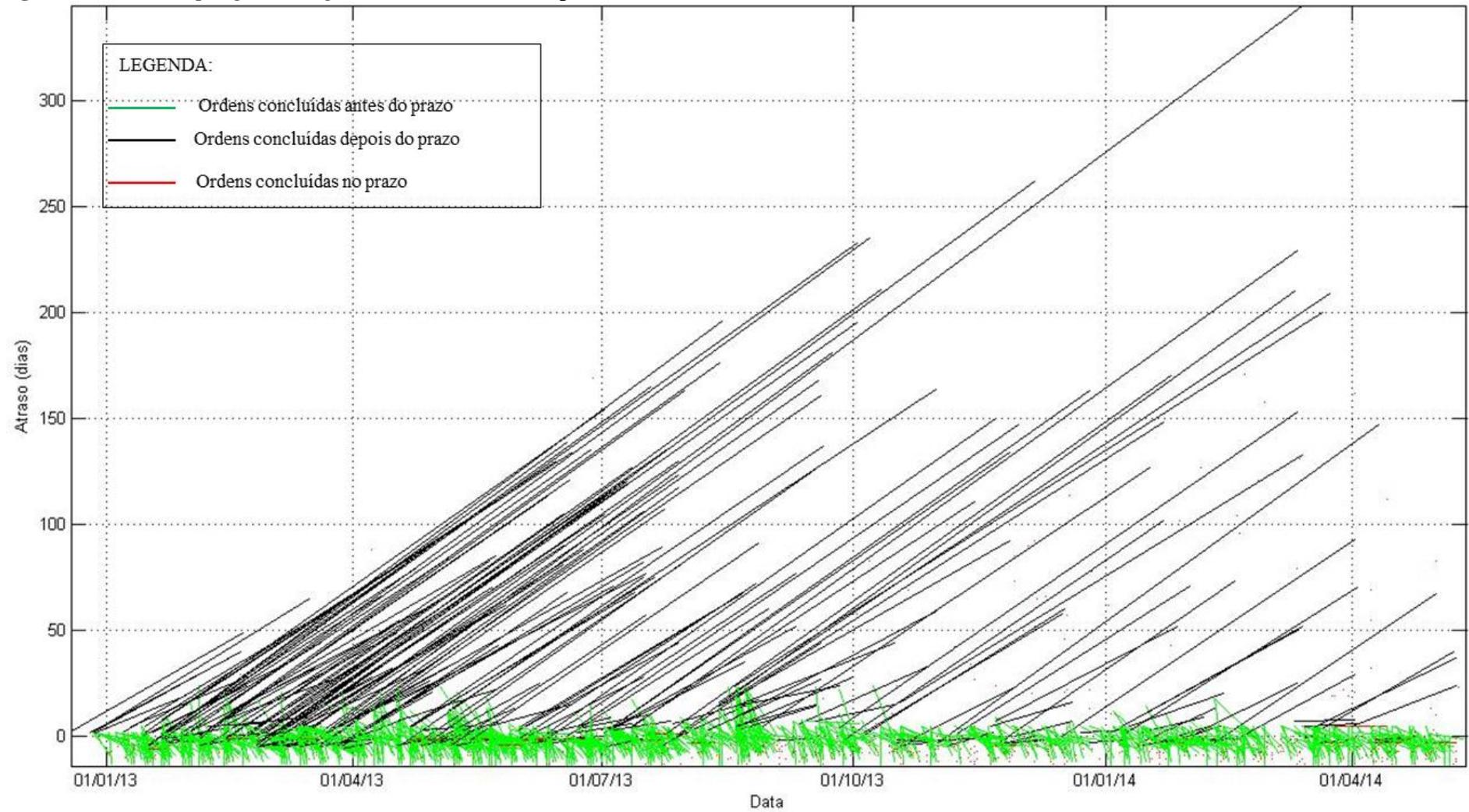
A Tabela 5.2 permite uma análise mensal dos atrasos. O mês de janeiro de 2013 apresentou o menor percentual de conclusão de ordens após o prazo estabelecido (0,76%), em contraste, o mês de dezembro de 2013 apresentou o maior percentual de ordens concluídas após o prazo estabelecido (20,93%).

A partir da Tabela 5.1 é possível verificar que o valor da média dos atrasos das 2.496 ordens é de 0,25 dias e o desvio padrão é de 29,83 dias. Dessa forma, conclui-se que os atrasos das ordens são orientados pela variância.

O primeiro passo do *framework* consiste em analisar a distribuição do atraso a qual objetiva verificar se o foco está na variância do atraso ou na média do atraso. De acordo com o *framework*, se o atraso está sendo orientado pela variância, deve-se construir o *order progress diagram*. Tal gráfico permite relacionar as datas de chegada e as datas de conclusão aos respectivos atrasos das mesmas.

A Figura 5.7 é o *order progress diagram* da oficina de computadores. As linhas em verde representam as ordens concluídas antes do prazo pré-estabelecido (menor que 0), as linhas em preto representam as ordens concluídas depois do prazo pré-estabelecido (maiores que 0) e as linhas em vermelho representam as ordens concluídas no prazo (igual a 0).

Figura 5.7 – *Order progress diagram* da oficina de computadores



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 5.7 possibilita a análise do comportamento das ordens em relação e seus respectivos atrasos. No entanto, a grande quantidade de ordens dificulta a visualização das mesmas. Apesar das linhas em preto estarem mais evidentes, estas representam apenas 10,26% do total das ordens o que justifica este fato é a grande amplitude dos atrasos (1 a 345 dias).

As linhas em vermelho que representam as ordens concluídas pontualmente, ou seja, a diferença entre a data de conclusão real e a data de conclusão planejada é igual à zero. Entretanto, as mesmas são difíceis de serem detectadas, pois representam apenas 0,80% do total das ordens.

As linhas em verde representam 88,94% do total das ordens, isto é, aproximadamente 89% das ordens são concluídas antes do prazo pré-estabelecido. A amplitude máxima dessas linhas é de 15 dias o que graficamente reflete um aglomerado de linhas que muitas vezes encontram-se sobrepostas. O próximo passo consiste em criar subconjuntos o que permite uma análise da diferença entre as mesmas.

Passo2: Análise das diferenças entre as ordens do subconjunto

O segundo passo do *framework* consiste no agrupamento das ordens definidas de acordo com um conjunto de semelhanças para realizar as análises das diferenças entre o subconjunto de ordens.

A partir das Figuras 5.5 e 5.7 que representam, respectivamente, a distribuição do atraso e o comportamento das ordens em relação aos atrasos, concluiu-se que:

- (i) A grande maioria das ordens concluídas após o prazo pré-estabelecido apresentam uma diferença entre mínimo e máximo muito grande, isto é, a dispersão dos atrasos das ordens é muito grande. Como supracitado, as ordens concluídas depois do prazo pré-estabelecido variam de 1 dia a 345 dias;
- (ii) A maioria das ordens é concluída antes do prazo pré-estabelecido, como observado no Passo1. As mesmas representam 88,94% do total das ordens, ou seja, 2.220 ordens do total de 2.496 são concluídas antecipadamente. Estes valores estão apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2.

Dessa forma, foram criados dois *subsets* dessa oficina: ordens concluídas antes do prazo pré-estabelecido e ordens concluídas após o prazo pré-estabelecido. A partir desse ponto, as ordens concluídas antes do prazo pré-estabelecido são denominados de atrasos

negativos e as ordens concluídas após o prazo pré-estabelecido são denominados de atrasos positivos. As nomenclaturas atrasos positivos e atrasos negativos são apresentadas e utilizadas por Soepenber (2012 c) para diferenciar esses atrasos.

A partir do indicado no item (i), resolveu-se estudar mais a fundo a questão das ordens com atrasos positivos. Por meio da análise dos relatórios de produção e de entrevistas, constatou-se que essa dispersão é ocasionada pela falta de peças e por outros motivos. A Tabela 5.3 apresenta resumidamente o levantamento das causas dos atrasos positivos.

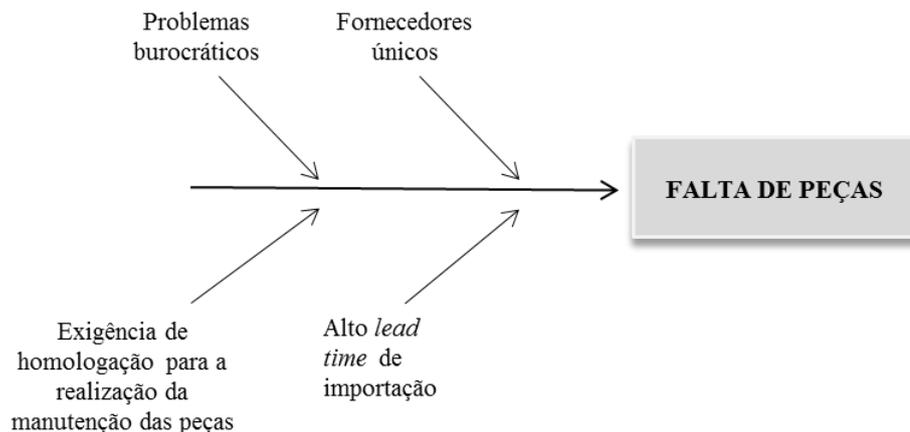
Tabela 5.3- Análise dos atrasos positivos da oficina de computadores

Análises dos atrasos na oficina de computadores				
	Quantidade de ordens	Percentual (%)	Valor máximo (dias)	Valor mínimo (dias)
Atrasos em 2013	229	89,45%	262	1
Atrasos em 2014	27	10,55%	345	1
Atrasos no períodos analisado (2013-2014)	256	100,00%	345	1
Atrasos por falta de peças em 2013	204	89,08%	262	1
Atrasos por outros motivos em 2013	25	10,92%	235	1
Atrasos por falta de peças em 2014	21	77,78%	345	1
Atrasos por outros motivos em 2014	6	89,08%	210	5
Atrasos por falta de peças 2013-2014	225	87,89%	345	1
Atrasos por outros motivos em 2013-2014	31	12,11%	235	1

Fonte: Elaborada pela autora

A partir da análise da Tabela 5.3 é possível constatar que 87,89 % dos atrasos são ocasionados pela falta de peças e 12,11% dos atrasos é resultante de outros motivos. A relação das peças, a frequência e os atrasos encontram-se na Tabela C1 do Apêndice C.

Com o objetivo de levantar as causas da falta de peças e outros motivos foi realizada uma análise aprofundada desses dois problemas através de entrevista com o analista de PCP da oficina e foram levantadas as seguintes causas ilustradas nas Figuras 5.8 e 5.9, respectivamente, causas da falta de peças e causa e outros motivos.

Figura 5.8 - Causas da falta de peças na oficina de computadores

Fonte: Elaborada pela autora

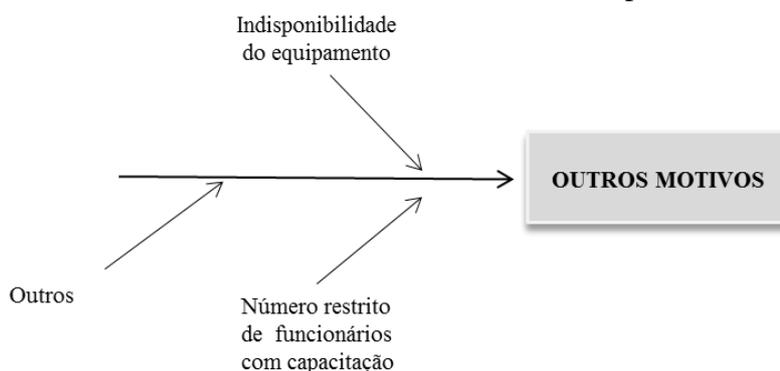
As causas levantadas da falta de peças se baseiam em quatro pontos principais: homologação das peças para a realização de manutenção, fornecedores únicos, alto *lead time* de importação e problemas burocráticos. Tais causas encontram-se descritas a seguir:

- Problemas burocráticos: somado ao alto *lead time*, a burocratização para a importação e exportação das peças é outro fator que impacta diretamente no tempo demasiadamente longo para a reposição da peça faltante (alfandega e legislação).
- Homologação da manutenção: a empresa é homologada por diversos órgãos de certificações, como citadas anteriormente. No entanto, muitas vezes a empresa não possui certificação para realizar determinada manutenção de um componente específico. Dessa forma, o componente é enviado para o fornecedor para que a manutenção seja realizada.
- Alto *lead time* de importação: No caso da oficina de computadores, existe a necessidade de reparar suas placas e circuitos eletrônicos. Porém a empresa não possui homologação para isto e nem possui material disponível. Nesses casos devido ao alto valor dessas peças é necessário exportá-las para o fabricante do equipamento para fazer esse reparo e devolver a peça para montagem do equipamento, testes e liberação. O período para exportar, reparar e importar as peças é grande o que gera os atrasos nas entregas. Entretanto, ocorre que ao enviar a peça para o fabricante para a realização do reparo, o mesmo ao analisar o estado da peça e, algumas vezes ocorre do fabricante condenar a peça. Para este caso, é necessário que a oficina abra

uma solicitação de compra e todo o processo de importação da nova peça seja realizado o que resulta no aumento do atraso.

- Fornecedores únicos: Devida a enorme exigência dos órgãos reguladores, muitas peças possuem apenas um fornecedor o que acarreta que o mesmo exerce um grande poder sobre a empresa reduzindo assim o poder de negociação quanto aos prazos e impossibilitando-a de desenvolver novos fornecedores.

Figura 5.9 - Causas dos outros motivos de atraso na oficina de computadores



Fonte: Elaborada pela autora

As causas levantadas dos outros motivos de atraso são: a indisponibilidade do equipamento e número restrito de funcionários com capacitação para a realização da manutenção. Tais causas encontram-se descritas a seguir:

- Indisponibilidade do equipamento: O equipamento que realiza um teste específico nos computadores é limitado a apenas um equipamento e, por vezes, o mesmo tem uma demanda maior que sua capacidade. Portanto, as peças ficam em uma espécie de fila o que leva um atraso na manutenção das peças.
- Número restrito de funcionários com capacitação: todos os funcionários da oficina não possuem capacitação para realizar a manutenção em todos os componentes que ela é homologada. Portanto, tal restrição de capacitação muitas vezes é responsável pelo atraso.
- Outros: apresenta outros motivos pelos atrasos, mas não possível discriminá-los.

Ao realizar o levantamento das causas de falta de peças, notou-se que os atrasos por este motivo não poderiam ser explorados mais, tendo em vista que, as causas observadas não

eram de responsabilidade somente das decisões da empresa, mas um conjunto de fatores externos que influenciam diretamente nesses problemas. Dessa forma, a empresa não possuiu controle sobre essa variabilidade de tempo e de fornecedores.

A partir do indicado no item (ii), resolveu-se estudar mais a fundo a questão das ordens com atrasos negativos. A partir dos relatórios de produção calculou-se o resumo da estatística descritiva e encontra-se, resumidamente, na Tabela 5.4.

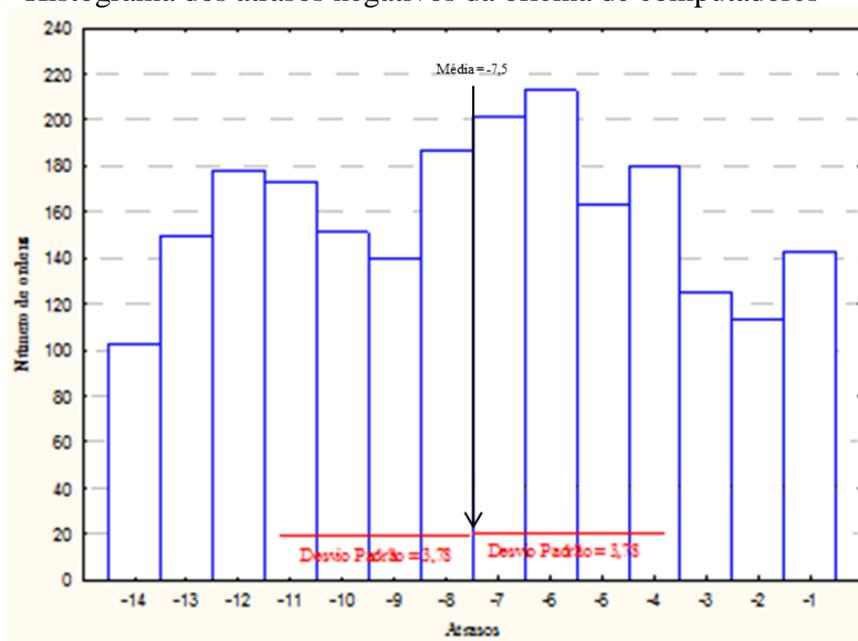
Tabela 5.4 - Resumo das análises dos atrasos negativos da oficina de computadores

Análise Estatística Descritiva	
Média (dias)	-7,50
Desvio Padrão (dias)	3,78
Variância da Amostra (dias)	14,29
Atraso mínimo (dias)	-14
Atraso máximo (dias)	-1
Quantidade de Ordens	2.220

Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 5.10 apresenta a frequência dos atrasos negativos e a relação do desvio padrão e da média nos mesmos. A seta da média que parte da direita para esquerda evidencia que as análises são realizadas partindo-se do atraso -1 em direção ao -14 dias.

Figura 5.10 – Histograma dos atrasos negativos da oficina de computadores



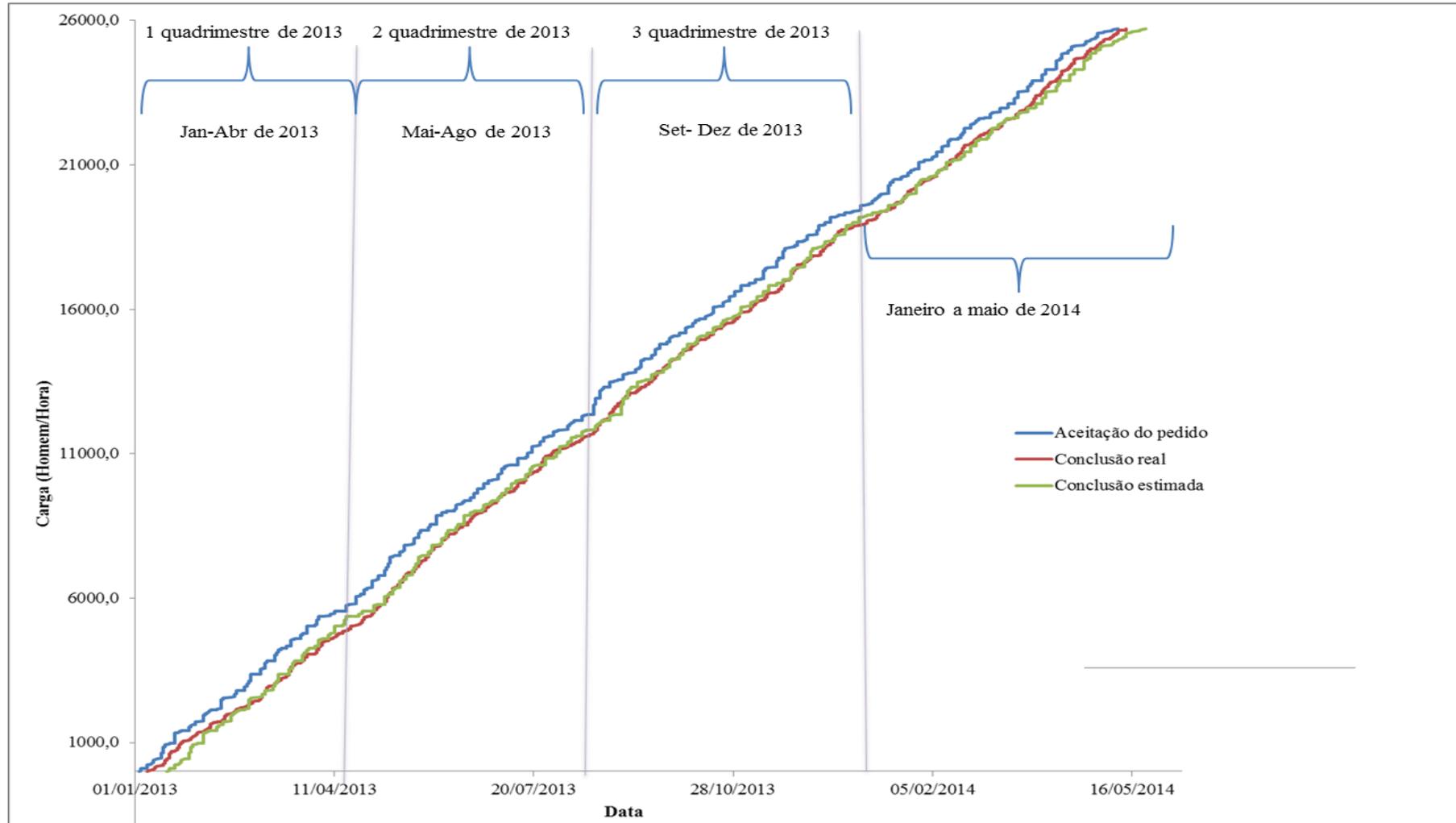
Fonte: Elaborado pela autora

A partir da Tabela 5.4 é possível verificar que o valor da média dos atrasos das 2.220 ordens é de -7,50 dias e o desvio padrão é de 3,78 dias. Dessa forma, conclui-se que os atrasos das ordens são orientados pela média, pois o módulo da média é maior que o módulo do desvio padrão como se pode observar na Figura 5.10. De acordo com o *framework*, se o atraso está sendo orientado pela média, deve-se construir o *throughput diagram* representado pela Figura 5.11. Tal gráfico permite relacionar as datas de chegada, as datas de conclusão estimada e as datas de conclusão real à respectiva carga de trabalho.

Como as curvas de conclusão estimada e conclusão real não seguem um comportamento padrão ao longo do tempo, ou seja, há momentos em que a curva de conclusão real se encontra acima (janeiro-fevereiro de 2013 e março- maio de 2014), a Figura 5.11 foi dividida em quatro períodos como indicada na mesma. A divisão nesses quatro períodos originaram as Figura 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15. Estas figuras representam, respectivamente, o primeiro quadrimestre de 2013, segundo quadrimestre de 2013, terceiro quadrimestre de 2013 e o período que compreende janeiro a maio de 2014.

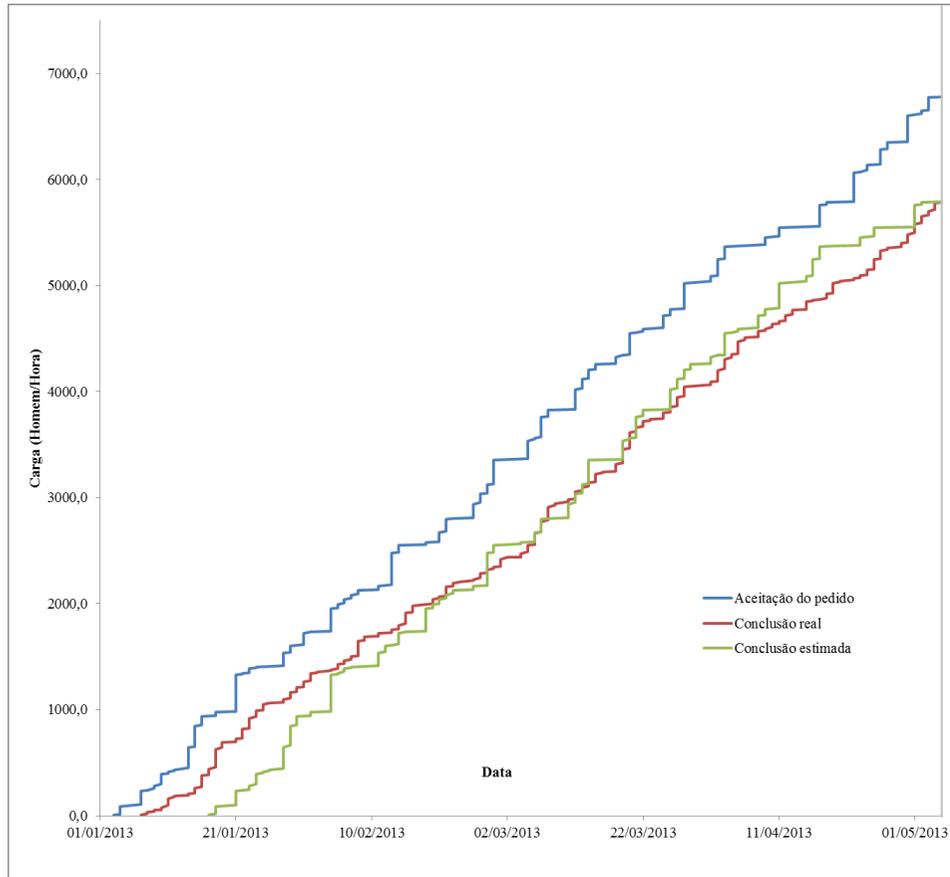
Um fato importante a se ressaltar com relação ao *throughput diagram* é que esta ferramenta faz uma análise agregada, onde todas as ordens são utilizadas para sua construção.

Figura 5.11 – *Throughput diagram* dos atrasos da oficina de computadores



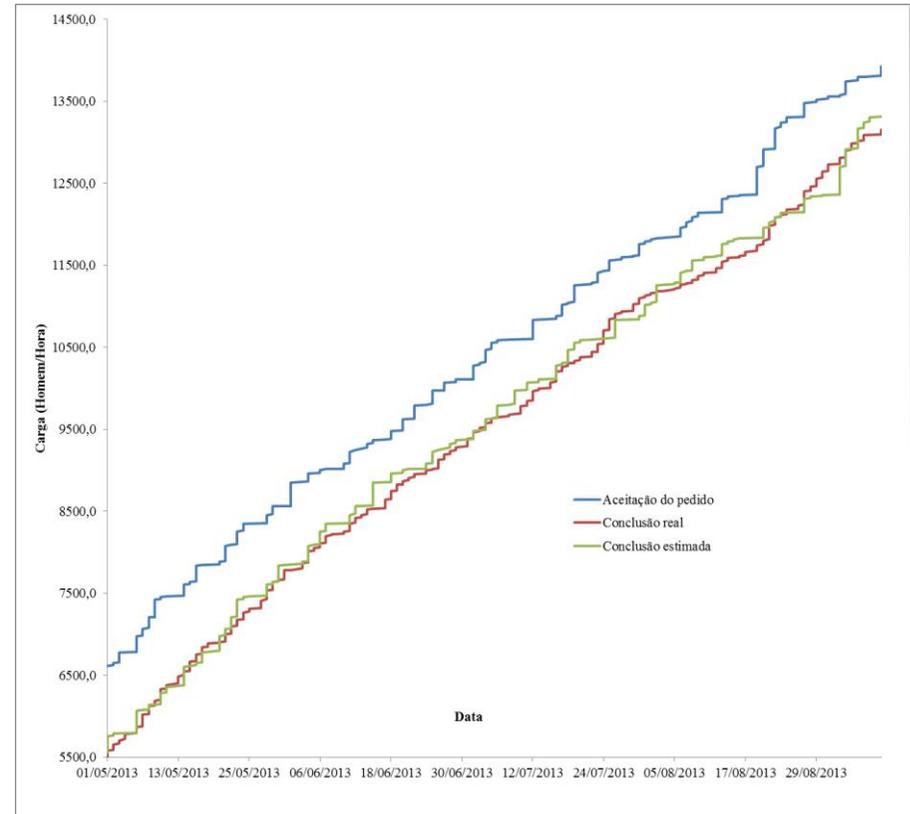
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5.12 – *Throughput diagram* dos atrasos na oficina de computadores (jan- abr de 2013)



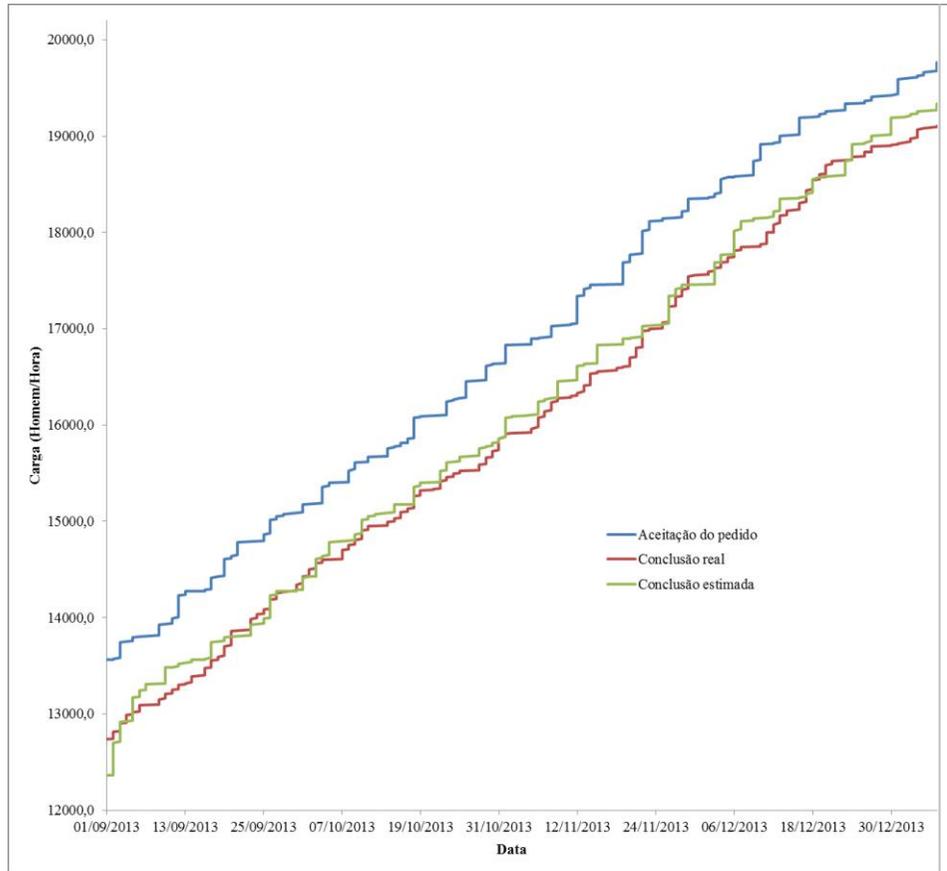
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5.13 – *Throughput diagram* dos atrasos na oficina de computadores (mai-ago de 2013)



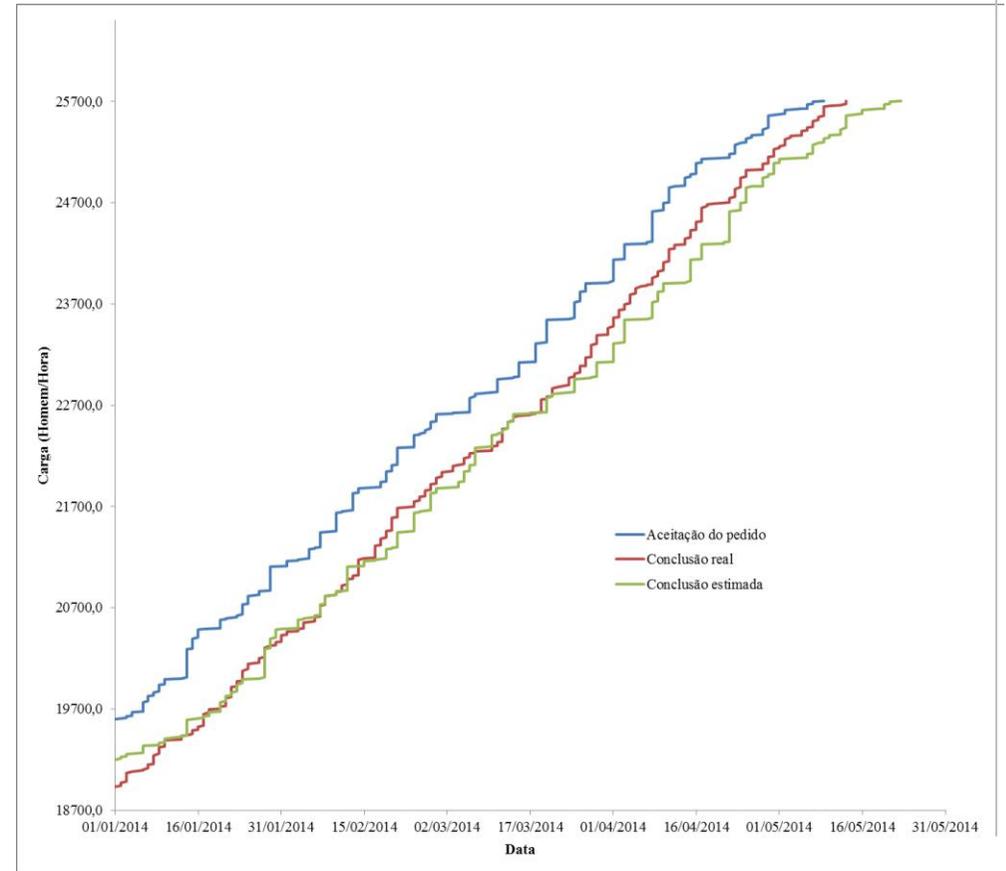
Fonte: Elaborada pela autora

Figura 5.14 – *Throughput diagram* dos atrasos na oficina de computadores (set-dez de 2013)



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5.15 – *Throughput diagram* dos atrasos na oficina de computadores (jan-mai de 2014)



Fonte: Elaborado pela autora

O *throughput diagram* representado pelas Figuras 5.12, 5.13, 5.14, e 5.15 é particularmente útil para busca de *insights* quando a tomada de decisão sobre o atraso médio deve concentrar-se na DP ou na RP. Nestes gráficos citados, o eixo horizontal representa o tempo (datas) e o eixo vertical mostra, para cada curva do *throughput diagram*, a entrada e saída de trabalho em relação a um fluxo do processo de ordens cumulativas, onde o trabalho é medido em unidades de dias.

Nesta fase do diagnóstico, busca-se um resumo agregado com apenas duas ou três curvas. A curva em azul refere-se à ordem de aceitação, a curva em vermelho refere-se à conclusão real da ordem e curva em verde representa a de conclusão estimada (ou planejada). Estas curvas aumentam, respectivamente, em valor, as necessidades de capacidade da ordem no momento da sua aceitação ou na sua conclusão. A distância vertical entre a curva de aceitação da ordem e a curva de conclusão real mostra o estoque em processo (WIP) da empresa, e a distância horizontal entre e as curvas citadas refere-se aos tempos médios de atravessamento da RP. Analogamente, a distância horizontal entre a aceitação da ordem e a conclusão estimada reflete a média dos prazos de entrega prometidos e distancia horizontal entre conclusão real e conclusão estimada refere-se ao atraso médio. A Tabela 5.5 apresenta resumidamente as diferenças das curvas apresentadas.

Tabela 5.5 - Resumo das diferenças entre as curvas do *throughput diagrams* da oficina de computadores

Resumo das diferenças das curvas dos <i>throughput diagram</i> apresentados				
	Média do WIP	Tempo médio de atravessamento (dias)	Tempo médio prometido de entrega (dias)	Atraso médio (dias)
Janeiro a Abril de 2013	519	14,1	14	0,1
Maio a agosto de 2013	957	15,4	14	1,4
Setembro a Dezembro de 2013	676	15,7	14	1,7
Janeiro a Maio de 2014	0	11,1	14	-2,9

Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com Soepenberget al. (2012c) um atraso médio que justifique uma investigação mais aprofundada seria indicado no diagrama por uma curva de conclusão real que se situa próximo ou mesmo abaixo da curva de conclusão estimada, durante um período considerável de tempo. No caso dos atrasos analisados nota-se que a curva de conclusão real localiza-se em sua maioria próxima ou abaixo da curva de conclusão estimada. No entanto, a

em alguns períodos a mesma apresenta-se acima da curva de conclusão estimada. Essa observação pode ser analisada de forma mais agregada através da Figura 5.10.

Diante do exposto, as conclusões com relação aos atrasos positivos e negativos não estão consistentes. Por isso, decidiu-se trabalhar com o atraso máximo de 14 dias. Essa data limite foi escolhida, pois representa o *lead time* determinado pela oficina de computadores para a realização da manutenção e os atrasos negativos continuam com os mesmos limites (-14 a -1). Portanto, o limite superior passa a ser 14 dias e o limite inferior -14 dias. Com isso, uma nova análise de estatística descritiva foi realizada e está apresentada na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Análise considerando o *lead time* estabelecido pela oficina de computadores

Análise Estatística Descritiva dos atrasos	
Média (dias)	-7,20
Desvio Padrão (dias)	10,12
Variância da amostra (dias)	102,41
Mínimo (dias)	-14
Máximo (dias)	14
Quantidade de ordens	2.284

Fonte: Elaborada pela autora

A Tabela 5.6 apresenta os valores de média e desvio das 2.284 ordens analisadas, considerando o *lead time* máximo fornecido pela empresa. Ao considerar o *lead time* de 14 dias, 221 ordens foram excluídas das análises por apresentarem um atraso superior a este valor o que representa 9,28% do total das ordens da oficina de computadores. No entanto, o valor do módulo da média é inferior ao valor do desvio e as análises continuam sendo orientadas pela variância do atraso.

Passo 3: Análise da diferença no tempo

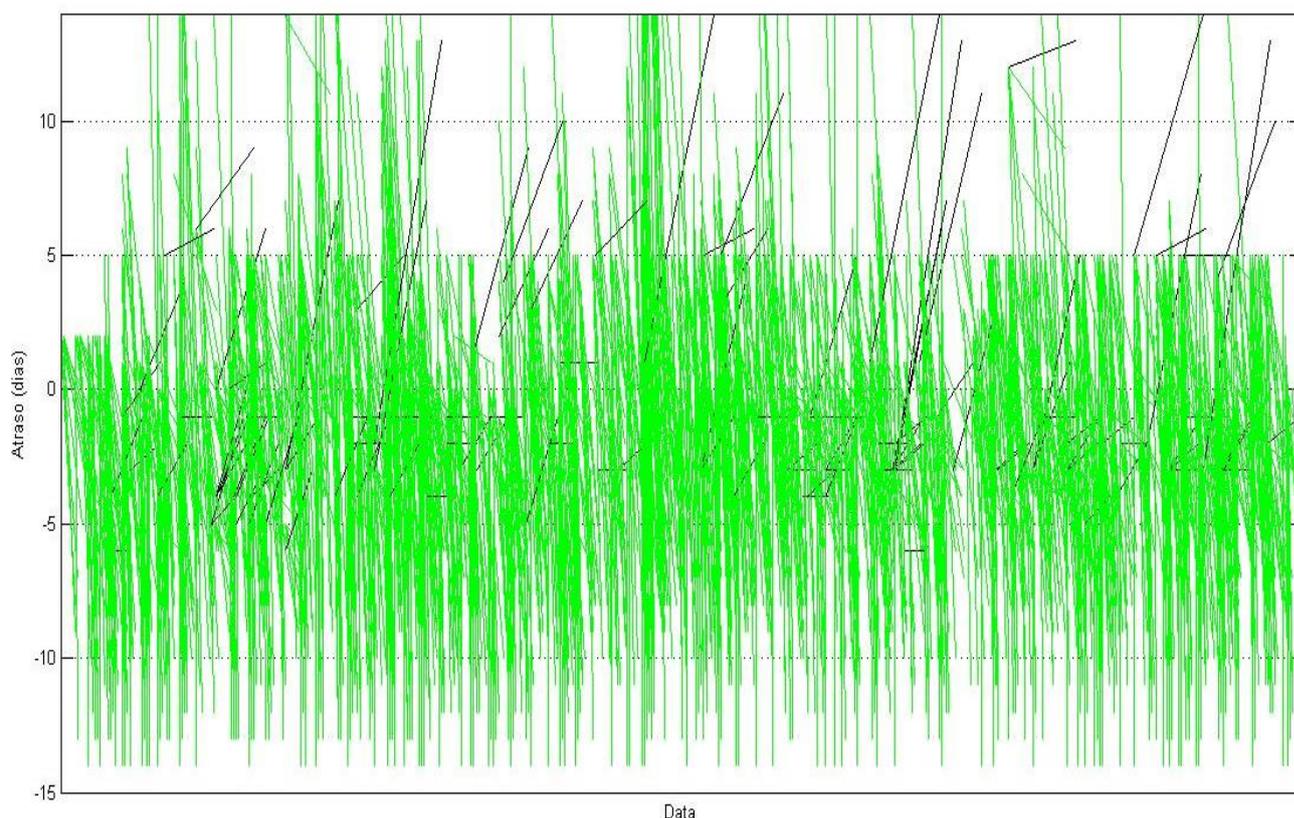
No caso em questão, não se observa uma diferença pontual ao longo do tempo em relação aos atrasos positivos tanto negativos.

Passo 4: Análise do DP e do RP

O quarto passo do diagnóstico consiste na determinação do foco do problema, se é no processo da determinação do prazo de entrega (DP) ou no processo de realização do pedido (RP). Conforme visto no passo 2, o diagnóstico será orientado pela variância. Nesses casos,

order progress diagram é a ferramenta ideal para auxiliar a empresa a decidir sobre o foco em DP ou RP (Soepenberget al., 2008). A Figura 5.16 ilustra os resultados obtidos com a utilização dessa ferramenta, onde as linhas em verdes representam os atrasos negativos e as linhas em preto os atrasos positivos.

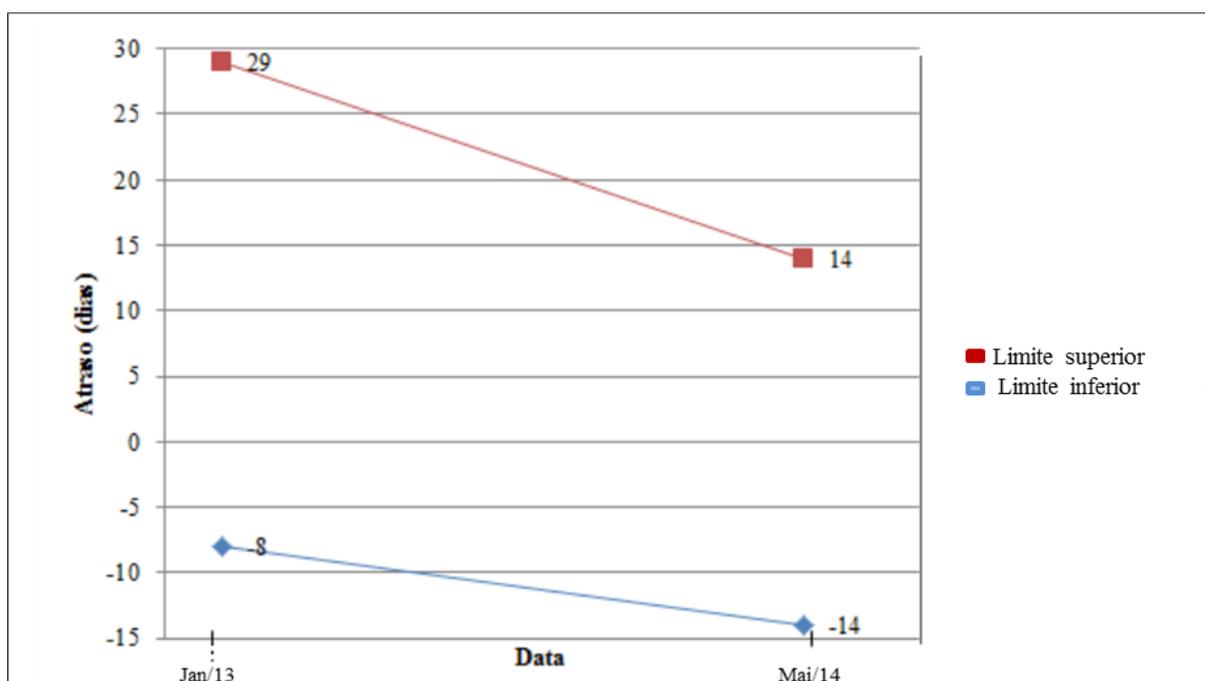
Figura 5.16- *Order progress diagram* da oficina de computadores com os limites de atrasos



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 5.16 apresenta o *order progress diagram* para as 2.284 ordens com atrasos entre -14 a 14 dias. Conforme visto no capítulo 4 (Figura 4.4), o importante do *order progress diagram* é a relação entre os atrasos na chegada do pedido e os atrasos na conclusão da ordem. Portanto, para a visualização dessa relação à Figura 5.17 pode substituir a Figura 5.16. A Figura 5.17 mostra o máximo e o mínimo das possibilidades dos atrasos, tanto na chegada do pedido quanto da conclusão da ordem.

Figura 5.17 - *Order progress diagram* da oficina de computadores simplificado



Fonte: Elaborado pela autora

As linhas mostradas na Figura 5.17 representam os limites máximos e mínimos dentro do *order progress diagram*. Observando a Figura 5.17, vê-se que a variação de atraso na chegada do pedido (37 dias) é maior que a variação na conclusão da ordem (28 dias), o que leva a um foco na DP (idem a Figura 4.4d no capítulo 4).

Em outras palavras, o planejamento da chegada real das ordens na produção não é condizente com as estimadas pelo Planejamento de Operações (PCO) da empresa o que leva um erro inicial de planejamento e controle da ordem e estende-se ao longo de todo o processo de manutenção. Dessa forma, a Figura 5.16 mostra uma situação em que a variância de atraso estimado já é elevada no momento da aceitação. Nesta situação, os processos de realização da ordem não podem compensar a variabilidade nos prazos de entrega prometidos. Esta conclusão faz com que a investigação seja com o foco orientado pela DP.

O fato de aproximadamente 89% das ordens serem concluídas antes do prazo pré-estabelecido somadas à variância do atraso com foco em DP faz com que analisemos o porquê da grande quantidade de ordens concluídas com antecipação. Para isso, foi realizada uma análise da capacidade estimada e utilizada de acordo com as 2.496 ordens; ou seja, todas as ordens da oficina de computadores foram consideradas no período que compreende este trabalho (janeiro de 2013 a maio de 2014) e os resultados estão apresentados na Tabela 5.7.

Em relação à capacidade, é importante salientar que neste estudo a mesma engloba horas de mão de obra e capacidade do equipamento.

Tabela 5.7 – Análise da capacidade estimada e utilizada da oficina de computadores

Análise da capacidade	
Capacidade Utilizada em 2013 (horas)	16.279
Capacidade Utilizada em 2014 (horas)	7.555
Capacidade Estimada 2013 (horas)	25.116
Capacidade Estimada 2014 (horas)	9.716
Diferença entre Capacidade Estimada - Utilizada 2013 (horas)	8.837
Diferença entre Capacidade Estimada - Utilizada 2014 (horas)	879
Percentual de capacidade estimada 2013	64,81%
Percentual de capacidade estimada 2014	90,96%
Percentual de Capacidade Ociosa 2013	35,19%
Percentual de Capacidade Ociosa 2014	9,04%
Custo Capacidade Utilizada 2013	R\$ 31.335.735,45
Custo Capacidade Utilizada 2014	R\$ 13.723.831,14
Custa da Capacidade Estimada 2013	R\$ 48.346.893,50
Custa da Capacidade Estimada 2014	R\$ 17.648.297,86
Diferença do custo entre capacidade estimada e utilizada 2013	R\$ 17.011.158,05
Diferença do custo entre capacidade estimada e utilizada 2014	R\$ 3.924.466,72
Custo Capacidade Utilizada 2013-2014	R\$ 45.059.566,59
Custa da Capacidade Estimada 2013-2014	R\$ 65.995.191,36
Diferença do custo entre capacidade estimada e utilizada 2013-2014	R\$ 20.935.624,77

Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com as análises da capacidade contratada *versus* capacidade utilizada apresentada resumidamente na Tabela 5.5, é possível constatar que a empresa não possuiu um gerenciamento de sua capacidade de carga de trabalho, pois 265.124 horas não são utilizadas e geram um custo adicional de R\$ 20.785.721,60 ao longo dos 15 meses de análise. A mensuração reflete em um desperdício mensal de 17.674 horas de capacidade gerando um custo médio de R\$ 1.385.714,77 por mês.

Portanto, a revisão dos métodos de PCP utilizados pela empresa através de uma análise mais profícua do histórico para uma determinação mais precisa das datas de chegada faz-se necessário, tendo em vista a mensuração do desperdício de recursos e como consequência um elevado custo pela falta de gerenciamento. A seção 5.3.2 apresentará as

análises da oficina de componentes eletrônicos que seguirá os mesmos passos apresentados na análise dos atrasos desta oficina.

5.3.2. Oficina de componentes eletrônicos

A oficina de computadores é responsável pela manutenção de 323 *part numbers* e opera em apenas um turno. Os passos para análise da oficina de componentes eletrônicos segue os mesmos passos da análise da oficina de computadores.

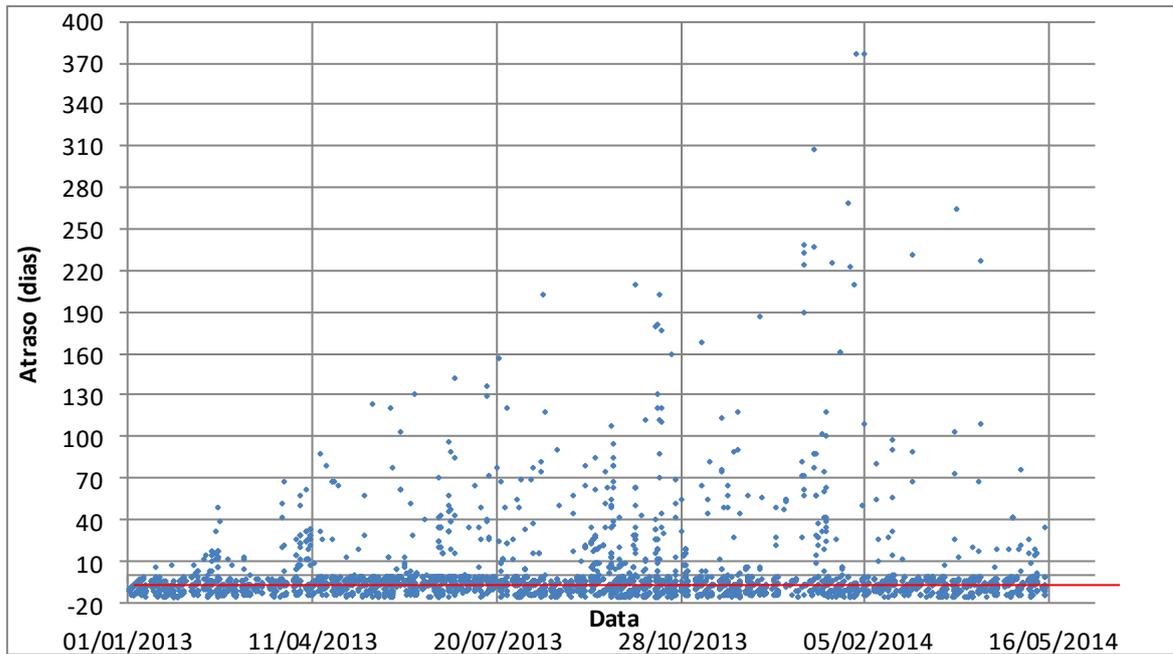
Passo 1: Análise da distribuição do atraso

Este passo consiste na determinação da porcentagem de pedidos entregues atrasados no período que compreende o mês de janeiro de 2013 e estende-se até maio de 2014.

Para atender o passo 1, realizou-se análise a partir dados quantitativos das ordens referentes às datas de entrega prometida e as datas de conclusão das mesmas. Com base nos dados dos atrasos das 7.229 ordens plotou-se uma distribuição do atraso a qual pode ser visualizada na através da Figura 5.18.

A Figura 5.18 apresenta a distribuição do atraso ao longo do tempo com o objetivo de proporcionar um melhor entendimento de como os atrasos estão distribuídos no horizonte de tempo analisado. A visualização da Figura 5.18 permite verificar que a maioria das ordens é concluída antes do prazo estabelecido (-16 a -1 dia), fato este observado na oficina de computadores. As ordens concluídas após o prazo estabelecido estão dispersos em um grande intervalo de atraso (de 1 à 377 dias)

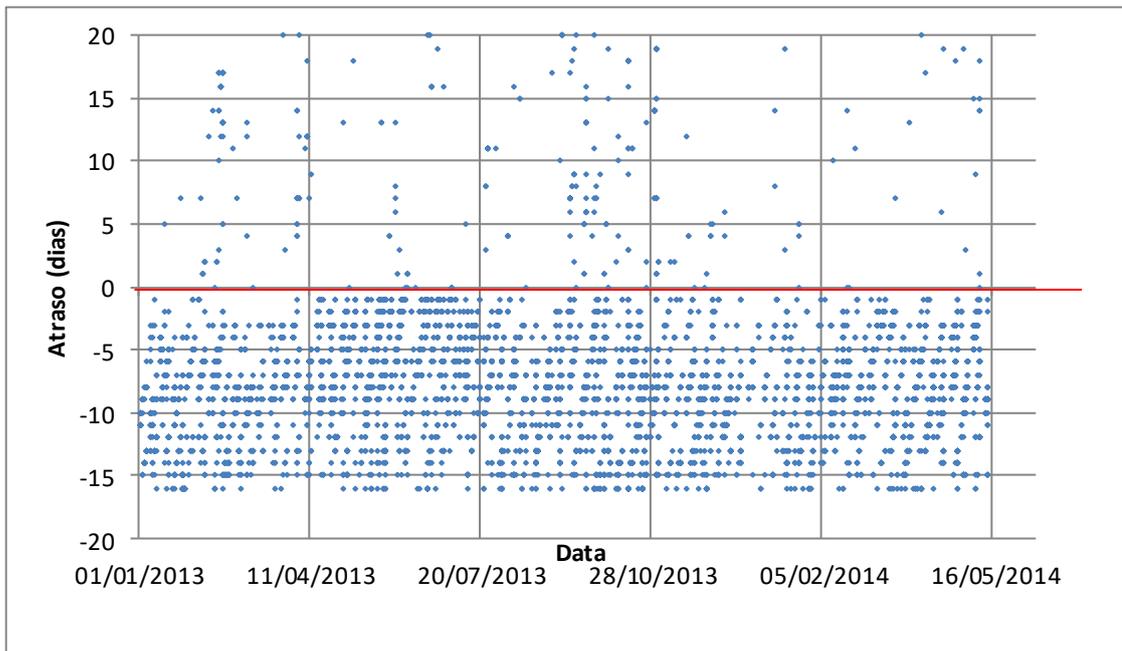
Figura 5.18 – Distribuição dos atrasos na oficina de componentes eletrônicos



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 5.19 ilustra a distribuição do atraso em um intervalo menor (-20 a 20 dias) para melhor visualização do comportamento dos atrasos em relação ao horizonte de tempo analisado.

Figura 5.19 - Distribuição do atraso na oficina de componentes eletrônicos com escala (-20 a 20)

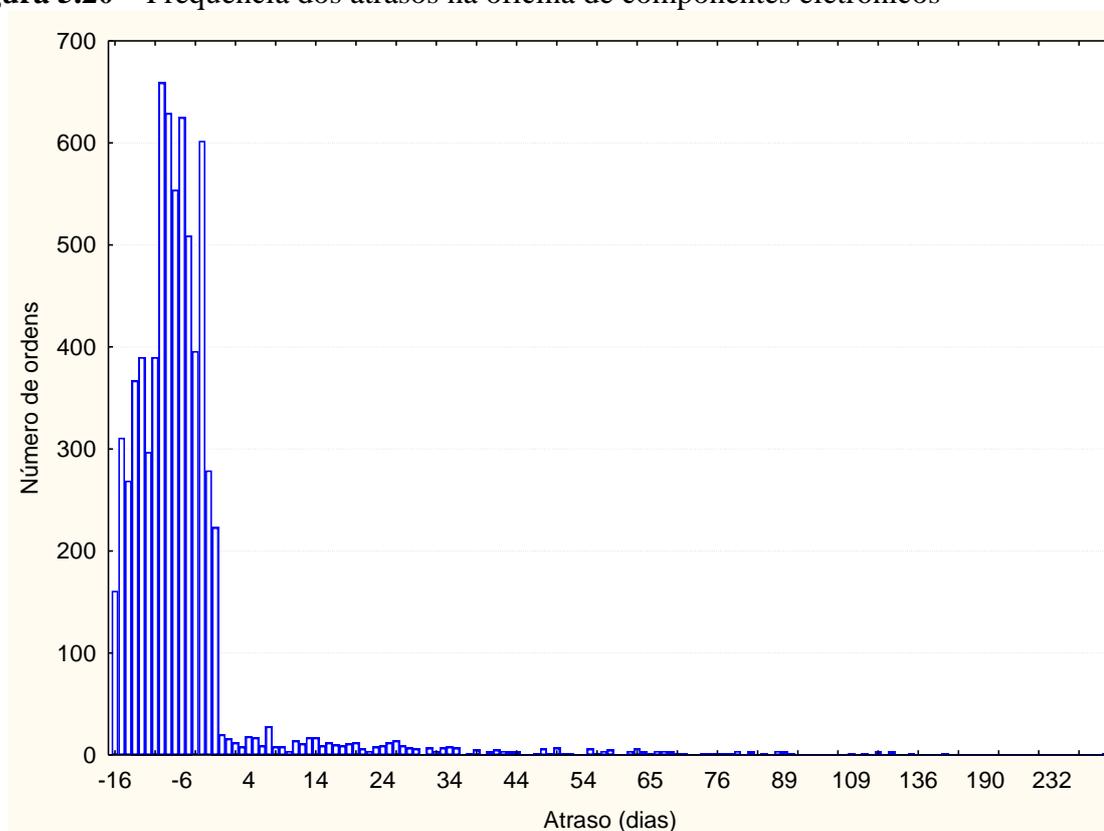


Fonte: Elaborado pela autora

Com a redução do intervalo de análise em relação aos atrasos (-20 a 20 dias) representada pela Figura 5.18, nota-se que as ordens concluídas antes do prazo estabelecido encontram-se limitadas no intervalo de -16 a -1. Portanto, as maiores antecipações de ordens na oficina são de 16 dias.

No que diz respeito às entregas concluídas após o prazo estabelecido, as mesmas não apresentam um comportamento padrão. Dessa, forma constata-se que as mesmas estão distribuídas ao longo do tempo de maneira aleatória. A Figura 5.20 apresenta a frequência dos atrasos em relação ao número de ordens.

Figura 5.20 – Frequência dos atrasos na oficina de componentes eletrônicos



Fonte: Elaborado pela autora

O histograma representado pela Figura 5.20 relaciona a quantidade de ordens e o atraso das mesmas. O histograma permite constatar que, a maioria das ordens é concluída antes da data pré-estabelecida e a maior frequência ocorre nos intervalos de atraso de -16 a -1. A Tabela 5.8 apresenta um breve resumo das análises dos atrasos através da estatística descritiva e a Tabela 5.9 apresenta uma análise detalhada mês a mês do período analisado.

Tabela 5.8 – Resumo das análises dos atrasos na oficina de componentes eletrônicos

Análise Estatística Descritiva	
Média (dias)	-4,17
Desvio Padrão (dias)	19,73
Variância da Amostra (dias)	389,35
Atraso mínimo (dias)	-16
Atraso máximo (dias)	377
Quantidade de Ordens	7229
Ordens concluídas após o prazo estabelecido	532
Ordens concluídas antes o prazo estabelecido	6678
Ordens concluídas no prazo	19
Percentual de ordens concluídas após o prazo	7,36%
Percentual de Ordens concluídas antes do prazo	92,38%
Percentual de ordens concluídas no prazo	0,26%

Fonte: Elaborado pela autora

A partir da Tabela 5.8 é possível verificar que o valor da média dos atrasos das 7.229 ordens é de -4,17 dias e o desvio padrão é de 19,73 dias. Dessa forma, conclui-se que os atrasos das ordens são orientados pela variância. Sendo assim, deve-se construir o *order progress diagram*.

A Tabela 5.9 permite uma análise mensal dos atrasos. O mês de maio de 2013 apresentou o menor percentual de conclusão de ordens após o prazo estabelecido (0,15%), em contraste, o mês de setembro de 2013 apresentou o maior percentual de ordens concluídas após o prazo estabelecido (20,42%).

Tabela 5.9 - Resumo mensal das análises dos atrasos na oficina de componentes eletrônicos

Mês /Ano	Número de ordens analisadas	Média de atrasos	Desvio padrão	Variância	Maior atraso	Menor atraso	N. ordens no prazo	N. de ordens concluídas antes do prazo	N. de ordens concluídas após o prazo	% ordens concluídas no prazo	%ordens concluídas antes do prazo	% de ordens concluídas após o prazo
Jan/13	444	-10,1	3,73	13,91	7	-16	0	442	2	0,00%	99,55%	0,45%
Fev/13	388	-6,79	8,3	68,89	48	-16	1	345	42	0,26%	88,92%	10,82%
Mar/13	295	-7,46	7,71	59,44	68	-16	1	285	9	0,34%	96,61%	3,05%
Abr/13	457	-2,77	13,67	186,87	104	-16	0	398	59	0,00%	87,09%	12,91%
Mai/13	671	-4,59	10,73	115,13	139	-16	0	670	1	0,00%	99,85%	0,15%
Jun/13	495	-2,39	15,89	252,49	158	-16	3	451	41	0,61%	91,11%	8,28%
Jul/13	503	-3,21	16,21	262,76	173	-16	3	468	32	0,60%	93,04%	6,36%
Ago/13	427	-5,65	17,33	300,33	203	-16	1	404	22	0,23%	94,61%	5,15%
Set/13	475	-1,15	17,7	313,29	107	-16	1	377	97	0,21%	79,37%	20,42%
Out/13	541	-0,98	27,23	741,47	225	-16	3	450	88	0,55%	83,18%	16,27%
Nov/13	374	-4,94	19,24	370,18	184	-16	2	347	25	0,53%	92,78%	6,68%
Dez/13	307	-6,30	15,14	229,22	186	-16	0	291	16	0,00%	94,79%	5,21%
Jan/14	355	5,95	50,35	2535,12	376	-16	1	303	51	0,28%	85,35%	14,37%
Fev/14	348	-4,94	24,45	597,80	377	-16	2	332	14	0,57%	95,40%	4,02%
Mar/14	420	-5,14	20,19	407,64	264	-16	0	411	9	0,00%	97,86%	2,14%
Abr/14	543	-6,5	13,53	183,06	227	-16	0	528	15	0,00%	97,24%	2,76%
Mai/14	186	-6,18	6,45	41,60	34	-16	1	176	9	0,54%	94,62%	4,84%
Média	425						1	393	31			
Total	7.229						19	6.678	532	0,26%	92,38%	7,36%

Fonte: Elaborado pela autora

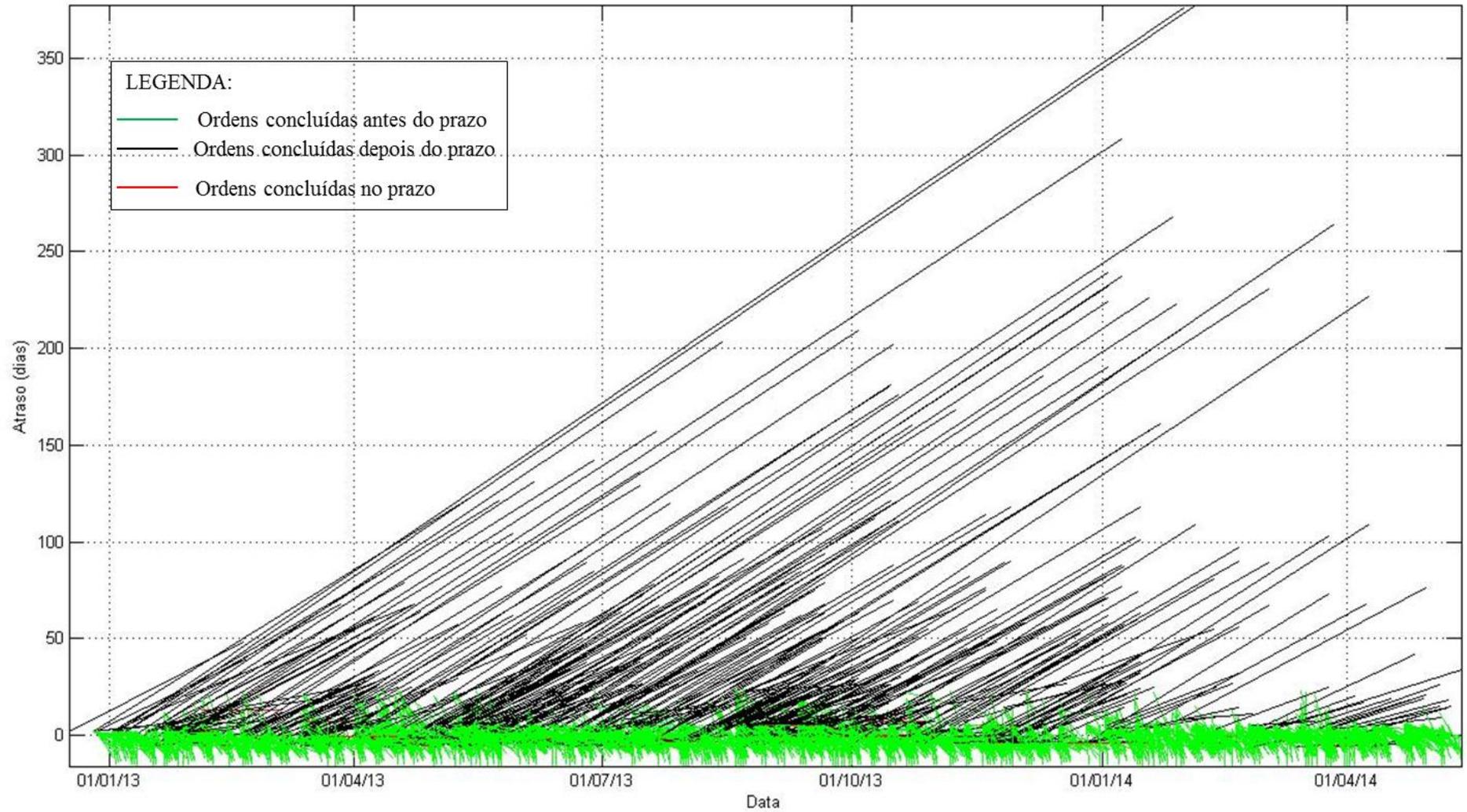
A partir da Tabela 5.8 é possível verificar que o valor da média dos atrasos das 7.229 ordens é de -4,17 dias e o desvio padrão é de 19,73 dias. Dessa forma, conclui-se que os atrasos das ordens são orientados pela variância e, portanto, a análise de dados deve ser realizada através do *order progress diagram*.

A Figura 5.21 é o *order progress diagram* da oficina de componentes eletrônicos. Assim como na oficina de computadores, linhas em verde representam as ordens concluídas antes do prazo pré-estabelecido (menor que 0), as linhas em preto representam as ordens concluídas depois do prazo pré-estabelecido (maiores que 0) e as linhas em vermelho representam as ordens concluídas no prazo (igual a 0).

A Figura 5.21 relaciona os atrasos das ordens individualmente. No entanto, a grande quantidade de ordem dificulta a visualização das mesmas. Apesar das linhas em preto estarem mais expressivas na Figura 5.21 devido a grande amplitude dos atrasos positivos (1 a 377 dias) as mesmas representam apenas 7,36% do total das ordens.

Pode-se afirmar que a oficina de componentes eletrônicos apresenta o mesmo comportamento em relação aos atrasos da oficina de computadores. Ambas as oficinas apresentam um percentual elevado de ordens concluídas antes do prazo. O próximo passo consiste em criar subconjuntos o que permite uma análise da diferença entre as mesmas.

Figura 5.21 – *Order progress diagram* da oficina de componentes eletrônicos



Fonte: Elaborado pela autora

Passo2: Análise das diferenças entre as ordens do subconjunto

O passo 2 consiste na análise das diferenças entre os *subsets*. As ordens da oficina de componentes eletrônicos foram divididas em atrasos positivos e atrasos negativos, ou seja, o mesmo critério adotado na oficina de computadores.

A análise mais aprofundada sobre os atrasos positivos foi realizada por meio da análise dos relatórios de produção e, constatou-se que a maioria dos atrasos é ocasionada pela falta de peças (81,4%) e outros motivos foi responsável por 18,6% dos atrasos no período que compreendeu esta análise (janeiro de 2013 a maio de 2014). A Tabela 5.10 apresenta resumidamente o levantamento das causas dos atrasos positivos. Com relação à análise dos atrasos por peças, bem como o número de ocorrências encontra-se na Tabela C2 do Apêndice C.

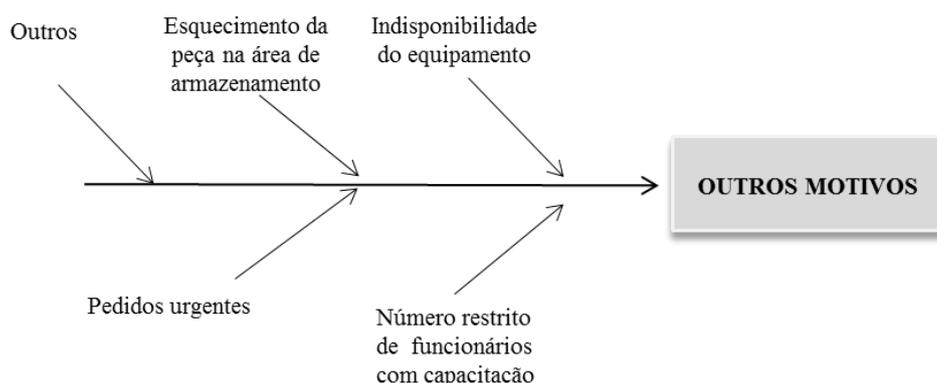
Tabela 5.10- Análise dos atrasos positivos da oficina de componentes eletrônicos

Análises dos atrasos na oficina de componentes eletrônicos						
	Número de ordens	Percentual (%)	Valor máximo (dias)	Média (dias)	Variância (dias)	Valor mínimo (dias)
Atrasos em 2013	434	81,58%	201	32	1.141,38	1
Atrasos em 2014	98	18,42%	377	78	7.318,72	1
Atrasos no período analisado (2013-2014)	532	100%	578	–	–	–
Atrasos por outros motivos em 2013	85	19,59%	131	25	535,11	1
Atrasos por falta de peças em 2013	349	80,41%	202	34	1.285,00	1
Atrasos por outros motivos em 2014	14	14,29%	376	124,57	12.769,00	1
Atrasos por falta de peças em 2014	84	19,59%	377	72,74	6356,58	1
Atrasos por outros motivos em 2013-2014	99	18,61%	376	–	–	–
Atrasos por falta de peças 2013-2014	433	81,39%	377	–	–	–

Fonte: Elaborada pela autora

As causas dos atrasos positivos são: a falta de peça (81,39%) e outros motivos (18,61%). A análise mais aprofundada sobre a falta de peças da oficina de computadores foi apresentada na Figura 5.8 e reflete as mesmas causas da oficina de componentes eletrônicos. No que se refere às causas denominadas “outros motivos” da oficina de componentes eletrônicos, as foram investigadas por meio dos relatórios gerenciais e entrevistas. O resultado foi o levantamento das causas do atraso devido a “outros motivos” e estão apresentados na Figura 5.22.

Figura 5.22 - Causas dos outros motivos de atraso



Fonte: Elaborada pela autora

As causas levantadas dos “outros motivos” são: a indisponibilidade do equipamento, número restrito de funcionários com capacitação para a realização da manutenção, pedidos urgentes, esquecimento da peça na área de armazenamentos e outros. Tais causas encontram-se descritas a seguir:

- **Indisponibilidade do equipamento:** A indisponibilidade do equipamento ocorre quando quebra ou está sendo utilizado para a realização da manutenção de outra ordem.
- **Número restrito de funcionários com capacitação:** todos os funcionários da oficina não possuem capacitação para realizar a manutenção em todos os componentes que a mesma é homologada. As atividades mais complexas exigem certificação do funcionário (CHT), tal fator influencia atrasos, seja pelo absenteísmo ou pelo alto volume de ordens demandada desse profissional que acarreta no aumento dos atrasos.
- **Pedidos urgentes:** Na oficina de componentes surgem muitos pedidos urgentes o quais são priorizados e, a manutenção de algumas peças acaba se tornando uma atividade secundária o que leva a um atraso na ordem.
- **Esquecimento da peça na área de armazenamentos:** Ocorre quando uma determinada peça é necessária para a manutenção do componente e a mesma encontra-se indisponível. Dessa forma, o componente é enviado para uma área de armazenamento e fica aguardando a chegada da peça, devido a três sistemas diferentes, muitas vezes o componente fica perdido na área de manutenção e esquecido. Tal fato, pode explicar alguns atrasos superiores a um ano (365 dias).

- Outros: Apresenta outros motivos pelos atrasos, mas não possível discriminá-los.

A mesma conclusão da oficina de computadores foi obtida com relação aos atrasos positivos. Sendo assim, as causas dos atrasos positivos observadas não eram de responsabilidade somente das decisões da empresa, mas um conjunto de fatores externos que influenciam diretamente esses problemas em grande magnitude. A partir dessa conclusão, resolveu-se estudar mais a fundo a questão das ordens com atrasos negativos. A partir dos relatórios de produção calculou-se o resumo da estatística descritiva e encontra-se, resumidamente, na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Resumo das análises dos atrasos negativos da oficina de componentes eletrônicos

Análise Estatística Descritiva	
Média (dias)	-7,95
Desvio Padrão (dias)	2,98
Variância da Amostra (dias)	8,88
Atraso mínimo (dias)	-16
Atraso máximo (dias)	-1
Número de Ordens	6.661

Fonte: Elaborada pela autora

A partir da Tabela 5.11 é possível verificar que o valor da média dos atrasos das 6.661 ordens é de -7,95 dias e o desvio padrão é de 2,98 dias. Portanto, conclui-se que os atrasos negativos são orientados pela média, pois o módulo da média é maior que o módulo do desvio padrão. Considerando esta constatação a ferramenta apropriada para diagnosticar os problemas seria o *throughput diagram*.

Contudo, considerando que os atrasos positivos representam aproximadamente 7,4%, e que em sua maioria são ocasionados pela falta de peça (81,4%) que não é responsabilidade exclusiva da empresa, como discutido na subseção 5.3.1. O estudo da análise dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos considerou o limite máximo do atraso positivo em 16 dias, visto que é o *lead time* fornecido pela empresa para a realização da manutenção em componentes eletrônicos das aeronaves.

Com isso, a nova análise dos atrasos contemplam todos os atrasos negativos e os atrasos positivos variam de 1 a 16 dias. Portanto, as análises estatísticas descritivas, considerando os limites citados são apresentadas na Tabela 5.12.

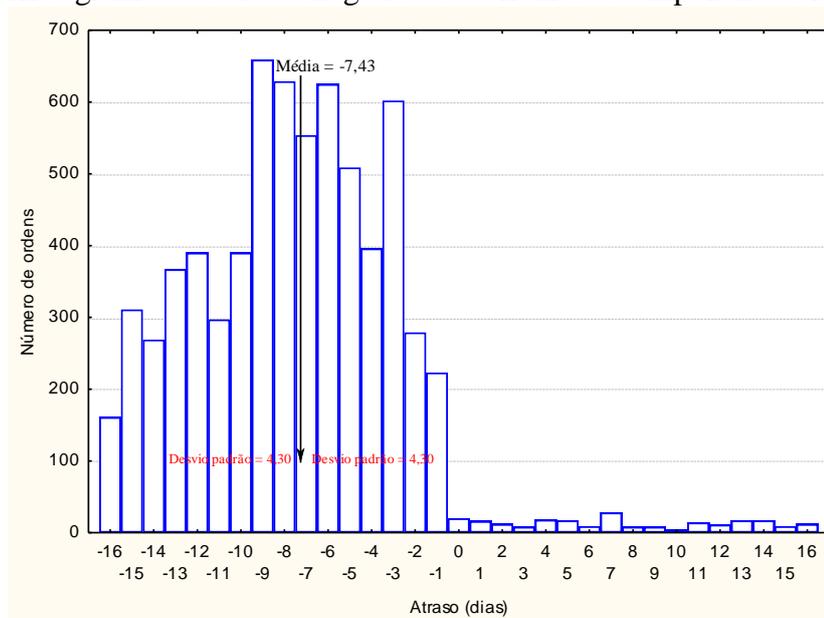
Tabela 5.12 - Análise dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos com limite

Análise Estatística Descritiva	
Média (dias)	-7,43
Desvio Padrão (dias)	4,30
Variância da Amostra (dias)	18,49
Atraso mínimo (dias)	-16
Atraso máximo (dias)	16
Quantidade de Ordens	7.229
Ordens concluídas no prazo	20
Ordens concluídas após o prazo estabelecido	208
Ordens concluídas antes o prazo estabelecido	6.661
Percentual de ordens concluídas após o prazo	3%
Percentual de Ordens concluídas antes do prazo	92%

Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 5.23 apresenta a frequência dos atrasos com o limite superior estabelecido no período de análise (janeiro de 2013 a maio de 2014).

Figura 5.23 – Histograma dos atrasos negativos da oficina de componentes eletrônicos



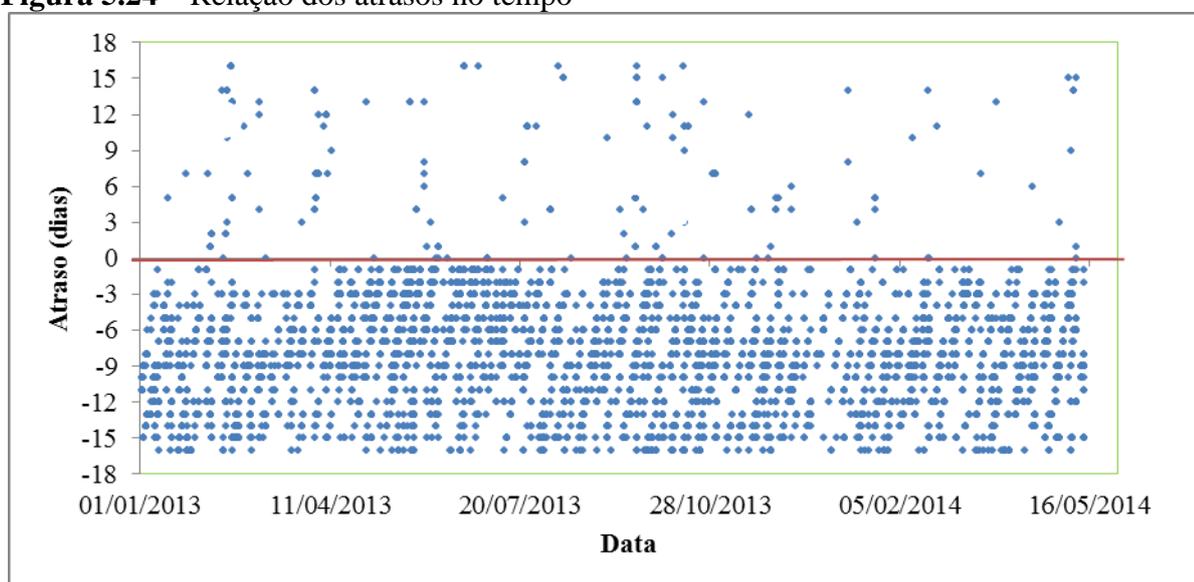
Fonte: Elaborado pela autora

O histograma representado pela Figura 5.23 relaciona a quantidade de ordens e o atraso das mesmas. O histograma permite constatar que, a maioria das ordens é concluída antes da data pré-estabelecida. O próximo passo consiste na análise da mudança do atraso ao longo do tempo.

Passo 3: Análise da diferença no tempo

No passo, a variação do atraso é independente do tempo no horizonte de tempo delimitado por este estudo. A Figura 5.24 relaciona os atrasos às datas de ocorrência considerando o *lead time* estabelecido pela oficina. A análise da Figura permite constatar que o atraso não tem relação dependente com o tempo.

Figura 5.24 – Relação dos atrasos no tempo

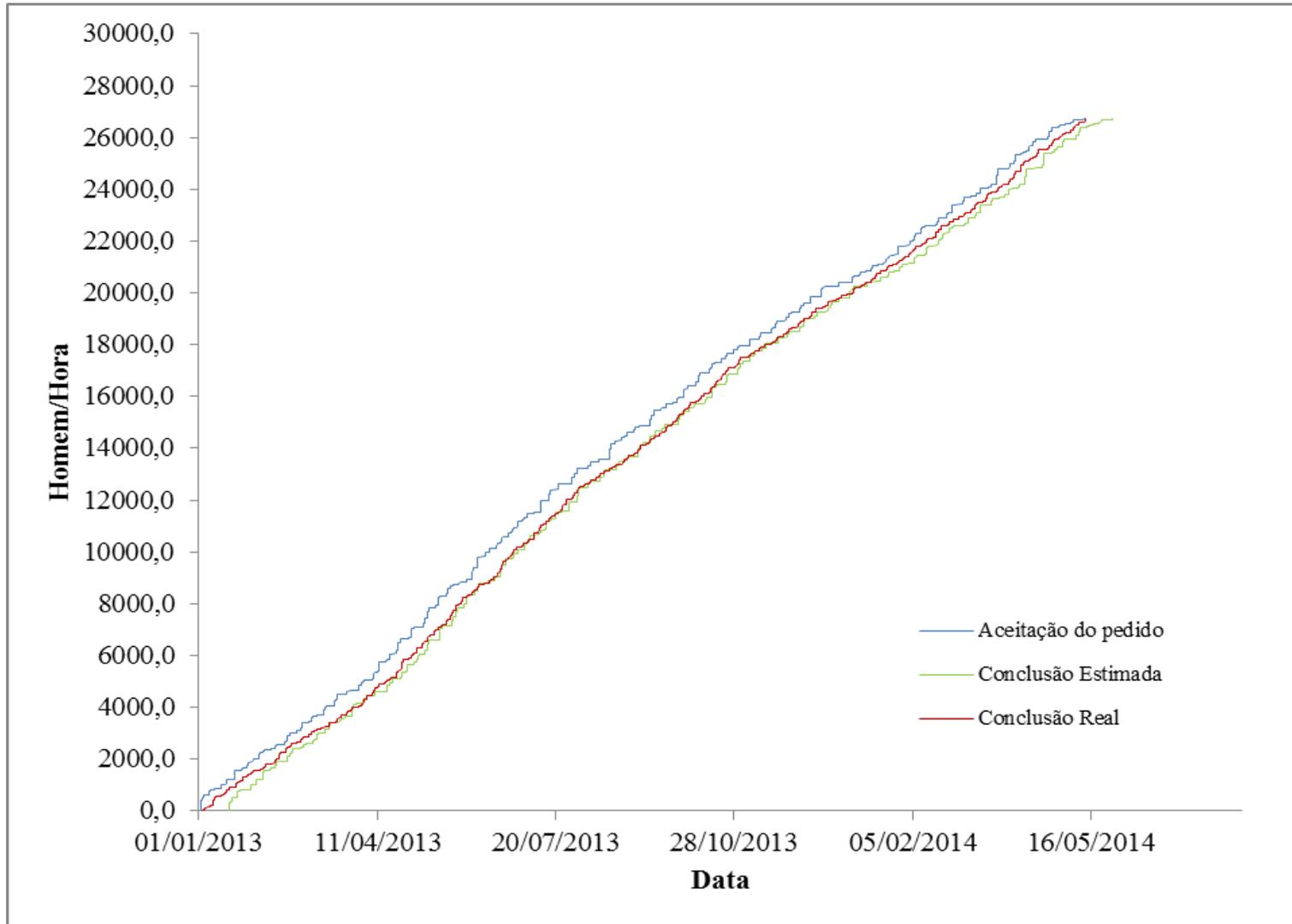


Fonte: Elaborado pela autora

Passo 4: Análise do DP e do RP

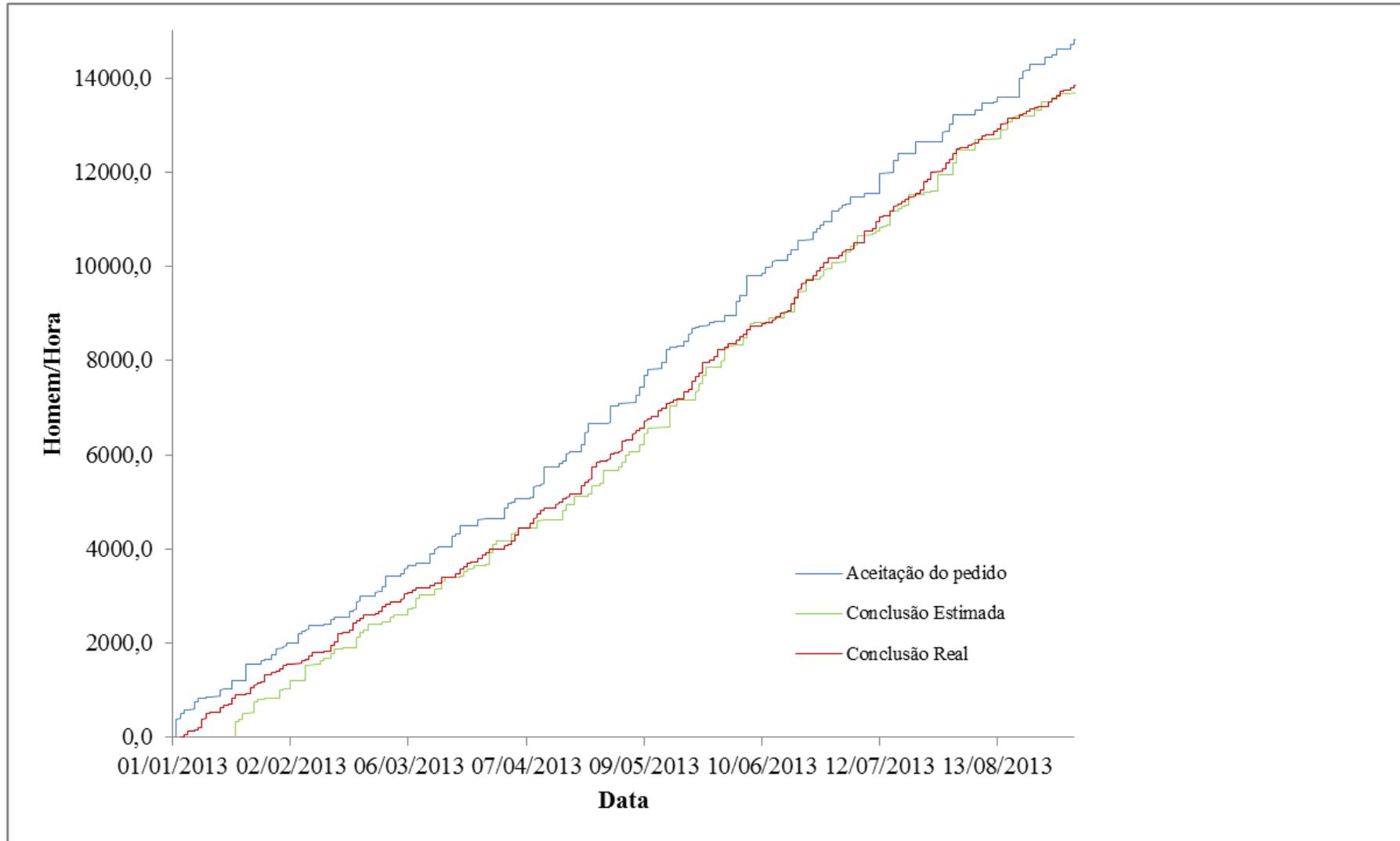
O quarto passo do diagnóstico consiste na determinação do foco do problema, se é no processo da determinação do prazo de entrega (DP) ou no processo de realização do pedido (RP). Conforme visto no segundo passo do *framework*, o diagnóstico será orientado pela média. Nesse caso, o *throughput diagram* é a ferramenta ideal para auxiliar a empresa a decidir sobre o foco em DP ou RP (Soepenberget al., 2012c). A Figura 5.25 ilustra os resultados obtidos com a utilização dessa ferramenta. As Figuras 5.26 e 5.26 apresentam uma visão mais detalhada da Figura 5.25

Figura 5.25 – *Throughput diagram* dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos



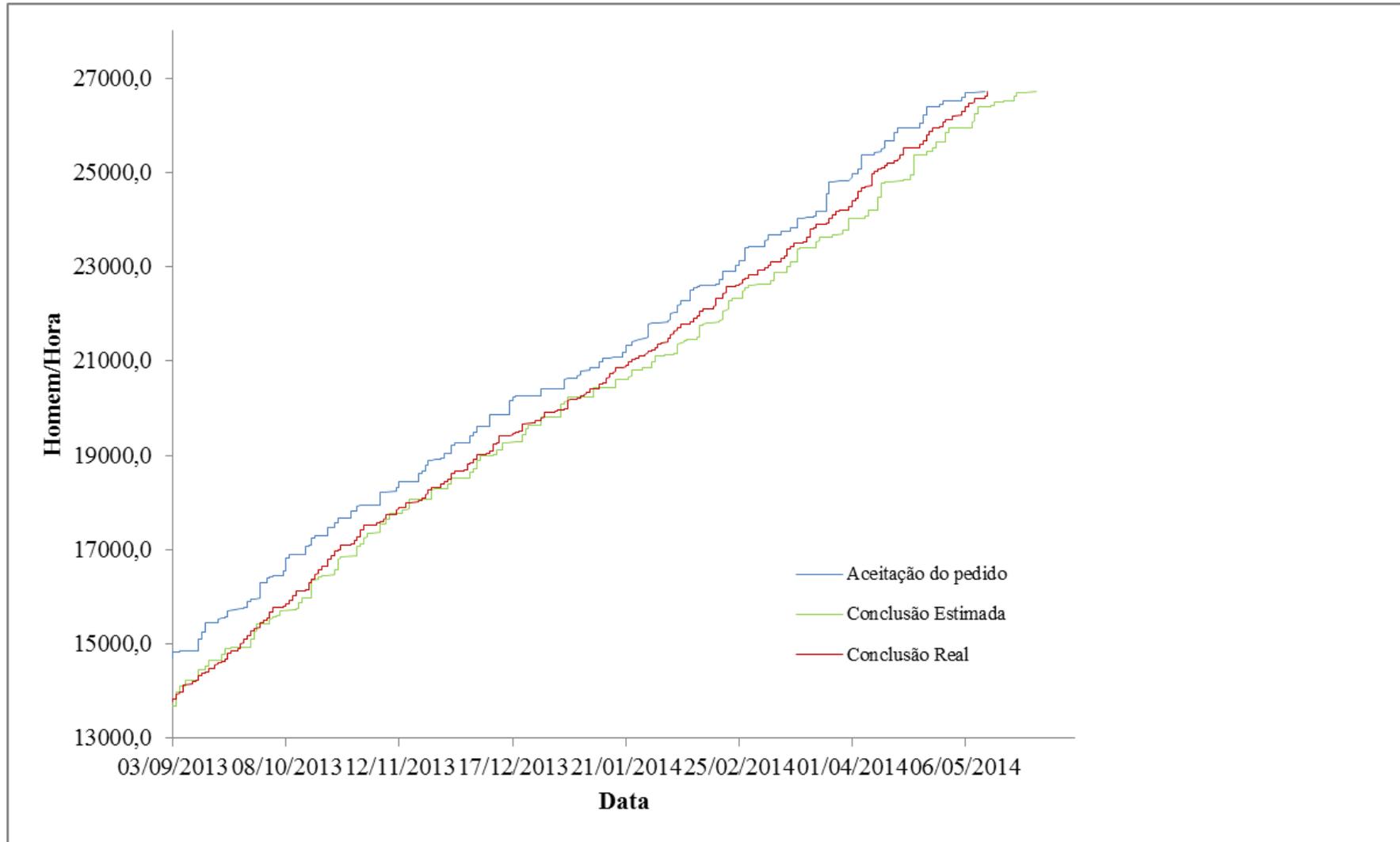
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5.26 – *Throughput diagram* dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos (janeiro a agosto de 2013)



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5.27 – *Throughput diagram* dos atrasos da oficina de componentes eletrônicos (setembro de 2013 a maio de 2014)



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 5.25 apresenta o comportamento das ordens com relação à aceitação, à conclusão estimada e a conclusão real das mesmas. A partir da mesma, é possível verificar que a curva de conclusão real encontra-se em sua maioria acima ou próxima a curva de conclusão estimada. A Tabela 5.13 apresenta um resumo dos valores encontrados através da diferença entre as curvas.

Tabela 5.13 - Resumo das diferenças entre as curvas do *throughput diagrams* da oficina de componentes eletrônicos

Resumo das diferenças das curvas do Throughput diagram	
Média do WIP	0,00
Tempo médio de atravessamento (dias)	11,8
Tempo médio prometido de entrega (dias)	16
Atraso médio (dias)	-4,2

Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com os dados apresentados na Tabela 5.13, é possível constatar que, a taxa média de atravessamento é de 11,8 dias e o WIP é igual à zero. O valor do WIP igual a zero reflete que a capacidade disponibilizada para a realização da ordem, bem como a determinação do prazo de entrega são ótimos. Porém, ao analisar o atraso médio verifica-se que as ordens, em média, são finalizadas com quatro dias de antecedência.

Os valores apresentados na Tabela 5.13, somados à Figura 5.25 sugerem as seguintes suposições:

- (i) O processo de manutenção da oficina de componentes eletrônicos é extremamente eficiente. Tendo em vista que, a maioria dos atrasos é ocasionada por fatores externos como a falta de peça;
- (ii) Os prazos estimados para a conclusão são demasiadamente longos, por excesso da proteção da capacidade.

O item (ii) foi formulado através do conceito básico do WLC, que considera a capacidade como um fator determinante para a aceitação ou rejeição dos pedidos. O processo de aceitação ou rejeição é efetuado por meio da análise da capacidade. Essa análise

fundamenta-se nos seguintes pontos: se a capacidade disponível é maior ou igual à capacidade estimada para a realização da ordem a mesma é aceita, senão rejeita-se a ordem.

A curva de conclusão real encontrar-se bem acima da curva de conclusão estimada nos três primeiros meses de análise e repetiu esse comportamento ao longo do tempo. Dessa forma, as irregularidades na curva de conclusão da ordem no *throughput diagram*. Pode indicar um foco em RP. Porém, de acordo Soepenberget al. (2012c), se a curva real seguir a tendência da curva de conclusão estimada as análises dos atrasos seguir com foco em DP.

O fato de mais de 80% das ordens serem concluídas antes da data estabelecida somadas com o foco na média de atraso com foco em DP, faz com que a suposição (i) seja descartada. Tendo em vista que o foco na DP representa falta de precisão na determinação da data de entrega.

O foco em DP faz com uma análise das causas dos atrasos negativos sejam levantados a fim de relacionar como as decisões do PCP influenciam as mesmas. Para isso, foi realizada uma análise da capacidade estimada e utilizada de acordo com as 7.229 ordens; ou seja, todas as ordens da oficina de componentes eletrônicos foram consideradas. Salienta-se que as análises de 2014 compreendem apenas de janeiro a maio do respectivo ano. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.14.

De acordo com as análises da capacidade contratada *versus* capacidade utilizada apresentada, resumidamente, na Tabela 5.14 é possível constatar que a empresa não estima a capacidade corretamente o que resulta em um desperdício de recursos. Portanto, a revisão dos métodos de PCP utilizados pela empresa para a determinação da data de conclusão das ordens é necessária. O ponto inicial para a melhoria da acurácia na determinação das datas deve ser pautado na análise mais profícua do histórico para uma determinação mais precisa das datas de chegada faz-se necessário tendo em vista a mensuração do desperdício de recursos e como consequência um elevado custo pela falta de gerenciamento.

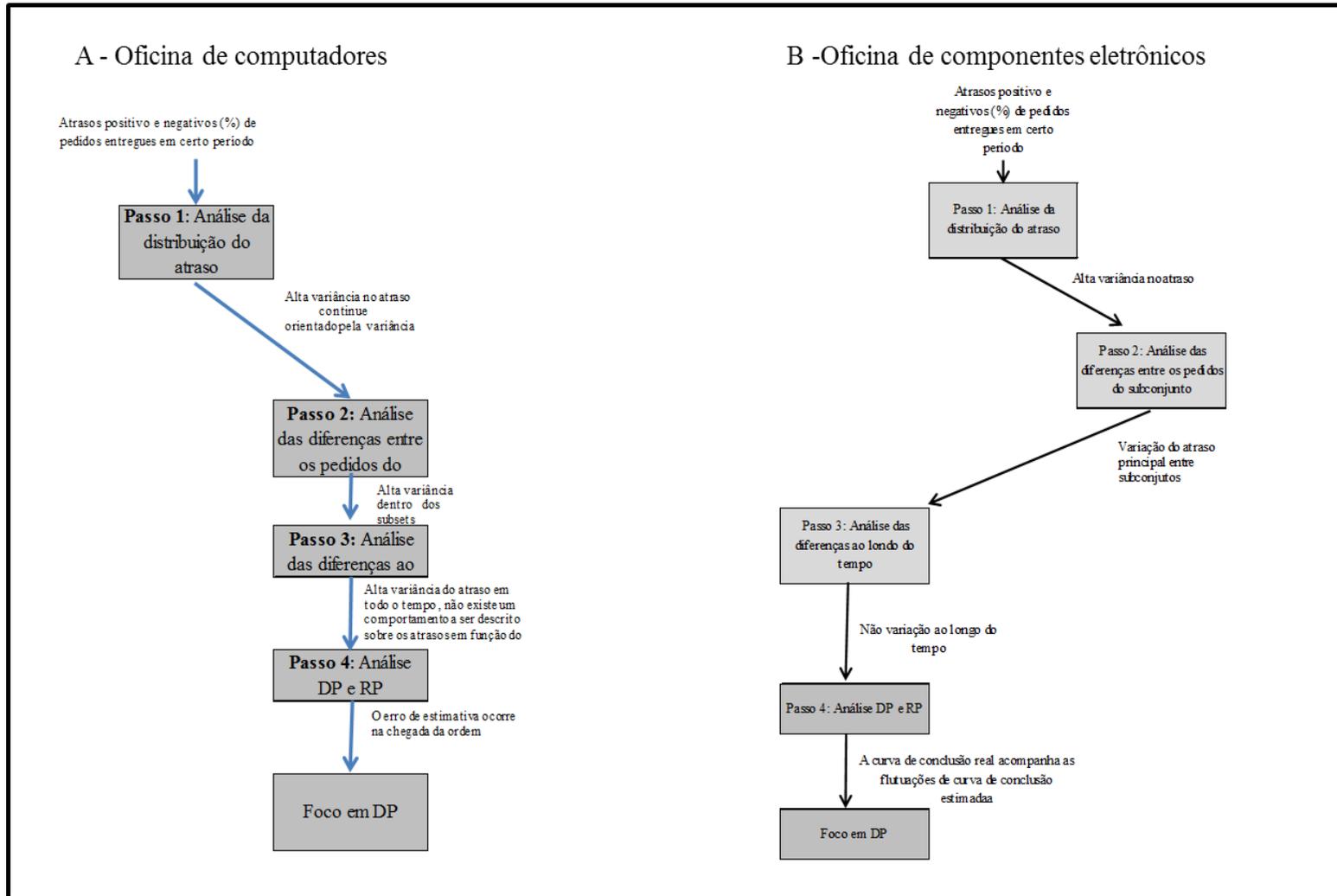
Tabela 5.14 – Análise da capacidade estimada e utilizada na oficina de componentes eletrônicos

Análise da capacidade	
Capacidade Utilizada em 2013 (horas)	51.571
Capacidade Utilizada em 2014 (horas)	20.520
Capacidade Estimada 2013 (horas)	86.032
Capacidade Estimada 2014 (horas)	29.632
Diferença entre Capacidade Estimada - Utilizada 2013 (horas)	34.461
Diferença entre Capacidade Estimada - Utilizada 2014 (horas)	4.829
Percentual de capacidade estimada 2013	59,94%
Percentual de capacidade estimada 2014	83,70%
Percentual de Capacidade Ociosa 2013	40,06%
Percentual de Capacidade Ociosa 2014	16,30%
Custo Capacidade Utilizada 2013	R\$ 33.090.343,37
Custo Capacidade Utilizada 2014	R\$ 12.424.234,63
Custa da Capacidade Estimada 2013	R\$ 55.202.260,74
Custa da Capacidade Estimada 2014	R\$ 17.941.346,30
Diferença do custo entre capacidade estimada e utilizada 2013	R\$ 22.111.917,37
Diferença do custo entre capacidade estimada e utilizada 2014	R\$ 5.517.111,68
Custo Capacidade Utilizada 2013-2014	R\$ 45.514.578,00
Custa da Capacidade Estimada 2013-2014	R\$ 73.143.607,04
Diferença do custo entre capacidade estimada e utilizada 2013-2014	R\$ 27.629.029,04

Fonte: Elaborado pela autora

A visão geral dos passos atingidos pela aplicação do *framework* para as análises dos atrasos de ambas as oficinas são apresentadas na Figura 5.28

Figura 5. 28 – Visão geral dos passos do diagnóstico e as conclusões



Fonte: Elaborado pela autora

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Os problemas identificados na oficina de computadores e na oficina de componentes eletrônicos através da aplicação do *framework* de Soepenberget al. (2012c) são: falta de acurácia para determinação do DP e falta de peças. A causa principal desses problemas foi identificada através de entrevistas, visitas e análise dos relatórios de produção. Essa causa é que o PCP não possui informações que são cruciais para a elaboração dos tempos e roteiros de cada *part number* que passam nas oficinas. Outra causa percebida foi à restrição de capacitação dos funcionários, devido às certificações necessárias para realização de alguns tipos de manutenção que exigem o CHT.

Embora, os atrasos da oficina de computadores sejam orientados pela variância e os atrasos da oficina de componentes eletrônicos sejam orientados pela média, o diagnóstico do atraso para ambas tem foco em DP. Esse fato justifica-se devido às oficinas não estimarem corretamente as datas de chegada e não possuírem um roteiro de manutenção para cada *part number*. Dessa forma, ambas as oficinas estimam um *lead time* de manutenção fixo sem levar em consideração as diferentes peças. No caso da oficina de computadores esse prazo é de 14 dias e na oficina de componentes eletrônicos é de 16 dias.

Um efeito dos problemas encontrados é que os cálculos para o dimensionamento da capacidade de carga de trabalho nas oficinas não são exatos devido à falta de informações, criando um terceiro problema. O sistema de informação utilizado não possui uma estrutura para dar suporte à atividade de análise e liberação de ordens, segundo critérios de prioridades.

A tarefa de *Scheduling* realizada pelo Planejamento de Operações (PCO) não considera a priorização das ordens e desconhece os tempos de roteiros, pois não dispõe de informações que sejam cruciais para a elaboração do sequenciamento. Outro fator é que os três sistemas de informação utilizados não são eficientes, demandando grande tempo. Em alguns casos o controle é manual; e em outros é necessário dar o *input* de uma mesma informação nos sistemas diferentes, deixando as atividades de sequenciamento em segundo plano.

Como a estrutura do planejamento e controle está dividida entre três gerências diferentes, inevitavelmente, a comunicação entre elas tende a ser prejudicada. Assim, cada área trabalha dentro de seu “universo”. Isso implica que o desenvolvimento de atividades

similares e o compartilhamento de informações úteis para as demais áreas tornam-se prejudicada.

A falta de peças para realização dos serviços impacta em atraso nas entregas de componentes por parte da produção, pois a maioria das peças é importada. Os atrasos decorrentes da falta de peças são justificados pelos atrasos das entrega por parte dos fornecedores, ocasionando a paralisação das ordens de serviço. Para isso, a empresa determina altos TAT's (capacidade máxima) para encobrir as incertezas e ineficiências dos processos. A capacidade inflacionada é uma resposta estratégica à falta de peças, devida à inadequada de gestão de informações. Dessa forma, a capacidade inflacionada gera uma data de entrega não realista e prejudica o planejamento da capacidade. O desenvolvimento de fornecedores seria uma resposta a este problema; porém no caso de componentes aeronáuticos, muitas peças possuem apenas um fabricante/fornecedor que atenda as especificações exigidas pelos órgãos regulamentadores.

Portanto, dos dois problemas detectados pelo *framework*, grande parte das soluções encontra-se na melhoria da gestão de informação dos departamentos responsáveis pelo planejamento e controle das atividades dessas oficinas. A partir do momento que as informações são organizadas em um banco de dados, é possível realizar uma análise precisa do histórico, a fim de obter um plano de ação efetiva para detecção de problemas e estimação de um *lead time* mais realista. Esse gerenciamento de informações resolveria o terceiro problema aferido: erro de cálculo na determinação da capacidade utilizada. O *framework* de Soepenberget al. (2012c) apresentou-se com uma importante ferramenta prática para a detecção de problemas relacionados com a confiabilidade de entrega.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve como objetivo principal identificar as causas dos atrasos das ordens na oficina de componentes eletrônicos e computadores de uma empresa do setor de manutenção aeronáutica através da aplicação do *framework* desenvolvido por Soepenber et al. (2012c). Tal objetivo foi alcançado o qual identificou a falta de materiais, a determinação errônea da data de entrega (DP) e excesso de capacidade como as principais causas dos atrasos.

Os problemas identificados nas oficinas são originados pela falta de gerenciamento de informações por parte do PCP. Esse fato incide diretamente no erro da mensuração da capacidade, bem como a ausência de um relatório de tempos de manutenção de cada *part number* e a realização do *scheduling*. O *framework* auxiliou as oficinas a identificar claramente as causas dos atrasos e dar orientações para resolver os mesmos.

As oficinas lidam com uma alta variedade de produtos, falta de previsibilidade na demanda, bem como, clientes que exigem prazos de entregas curtos e confiáveis. Tais características fazem parte das características de uma empresa MTO. Dessa forma, como constatado neste estudo de caso, o *framework* mostrou-se útil para a detecção dos problemas referentes aos atrasos influenciadas pelas decisões do PCP. Partindo desta constatação, o *framework* pode trazer importantes contribuições na detecção de problemas na confiabilidade de entrega em empresas MTO em geral.

A principal vantagem do *framework* apresentado é uma análise agregada do comportamento dos atrasos em um determinado período de tempo. Essa agregação permite uma análise mais global e facilita na tomada de decisões referentes às áreas de melhoria da empresa. Pois, como exposto neste trabalho, o *framework* identifica duas causas que são responsáveis pelo atraso das ordens: problemas na realização dos processos produtivos (RP) ou falta de precisão para a determinação da data de conclusão (DP).

As contribuições deste trabalho podem ser pontuadas, como segue:

- a) Contribuição para a literatura através da realização da atualização da literatura realizada por Thüerer et al. (2011a) evidenciando os avanços e as lacunas existentes para o desenvolvimento de pesquisas;
- b) A realização de um estudo de caso com aplicação do *framework* desenvolvido por Soepenber (2012c) identificando que os problemas de atrasos na oficina de

componentes eletrônicos e computadores são causados pela falta de precisão na determinação das datas de conclusão (DP);

c) Preenchimento da lacuna referente ao número limitado de trabalhos empíricos que incluem as novas evoluções sobre o tema. Nesse caso incorporou-se o *order progress diagram* (Soepenber et al., 2008) e o *framework* (Soepenber et al.;2012c);

d) (Soepenber et al. (2012c) desenvolveu o *framework* para pequenas e medias empresas caracterizadas por serem MTO. No entanto, esta pesquisa verificou a aplicabilidade em uma grande empresa com características MTO. Partindo desta constatação, o *framework* pode trazer importantes contribuições na detecção de problemas na confiabilidade de entrega em empresas MTO em geral;

As limitantes para o desenvolvimento deste trabalho foram:

a) O tempo para o desenvolvimento da pesquisa. Pois, esse fato impossibilitou a aplicação em outras empresas para traçar um comparativo entre as mesmas. Dessa forma, a pesquisa limitou-se por ser um caso único e apenas um tipo de sistema produtivo foi analisado através do *framework*. Além disso, a falta de disponibilidade de dados das liberações das ordens ocasionou em uma limitante da pesquisa;

b) Apesar dos passos fornecidos no *framework* o direcionamento para a tomada de decisões em alguns passos não é claro. Por exemplo, no passo 2 do *framework*, onde a criação de *subsets* não é bem definida. Dependendo das características do sistema produtivo estudado, as variáveis para a realização do agrupamento não seriam possíveis.

As sugestões para pesquisas futuras, além das listadas no Capítulo 2, em função das limitações da presente pesquisa, são as seguintes:

a) Estudar mais profundamente o *framework* adotado nesse trabalho com o objetivo de aprimorá-lo para melhor aplicabilidade prática;

Utilizar o *framework* em conjunto com a simulação para a geração e *insights* que resultados mais concisos.

CAPÍTULO 7: REFERÊNCIAS

- AHMED, Imtiaz; FISHER, Warren W. Due Date Assignment, Job Order Release, and Sequencing Interaction in Job Shop Scheduling. **Decision Sciences**, v. 23, n. 3, p. 633-647, 1992.
- AMARO, G.; HENDRY, L.; KINGSMAN, B. Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non-make-to-stock companies. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 4, p. 349-371, 1999.
- BAKER, Kenneth R. The effects of input control in a simple scheduling model. **Journal of Operations Management**, v. 4, n. 2, p. 99-112, 1984.
- BARRATT, Mark; CHOI, Thomas Y.; LI, Mei. Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. **Journal of Operations Management**, v. 29, n. 4, p. 329-342, 2011.
- BAYKASOĞLU, Adil; GÖÇKEN, Mustafa. A simulation based approach to analyses the effects of job release on the performance of a multi-stage job-shop with processing flexibility. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 2, p. 585-610, 2011.
- BECHTE, Wolfgang. Load-oriented manufacturing control just-in-time production for job shops. **Production Planning & Control**, v. 5, n. 3, p. 292-307, 1994.
- BECHTE, Wolfgang. Theory and practice of load-oriented manufacturing control. **The International Journal of Production Research**, v. 26, n. 3, p. 375-395, 1988.
- BERENDS, Peter; ROMME, Georges. Simulation as a research tool in management studies. **European Management Journal**, v. 17, n. 6, p. 576-583, 1999.
- BERGAMASCHI, D. et al. Order review and release strategies in a job shop environment: A review and a classification. **International Journal of Production Research**, v. 35, n. 2, p. 399-420, 1997.
- BERTO, R. M. V. S. et al. A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Revista Produção**, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000.
- BERTRAND, J. W M.; WORTMANN, J.C. Production control and information systems for component – manufacturing shops. **Elsevier Scientific Publishing Company**. Amsterdam, 1981.
- BERTRAND, J. W. M. The use of workload information to control job lateness in controlled and uncontrolled release production systems. **Journal of Operations Management**, v. 3, n. 2, p. 79-92, 1983.
- BERTRAND, J.W. M.; VAN OOIJEN, H. P. G. Workload based order release and productivity: a missing link. **Production Planning & Control**, v. 13, n. 7, p. 665-678, 2002.

- BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, Jan C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.
- BOBROWSKI, P. M.; PARK, P. S. Work release strategies in a dual resource constrained job shop. **Omega**, v. 17, n. 2, p. 177-188, 1989.283
- BOYER, K. K.; MCDERMOTT, C. Strategic consensus in operations strategy. **Journal of Operations Management**, v. 17, n. 3, p. 289-305, 1999.
- BREITHAUPT, Jan-Wilhelm; LAND, Martin; NYHUIS, Peter. The workload control concept: theory and practical extensions of Load Oriented Order Release. **Production Planning & Control**, v. 13, n. 7, p. 625-638, 2002.
- BRYMAN, A. Research methods and organization studies. Londres: Unwin Hyman, 1989. 283p.
- BRYMAN, A.; STEPHENS, M. CAMPO, C. The importance of context: Qualitative research and the study of leadership. **The Leadership Quarterly**, v. 7, n. 3, p. 353-370, 1996.
- CIGOLINI, R.; PERONA, M.; PORTIOLI, A. Comparison of order review and release techniques in a dynamic and uncertain job shop environment. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 11, p. 2931-2951, 1998.
- CIGOLINI, R.; PORTIOLI-STAUDACHER, A. An experimental investigation on workload limiting methods within ORR policies in a job shop environment. **Production Planning & Control**, v. 13, n. 7, p. 602-613, 2002.
- CLOSS, David J. et al. Toward a theory of competencies for the management of product complexity: six case studies. **Journal of Operations Management**, v. 26, n. 5, p. 590-610, 2008.
- COLICCHIA, C.; STROZZI, F. Supply chain risk management: a new methodology for a a systematic literature review. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 17, n.4, p. 403-418, 2012.
- CONWAY, R. W.; MAXWELL, W. L. & MILLER, L. M. **Theory of scheduling**. Reading, 1 ed. Massachusetts, USA: Addison –Wesley Publishing Company. 1967.
- CORREA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; AND CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da produção**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.
- CORTI, D.; POZZETTI, A.; ZORZINI, M.. A capacity-driven approach to establish reliable due dates in a MTO environment. **International Journal of Production Economics**, v. 104, n. 2, p. 536-554, 2006.
- CRESWELL, J.; CLARK, V.L.P. **Designing and conducting mixed method research**. Londres: Sages, 2006.
- CROOM, S. R.; ROMANO, P.; GIANNAKIS, m. Supply Chain Management: A literature Review and Taxonomy. **European Journal of Purchasing and Supply Chain Management**, v. 6, n.1, p 67-83, 2000.

- DUBOIS, Anna; ARAUJO, Luis. Case research in purchasing and supply management: opportunities and challenges. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 13, n. 3, p. 170-181, 2007.
- DUENYAS, Izak; HOPP, Wallace J. Quoting customer lead times. **Management Science**, v. 41, n. 1, p. 43-57, 1995.
- EBADIAN, M. et al. A new decision-making structure for the order entry stage in make-to-order environments. **International Journal of Production Economics**, v. 111, n. 2, p. 351-367, 2008.
- EBADIAN, M.; RABBANI, M.; TORABI, S. A. & JOLAI, F. Hierarchical production planning and scheduling in make-to-order environments: reaching short and reliable delivery dates. **International Journal of Production Research**. Vol. 47, n. 20, p. 5761-5789, 2009.
- EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of management review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.
- ENNS, S. T. Evaluating shop floor input control using rapid modeling. **International Journal of Production Economics**, v. 63, n. 3, p. 229-241, 2000.
- ENNS, S. T.; COSTA, M. P. The effectiveness of input control based on aggregate versus bottleneck workloads. **Production Planning & Control**, v. 13, n. 7, p. 614-624, 2002
- ERDLLENBRUSH, B. **Principles of recente order contro techniques in job shops production**. Tese de Doutorado. Universidade de Hannover, 1984.
- FERNANDES, F.C.F.; GODINHO FILHO, M. **Planejamento e Controle da Produção: dos fundamentos ao essencial**. São Paulo: Atlas, 2010.
- FERNANDES, Nuno O.; CARMO-SILVA, S. Order release in a workload controlled flow-shop with sequence-dependent set-up times. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 8, p. 2443-2454, 2011a.
- FERNANDES, Nuno O.; LAND, Martin J.; CARMO-SILVA, Sílvia. Workload control in unbalanced job shops. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 3, p. 679-690, 2014.
- FERNANDES, Nuno O; CARMO-SILVA, S. Workload control under continuous order release. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 257-262, 2011b.
- FILIPPINI, R. Operation management research: some reflection on evolution, models and empirical studies In: OM. **International Journal of Operation and Production Management**, v. 17, n.7, p. 655-670, 1997.
- FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International journal of operations & production management**, v. 22, n. 2, p. 152-194, 2002.
- FOWLER, John W.; HOGG, Gary L.; MASON, Scott J. Workload control in the semiconductor industry. **Production Planning & Control**, v. 13, n. 7, p. 568-578, 2002.

FREDENDALL, L. D.; MELNYK, S. A.; RAGATZ, G. Information and scheduling in a dual resource constrained job shop. **International Journal of Production Research**, v. 34, n. 10, p. 2783-2802, 1996.

FREDENDALL, Lawrence D.; OJHA, Divesh; PATTERSON, J. Wayne. Concerning the theory of workload control. **European Journal of Operational Research**, v. 201, n. 1, p. 99-111, 2010.

FRY, Timothy D.; SMITH, Allen E. A procedure for implementing input/output control: A case study. **Production and Inventory Management Journal**, v. 28, n. 4, p. 50-52, 1987.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. **São Paulo**, v. 5, p. 61, 2002.

GLASSEY, C. Roger; RESENDE, Maruricio GC. Closed-loop job release control for VLSI circuit manufacturing. **IEEE Transactions on Semiconductor manufacturing**, v. 1, n. 1, p. 36-46, 1988.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The goal: Excellence in manufacturing**. North River Press, 1984.

HASKOSE, A.; KINGSMAN, B. G.; WORTHINGTON, D. Modelling flow and jobbing shops as a queueing network for workload control. **International Journal of Production Economics**, v. 78, n. 3, p. 271-285, 2002.

HASKOSE, A.; KINGSMAN, B. G.; WORTHINGTON, D. Performance analysis of make-to-order manufacturing systems under different workload control regimes. **International journal of production economics**, v. 90, n. 2, p. 169-186, 2004.

HENDRY, L. C.; ELINGS, P.; PEGG, D. Production planning for an artist studio—a case study. **European Journal of Operational Research**, v. 64, n. 1, p. 12-20, 1993.

HENDRY, L. C.; KINGSMAN, B. G. Customer enquiry management: part of a hierarchical system to control lead times in make-to-order companies. **Journal of the Operational Research Society**, p. 61-70, 1993.

HENDRY, L. C.; KINGSMAN, B. G. Job release: part of a hierarchical system to manage manufacturing lead times in make-to-order companies. **Journal of the Operational Research Society**, p. 871-883, 1991b.

HENDRY, L. C.; WONG, S. K. Alternative order release mechanisms: a comparison by simulation. **International Journal of Production Research**, v. 32, n. 12, p. 2827-2842, 1994.

HENDRY, L. et al. Investigating implementation issues for workload control (WLC): a comparative case study analysis. **International journal of Production economics**, v. 112, n. 1, p. 452-469, 2008.

HENDRY, Linda C.; KINGSMAN, B. G. Production planning systems and their applicability to make-to-order companies. **European Journal of Operational Research**, v. 40, n. 1, p. 1-15, 1989.

- HENDRY, Linda; HUANG, Yuan; STEVENSON, Mark. Workload control: Successful implementation taking a contingency-based view of production planning and control. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 33, n. 1, p. 69-103, 2013.
- HENDRY, Linda; KINGSMAN, Brian. A decision support system for job release in make-to-order companies. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 11, n. 6, p. 6-16, 1991a.
- HENRICH, P.; LAND, M. J.; GAALMAN, G. J. C. Semi-interchangeable machines: implications for workload control. **Production Planning and Control**, v. 18, n. 2, p. 91-104, 2007.
- HENRICH, Peter et al. Reducing feedback requirements of workload control. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 24, p. 5235-5252, 2004b.
- HENRICH, Peter; LAND, Martin; GAALMAN, Gerard. Exploring applicability of the workload control concept. **International Journal of Production Economics**, v. 90, n. 2, p. 187-198, 2004a.
- HENRICH, Peter; LAND, Martin; GAALMAN, Gerard. Grouping machines for effective workload control. **International Journal of Production Economics**, v. 104, n. 1, p. 125-142, 2006.
- HOPP, W.J.; SPEARMAN, M.L. To pull or not to pull: What is the question? **Manufacturing and Service Operations Management**, vol. 6, n. 2, p. 133 – 148, 2004.
- HYER, N. L.; BROWN, K. A.; ZIMMERMAN, S. A socio-technical systems approach to cell design: case study and analysis. **Journal of Operations Management**, v. 17, n. 2, p. 179-203, 1999.
- KANET, J.J. Load-limited order release in job shop scheduling systems. **Journal of Operations Management**, v. 7, n. 3, p. 44-58, 1988.
- KETOKIVI, M; CHOI, T. Renaissance of case research as a scientific method. **Journal of Operations Management**, v. 32, n. 5, p. 232-240, 2014.
- KIMURA, T.K.; GODINHO FILHO, M. **Workload Control: Revisão, Classificação e Atualização da literatura**. In: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2014, Curitiba: ABEPRO, Anais.
- KINGSMAN, B.G.; HENDRY, L.C.; MERCER, A.; AND DE SOUZA, A. Responding to customer enquiries in make-to-order companies: Problems and solutions. **International Journal of Production Economics**, vol. 46 – 47, p. 219 – 231, 1996.
- KINGSMAN, Brian et al. Integrating marketing and production planning in make-to-order companies. **International Journal of Production Economics**, v. 30, p. 53-66, 1993.
- KINGSMAN, Brian G. Modelling input–output workload control for dynamic capacity planning in production planning systems. **International journal of production economics**, v. 68, n. 1, p. 73-93, 2000.

KINGSMAN, Brian G.; MERCER, Alan. Strike Rate Matrices for Integrating Marketing and Production During the Tendering Process in Make-to-Order Subcontractors. **International Transactions in Operational Research**, v. 4, n. 4, p. 251-257, 1997.

KINGSMAN, Brian G.; TATSIPOULOS, I. P.; HENDRY, L. C. A structural methodology for managing manufacturing lead times in make-to-order companies. **European Journal of Operational Research**, v. 40, n. 2, p. 196-209, 1989.

KINGSMAN, Brian; HENDRY, Linda. The relative contributions of input and output controls on the performance of a workload control system in make-to-order companies. **Production planning & control**, v. 13, n. 7, p. 579-590, 2002.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2001

LAND, M. J.; GAALMAN, G. J. C. Production planning and control in SMEs: time for change. **Production Planning and Control**, v. 20, n. 7, p. 548-558, 2009.

LAND, M. J.; GAALMAN, G. J.C. The performance of workload control concepts in job shops: Improving the release method. **International Journal of Production Economics**, v. 56, p. 347-364, 1998.

LAND, M. Parameters and sensitivity in workload control. **International Journal of production economics**, v. 104, n. 2, p. 625-638, 2006.

LAND, M.; GAALMAN, G. Workload control concepts in job shops a critical assessment. **International Journal of Production Economics**, v. 46, p. 535-548, 1996a.

LAND, Martin Jaap et al. **Workload control in job shops, grasping the tap**. University Library Groningen, 2004.

LAND, Martin; STEVENSON, Mark; THÜRER, Matthias. Integrating load-based order release and priority dispatching. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 4, p. 1059-1073, 2014.

LEE, A. S. A scientific methodology for MIS case studies. **MIS Quarterly**, v. 13, n. 1, p. 33-50, 1989.

LEONARD-BARTON, Dorothy. A dual methodology for case studies: Synergistic use of a longitudinal single site with replicated multiple sites. **Organization science**, v. 1, n. 3, p. 248-266, 1990.

LINGAYAT, S.; MITTENTHAL, J.; O'KEEFE, R. M. An order release mechanism for a flexible flow system. **International Journal of Production Research**, v. 33, n. 5, p. 1241-1256, 1995.

LIU, J. J. et al. A multi-agent-based mould due date setting approach in stochastic production. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 5, p. 1353-1371, 2011.

- LU, H. L.; HUANG, George Q.; YANG, H. D. Integrating order review/release and dispatching rules for assembly job shop scheduling using a simulation approach. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 3, p. 647-669, 2011.
- MACCARTHY, B.L.; AND FERNANDES, F.C.F. A Multidimensional Classification of Production Systems for the Design and Selection of Production Planning and Control Systems. **Production Planning and Control**, vol. 11, n. 5, p. 481 – 496, 2000
- MALHOTRA, M. K.; JENSEN, J. B.; PHILIPOOM, P. R. Management of vital customer priorities in job shop manufacturing environments. **Decision Sciences**, v. 25, n. 5-6, p. 711-736, 1994.
- MARCHWINSKI, Chet; SHOOK, John (Ed.). **Lean lexicon: a graphical glossary for lean thinkers**. Lean Enterprise Institute, 2003.
- MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. 2ed. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010
- MATHER, H., PLOSSL, G. Priority fixation versus throughput planning. **Production and Inventory Management**, v.19, p. 27-51, 1978.
- MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- MELNYK, S. A.; RAGATZ, G. L.; FREDENDALL, L. Load smoothing by the planning and order review/release systems: a simulation experiment. **Journal of Operations Management**, v. 10, n. 4, p. 512-523, 1991.
- MELNYK, S. A.; VICKERY, S. K.; CARTER, P. L. Scheduling Sequencing and Dispatching alternative perspectives. **Production and Inventory Management**, vol. 27, n. 2, p. 58 – 68, 1986.
- Melnyk, S.A.; and Ragatz, G.L. Order review/release: research issues and perspectives. **International Journal of Production Research**, vol. 27, n. 7, p. 1081 – 1096, 1989.
- MELNYK, STEVEN A. et al. An experimental model for investigating the sensitivity of job shop performance to job release time distribution parameters. **Production and Operations Management**, v. 3, n. 1, p. 64-74, 1994.
- MEREDITH, J. Building operations management theory through case and field research. **Journal of Operations Management**, v. 16, n. 4, p. 441-454, 1998.
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para a sua condução. **Revista Produção**; v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.
- MIGUEL, P. A.C.; LEE HO, L. Levantamento tipo survey. In Miguel P.A.C ed. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, p.73-128, 2010.
- MISSBAUER, H. Aggregate order release planning for time-varying demand. **International Journal of Production Research**, v. 40, n. 3, p. 699-718, 2002a.

MISSBAUER, Hubert. Lot sizing in workload control systems. **Production Planning & Control**, v. 13, n. 7, p. 649-664, 2002b.

MISSBAUER, Hubert. Models of the transient behaviour of production units to optimize the aggregate material flow. **International Journal of Production Economics**, v. 118, n. 2, p. 387-397, 2009.

MISSBAUER, Hubert. Order release and sequence-dependent setup times. **International Journal of Production Economics**, v. 49, n. 2, p. 131-143, 1997.

MOREIRA, M.R.A. AND ALVES, R.A.F.S. A methodology for planning and controlling workload in a job-shop: a four-way decision-making problem. **International Journal of Production Research**. Vol. 47, n. 10, p. 2805–2821, 2009.

MUDA, M. S.; HENDRY, L. The SHEN model for MTO SMEs: A performance improvement tool. **International Journal of Operation and Production Management**, v. 23, n. 5, p. 470-486, 2003.

NEELY, Andy et al. Designing performance measures: a structured approach. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 17, n. 11, p. 1131-1152, 1997.

NEUMAN, W. R. **Social research methods: quantitative and qualitative methods approaches**. 5 ed. Boston: Allyn and Bacon, 2003, 584p.

NYHUIS, Peter; WIENDAHL, Hans-Peter. **Fundamentals of production logistics: theory, tools and applications**. Springer Science & Business Media, 2008.

ONUR, Levent; FABRYCKY, Wolter J. An input/output control system for the dynamic job shop. **IIE transactions**, v. 19, n. 1, p. 88-97, 1987.

OOSTERMAN, Bas; LAND, Martin; GAALMAN, Gerard. The influence of shop characteristics on workload control. **International Journal of Production Economics**, v. 68, n. 1, p. 107-119, 2000.

PARK, C., et al. Delivery date decision support system for the large scale make-to-order manufacturing companies: a Korean electric motor company case. **Production Planning & Control**, v. 10, n. 6, p. 585-597, 1999.

PARK, P. S.; BOBROWSKI, P. M. Job release and labor flexibility in a dual resource constrained job shop. **Journal of Operations Management**, v. 8, n. 3, p. 230-249, 1989.

PARK, P. S.; SALEGNA, G. J. Load smoothing with feedback in a bottleneck job shop. **International Journal of Production Research**, v. 33, n. 6, p. 1549-1568, 1995.

PATTON, Eric; APPELBAUM, Steven H. The case for case studies in management research. **Management Research News**, v. 26, n. 5, p. 60-71, 2003.

PERONA, Marco; PORTIOLI, Alberto. The impact of parameters setting in load oriented manufacturing control. **International Journal of Production Economics**, v. 55, n. 2, p. 133-142, 1998.

- PHILIPOOM, P. R.; FRY, T. D. Capacity-based order review/release strategies to improve manufacturing performance. **The International Journal Of Production Research**, v. 30, n. 11, p. 2559-2572, 1992.
- PHILIPOOM, P. R.; FRY, T. D. Order review/release in the absence of adherence to formal scheduling policies. **Journal of Operations Management**, v. 17, n. 3, p. 327-342, 1999.
- PHILIPOOM, P.; STEELE, D.. Shop floor control when tacit worker knowledge is important. **Decision Sciences**, v. 42, n. 3, p. 655-688, 2011.
- PHILIPOOM, Patrick R.; MALHOTRA, M. K.; JENSEN, J. B. An evaluation of capacity sensitive order review and release procedures in job shops. **Decision Sciences**, v. 24, n. 6, p. 1109-1134, 1993.
- Ploss, G.W.; Wight, O.W. Capacity planning and control. In: APICS International Conference, Saint Louis, Missouri, 1971.
- PORTIOLI-STAUDACHER, Alberto; TANTARDINI, Marco. A lean-based ORR system for non-repetitive manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 12, p. 3257-3273, 2012.
- PÜRSTALLER, Peter; MISSBAUER, Hubert. Rule-based vs. optimization-based order release in workload control: A simulation study of a MTO manufacturer. **International Journal of Production Economics**, v. 140, n. 2, p. 670-680, 2012.
- Qi, C.; Sivakumar, A.I.; and Gershwin S.B. An efficient new job release control methodology. **International Journal of Production Research**, vol. 47, n. 3, p. 703 – 731, 2009.
- RAGATZ, G. L.; MABERT, V. A. An evaluation of order release mechanisms in a job-shop environment. **Decision Sciences**, v. 19, n. 1, p. 167-189, 1988.
- RIEZEBOS, J.; KORTE, G. J.; LAND, M. J. Improving a practical DBR buffering approach using Workload Control. **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 4, p. 699-712, 2003.
- RODERICK, Larry M.; PHILLIPS, Don T.; HOGG, Gary L. A comparison of order release strategies in production control systems. **International Journal of Production Research**, v. 30, n. 3, p. 611-626, 1992.
- SABUNCUOGLU, I.; KARAPINAR, H. Y. Analysis of order review/release problems in production systems. **International Journal of Production Economics**, v. 62, n. 3, p. 259-279, 1999.
- SABUNCUOGLU, Ihsan; KARAPINAR, H. Y. A Load-based and Due-date-oriented Approach to Order Review/Release in Job Shops*. **Decision Sciences**, v. 31, n. 2, p. 413-447, 2000.
- SALEGNA, G. Integrating the planning and scheduling systems in a job shop. **Production and Inventory Management Journal**, v.37, n. 4, p. 1–6, 1996.

- SCHMENNER, Roger W.; SWINK, Morgan L. On theory in operations management. **Journal of Operations Management**, v. 17, n. 1, p. 97-113, 1998.
- SCHMITZ, P-G. Manufacturing process, loading, na In-process inventory- their analytical relationship in mechanical engineering companies. VEB VerlagTechnik, Berlim. 1961.
- SHTMOYASHIRO, SADAQ; TSODA, KENIGHJ; AWANE, HIROSHI. Input scheduling and load balance control for a job shop. **International Journal of Production Research**, v. 22, n. 4, p. 597-605, 1984.
- SILVA, C.; ROQUE, Licinio; ALMEIDA, Ana. MAPP–A web-based decision support system for the mould industry. **Decision Support Systems**, v. 42, n. 2, p. 999-1014, 2006.
- SOEPENBERG, E. **Workload Control under diagnosis**. 2010. 112p. Tese de Doutorado. Universidade de Groningen.
- SOEPENBERG, G. D.; LAND, M. J.; GAALMAN, G. J. C. A framework for diagnosing the delivery reliability performance of make-to-order companies. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 19, p. 5491-5507, 2012c.
- SOEPENBERG, G. D.; LAND, M. J.; GAALMAN, G. J. C. Adapting workload control for job shops with high routing complexity. **International Journal of Production Economics**, v. 140, n. 2, p. 681-690, 2012a.
- SOEPENBERG, G. D.; LAND, Martin J.; GAALMAN, Gerard JC. Workload control dynamics in practice. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 2, p. 443-460, 2012b.
- SOEPENBERG, G. D.; LAND, Martin; GAALMAN, Gerard. The order progress diagram: A supportive tool for diagnosing delivery reliability performance in make-to-order companies. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p. 495-503, 2008.
- SOUSA, R.; AND VOSS, C.A. Contingency research in operations management practices. **Journal of Operations Management**, vol. 26, p. 697 – 713, 2008.
- SOUZA, R. Research in opertaion management. **EDEN Doctoral Conference Seminar on Research Methodology in Operation Management**. Bruxelas, Bélgica, 2005.
- Spearman, M.L.; and Zhang, R.Q. Optimal Lead Time Policies. **Management Science**, v. 45, n. 2, p. 290 – 295, 1999.
- STALK, G. **Competing Against Time: How Time-Based Competition is Reshaping Global Markets**. The Free Press, NY, 1990.
- STEVENSON, M.; HENDRY, L.C. Flexibility and lean manufacturing in customised B2B supply chains. **Control**, v. 33, n.1, p.16–20. 2007a.
- STEVENSON, M.; SILVA, C. Theoretical development of a workload control methodology: evidence from two case studies. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 11, p. 3107-3131, 2008.

STEVENSON, Mark et al. The theory and practice of workload control: A research agenda and implementation strategy. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 2, p. 689-700, 2011.

STEVENSON, Mark. Refining a workload control (WLC) concept: a case study. **International Journal of Production Research**, v. 44, n. 4, p. 767-790, 2006.

STEVENSON, Mark; HENDRY, L. C. Improving supply chain integration using a workload control concept and web-functionality. **Production Planning and Control**, v. 18, n. 2, p. 142-155, 2007b.

STEVENSON, Mark; HENDRY, Linda C. Aggregate load-oriented workload control: A review and a re-classification of a key approach. **International Journal of Production Economics**, v. 104, n. 2, p. 676-693, 2006.

STEVENSON, Mark; HENDRY, Linda 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. 5, p. 869-898, 2005.

STEVENSON, Mark; HUANG, Yuan; HENDRY, Linda C. The development and application of an interactive end-user training tool: part of an implementation strategy for workload control. **Production Planning and Control**, v. 20, n. 7, p. 622-635, 2009.

STOOP, PAUL PM; WILL M. BERTRAND, J. Performance prediction and diagnosis in two production departments. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 8, n. 2, p. 103-109, 1997

STUART, I.; MCCUTCHEON, D.; HANDFIELD,R.; MCLACHLIN, R.; SAMSONS, D. Effective case research in operations management: a process perspective. **Journal of Operations Management**, v. 20, n. 5, p. 419-433, 2002.

SURI, R. It's about time: The competitive advantage of Quick Response Manufacturing. New York: Productivity Press, 2010.

SURI,R. Quick Response Manufacturing. A companywide approach to reducing lead times. Portland: Productivity Press. 545p. 1998

TATSIPOULOS, I. P.; KINGSMAN, B. G. Lead time management. **European Journal of Operational Research**, v. 14, n. 4, p. 351-358, 1983.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa Ação**. São Paulo: Atlas, 1997.

THÜERER, Matthias et al. Workload control and order release in two-level multi-stage job shops: an assessment by simulation. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 3, p. 869-882, 2013c.

THÜERER, M. The performance of Due Date setting rules in assembly and multi-stage job shops: an assessment by simulation. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 20, p. 5949-5965, 2012d.

THÜERER, M.; GODINHO FILHO, M. Redução do lead time e entregas no prazo em pequenas e médias empresas que fabricam sob encomenda: a abordagem Workload Control

(WLC) para o Planejamento e Controle da Produção (PCP). **Gestão e Produção**, v. 19, n. 1, 2012.

THÜRER, M.; GODINHO FILHO, M.; STEVENSON, M. . Coping with finite storage space in job shops through order release control: an assessment by simulation. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 9, p. 830-838, 2013b

THÜRER, M.; SILVA, C.; STEVENSON, M. Optimizing workload norms: the influence of shop floor characteristics on setting workload norms for the workload control concept. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 4, p. 1151-1171, 2011b.

THÜRER, M.; SILVA, C.; STEVENSON, M. Workload control release mechanisms: from practice back to theory building. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 12, p. 3593-3617, 2010.

THÜRER, M.; SILVA, C.; STEVENSON, M.; LAND, M.J. Controlled Order Release: A Performance Assessment in Job Shops with Sequence Dependent Set-up Times. **Production Planning & Control**. v. 25, n. 7, p. 603-615, 2012b.

THÜRER, M.; SILVA, C.; STEVENSON, M.; LAND, M.J. Improving the Applicability of Workload Control (WLC): The Influence of Sequence Dependent Set-Up Times on Workload Controlled Job Shops. **International Journal of Production Research**. Vol. 50, n. 22, p. 6419-6430, 2012c.

THÜRER, M.; STEVENSON, M. & SILVA, C. Three decades of workload control Research: A systematic review of the literature. *International Journal of Production Research*. Vol. 49, n. 23, p. 6905-6935, 2011a.

THÜRER, M.; STEVENSON, M.; SILVA, C.; HUANG, G. The Application of Workload Control in Assembly Job Shops: An Assessment by Simulation. **International Journal of Production Research**. Vol. 50, n.18, p. 5048-5062, 2012a..

THÜRER, M.; STEVENSON, M.; SILVA, C.; LAND, M.J. Towards an Integrated Workload Control (WLC) Concept: The Performance of Due Date Setting Rules in Job Shops with Contingent Orders. *International Journal of Production Research*. Vol. 51, n. 15, p. 4502–4516, 2013a

THÜRER, Matthias et al. The design of simple subcontracting rules for make-to-order shops: An assessment by simulation. **European Journal of Operational Research**, v. 239, n. 3, p. 854-864, 2014b.

THÜRER, Matthias; LAND, Martin J.; STEVENSON, Mark. Card-based workload control for job shops: Improving COBACABANA. **International Journal of Production Economics**, v. 147, p. 180-188, 2014a.

VAN DE VEN, Andrew H. Nothing is quite so practical as a good theory. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 486-489, 1989.

VOM BROCKE, Jan et al. Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process. **European Conference on Information Systems (ECIS)**. 2009. p. 2206-2217.

VON CIEMINSKI, Gregor; NYHUIS, Peter. Modeling and analyzing logistic interdependencies in industrial-enterprise logistics. **Production Engineering**, v. 1, n. 4, p. 407-413, 2007.

VOSS, Chris; TSIKRIKTSIS, Nikos; FROHLICH, Mark. Case research in operations management. **International Journal Of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WACKER, John G. A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management. **Journal of operations management**, v. 16, n. 4, p. 361-385, 1998.

WEIN, Lawrence M.; CHEVALIER, Philippe B. A broader view of the job-shop scheduling problem. **Management science**, v. 38, n. 7, p. 1018-1033, 1992.

WENG, M. X. et al. Multi-agent-based workload control for make-to-order manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 8, p. 2197-2213, 2008.

WIENDAHL, H. **Load-Oriented Manufacturing Control**. Berlim, Alemanha: Springer-Verlang.1995.

WIENDAHL, H.-P.; GLÄSSNER, JÜRGEN; PETERMANN, D. Application of load-oriented manufacturing control in industry. **Production Planning & Control**, v. 3, n. 2, p. 118-129, 1992.

WISNER, Joel D. A review of the order release policy research. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 6, p. 25-40, 1995.

WONG, C. et al. Towards a theory of supply chain alignment enablers: a systematic literature review. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 17, n.4, p. 419-437, 2012.

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

YIN, R.K. **Case Study Research: Design and Methods**. 3ed.Sage, Newbury Park. P. 166, 2003.

YIN, Robert K. **Case study research: Design and methods**, revised edition. **Applied Social Research Methods Series**, v. 5, 1989.

YIN. R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZÄPFEL, G.; MISSBAUER, H. New concepts for production planning and control. **European Journal of Operational Research**, v. 67, n. 3, p. 297-320, 1993.

ZONTA, L. **Propostas de melhorias no planejamento e controle da produção de uma empresa de manutenção aeronáutica**. 2013. 77p. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

APÊNDICE A- PROTOCOLO DO ESTUDO DE CASO

1. Visão geral do projeto do estudo de caso

Este projeto descreve os procedimentos necessários para a condução do estudo de caso com o propósito de aumentar a confiabilidade da pesquisa.

As fontes das informações fornecidas nas entrevistas ao pesquisador serão mantidas em sigilo. Não serão divulgados nem os nomes das pessoas entrevistadas e nem a razão social das empresas. Após a finalização desta dissertação será fornecido um relatório sobre o estudo de caso para a empresa participante da pesquisa.

1.1. Objetivo do estudo de caso

O objetivo da pesquisa é aplicar o *framework* desenvolvido por Soepenberget al. (2012c) na oficina de componentes eletrônicos e computadores de uma empresa do setor de manutenção aeronáutica. O *framework* em questão tem o propósito de analisar os atrasos das ordens para diagnosticar os problemas relacionados à confiabilidade de entrega advindos das decisões de Planejamento e Controle da Produção (PCP).

O estudo de caso conjuntamente com a revisão da literatura tem o objetivo de elaborar proposições de melhorias para os problemas identificados e propor pesquisas futuras de acordo com as lacunas identificadas.

As características principais da empresa para a aplicação do *framework* são:

- Alta variedade de produtos;
- Baixa previsibilidade de demanda;
- Confiabilidade de entrega é um critério competitivo importante;
- Sistema de informações que armazena o tempo de produção, o tempo de chegada e o tempo de conclusão por pedido;
- Sistema de informação com a descrição da ordem;
- Informação da capacidade e da carga de trabalho por pedido;
- Empresa caracterizada deve ser caracterizada como MTO;

Portanto, a empresa participante do estudo de caso deve apresentar todas ou a maior parte das características citadas acima. Outro requisito é que tenham disponibilidade de fornecer as informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa. Serão entrevistadas pessoas que tenham um conhecimento da rotina organizacional e, principalmente, um profundo conhecimento das atividades produtivas da empresa estudada, nesse caso, será o analista pleno de PCP da oficina de componentes eletrônicos e computadores. As entrevistas terão duração máxima de 2 horas e serão conduzidas pelo pesquisador nas instalações da empresa e será realizada visita às instalações da empresa.

1.2. Questões de Pesquisa

“Quais são as razões dos atrasos na conclusão das ordens em uma empresa do setor de manutenção aeronáutica, identificadas por meio da aplicação de um *framework*?”

1.3. Material de leitura relevante para o estudo de caso

Para a construção do estudo de caso os referenciais teóricos relevantes são:

- THÜRER, Matthias; STEVENSON, Mark; SILVA, Cristovao. Three decades of workload control research: a systematic review of the literature. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 23, p. 6905-6935, 2011;
- SOEPENBERG, G. D.; LAND, M. J.; GAALMAN, G. J. C. A framework for diagnosing the delivery reliability performance of make-to-order companies. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 19, p. 5491-5507, 2012.

2. Procedimento de coleta de dados

O procedimento de coleta de dados deste estudo apresenta o plano de coleta dos dados, a preparação para realização das visitas e os membros entrevistados.

2.1. Plano de coleta de dados

A realização da coleta de dados será realizada por meio de entrevistas agendadas com o Analista Pleno de PCP da empresa selecionada. As entrevistas serão agendadas por

telefone ou e-mail. A data para a realização da entrevista será proposta, porém o entrevistado irá definir a melhor data de acordo com a sua disponibilidade.

A coleta de dados será realizada através de entrevistas semiestruturadas, observações na empresa, análise dos relatórios de produção extraídos do sistema de informação e em trabalho acadêmico realizado na empresa.

2.2. Preparação para realização das entrevistas

Duas atividades antecedem a entrevista:

Primeiro, será enviado um e-mail ao entrevistado com a descrição geral do estudo a fim de contextualizar os entrevistados sobre o tema da pesquisa;

Segundo, antes da realização das entrevistas serão coletadas as informações disponíveis no site da empresa e no trabalho acadêmico realizado na empresa. Essas atividades objetivaram a obtenção prévia de informações importantes, que podem ser posteriormente discutidas nas entrevistas.

2.3. Procedimentos de Campo

O pesquisador deve ter à mão uma cópia do roteiro de entrevista e dar outra cópia ao entrevistado juntamente com uma folha de rosto que apresenta a pesquisa. Quando o entrevistado permitir, é aconselhado o uso de gravador. Casos contrários devem ser feitas anotações durante a entrevista. Os tópicos a serem discutidos devem ser colocados aos entrevistados de forma aberta e não se deve exercer nenhum tipo de indução a resposta a eles. Entretanto, outros tópicos considerados relevantes e que não constam no roteiro poderão ser explorados pelo pesquisador.

O tempo máximo previsto para entrevistas é de 2 horas. Porém, dependendo da disponibilidade da pessoa entrevistada, esse tempo pode ser reduzido para no mínimo 1 hora ou alongado um pouco. Devem-se evitar entrevistas muito longas e muito curtas.

O pesquisador deve sempre que possível conseguir fatos concretos sobre as respostas do entrevistado e cruzar informações com observações a serem realizadas na visita às instalações e apresentação da empresa.

O material a ser levado na pesquisa de campo é o seguinte: roteiros de entrevista, cópias dos roteiros de entrevista para o entrevistado, formulário para coleta de dados gerais, gravador e bloco de notas.

2.4. Roteiro de Entrevista para o Estudo de Casos

Fontes de Dados:

- Analista pleno de PCP

Tópicos a serem abordados na entrevista:

- Caracterização da empresa estudada;
- Caracterização do setor estudado;
- Sistema de informação utilizado;
- Capacidade de manutenção das aeronaves na empresa;
- Quais os modelos das aeronaves que a empresa faz manutenção;
- Certificações que a empresa possui;
- Problemas encontrados pelo PCP;
- Funções do PCP na empresa;
- Problemas relacionados com o processo de manutenção;
- Limitações durante o processo de manutenção;
- Origens dos componentes para a manutenção;
- Fluxo dos componentes para a manutenção;
- A relação entre PCP e confiabilidade de entrega;
- Determinação dos prazos de entrega;
- Outra informação que o pesquisador considerar relevante;
- Informação complementar do entrevistado.

Após cada entrevista deve ser redigido um resumo da entrevista. O resumo deve conter informações gerais sobre o nome do entrevistado, o cargo dele, data da entrevista, empresa e duração da entrevista. Estas informações devem ser digitadas logo no início do resumo. Em seguida deve ser feito um resumo das opiniões do entrevistado seguindo a sequência do roteiro de entrevista. Quando a entrevista for gravada deve-se fazer a transcrição de trechos relevantes da entrevista.

Após a visita às instalações da empresa e a apresentação do sistema produtivos da por parte da empresa, o pesquisador deve redigir um resumo de suas observações de com itens a serem observados e mais aqueles que ele considerar relevantes para a pesquisa.

Então, após o término das entrevistas, redação dos resumos das entrevistas e das observações de campo, o pesquisador deve redigir o relatório de estudo de caso. Este relatório será dividido em cinco grandes blocos:

- Dados gerais;
- Aspectos organizacionais;
- Aspectos relevantes;
- PCP e;
- Entrevistas.

Em relação aos dados gerais devem constar informações como: ramo de atuação da empresa, localização, *market share*, número de empregados e certificações.

Sobre os aspectos organizacionais devem ser relatadas as observações do pesquisador sobre a organização típica da produção da empresa, estrutura hierárquica.

Em termos dos aspectos relevantes devem ser relatadas as observações acerca de PCP ou de organização da produção que seja importante para o desempenho da confiabilidade de entrega da empresa, tenha proporcionado uma mudança importante ou esteja relacionado com a questão de pesquisa.

No bloco PCP deve ser feito um breve relato sobre as observações do pesquisador sobre o PCP em conjunto com a análise dos relatórios de produção fornecidos pela empresa.

Por fim, no bloco das entrevistas devem ser consolidados os resumos das entrevistas feitas no estudo de caso, denominando o entrevistado por seu cargo. A consolidação deve ser feita segundo os tópicos do roteiro de entrevista.

APÊNDICE B – RESUMO DOS ARTIGOS ANALISADOS

Quadro B – Resumo das informações dos artigos analisados

Autor (es)	Journal	Classificação	Nível da Pesquisa	País	Instituição	Resumo
Land (2009)	IJPE	C	OR, CEM	Holanda	Universidade de Groningen	Apresenta um sistema baseado em cartão para controle do <i>job shop</i> , o Copacabana (<i>Control of Balance by Card-Based Navigation</i>) com base nos conceitos do WLC.
Ebadian et al. (2009)	IJPR	S	IS	Irã	Universidade de Tehran	Propõe um modelo de estrutura hierárquica de planejamento de produção (<i>Hierarchical Production Planning - HPP</i>) com o objetivo de gerenciar a data de chegada de ordens a fim de atingir os prazos de entrega curtos e confiáveis usando tomada de decisões e técnicas adequadas em cada nível.
Thürer et al (2010)	IJPR	S	OR	Alemanha, Portugal, Reino Unido	Universidade de Tecnológica de Berlin, Universidade de Coimbra, Universidade de Lancaster	Testa através da simulação os impactos do tamanho do <i>job</i> no desempenho geral, onde são explorados três abordagens de liberação. O trabalho testou: capacidades de carga distintas para <i>jobs</i> pequenos grandes e priorização baseada no tamanho do <i>job</i> ou comprimento de roteamento.
Baykasoğlu e Göçken (2011)	IJPR	S	OR	Turquia	Universidade de Gaziantep	No estudo desenvolvido por estes autores, cada ponto de decisão em todos os níveis de decisão e suas interações em relação ao desempenho no <i>shop</i> foi investigado.
Fernandes e Silva (2011a)	IJPR	S	OR	Portugal	Universidade do Minho, Instituto Politécnico de Castelo Branco	Apresenta a importância da sequência dependente dos tempos de <i>setup</i> na tomada de decisão no nível de liberação de pedidos que se relaciona com o controle da capacidade de carga no chão de fábrica e representa influência sobre o desempenho do sistema de produção.
Fernandes e Carmo-Silva (2011b)	IJPE	S	OR	Portugal	Universidade do Minho, Instituto Politécnico de Castelo Branco	Este trabalho apresenta um estudo de simulação da abordagem liberação da ordem. O estudo contribui para melhorar a base para estabelecer normas de carga de trabalho.
Lu et al. (2011)	IJPR	S	OR, D	China	Universidade de Hong Kong; Universidade Tecnológica do Sul da China	Avalia através da capacidade de diferentes combinações de regras OR e despacho otimizando data de entrega e as medidas de desempenho relacionadas ao tempo de fluxo relacionado.
Stevenson et al. (2011)	PPC	E	IS	Holanda, Reino Unido	Universidade de Groningen, Universidade de Lancaster	Estudo de múltiplos casos realizado objetivou levantar as características de pequenas e médias empresas com recursos financeiros limitados que afetam a implementações do WLC.

Autor (es)	Journal	Classificação	Nível da Pesquisa	País	Instituição	Resumo
Thürer et al. (2011a)	IJPR	C	IS	Portugal, Reino Unido	Universidade de Coimbra, Universidade de Lancaster	Este trabalho apresenta uma revisão sistemática da literatura nas últimas três décadas apontada a evolução do tema e as lacunas existentes para o direcionamento de futuras pesquisas.
Thürer et al. (2011b)	IJPR	S	OR	Alemanha, Portugal, Reino Unido	Universidade Tecnológica de Berlin, Universidade de Coimbra, Universidade de Lancaster	Buscou prever as normas de capacidade de carga sem os requisitos de <i>feedback</i> pelas análises das características do chão de fábrica que são conhecidas por ter uma influência significativa no desempenho do WLC. Por meio da simulação foi testada as diferentes abordagens de carga e verificou-se que a abordagem de carga agregada corrigida apresentou o melhor desempenho nos parâmetros utilizados.
Liu et al. (2011)	IJPR	A	CE	China	Universidade de Town	Proposta de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão denominada como MAS (<i>Multi-agent-based mould due date setting</i>) que considera a confiabilidade de entrega como um critério de desempenho em um ambiente estocástico e apresenta-se como excelente recurso de tomada de decisão, pois se apoia na integração de informações.
Portioli-Staudacher e Tantardini (2012)	IJPR	S	OR	Itália	Universidade Politécnica de Milano	Apontam que as implementações de LM já não se limitam a produção de alto volume e estão se tornando cada vez mais comum em baixo volume, alta variedade empresas. Além disso, uma das principais características de implementação enxuta é que ela otimiza o fluxo de produção, torna unidirecional e reduz o tamanho das instalações. A simulação foi utilizada para testar o novo modelo de ORR e demonstrou o método de liberação produz prazos menores e aumenta a produção.
Pürgstaller e Missbauer (2012)	IJPE	S	OR	Áustria	Universidade de Innsbruck	Apresenta um estudo que compara modelos para a otimização da liberação da ordem com um mecanismo de carga de trabalho tradicional com a liberação de pedido. O modelo de otimização assume replanejamento periódico e, portanto, também pode avaliar os efeitos da previsibilidade da demanda.
Soepenberget al. (2012a)	IJPE	E	IS	Holanda	Universidade de Groningen	Buscou através de um estudo de caso único refinar o conceito de WLC aplicados ao PCP capaz de lidar com um <i>job shop</i> com roteiros complexos de montagem. Apesar do WLC ser visto como o conceito PCP mais adequado para a produção em <i>job shops</i> , o foco principal que se baseia na liberação não é suficiente em <i>job shops</i> complexos. Os resultados revelaram que o controle do progresso de ordem nos últimos estágios de produção pode ser usado de forma eficaz.

Quadro B – Resumo das informações dos artigos analisados (Continuação)

Autor (es)	Journal	Classificação	Nível da Pesquisa	País	Instituição	Resumo
Soepenberget al. (2012b)	IJPR	E	IS	Holanda	Universidade de Groningen	Analisa as questões-chave de desempenho logístico no que tange à confiabilidade de entrega das três fases diferentes estágios de implementação (pré-implementação, implementação e pós-implementação) e realiza o diagnóstico do atraso através de ferramentas de apoio (<i>order progress diagram e throughput diagram</i>)
Soepenberget al. (2012c)	IJPR	C, E	IS	Holanda	Universidade de Groningen	Apresenta um <i>framework</i> para diagnóstico de desempenho da confiabilidade de entrega em empresas MTO. O <i>framework</i> permite percorrer partindo do desempenho alcançado para as causas subjacentes relacionadas ao PCP. Três estudos de caso foram utilizados para exemplificar o <i>framework</i> . A estrutura desenvolvida mostra seus pontos fortes específicos em (1) seleccionar as áreas problemáticas, (2) fornecer os instrumentos de diagnóstico preciso e (3) detectar as causas relacionadas com decisões de PCP que geraram tais efeitos.
Thürer et al. (2012a)	IJPR	S	IS	Portugal, Inglaterra e China	Universidade de Coimbra, Universidade de Lancaster, Universidade de Hong Kong	Estuda a aplicabilidade do WLC dirigidas para os <i>assembly job shop</i> através da determinação da melhor combinação de: (i) data de entrega pela política de ajuste WLC (DD), (iii) método de liberação e (iii) pela coordenação da política progresso das ordens de serviço. Os resultados indicam que WLC pode melhorar o desempenho em <i>assembly job shops</i> e superar as políticas de controle alternativas.
Thürer et al. (2012b)	PPC	S	OR	Brasil, Portugal, Reino Unido e Holanda	Universidade Federal de São Carlos, Universidade de Coimbra, Universidade de Lancaster e Universidade de Groningen	Este estudo avalia o desempenho dos quatro métodos de liberação de melhor desempenho da literatura em <i>job shop</i> considerando os tempos de <i>set up</i> com sequência dependente na simulação.
Thürer et al. (2012c)	IJPR	S	IS	Portugal, Reino Unido e Holanda	Universidade de Coimbra, Universidade de Lancaster e Universidade de Groningen	Este trabalho investiga a influência da sequência dependente do <i>set-up</i> sobre o desempenho do controle d carga do <i>shop</i> através da introdução de um conjunto de regras de despacho e avalia o impacto de desempenho da liberação da ordem. Os resultados das simulações demonstram que a combinação de uma regra de liberação de ordem eficaz WLC com uma regra de expedição adequada melhora o desempenho.

Quadro B – Resumo das informações dos artigos analisados (Continuação)

Autor (es)	Journal	Classificação	Nível da Pesquisa	País	Instituição	Resumo
Thürer et al. (2012d)	IJPR	S	IS	Portugal, China, Reino Unido e Brasil	Universidade de Coimbra, Universidade de Hong Kong, Universidade de Lancaster e Universidade Federal de São Carlos	Este trabalho avalia o desempenho de regras de fixação de DD no contexto dos produtos com estruturas complexas, considerando dois cenários e são propostas novas regras que são substancialmente mais simples e mais adequado para uso prático do que os descritos na literatura.
Thürer et al. (2013a)	IJPR	S	CE	Brasil, Reino Unido, Portugal e Holanda	Universidade Federal de São Carlos, Universidade de Lancaster, Universidade de Coimbra e Universidade de Groningen	Este trabalho concentra-se especificamente na CEM e utiliza a simulação para comparar e contrastar o desempenho que estabelece as regras de data de entrega em um <i>job shop</i> onde parte da carga de trabalho consiste em não confirmado ou ordens de contingentes. Os melhores resultados são atingidos por uma regra de carga finita que explicitamente considera a carga de trabalho das ordens contingentes ao estimar prazos. Isso permite que demanda seja nivelada ao longo do tempo, permitindo datas de entregas curtas e confiáveis.
Thürer et al. (2013b)	IJCIM	S	OR	Brasil e Reino Unido	Universidade Federal de São Carlos e Universidade de Lancaster	Este estudo utiliza a simulação para avaliar o desempenho das quatro regras de controle de liberação de pedidos. Os resultados indicam que os melhores resultados são alcançados pela regra de liberação de ordem com controle de carga (WLCOR). Esta regra produz resultados comparáveis à solução ótima identificada por modelagem analítica em termos de espaço de armazenamento para alcançar uma determinada taxa de produção. A vantagem de WLCOR é que essa regra, simultaneamente, controla os prazos de entrega e a percentagem de trabalhos atrasados.
Thürer et al. (2013c)	IJPR	S	OR	Brasil, Reino Unido, Portugal e Holanda	Universidade Federal de São Carlos, Universidade de Lancaster, Universidade de Coimbra e Universidade de Groningen	Este estudo avalia por meio da simulação o desempenho de quatro dos métodos de liberação de ordem WLC com melhor desempenho. Os resultados sugerem que a liberação de ordem WLC tem o potencial de limitar o (WIP) enquanto e reduzir a porcentagem de trabalhos atrasados.

Quadro B – Resumo das informações dos artigos analisados (Continuação)

Autor (es)	Journal	Classificação	Nível da Pesquisa	País	Instituição	Resumo
Hendry et al. (2013)	IJOPM	E	OR	Reino Unido	Universidade de Lancaster e Universidade sw Southampton	Fornecer uma compreensão aprofundada do efeito dos conceitos de WLC que abrangem as medidas de desempenho em PME's e confirma a eficiência da abordagem LUMS COR permitindo que o paradigma LM seja adotado no contexto MTO.
Fernandes et al. (2014)	IJPR	S	IS	Portugal e Holanda	Instituto Politécnico do Castelo Branco, Universidade de Groningen e Universidade do Minho	Este estudo investiga o efeito de diferentes níveis de capacidade sobre o desempenho de dos métodos de liberação do WLC. O grau de capacidade interage com a influência das normas de carga de trabalho em centros de trabalho. Apesar do fato de WLC ter sido desenvolvido para utilizações altamente equilibradas, os resultados indicam que WLC poderia também ser eficaz em situações desequilibradas.
Land et al. (2014)	IJPR	S	OR, D	Holanda, Reino Unido e Brasil	Universidade de Groningen, Universidade de Lancaster e Universidade Federal de São Carlos	Este trabalho concentra-se em superar o conflito entre a liberação da ordem e expedição a fim de libertação ser combinada com expedição orientada pela data prometida. A análise preliminar revela que parte do conflito é porque as regras de despacho existentes são orientadas pela a data de entrega para compensar os desvios da programação
Thürer et al. (2014)	IJPE	C, S	OR	Brasil, Holanda e Reino Unido	Universidade Federal de São Carlos, Universidade de Groningen e Universidade de Lancaster.	Refinar o COBACABANA apresentado por Land (2009) para facilitar a aplicação através da redução o número de cartões e incorporar os avanços teóricos da abordagem WLC ao COBACABANA. Após o refinamento, utilizou-se da simulação em um job shop para avaliar o desempenho do método refinado.
Thürer et al. (2014b)	EJOR	S	IS	China, Reino Unido e Brasil	Universidade de Jinan, Universidade de Lancaster, Universidade Tecnológica de Guangdong e Universidade Federal de São Carlos	Este estudo usa a teoria do WLC para propor quatro novas regras. As novas regras são comparadas com quatro regras existentes usando um modelo de simulação para um <i>assembly shop floor</i> , onde o produto final, montado consiste em vários subconjuntos que são direcionados para um <i>job shop</i> interno ou são subcontratadas. As novas regras estabilizaram a carga direta em frente ao centro de trabalho e melhoraram significativamente o desempenho em comparação as regras existentes.

Fonte: Elaborado pela autora

APÊNDICE C- ANÁLISE DOS ATRASOS POSITIVOS DAS OFICINAS

Tabela C1- Peças da oficina de computadores e seus respectivos atrasos

<i>Descrição do Part Number</i>	Menor atraso (dias)	Média dos atrasos (dias)	Maior atraso (dias)	Frequência (dias)
Computador gerenciamento dados de voo - material eletrônico	35	190,00	345	2
Computador controle flaps e slats	146	158,00	170	2
Computador controle temperatura ar condicionado cabine passageiros	154	154,00	154	1
Computador monitoramento sangria ar motor	153	153,00	153	1
Unidade bateria principal	67	138,50	210	2
Computador de gerenciamento de exibição de dados nos monitores da cabine de comando	60	136,14	262	7
Painel de controle de múltiplas funções operacionais	131	132,00	133	2
Computador gerenciamento dados piloto automático	130	130,00	130	1
Computador eletrônico aileron/profundor aerodinâmico	127	127,00	127	1
Computador controle sistema direção e freio principal	9	125,67	233	3
Computador de gerenciamento de alertas de voo - material eletrônico	105	113,00	121	2
Indicador de quantidade de combustível	73	109,00	165	3
Computador controle aileron e profundor aerodinâmico	6	108,50	235	4
Computador acesso primário aeronave	107	107,00	107	1
Unidade controle pressão sistema ar condicionado cabine	71	106,80	134	5
Computador centralizador de dados de voo	24	94,60	168	5
Unidade de armazenamento de dados de falhas dos sistemas da aeronave	66	93,67	113	3
Painel gerenciador rádio	19	90,00	158	3
Unidade gerenciamento dado voo	72	88,00	104	2
Monitor cristal liquido dado voo cabine comando	1	81,44	164	9
Computador de controle do aileron e do profundor aerodinâmico	22	79,80	211	5
Computador sistema monitoramento/controle combustível (eletrônico)	34	79,67	147	3
Computador controle ailerons e profundos aerodinâmicos	3	79,38	200	8
Unidade interface dados motor	78	78,00	78	1
Computador unidade controle sistema extensão retração trem pouso (eletrônico)	4	77,00	139	10
Computador de gerenciamento de exibição de dados dos painéis do cockpit	77	77,00	77	1
Unidade de gerenciamento de dados de voo	32	76,40	105	5
Monitor painel instrumento tubo raio catódico cabine comando - eletrônico	11	74,75	181	12
Computador de controle dos flaps e slats	19	74,00	209	6
Unidade controle voo piloto automático	29	73,00	117	2
Computador do sistema de indicação de quantidade de combustível	13	72,43	127	7

Tabela C1- Peças da oficina de computadores e seus respectivos atrasos (Continuação)

Descrição do Part Number	Menor atraso (dias)	Média dos atrasos (dias)	Maior atraso (dias)	Frequência (dias)
Painel controle monitoramento eletrônico centralizado aeronave	71	71,00	71	1
Computador profundo/freio aerodinâmico	4	70,67	195	6
Painel controle múltiplas funções operacionais	1	68,00	229	8
Painel controle múltiplas funções operacionais	57	68,00	79	2
Painel controle múltiplas funções operacionais	2	66,00	136	3
Computador controle comandos primários voo - eletrônico	3	60,33	96	3
Painel de gerenciamento de radio	24	59,25	123	8
Painel controle múltiplas funções operacionais	52	58,50	65	2
Unidade controle de temperatura do ar condicionado	14	55,67	83	3
Computador gerenciamento informações sistema controle trafego aéreo	1	55,38	150	8
Painel sistema gerenciamento radio navegação	11	51,40	127	5
Painel de controle do radar meteorológico	6	50,50	163	4
Painel controle múltiplas funções operacionais	1	47,00	163	10
Computador controle sistema direção e freio principal	23	44,00	65	2
Computador de gerenciamento de dados de voo	1	40,57	196	21
Unidade controle voo piloto automático	1	36,84	81	19
Computador de gerenciamento de dados do piloto automático	1	35,33	73	3
Computador gerenciamento dado voo sistema piloto automático	5	33,40	58	5
Unidade controle voo piloto automático	29	29,00	29	1
Computador sistema controle voo profundo freio aerodinâmico (eletrônico)	2	25,67	57	3
Gravadores de dados voo	23	23,00	23	1
Unidade interface dados motor - elétrico	8	22,00	49	3
Computador centralizador dados voo	21	21,00	21	1
Painel de controle do monitoramento eletrônico centralizado da aeronave	19	19,00	19	1
Suporte antena radar meteorológico	17	17,00	17	2
Computador gerenciamento informações sistema controle trafego aéreo	15	15,00	15	1
Computador gerenciamento dado voo	13	13,00	13	1
Transceptor eletrônico radar meteorológico aeronave	11	11,00	11	1
Computador sistema comunicação via satélite	5	9,33	13	3
Suporte eletrônico antena radar meteorológico	7	7,00	7	1
Suporte antena radar meteorológico	7	7,00	7	1
Monitor elétrico painel instrumento tubo raio catódico cabine comando	5	6,00	7	2
Computador controle comandos secundários voo	6	6,00	6	1
Unidade monitoramento controle bateria principal aeronave	5	5,00	5	1

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela C2- Peças da oficina de componentes eletrônicos e seus respectivos atrasos

Descrição do <i>Part Number</i>	Menor atraso (dias)	Média dos atrasos (dias)	Maior atraso (dias)	Frequência (dias)
Detector fumaça lavatório - elétrico	44	45,00	46	2
Detector sistema detecção/extinção fogo compartimento carga	5	42,59	121	17
Megafone cabine passageiro - eletrônico	2	42,00	82	2
Monitor cristal líquido 6.4 polegadas com braço articulado	20	42,00	64	2
Detector fumaça lavatório	2	40,67	111	3
Unidade controle entretenimento poltronas classe econômica	20	40,00	52	3
Unidade digital de controle do passageiro	39	39,00	39	1
Monitor elétrico sistema entretenimento passageiro esquerdo	2	38,75	68	4
Fonte de energia da iluminação de emergência	35	35,33	36	3
Dispositivo subaquático localização emergência	4	34,32	118	41
Fonte energia iluminação emergência	1	32,88	157	8
Relógio eletrônico da cabine de comando	32	32,00	32	1
Fonte energia iluminação emergência	31	31,00	31	1
Transmissor de localização de emergência	30	30,00	30	1
Fone ouvido com microfone cabine comando	11	28,00	44	7
Interfone eletrônico sistema comunicação cabine comissário	28	28,00	28	1
Sensor sistema indicação quantidade combustível tanques asas	27	27,00	27	1
Microfone eletrônico interfone cabine dianteira comissário	7	26,20	34	5
Fone de ouvido com microfone da cabine de comando	1	26,00	181	66
Transmissor de localização de emergência	2	25,85	118	13
Interfone eletrônico placa circuito impresso luminária cabine passageiro	11	24,50	38	2
Caixa controle sistema entretenimento poltrona classe economia (eletrônico)	2	20,50	48	12
Monitor cristal líquido sistema entretenimento cabine passageiro	20	20,00	20	1
Interfone cabine passageiros - eletrônico	1	19,68	58	50
Eixo altímetro auxiliar painel instrumentos cabine comando	13	18,50	26	4
Interfone eletrônico sistema comunicação cabine comissário	18	18,50	19	2
Monitor cristal líquido sistema entretenimento poltrona classe economia	17	17,00	17	3
Unidade eletrônico sistema entretenimento passageiro	4	15,68	26	22
Unidade sistema áudio poltrona passageiro	8	15,50	23	2
Unidade eletrônico sistema entretenimento passageiro	2	15,27	22	11
Fonte energia iluminação emergência	1	15,00	29	2
Painel controle serviço e informação ao passageiro	14	14,00	14	1
Unidade eletrônico sistema entretenimento dupla poltrona passageiro	2	13,96	24	26
Fonte iluminação de emergência	2	12,00	27	4
Unidade informação e serviço passageiro	12	12,00	12	1
Fonte iluminação emergência	4	11,80	41	5
Microfone	11	11,00	11	1

Tabela C2- Peças da oficina de componentes eletrônicos e seus respectivos atrasos
(Continuação)

Descrição do <i>Part Number</i>	Menor atraso (dias)	Média dos atrasos (dias)	Maior atraso (dias)	Frequência (dias)
Sensor elétrico mecanismo direcionamento roda nariz	3	9,67	13	3
Interfone da tripulação	7	9,50	12	2
Plugue elétrico sistema entretenimento	7	9,29	11	7
Unidade eletrônico sistema entretenimento passageiro	9	9,00	9	1
Transmissor localização emergência	9	9,00	9	1
Detector fumaça lavatório	4	8,00	12	2
Conector elétrico poltrona passageiro	6	7,50	11	6
Unidade de informação e serviço do passageiro	7	7,00	7	1
Interfone comissários - eletrônico	7	7,00	7	1
Antena equipamento medidor distancia	5	5,00	5	1
Indicador auxiliar de velocidade do ar	4	4,67	5	3
Transmissor eletrônico aeronave	4	4,00	4	1
Antena transmissora/receptora sinais alta frequência	3	3,00	3	1
Unidade eletrônico sistema entretenimento tripla poltrona passageiro	1	1,00	1	1

Fonte: Elaborado pela autora

APÊNDICE D- ALGORITMOS UTILIZADOS NA DISSERTAÇÃO

Este apêndice apresenta os algoritmos utilizados no Matlab 2013R utilizados para a construção dos *order progress* apresentados na seção 5.3.1.1 e 5.3.1.2.

Algoritmo 1: Gráficos dos atrasos da oficina de Computadores

```
fim=2496;
vetor=[];
vetor=[1];
cont=0;
[ano,mes,~,~,~,~] = datevec(aco);

for w=1:fim
    if mes(w)== && ano(w) ==
        cont=cont+1;
        vetor(cont)=w;
    end
end

for n =1:cont
    pos=vetor(n);
    y=[ch(pos),co(pos)];
    x=[ach(pos),aco(pos)];
    if ch(pos)>co(pos)
        plot(x,y,'g');
    else
        plot(x,y,'k');
    end
    hold on
%% fim do loop
```

```

end

datetick('x',20) %%
grid on
axis tight
ylim([-20,50]);
xlabel('Data');
ylabel('Atraso (dias)');

```

Algoritmo 2: Gráficos dos atrasos da oficina de Componentes Eletrônicos

```

fim=7229;
vetor=[];
vetor=[1];
cont=0;
[ano,mes,~,~,~,~] = datevec(aco);

for w=1:fim
    if mes(w)== && ano(w) ==
        cont=cont+1;
        vetor(cont)=w;
    end
end

for n =1:cont
    pos=vetor(n);
    y=[ch(pos),co(pos)];
    x=[ach(pos),aco(pos)];
    if ch(pos)>co(pos)
        plot(x,y,'g');
    else
        plot(x,y,'k');
    end
end

```

```
end  
hold on  
end
```

```
datetick('x',20)  
grid on  
axis tight  
ylim([-20,50]);  
xlabel('Data');  
ylabel('Atraso (dias)');
```