

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SISTEMAS

Guilherme Luiz Cassel

A APLICAÇÃO DAS LEIS DE *FACTORY PHYSICS* EM SISTEMAS DE
PRODUÇÃO: PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO VIA *DESIGN*
RESEARCH

Orientador: Guilherme Luís Roehe Vaccaro, Dr.

São Leopoldo

2010

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SISTEMAS

Guilherme Luiz Cassel

A APLICAÇÃO DAS LEIS DE *FACTORY PHYSICS* EM SISTEMAS DE
PRODUÇÃO: PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO VIA *DESIGN*
RESEARCH

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Orientador: Guilherme Luís Roehe Vaccaro, Dr.

São Leopoldo

2010

C344a Cassel, Guilherme Luiz.
A aplicação das leis de factory physics em sistemas de produção: proposição de um método via design research / Guilherme Luiz Cassel. – 2010.
161 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2010.
"Orientador: Guilherme Luís Roehe Vaccaro, Dr."

1. Administração da produção. 2. Administração fabril.
3. Desenho (Projetos) – Pesquisa. I. Título.

CDU 658.5

RESUMO

Esta dissertação apresenta uma proposta de Método para aplicação das leis da filosofia *Factory Physics*, proposta por Hopp e Spearman (2000), para melhorar Sistemas de Produção. O objetivo deste método é o de resolver problemas dos sistemas de produção a partir da aplicação das leis apresentadas em *Factory Physics*, de uma maneira sistemática, iniciando com a classificação dos problemas de produção a partir dos objetivos de desempenho propostos por Slack (1993). A metodologia de pesquisa utilizada é baseada em *Design Research*, que é estruturado a partir de um ciclo de cinco etapas, a saber: (i) consciência do problema; (ii) tentativa de *design*; (iii) desenvolvimento do artefato; (iv) avaliação do artefato; e (v) conclusão. O método de trabalho foi estruturado em treze etapas, nas quais foram desenvolvidas três versões do método proposto, em função dos sucessivos refinamentos que o método utilizado propõe para o desenvolvimento de (bons) artefatos. Para embasar a pesquisa, o referencial teórico versa sobre temas como sistemas de produção, abordagens técnicas, técnicas para mapeamento e implementação de melhorias, modelagem empresarial, e uma profunda revisão da literatura sobre *Factory Physics*, e após é realizada uma apresentação dos elementos desenvolvidos para o método, a partir destes conceitos apresentados anteriormente. O trabalho limita-se a apresentar o método (artefato) refinado após as três rodadas de desenvolvimento de acordo com o método de trabalho, sem a pretensão de validá-lo, deixando esta tarefa para trabalhos futuros. Com relação à metodologia *Design Research*, o presente trabalho visa contribuir apresentando uma análise crítica deste, no que tange ao seu uso, para pesquisas em Engenharia de Produção. Por fim, o resultado da presente pesquisa compreende o método proposto para aplicação das leis de *Factory Physics*, de modo a promover melhorias em sistemas de produção a partir da abordagem apresentada por Hopp e Spearman (2000), e o aprendizado e artefatos decorrentes do esforço de desenvolvimento neste trabalho.

Palavras-Chave: *Factory Physics*, Sistemas de Produção, Administração da Produção, *Design Research*, Método de Aplicação de Melhorias.

ABSTRACT

This dissertation presents a method proposal for Factory Physics laws application, which is a philosophy proposed by Hopp and Spearman (2000), to improve production systems. The method's objective is solve production systems problems using a application of these laws presented on Factory Physics philosophy, from a systematic viewpoint, starting with the production problems classification by performance objectives perspective, proposed by Slack (1993). The research methodology adopted is based on Design Research, which is structured by five steps: (i) awareness of problem; (ii) suggestion; (iii) artifact's development; (iv) artifact's evaluation; and (v) conclusion. The work method was planned with thirteen work stages, where were developed three versions of the method proposed, because of the successive refinements, proposed by Design Research methodology, in order to develop (good) artifacts. To research basement, the theoretical reference present themes like production systems, technical approaches, techniques for mapping and improvement implementation, systems modeling, and a deep bibliography revision about Factory Physics, and after that is made a presentation of the elements developed to the method, using these concepts, presented earlier. This dissertation refrains to make a method's (artifact's) presentation, refined after three development cycles according research method, without a validation pretension, leaving this task for future researches. Regarding Design Research methodology, this dissertation seeks for a contribution in this sense, presenting a critical analysis of its use for researches in Production Engineering. After all, the results of this dissertation includes, besides the proposed method for Factory Physics Laws Application, in order to promote improvements on production systems from the philosophy proposed by Hopp and Spearman (2000), the knowledge and artifacts generated in this research effort.

Keywords: Factory Physics, Production Systems, Production Management, Design Research, Improvement Application Method.

Dedico este trabalho:
aos meus pais Luiz (*in memoriam*) e Vera;
à minha avó Edith e à minha irmã Gisele;
e especialmente à minha namorada Márcia.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida e pelas oportunidades com que tem me presenteado.

À minha família e à minha namorada Márcia, pelo forte apoio e extrema compreensão durante a elaboração deste trabalho.

Ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. Guilherme Luís Roehe Vaccaro, pelo seu entusiasmo ao aceitar a orientação deste trabalho, e pelo apoio e dedicação incansáveis dispensados durante o seu desenvolvimento.

Aos amigos, pela tolerância aos momentos de minha ausência enquanto trabalhava nesta dissertação.

À Weatherford, pelo apoio e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho, principalmente nas pessoas de Daniel Ribeiro Pereira e Matheus Eduardo Cercato.

Aos amigos e colegas da turma de 2008 do mestrado, principalmente aos colegas Marcelo Leandro Bernardes, Daniela Daiane da Silva, Fernando Ribas Beck, Jeferson de Souza de Jesus e tantos outros, pelo apoio e pelas discussões que ajudaram a desenvolver melhor este trabalho.

À secretária do PPGEPS, Antônia de Almeida, pelos inúmeros lembretes das datas importantes e das nossas obrigações regulamentares.

Ao professor Dr. Junico Antunes, pelas idéias sugeridas, inúmeras discussões (produtivas e de alto nível) e valiosos debates que ajudaram a expandir meu conhecimento sobre Sistemas de Produção.

Aos diversos mestres, colegas e amigos da UNISINOS, com quem tive oportunidades de aprendizado importantes ao longo da caminhada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

*“Tudo deveria se tornar o mais simples possível,
mas não simplificado.”*

Albert Einstein

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo Geral para Gerar e Acumular Conhecimento	22
Figura 2 – Metodologia de <i>Design Research</i>	23
Figura 3 – Ciclo de Gerar/Testar	29
Figura 4 – Etapas do Método de Trabalho pelo <i>Design Research</i> , na forma proposta por Vaishnavi e Kuechler (2007)	31
Figura 5 – Etapas do Método de Trabalho Proposto	32
Figura 6 – Aspectos Internos e Externos dos Objetivos de Desempenho.....	39
Figura 7 – A Estrutura da Produção – Mecanismo da Função Produção	42
Figura 8 – Estrutura da Análise de Sistemas.....	52
Figura 9 – Comparação Melhor Caso x Pior Caso x Pior Caso Aceitável	64
Figura 10 – Classificação de Eventos	68
Figura 11 – Curvas <i>Lead Time</i> Médio vs. Utilização	73
Figura 12 – Robustez Relativa de Sistemas CONWIP ante Sistemas Empurrados ..	78
Figura 13 – Gráficos TH x WIP e CT x WIP	92
Figura 14 – Sugestão Proposta Versão 1	98
Figura 15 – Sugestão Proposta Versão 2.....	102
Figura 16 – Diagrama da Sugestão do Método Versão 3.....	108
Figura 17 – Gráficos de <i>Benchmarking</i> Interno do Sistema – Estado Atual.....	114
Figura 18 – Resultados dos Cenários Aplicados ao Gráfico TH x WIP.....	118
Figura 19 – Resultados dos Cenários Aplicados ao Gráfico CT x WIP.....	119
Figura 20 – <i>Benchmarking</i> Interno do Sistema após Primeiro Ciclo de Melhorias...	121
Figura 21 – Resultados dos Cenários Aplicados ao Gráfico TH x WIP – 2º Ciclo....	126
Figura 22 – Resultados dos Cenários Aplicados ao Gráfico CT x WIP – 2º Ciclo....	127
Figura 23 – <i>Benchmarking</i> Interno do Sistema após Segundo Ciclo de Melhorias..	128
Figura 24 – Diagrama para Implementação do Método de Aplicação das Leis de <i>Factory Physics</i>	156

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição dos Artefatos de um estudo de <i>Design Research</i>	20
Quadro 2 – Diferenças entre Pesquisa Descritiva e Pesquisa Prescritiva.....	21
Quadro 3 – Diretrizes de Pesquisa em <i>Design-Science</i>	25
Quadro 4 – Métodos de Avaliação de <i>Design Science</i>	27
Quadro 5 – Classes de Variabilidade	66
Quadro 6 – Sumário de Expressões para Avaliar os Tempos Efetivos de Processo.....	67
Quadro 7 – Termos para Avaliar os Tempos Efetivos de Processo	68
Quadro 8 – Significado das Expressões da Lei da Conservação de Material.....	71
Quadro 9 – Significado das Expressões da Lei da Conservação de Material.....	75
Quadro 10 – Abordagens <i>Hard</i> versus <i>Soft</i>	84
Quadro 11 – Seleção das Leis de FP para Aplicação nas Funções do MFP	86
Quadro 12 – Exemplos de Melhorias na Função Processo e na Função Operação conforme as Leis de FP	87
Quadro 13 – Problemas de Produção Classificados por Tipo de Melhoria	88
Quadro 14 – Seleção de Função Processo, Função Operação e Leis de FP para Aplicação em Problemas de Produção	89
Quadro 15 – Ações para Melhorias de Sistemas de Produção	91
Quadro 16 – Requisitos para os Passos do Método Versão 2	104
Quadro 17 – Perfil dos Especialistas.....	105
Quadro 18 – Atribuições da Alta Administração e da Equipe de Trabalho conforme o PDCA	110
Quadro 19 – Requisitos para os Passos do Método Versão 3	111
Quadro 20 – Dados e Parâmetros Iniciais do Sistema.....	113
Quadro 21 – Observação do Processo quanto à Refugo e Retrabalho	115
Quadro 22 – Cenários para Execução das Ações	117
Quadro 23 – Resultados dos Cenários Simulados	118
Quadro 24 – Dados e Parâmetros do Sistema após Primeiro Ciclo de Melhorias ...	120
Quadro 25 – Aplicação das Leis da Ação-Macro Proposta ao Sistema de Produção	123
Quadro 26 – Classificação da Variabilidade das Operações do Sistema de Produção	123
Quadro 27 – Cenários para Execução das Ações – 2º Ciclo	124
Quadro 28 – Resultados dos Cenários Simulados – 2º Ciclo	125
Quadro 29 – Cenários Adicionais com Resultados da Simulação – 2º Ciclo	125
Quadro 30 – Dados e Parâmetros do Sistema após Segundo Ciclo de Melhorias ..	128
Quadro 31 – Requisitos para Implementação do Método de Aplicação das Leis de <i>Factory Physics</i>	158
Quadro 32 – Atribuições da Alta Administração e da Equipe de Trabalho para Implementação do Método de Aplicação das Leis de <i>Factory Physics</i>	159
Quadro 33 – Ações para Implementação do Método de Aplicação das Leis de <i>Factory Physics</i>	160

SUMÁRIO

1	Introdução	11
1.1	Definição do Tema e do Problema de Pesquisa	14
1.2	Objetivos	15
1.3	Justificativa	16
1.4	Estrutura do Texto	17
1.5	Considerações Finais	18
2	Metodologia	19
2.1	Método de Pesquisa	19
2.2	Método de Trabalho	30
2.3	Delimitações da Dissertação	35
2.4	Considerações Finais	36
3	Revisão da Literatura	37
3.1	Dimensões Estratégicas e Objetivos para Melhorar a Competitividade das Organizações	37
3.2	Sistemas de Produção	40
3.2.1	Sistema Toyota de Produção	41
3.2.2	<i>Lean Manufacturing</i>	43
3.2.3	Teoria das Restrições	45
3.3	<i>Factory Physics</i>	45
3.3.1	Sistemas de Produção e os Princípios de <i>Factory Physics</i>	47
3.3.2	Definições e Parâmetros de <i>Factory Physics</i>	53
3.3.3	Leis de <i>Factory Physics</i>	58
3.4	Pesquisa Operacional e Modelagem Empresarial	83
3.5	Considerações Finais	84
4	Referencial Teórico	85
4.1	Cruzamento das Leis de <i>Factory Physics</i> sobre a Estrutura do Mecanismo da Função Produção	85
4.2	Relação entre Problemas de Produção e Implementação de Melhorias	88
4.3	Objetivos de Desempenho no contexto de <i>Factory Physics</i>	90
4.4	Considerações Finais	95
5	Construção do Método Proposto Utilizando <i>Design Research</i>	96
5.1	Etapa 1 – Consciência Inicial do Problema	96
5.2	Etapa 2 – Sugestão Versão 1	96
5.3	Etapa 3 – Desenvolvimento do Método Versão 1	97
5.4	Etapa 4 – Avaliação do Método Versão 1	99
5.5	Etapa 5 – Refinamento da Consciência do Problema	100
5.6	Etapa 6 – Sugestão do Método Versão 2	101
5.7	Etapa 7 – Desenvolvimento do Método Versão 2	101
5.8	Etapa 8 – Avaliação do Método Versão 2	104
5.9	Etapa 9 – Refinamento da Consciência do Problema	106
5.10	Etapa 10 – Sugestão do Método Versão 3	107
5.11	Etapa 11 – Desenvolvimento do Método Versão 3	107
5.12	Etapa 12 – Avaliação do Método Versão 3	112
5.12.1	Passo 1 – Avaliar Sistema de Produção	113
5.12.2	Passo 2 – Definir Dimensão, Ações e Metas	114
5.12.3	Passo 3 – Definir Equipe de Trabalho	115
5.12.4	Passo 4 – Treinar Equipe de Trabalho	115

5.12.5	Passo 5 – Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas)..	115
5.12.6	Passo 6 – Observação e Análise do Processo	115
5.12.7	Passo 7 – Estabelecer o Plano de Ações	116
5.12.8	Passo 8 – Aprovar os Recursos Necessários	117
5.12.9	Passo 9 – Executar o Plano de Ações.....	117
5.12.10	Passo 10 – Verificar o Resultado Obtido com a Execução das Ações 118	
5.12.11	Passo 11 – Avaliar o Resultado em Relação aos Objetivos Propostos 119	
5.12.12	Passo 12 – Criar e Estabelecer o novo <i>Benchmarking</i> Interno do Sistema de Produção	120
5.12.13	Passo 13 – Apresentação dos Resultados e das Oportunidades de Melhoria	121
5.12.14	Passo 2 – Definir Dimensão, Ações e Metas – 2º Ciclo	121
5.12.15	Passo 3 – Definir Equipe de Trabalho – 2º Ciclo.....	122
5.12.16	Passo 4 – Treinar Equipe de Trabalho – 2º Ciclo.....	122
5.12.17	Passo 5 – Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas) – 2º Ciclo	122
5.12.18	Passo 6 – Observação e Análise do Processo – 2º Ciclo	122
5.12.19	Passo 7 – Estabelecer o Plano de Ações – 2º Ciclo	124
5.12.20	Passo 8 – Aprovar os Recursos Necessários	124
5.12.21	Passo 9 – Executar o Plano de Ações – 2º Ciclo	125
5.12.22	Passo 10 – Verificar o Resultado Obtido com a Execução das Ações – 2º Ciclo	126
5.12.23	Passo 11 – Avaliar o Resultado em Relação aos Objetivos Propostos – 2º Ciclo	126
5.12.24	Passo 12 – Criar e Estabelecer o Novo <i>Benchmarking</i> Interno do Sistema de Produção – 2º Ciclo.....	128
5.12.25	Passo 13 – Apresentação dos Resultados e das Oportunidades de Melhoria – 2º Ciclo	129
5.13	Etapa 13 – Conclusão.....	129
5.14	Considerações Finais.....	130
6	Análise e DiscussÃO	131
6.1	<i>Factory Physics</i> para Melhorias em Sistemas de Produção	131
6.2	Análise do Método para Aplicação dos Princípios de <i>Factory Physics</i> em Sistemas de Produção.....	133
6.2.1	Potencialidades do Método.....	136
6.2.2	Fragilidades do Método	137
6.3	Análise Crítica do Método <i>Design Research</i> como Método de Pesquisa para Trabalhos em Engenharia de Produção	138
6.4	Considerações Finais.....	140
7	Conclusão.....	141
7.1	Limitações do Trabalho.....	142
7.2	Recomendações para Trabalhos Futuros	143
7.3	Uma Palavra Pessoal.....	143
8	Referências.....	145
	Apêndice 1 – Resumo das Leis de <i>Factory Physics</i>	153
	Apêndice 2 – Manual do Método de Aplicação das Leis de <i>Factory Physics</i>..	156

1 INTRODUÇÃO

Na Gestão de Operações é recorrente a discussão sobre a necessidade de melhorar continuamente o desempenho do sistema produtivo. Atualmente, os sistemas de produção têm enfrentado diversos desafios na forma de mudanças freqüentes nos requisitos de clientes, tecnologia, mercados, produtos e competição, que afetam as suas condições de produção, e a flexibilidade nas operações tem sido reconhecida como uma capacidade competitiva chave neste contexto (AL-TAHAT; RAWABDEH, 2008; COUSENS; SZWEJCZEWSKI; SWEENEY, 2009).

Com o surgimento de teorias de diferentes origens, muitas abordagens metodológicas encontraram terreno propício em empresas dispostas a transformar seus sistemas de produção de acordo com esses princípios fundamentais e a aplicação de diversas técnicas, em busca da melhoria do sistema produtivo. Dentre essas vertentes destacam-se o Gerenciamento da Qualidade Total (DEMING, 1990; FEIGENBAUM, 1994; JURAN, 1992), o Sistema Toyota de Produção (SHINGO, 1996a e 1996b; OHNO, 1997), *Lean Manufacturing* (WOMACK e JONES, 1998), Teoria das Restrições (GOLDRATT, 1992) e *Factory Physics* (HOPP e SPEARMAN, 2000).

O tema Gestão de Operações começou a entrar em pauta a partir dos Princípios de Administração Científica apresentados por Taylor, no início do século XX (TAYLOR, 2008). Juntamente, ocorreram os estudos de tempos e movimentos, visando a otimizar o trabalho dos operários, como proposto por Taylor e pelo casal Gilbreth. Surgiu também a linha de montagem de Henry Ford dando início ao sistema de produção em massa, também conhecido como Fordismo (HOPP; SPEARMAN, 2000). Nesta mesma época Taylor (2008) advogava, por exemplo, que o trabalho deveria ser dividido entre a gerência e os trabalhadores, ou seja, caberia aos administradores planejar o que deveria ser realizado e aos trabalhadores executar o trabalho de acordo com o método científico estabelecido pelos administradores de modo a garantir a máxima produtividade. Como um sistema de produção, o Fordismo possuía uma visão além de seu tempo: os veículos fluíam através de uma linha de montagem, as peças a serem montadas eram intercambiáveis entre si, cada trabalhador executava uma pequena porção do trabalho e a preocupação com o desperdício era incessante (FORD, 1927). No entanto, o sistema de produção em massa fora concebido para determinado contexto, no qual não havia restrição de demanda (dado que esta era superior à capacidade de oferta) e tampouco escassez de recursos, tanto de materiais quanto de mão-de-obra.

No período após 1945, o Japão, então arrasado pela 2ª Guerra Mundial, recebeu ajuda para a sua reconstrução nacional. Nesse mesmo esforço de reconstrução, especialistas americanos foram enviados para dar suporte às mudanças necessárias. Dentre eles citam-se W. Edwards Deming e Joseph M. Juran, mais adiante reconhecidos como “gurus da qualidade” (BATALHA *et al.*, 2008). Nesta época já havia, nos Estados Unidos, um desenvolvimento do conceito de qualidade, que seria conhecido mais tarde como Gerenciamento da Qualidade Total (TQM – *Total Quality Management*). Este teve início na era de Ford, com a adoção do conceito de intercambiabilidade de componentes, exigindo o desenvolvimento da área da metrologia (BATALHA *et al.*, 2008). Foi aperfeiçoado com a instauração do controle de qualidade com o uso dos gráficos de controle de processo, proposto por Shewhart em 1924, e do ciclo PDCA (do inglês *Plan-Do-Check-Action*), proposto por Shewhart e disseminado por Deming. Mais adiante, foi reforçado, a partir do modelo sistêmico proposto por Feigenbaum, nas décadas de 1950/60, dando origem à era da Garantia da Qualidade.

Neste período pós-guerra no Japão começaram a ser difundidos os conceitos e técnicas da qualidade vigentes, sendo assimilados pelas empresas japonesas. Com a contribuição da cultura local e as restrições deste período, as empresas japonesas foram adicionando outros componentes, tais como aversão ao desperdício, ênfase na melhoria contínua da qualidade e forte participação dos trabalhadores, contribuindo para consolidar, a partir do aperfeiçoamento ao modelo feito pelos trabalhadores japoneses, a era da Gestão da Qualidade. Fomentada pelo aumento da competitividade, a área da qualidade recebeu uma atenção muito grande, tendo sido desenvolvidas diversas ferramentas para auxiliar em gestão e controle, tais como engenharia de confiabilidade, inspeção por amostragem baseada em probabilidade estatística, planejamento de experimentos, entre outras. O uso do TQM com grande afinco é uma das razões principais da mudança do conceito dos produtos japoneses de itens de baixo custo e baixa qualidade, na década de 1950, para produtos de alta qualidade e baixo custo, nos dias de hoje (SHIBA; GRAHAM; WALDEN, 1997; HOPP; SPEARMAN, 2000; MONTGOMERY, 2004; BATALHA *et al.*, 2008).

A partir dos conceitos de qualidade empregados com êxito no Japão e da mudança de cultura de produção em massa para produção em pequenos lotes, devido à necessidade específica daquele país, conceituou-se um novo sistema de produção: a produção enxuta (WOMACK; JONES; ROOS, 1992; HOPP; SPEARMAN, 2000). Esta, por sua vez, deu origem a duas abordagens técnicas: o Sistema Toyota de Produção (STP) e o *Lean Manufacturing* (LM).

A Teoria das Restrições (TOC) surgiu a partir da visão de Eliyahu Goldratt, que, em 1984, introduziu por meio de seu romance “A Meta”, uma nova maneira de analisar os problemas de gestão de operações. Goldratt (1992) afirma que a meta de uma organização

é ganhar dinheiro hoje e no futuro e para que isto seja possível é necessário que a organização descubra qual a restrição que restringe a empresa de ganhar mais dinheiro.

De acordo com Skinner (1969), o propósito da produção é o de servir à organização para satisfazer as necessidades de segurança, lucro e crescimento. A partir desta visão, Slack (1993) apresenta em seu trabalho a noção de objetivos de manufatura, também conhecidos como dimensões competitivas, a saber: qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo, cujo objetivo principal é fazer melhor, sendo orientada pela escolha dos consumidores, que definem o que é importante para que a empresa possa tanto estar no mercado como ganhar seus pedidos. Para descobrir a sua posição perante a concorrência, o autor apresenta a vantagem de utilizar o *benchmarking* como uma ferramenta a favor da organização. Conforme o autor, direcionando a estratégia da produção no sentido de fazer melhor, atuando sobre os objetivos da manufatura para melhorar a competitividade, será obtida uma vantagem em manufatura sobre os concorrentes.

Em ambientes industriais, tanto a aplicabilidade de determinada teoria como sua respectiva abordagem técnica podem variar de acordo com o contexto de aplicação. Elementos como fluxo de produção (contínuo, em lotes, montagem, usinagem, etc.), estratégia de produção (produzir para estoque – *make-to-stock*, produzir contra pedidos – *make-to-order*, montagem contra pedidos – *assembly-to-order*, etc.) e modelo corporativo de gestão podem interferir no sucesso da incorporação dos princípios apresentados anteriormente. Da mesma forma, certos princípios, métodos e técnicas de uma determinada teoria podem ser facilmente implementados, enquanto outros necessitam de maior esforço para implementação em um mesmo ambiente. Além disso, os contextos industriais apresentam históricos e memória, associados à cultura, aos valores e aos sucessos e fracassos de experiências passadas, sendo, portanto, um aglomerado de visões e princípios mais complexo do que o de uma situação idealizada, disposta a assumir os princípios preconizados por uma determinada visão teórica.

A partir dos fatos acima apresentados, o conjunto ideal de técnicas de suporte a uma teoria para sistemas produtivos, em um contexto real, pode necessitar do reforço de técnicas de outra teoria para que se obtenha o rendimento ideal do sistema. Essa visão, muitas vezes, contraria os princípios de determinada teoria, indicando que não existe uma “cura universal” (SLACK, 1993, p. 28) e nem “uma solução fácil” (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 182). Hopp e Spearman (2000) também afirmam que pode não existir uma solução simples e uniforme que trabalhe bem em diferentes ambientes de produção. Os autores defendem a ideia do uso de conceitos análogos a Leis da Física para entender o funcionamento do sistema de produção, para, então, selecionar as melhores abordagens, técnicas ou teorias para aplicar ao sistema. A esta filosofia deram o nome de *Factory Physics*.

1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA DE PESQUISA

O tema deste trabalho é a melhoria dos sistemas produtivos. Mais especificamente, por intermédio da aplicação dos conceitos encontrados nas leis e corolários da *Factory Physics* em sistemas de produção.

Diversos pesquisadores trabalharam e realizaram estudos utilizando as leis, corolários e definições existentes no trabalho de Hopp e Spearman (2000), verificando a eficácia e a aplicabilidade em sistemas de produção, dentre os quais se destacam a aplicação da Lei de Little (LITTLE, 1961) para relações entre Taxa de Produção, *Lead Time* e *Work in Process* – WIP (GUNN; NAHAVANDI, 2000; GODINHO FILHO, 2008), a influência da variabilidade na eficiência dos sistemas (SCHOEMIG, 1999; WU, MCGINNIS; ZWART, 2008) e o controle de WIP através da técnica *Constant Work in Process* – CONWIP (SOUZA; RENTES; AGOSTINHO, 2002; MESQUITA; GOLDEMBERG, 2006; BARCO; VILLELA, 2008; GODINHO FILHO, 2008).

Embora já tenham sido redigidos diversos trabalhos utilizando a proposta de Hopp e Spearman (2000), os mesmos aplicam somente determinada lei e/ou corolário em um sistema de produção, deixando uma lacuna que seria estabelecer um método para verificar quais das leis podem ser aplicadas para resolução de determinados problemas de um sistema de produção.

Considerando:

- i. o problema atual de muitas organizações de encontrar uma solução para melhorar seu desempenho (AL-TAHAT; RAWABDEH, 2008; COUSENS; SZWEJCZEWSKI; SWEENEY, 2009);
- ii. a dificuldade de ser encontrada uma solução simples para este problema (SKINNER, 1988; SLACK, 1993; HOPP; SPEARMAN, 2000);
- iii. a facilidade de entender os conceitos apresentados em *Factory Physics* (SHOEMIG, 1999; GUNN; NAHAVANDI, 2000; WU; MCGINNIS; ZWART, 2008);
e
- iv. a não identificação, até o presente momento desta pesquisa, de um método publicado de seleção e aplicação dos princípios de *Factory Physics* em Sistemas de Produção,

este passa a ser um problema relevante para geração de conhecimento aplicado de suporte à decisão em ambientes de produção.

No entanto, para implementar técnicas e ferramentas a fim de melhorar um sistema de produção, é necessário o completo entendimento de como esse sistema opera, quais são as regras às quais o sistema é submetido, como o problema pode ser abordado, o que mudar, para o que mudar e como mudar, ou seja, é necessário entender o problema (GOLDRATT, 1992; HOPP; SPEARMAN, 2000). No mesmo sentido, o de entender o funcionamento do sistema de produção, Shingo (1996a) apresentou o seu conceito sobre o processo de fabricação, para que fosse possível entender a função da produção como um todo, e com o seu conceito de Processo, como sendo “uma rede de processos e operações” (p. 37). Estes conceito auxiliou no entendimento da maneira com a qual um sistema de produção operava, e sob a ótica de melhorias, sistematiza a seqüência de melhorias que deve ser realizada para melhorar o desempenho do sistema. Desta forma, adotar o Mecanismo da Função Produção (MFP) para analisar a aplicabilidade dos princípios de *Factory Physics* (FP) em problemas de sistemas de produção passa a ser considerado relevante, pois ordena, de uma forma lógica, a aplicação de melhorias a partir da estrutura adotada no Sistema Toyota de Produção (STP).

A partir das afirmações sobre o entendimento da teoria e dos resultados já alcançados em outros trabalhos de cunho acadêmico e empírico, é delineada a seguinte questão de pesquisa:

Como aplicar as leis de *Factory Physics* em sistemas de produção?

1.2 OBJETIVOS

A partir da questão delineada acima, o objetivo geral deste trabalho é propor um método de aplicação das Leis, Corolários e Definições de *Factory Physics* em sistemas de produção.

Como objetivos específicos do trabalho podem-se citar:

- Identificar e selecionar, dentre as leis, corolários e definições de *Factory Physics*, quais são possíveis de serem aplicadas para resolução de problemas específicos no objeto em estudo (sistema de produção) de acordo com a função Processo e a função Operação do MFP do STP;
- Apresentar uma forma de avaliar os resultados do sistema de produção após a implementação das ações propostas dentro do método de aplicação;

- Utilizar um modelo de simulação computacional de um sistema de produção para avaliar o método proposto e analisar os resultados obtidos à luz dos princípios de *Factory Physics*;
- Realizar uma análise crítica sobre a utilização do *Design Research* como método de pesquisa em sistemas de produção.

1.3 JUSTIFICATIVA

A justificativa para desenvolver o presente estudo provém de duas origens, a saber: acadêmica e empresarial. Embora nem sempre estes dois ambientes estejam caminhando à mesma velocidade e na mesma direção, é fundamental que as contribuições de um possam alimentar o outro para que o caminho da evolução não pare (VAN AKEN, 2004).

Sob a ótica acadêmica, este trabalho se justifica por tratar de um problema recorrente em muitos trabalhos na área da Engenharia de Produção, sobre como promover as melhorias em sistemas de produção e quais benefícios podem ser obtidos com a implementação de determinada abordagem técnica. Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos diversos trabalhos sobre abordagens técnicas verificando a eficácia de sua implementação, como medir e avaliar os resultados, discutindo sobre como concatenar determinadas técnicas e maximizar resultados ou minimizar desperdícios, entre outros (BRITO; DACOL, 2008; CONCEIÇÃO, 2005; CONCEIÇÃO *et al.*, 2009; DICENA FILHO; NASCIMENTO; BALBINO, 2008; MARCELINO; WEISS, 2009; SERRA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2009).

Em relação à abordagem técnica escolhida para o trabalho, *Factory Physics* apresenta uma maneira não tradicional de enxergar o ambiente empresarial, sendo citado como “uma boa referência em sistemas de manufatura em geral” por Law e Kelton (2000, p. 670), além de auxiliar na modelagem deste ambiente (STANDRIDGE, 2004). Hopp e Spearman (2000) apresentam uma nova estrutura para enfrentar o problema da produção. Os autores iniciam seu trabalho relembrando historicamente os acontecimentos desde a introdução da administração científica até os tempos atuais, passando por temas como qualidade e *Just-in-Time*, e então citando os elementos necessários para a produção e tratando os seus princípios como ciência. A parte final da obra de Hopp e Spearman apresenta uma discussão sobre como aplicar os princípios apresentados como *Factory Physics* em ambientes de produção reais. Desta forma, aprendendo o que aconteceu no passado e, entendendo as regras que estão atuando no sistema, através das leis e

corolários apresentados, é possível projetar um sistema de produção que funcione bem em seu ambiente e contexto.

De acordo com Schoemig (1999), durante a execução de um estudo utilizando os princípios de *Factory Physics*, a maioria dos trabalhadores envolvidos possuía intuição sobre o entendimento das leis utilizadas naquele trabalho, o que poderia comprovar a aplicabilidade desta filosofia para entender o funcionamento de um sistema de produção. Diversos trabalhos têm aplicado alguns dos princípios apresentados em *Factory Physics* em sistemas de produção, e os autores têm comprovado que os princípios apresentados em FP geram resultados positivos (MESQUITA; GOLDEMBERG, 2006; DOMASCHKE *et al.*, 1998; SOUZA; RENTES; AGOSTINHO, 2002; STANDRIDGE, 2004; GODINHO FILHO, 2008; GODINHO FILHO; UZSOY, 2009; GUNN; NAHAVANDI, 2000; SHOEMIG, 1999; WU; MCGINNIS; ZWART, 2008; LIAN; VAN LANDEGHEM, 2002). Porém nas fontes de pesquisa consultadas, a saber, Portal da CAPES e da ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção), e utilizando como chaves de busca “*Factory Physics*”, “aplicação” e “melhoria”, não foram encontrados, até o momento, trabalhos que propusessem um método para aplicação das leis apresentadas em FP para melhoria de um sistema de produção.

No ambiente empresarial, os clientes solicitam agilidade e flexibilidade de seus fornecedores, que por sua vez precisam obter maior eficiência e competitividade para sobreviver no mercado (COUSENS; SZWEJCZEWSKI; SWEENEY, 2009; SILVA *et al.*, 2009). Uma vez que o problema pode ser definido (é preciso reduzir os prazos, aumentar a capacidade de produção, aumentar a velocidade de entrega, reduzir WIP, ou melhorar a qualidade, por exemplo), é preciso delinear as ações e desenvolvê-las para garantir que um bom resultado seja atingido. A partir de trabalhos publicados utilizando a filosofia de *Factory Physics*, e das melhorias e/ou resolução de problemas realizadas em organizações através do uso das leis e corolários citados, possuir um método para aplicação destas leis e corolários, aparece como alternativa para contribuir com a resolução do problema empresarial solicitado por estes clientes.

1.4 ESTRUTURA DO TEXTO

Este texto está organizado em 7 capítulos descritos brevemente a seguir.

O capítulo 1 introduziu o tema principal, apresentou a questão de pesquisa, os objetivos principal e específicos, e a justificativa acadêmica e empresarial.

O capítulo 2 apresenta uma breve revisão da metodologia de pesquisa utilizada, *Design Research*, detalhando o método de pesquisa, apresentando em seguida o método de trabalho e as delimitações deste trabalho.

O referencial teórico está dividido em dois capítulos. O capítulo 3 apresenta a revisão da literatura, com tópicos breves a respeito de sistemas de produção, abordagens técnicas para implantação de melhorias e modelagem empresarial, e um pouco mais profunda sobre *Factory Physics* dentro do contexto de sistemas de produção, resumindo seus princípios, conceitos e definições, e ao final, apresentando as leis propostas por Hopp e Spearman (2000). O capítulo 4 apresenta o referencial teórico, detalhando os elementos que, a partir dos conceitos apresentados na Revisão da Literatura, subsidiarão o método que será proposto neste trabalho.

O capítulo 5 apresenta as etapas do desenvolvimento do método de trabalho, seguindo os passos definidos no capítulo 2, que resultará no método proposto de aplicação das leis de *Factory Physics*.

O capítulo 6 apresenta discussões envolvendo o uso de *Factory Physics* para implantação de melhorias em sistemas de produção, o método desenvolvido neste trabalho (artefato) e o uso de *Design Research* como método de pesquisa em trabalhos de Engenharia de Produção.

Por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões tecidas a partir deste trabalho, suas limitações, e as recomendações para trabalhos futuros.

1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo introduziu o trabalho, apresentando o tema principal, a questão de pesquisa, os objetivos principal e específicos, e a justificativa acadêmica e empresarial.

O próximo capítulo apresentará uma revisão da metodologia de pesquisa utilizada, *Design Research*, apresentando em seguida o método de trabalho e as delimitações deste trabalho.

2 METODOLOGIA

De acordo com Lakatos e Marconi (2008), método pode ser entendido como um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permite alcançar conhecimento válido e verdadeiro com maior segurança e economia, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.

Desta forma, para que este trabalho atinja seus objetivos, foi adotado um método baseado em *Design Research* (DR), que pode ser sucintamente descrito como um método para desenvolver conhecimento para projeto e criação de artefatos para a resolução de problemas ou melhorar o desempenho de entidades existentes (VAN AKEN, 2004). Inicialmente é apresentada uma breve revisão de *Design Research*, com a definição, os conceitos e a estrutura. Em seguida são apresentados o método utilizado neste trabalho e as suas delimitações.

2.1 MÉTODO DE PESQUISA

Manson (2006) define DR como uma perspectiva em pesquisa, ou uma maneira de olhar e pensar sobre pesquisa. DR é definida por Vaishnavi e Kuechler (2007) como um conjunto de perspectivas e técnicas analíticas (complementando as perspectivas Positivistas e Interpretativas) para realizar pesquisas em Sistemas de Informação (SI). Hevner *et al.* (2004) citam que DR é fundamentalmente um paradigma de solução de problemas, que procura por criar inovações que definem as ideias, as práticas, as capacidades técnicas e os produtos através dos quais a análise, o projeto, a implementação e o uso de sistemas de informação podem ser efetivamente e eficientemente acompanhados. Manson (2006) cita que, apesar destes autores referenciarem-se em um contexto de SI, a técnica é igualmente aplicável ao contexto de Pesquisa Operacional. No contexto da Engenharia de Produção o método de pesquisa já foi utilizado com sucesso em trabalhos anteriores (GRUGINSKIE, 2008; BORTOLOTTI, 2008; MARTINS, 2009; POHLMANN, 2009).

Os resultados gerados por um estudo de DR são denominados de artefatos e são divididos em cinco categorias: construtos, modelos, métodos, instanciações e melhores teorias (MANSON, 2006; MARCH; SMITH, 1995 *apud* VAISHNAVI; KUECHLER, 2007). Segundo Manson (2006, p. 162) “bons artefatos são aqueles que são efetivos, que

funcionam”. Uma breve descrição dos artefatos é apresentada no Quadro 1, e uma descrição mais detalhada é apresentada a seguir.

	Saída	Descrição
1	Construtos	O vocabulário conceitual do domínio do problema
2	Modelos	Um conjunto de proposições e declarações expressando relacionamento entre construtos
3	Métodos	Um conjunto de etapas utilizadas para realizar a tarefa – conhecimento “Como fazer para”
4	Instanciações	Operacionalização dos construtos, modelos e métodos
5	Melhores Teorias	Construção de artefatos como analogias à ciência natural experimental

Quadro 1 – Descrição dos Artefatos de um estudo de *Design Research*

Fonte: adaptado de Vaishnavi e Kuechler (2007)

Construtos são o vocabulário conceitual de um domínio problema-solução. Aparecem durante a fase de definição de conceitos dos problemas e são refinados através do ciclo do processo de pesquisa. Como um trabalho de pesquisa pode vir a ter um grande número de entidades e muitas relações entre elas, pode haver um conjunto igualmente grande de construtos (VAISHNAVI; KUECHLER, 2007).

Modelos são um conjunto de proposições e declarações expressando relações entre construtos (VAISHNAVI; KUECHLER, 2007). Podem utilizar os construtos para representar uma situação do mundo real, como o problema da pesquisa e o seu espaço de solução (SIMON, 1996 *apud* HEVNER *et al.*, 2004). Hevner *et al.* (2004, p. 6) citam que “modelos ajudam na compreensão do problema e da solução e freqüentemente representam a conexão entre os componentes do problema e da solução, permitindo a exploração dos efeitos das decisões da pesquisa e mudanças no mundo real”.

Métodos são um conjunto de etapas utilizadas para realizar a tarefa, definindo o processo. Os métodos fornecem orientações sobre como resolver os problemas, podendo variar desde algoritmos matemáticos formais, que definem explicitamente o processo de busca da solução, até a descrição de textos indicando as “melhores práticas”. Podem ainda ser combinações dessas duas categorias (HEVNER *et al.*, 2004; VAISHNAVI; KUECHLER, 2007).

As instanciações operacionalizam construtos, modelos e métodos (MARCH; SMITH, 1995 *apud* VAISHNAVI; KUECHLER, 2007), mostram que estes podem ser implementados em um sistema de trabalho e demonstram viabilidade da solução, permitindo uma avaliação concreta da adequação dos artefatos para o uso pretendido (HEVNER *et al.*, 2004). Vaishnavi e Kuechler (2007, p. 6) citam que “instanciações são a realização do artefato em

seu ambiente”. Além disso, permitem aos pesquisadores aprender sobre o mundo real, como os artefatos afetam este, e como os usuários podem utilizá-los (HEVNER *et al.*, 2004).

O quinto tipo de artefato, chamado de “Melhores Teorias” por Vaishnavi e Kuechler (2007), é uma maneira de reconhecer, conforme os autores, a contribuição de DR para a melhoria de teorias já existentes ou mesmo para a construção de teorias, devido às etapas de trabalho do método.

Van Aken (2004) apresenta a questão da complementaridade entre a pesquisa descritiva, utilizada na teoria chamada Teoria Organizacional, e a pesquisa prescritiva, utilizada na, assim chamada, Teoria de Gerenciamento. Para ele a pesquisa, em vez de somente explicar os fatos à luz das Ciências Explicativas como a Física ou a Sociologia, pode ser complementada pelo método prescritivo das Ciências Exploratórias, tais como a Medicina e Engenharia. O que pode ser percebido é o caráter exploratório orientado para resultados, com o foco na solução do problema. No Quadro 2 são apresentadas as diferenças entre os dois tipos de pesquisa.

Característica	Pesquisa Descritiva	Pesquisa Prescritiva
Paradigma Dominante	Ciências explicativas	Ciências exploratórias
Foco	Foco no problema	Foco na solução
Perspectiva	Observatória	Participante
Lógica	Retrospectiva	Intervenção para resultados
Questão de Pesquisa Típica	Explicação	Soluções alternativas para uma classe de problemas
Produto de Pesquisa Típico	Modelo causal; lei quantitativa	Regra tecnológica testada e fundamentada
Natureza do Produto de Pesquisa	Algoritmo	Heurística
Justificativa	Prova	Evidência saturada
Tipo de Teoria Resultante	Teoria Organizacional	Teoria de Gerenciamento

Quadro 2 – Diferenças entre Pesquisa Descritiva e Pesquisa Prescritiva

Fonte: adaptado de Van Aken (2004)

Segundo Van Aken (2004, p. 227), “os repertórios de *design* de profissionais experientes e bem treinados contêm uma grande variedade de conhecimento”. Conforme o autor, a lógica da pesquisa prescritiva é “se você quer atingir Y na situação Z, então execute a ação X” (VAN AKEN, 2004, p. 227). Nesta lógica, Y significa o resultado que o pesquisador quer alcançar; Z significa o ambiente ou situação no qual o problema está inserido; e X significa a ação ou o conjunto de ações necessárias para alcançar os resultados desejados.

Em relação ao conhecimento acumulado pelo DR, Owen (1997) *apud* Vaishnavi e Kuechler (2007) apresenta um modelo para gerar e acumular conhecimento, representado pela Figura 1. O modelo trabalha em ciclos, onde o conhecimento é gerado para criar trabalho e o trabalho é avaliado para gerar conhecimento. Além disso, os canais apresentados no modelo são sistemas de convenções e regras sobre as quais a disciplina garante que o modelo não perca rigor, evitando a desestruturação do processo.

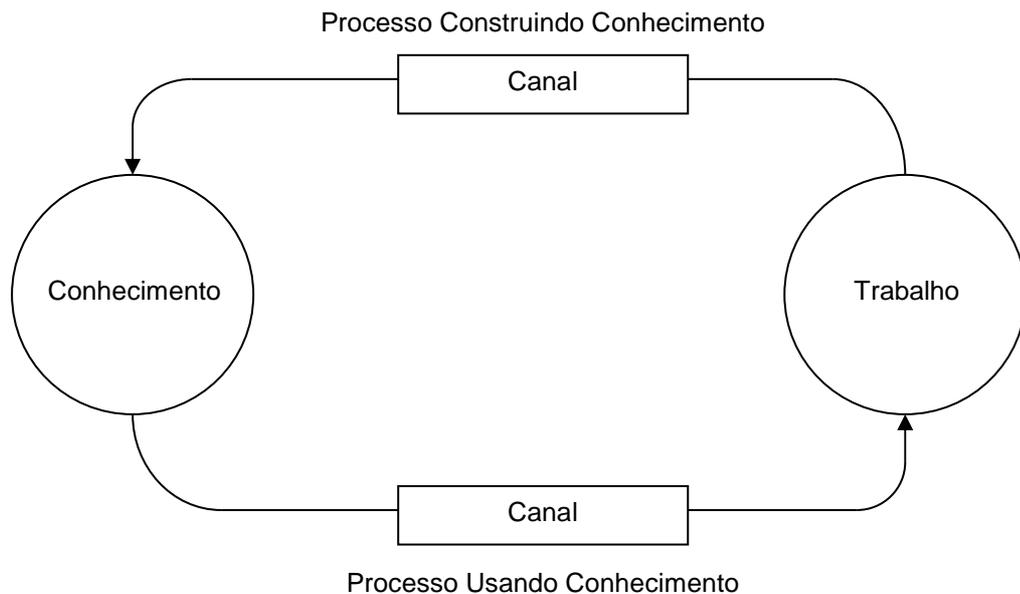


Figura 1 – Modelo Geral para Gerar e Acumular Conhecimento
Fonte: adaptado de Owen (1997) *apud* Vaishnavi e Kuechler (2007)

Para que o método de DR possa ser aplicado, Vaishnavi e Kuechler (2007) apresentam uma metodologia geral representada na Figura 2, refinada e estendida a partir do modelo de Argumentação do Ciclo de *Design* por Takeda *et al.* (1990) (*apud* MANSON, 2006). A seguir é apresentada em detalhe cada uma destas fases nas visões de Manson (2006) e Vaishnavi e Kuechler (2007):

1. **Consciência do Problema:** o processo de pesquisa inicia quando o pesquisador toma ciência do problema, que pode ser trazido por diferentes fontes, tais como: indústria, governo, novos desenvolvimentos em tecnologia, leituras em disciplinas relacionadas, etc. O pesquisador então deverá construir uma **Proposta** formal ou informal para iniciar uma nova pesquisa, a qual é a saída deste estágio do processo.
2. **Sugestão:** o pesquisador deverá sugerir uma ou mais **Tentativas** para a resolução do problema. Estas sugestões deverão estar intimamente conectadas

com a proposta, e qualquer proposta formal para junção incluirá pelo menos uma tentativa. Caso o pesquisador não possa formular uma **tentativa de design**, o esforço da pesquisa normalmente será colocado de lado. Esta etapa é essencialmente criativa e é nesta fase que diferentes pesquisadores poderão chegar a diferentes tentativas, sendo análoga ao processo de teorização das Ciências Naturais, onde diferentes pesquisadores podem encontrar diferentes teorias para explicar o mesmo fato.

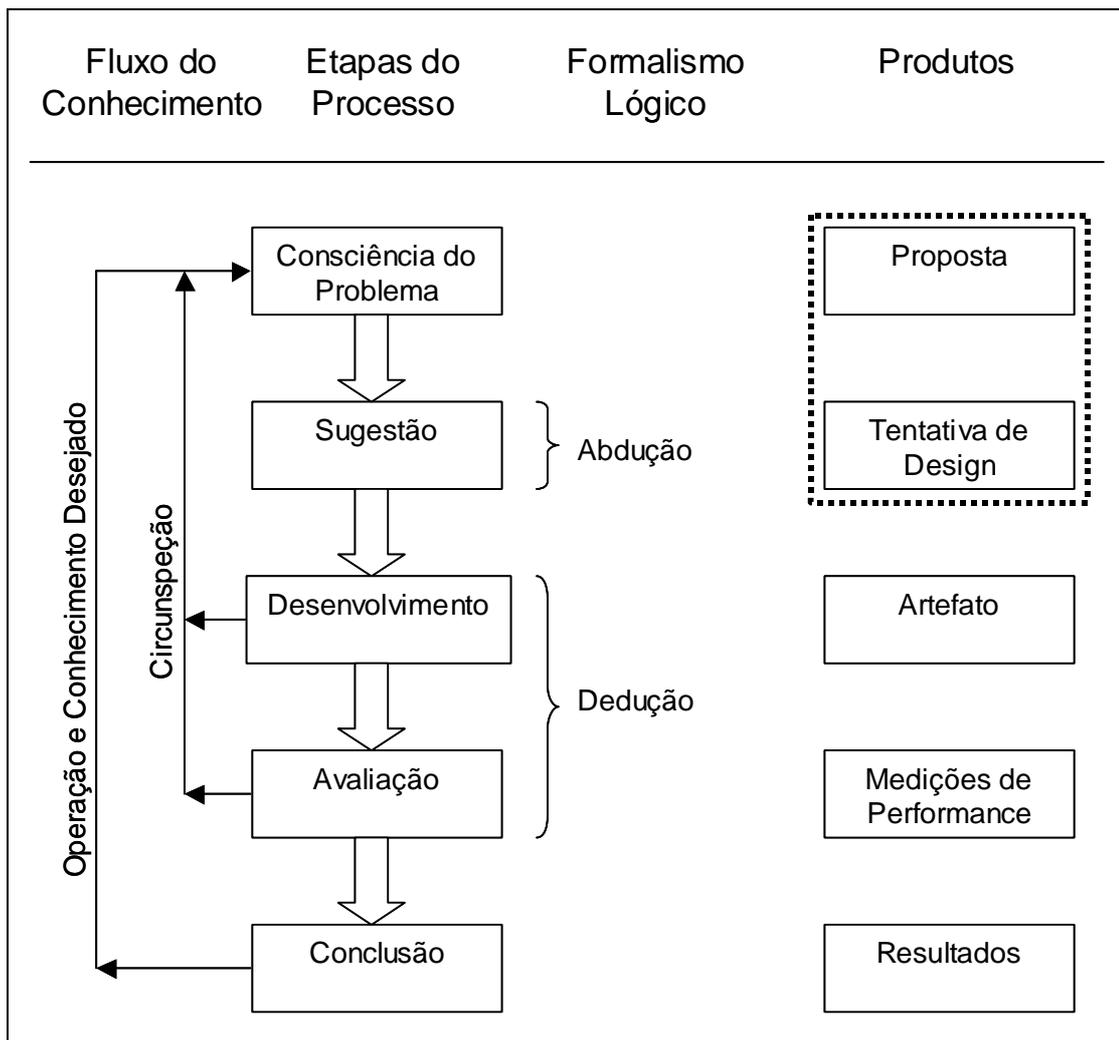


Figura 2 – Metodologia de *Design Research*

Fonte: Adaptado de Vaishnavi e Kuechler (2007)

3. **Desenvolvimento**: a proposta será implementada nesta fase e o pesquisador construirá um ou mais **artefatos**, utilizando diferentes técnicas de acordo com o artefato a ser construído. Como exemplos de **artefatos** podem ser citados os algoritmos, que são construídos utilizando uma prova formal, software e sistemas

especialistas. A construção do artefato em si não requer novidades além do estado-da-prática, pois a novidade está primeiramente no *design*.

4. **Avaliação:** uma vez construídos, os artefatos devem ser avaliados contra os **critérios** implicitamente ou explicitamente contidos na sugestão. Todo e qualquer desvio em relação aos resultados esperados, tanto quantitativamente quanto qualitativamente, deverá ser verificado e explicado cuidadosamente, pois a fase de avaliação contém uma sub-fase analítica na qual hipóteses são formuladas para tentar prever como o artefato funcionará. As análises, então, poderão confirmar ou rejeitar as hipóteses, concluindo os esforços da pesquisa. Porém, em DR, isto significa o começo do trabalho, pois as hipóteses iniciais raramente são descartadas e os desvios encontrados a partir do comportamento esperado pelo artefato forçam os pesquisadores a abduzir novas sugestões, ou sugerir o tema para trabalhos futuros.
5. **Conclusão:** no mesmo ponto, mesmo que ainda existam desvios em relação ao comportamento esperado do artefato a partir de múltiplas hipóteses revisadas, o esforço é considerado “bom o suficiente” para ser consolidado como **conhecimento**. O conhecimento gerado pode ser classificado como firme ou “*loose-end*”. Conhecimento firme são fatos que foram aprendidos e podem ser aplicados repetidamente. “*Loose-ends*” são anomalias que não podem ser explicadas, tornando-se freqüentemente objeto de pesquisas futuras.

Complementando a visão anteriormente exposta, Hevner *et al.* (2004, p. 11) afirmam que “*Design Science* é um processo de resolução de problemas”. Os autores propõem 7 diretrizes para assistir a pesquisadores, revisores, editores e leitores para que estes possam entender os requisitos para uma pesquisa efetiva em *Design Science*, que estão apresentadas no Quadro 3. De acordo com Hevner *et al.* (2004, p. 11),

Design science requer a criação de um artefato definido e criativo (Diretriz 1) para um domínio de problema específico (Diretriz 2). Em função do artefato ser “definido”, ele deve trazer utilidade para o problema especificado. Por isso, uma avaliação meticolosa do artefato é crucial (Diretriz 3). Novidade é similarmente crucial em razão de que o artefato deve ser “inovador” resolvendo um problema existente e não-resolvido ou resolvendo um problema conhecido de uma maneira mais eficiente (Diretriz 4). Neste sentido, *Design-Science Research* é diferenciada a partir da prática do *design*. O artefato em si deve ser rigorosamente definido, formalmente representado, coerente e internamente consistente (Diretriz 5). O processo pelo qual ele é criado, e às vezes o artefato em si, incorpora ou habilita um

processo de busca pelo qual um espaço do problema é construído e um mecanismo colocado e promulgado para encontrar uma solução efetiva (Diretriz 6). Por fim, os resultados da *Design-Science Research* devem ser comunicados efetivamente (Diretriz 7) para uma audiência técnica (pesquisadores que irão estender as pesquisas e praticantes que irão implementá-las) e para uma audiência gerencial (pesquisadores que irão estudar as pesquisas nos seus contextos e praticantes que irão decidir se elas podem ser implementadas dentro de suas organizações).

Além disso, Klein e Myers (1999) *apud* Hevner *et al.* (2004) aconselham que os pesquisadores devem utilizar suas habilidades de criatividade e julgamento para determinar quando, onde e como aplicar cada uma destas diretrizes em seus projetos específicos de pesquisa. Todavia, Hevner *et al.* (2004) ponderam que cada uma das diretrizes deve ser endereçada na pesquisa para que a aplicação do método seja completa.

Diretriz	Descrição
Diretriz 1: <i>Design</i> como um Artefato	Pesquisa em <i>Design-science</i> deve produzir um artefato viável na forma de um construto, um modelo, um método ou uma instanciação.
Diretriz 2: Relevância do Problema	O objetivo da pesquisa em <i>Design-science</i> é para desenvolver soluções baseadas em tecnologia para problemas de negócios importantes e relevantes.
Diretriz 3: Avaliação do <i>Design</i>	A utilidade, a qualidade e a eficácia de um artefato devem ser rigorosamente demonstradas via métodos de avaliação bem executados.
Diretriz 4: Contribuições da Pesquisa	Pesquisa em <i>Design-science</i> efetiva deve fornecer contribuições claras e verificáveis nas áreas do projeto do artefato, bases do artefato e/ou metodologias do projeto.
Diretriz 5: Rigor da Pesquisa	Pesquisa em <i>Design-science</i> depende da aplicação de métodos rigorosos tanto na construção quanto na avaliação do projeto do artefato.
Diretriz 6: <i>Design</i> como um Processo de Busca	A busca por um artefato efetivo requer o uso de meios disponíveis para atingir os objetivos desejados enquanto satisfaz as leis no ambiente do problema.
Diretriz 7: Comunicação da Pesquisa	Pesquisa em <i>Design-science</i> deve ser efetivamente apresentada tanto para audiências técnicas quanto gerenciais.

Quadro 3 – Diretrizes de Pesquisa em *Design-Science*

Fonte: Adaptado de Hevner *et al.* (2004)

A seguir são apresentados alguns detalhes importantes dessas diretrizes.

- **Diretriz 1: *Design* como um Artefato**

O propósito de uma Pesquisa em *Design-Science* é o de produzir um artefato, que pode ser um construto, um modelo, um método ou instanciações. Artefatos servem para endereçar problemas organizacionais importantes (HEVNER *et al.*, 2004). Construtos fornecem o vocabulário e os símbolos usados para definir problemas e soluções, tendo um impacto significativo na maneira como as tarefas e os problemas são concebidos (SCHON, 1993; BOLAND, 2002 *apud* HEVNER *et al.*, 2004), permitindo a construção de modelos e representações do domínio do problema, e também servem para construir modelos de situações específicas de negócios (HEVNER *et al.*, 2004; PURAO *et al.*, 2003 *apud* HEVNER *et al.*, 2004). Métodos para construção destes modelos têm sido uma questão de consideráveis pesquisas (STOREY *et al.*, 1997; HALPIN, 2001; McCARTHY, 1982; PARSONS; WAND, 2000; *apud* HEVNER *et al.*, 2004). Instanciações demonstram a viabilidade do processo e do produto projetados, fornecendo uma prova de que o projeto funcionará em um ambiente real (HEVNER *et al.*, 2004).

- **Diretriz 2: Relevância do Problema**

O objetivo da pesquisa em Sistemas de Informação é “adquirir conhecimento e compreensão que permitam o desenvolvimento e a implementação de soluções técnicas para problemas não-resolvidos e importantes para negócios” (HEVNER *et al.*, 2004, p. 15). Formalmente, um problema pode ser definido como a diferença entre um estado desejado e o estado atual de um sistema, e a resolução de problemas pode ser definida como um processo de busca usando ações para reduzir ou eliminar as diferenças (SIMON, 1996 *apud* HEVNER *et al.*, 2004). A relevância de uma pesquisa em *design-science* é sempre em respeito a uma determinada comunidade. Por exemplo, a teoria econômica retrata as metas de organizações de negócios como sendo relacionadas com a maximização dos lucros, portanto como obter a maximização dos lucros passa a ser uma questão relevante para esta comunidade.

- **Diretriz 3: Avaliação do *Design***

A utilidade, qualidade e eficácia de um artefato devem ser rigorosamente demonstradas via um método de avaliação bem executado, sendo um componente crucial do processo de pesquisa. De acordo com Hevner *et al.* (2004), o ambiente de negócios estabelece os requisitos sobre os resultados da avaliação do artefato. Em função do *design* ser uma atividade iterativa e incremental, a fase de avaliação fornece *feedback* essencial para a fase de construção. Além disso, a fase de avaliação dos artefatos desenvolvidos tipicamente utiliza metodologias disponíveis na base de conhecimento. Hevner *et al.* (2004) alertam que a seleção dos métodos de avaliação deve ser combinada apropriadamente com

o tipo de artefato e com as métricas de avaliação selecionadas; para auxiliar nesta atividade os autores apresentam alguns métodos de acordo com o tipo de pesquisa, apresentados no Quadro 4.

Tipo de Avaliação	Método
1. Observação	Estudo de Caso – Estudo do artefato em profundidade no ambiente de negócios
	Estudo de Campo – Monitorar o uso do artefato em múltiplos projetos
2. Analítico	Análise Estática – Examinar a estrutura do artefato para qualidades estáticas (por exemplo, complexidade)
	Análise da Arquitetura – Estudo do ajuste do artefato dentro da estrutura técnica de Sistemas de Informação
	Otimização – Demonstrar propriedades ótimas inerentes do artefato ou fornecer limites ótimos no comportamento do artefato
	Análise Dinâmica – Estudo do artefato em uso para qualidades dinâmicas (por exemplo, desempenho)
3. Experimental	Experimento Controlado – Estudo do artefato em um ambiente controlado para qualidades (por exemplo, usabilidade)
	Simulação – Executar o artefato com dados artificiais
4. Testes	Teste Funcional (Black Box) – Executar interface do objeto para descobrir falhas e identificar defeitos
	Teste Estrutural (White Box) – Realizar testes de cobertura de alguma métrica (por exemplo, caminhos de execução) na implementação do artefato
5. Descritiva	Argumentação – Utilizar informação da base do conhecimento (por exemplo, pesquisa relevante) para construir um argumento convincente para a utilidade do artefato
	Cenários – Construir cenários detalhados em torno do artefato para demonstrar sua utilidade

Quadro 4 – Métodos de Avaliação de *Design Science*

Fonte: Adaptado de Hevner *et al.*, (2004)

- **Diretriz 4: Contribuições da Pesquisa**

Segundo Hevner *et al.* (2004), pesquisas em *Design-Science* devem fornecer contribuições claras nas áreas de projeto de artefatos, conhecimento de construção do projeto e/ou no conhecimento da avaliação do projeto (metodologias). De acordo com os autores, a mais recente avaliação de uma pesquisa é “Quais são as contribuições novas e interessantes?” (HEVNER *et al.*, 2004, p. 11).

- **Projeto de artefatos:** muitas vezes, a contribuição é o artefato em si. Alguns exemplos compreendem metodologias de desenvolvimento de sistemas, ferramentas de projeto, e protótipos de sistemas.
- **Bases de Projetos:** o desenvolvimento criativo de novidades apropriadamente avaliadas como construtos, modelos, métodos e instanciações que estendam e melhorem as bases de conhecimento são contribuições importantes. Alguns exemplos são: formalizações de modelagem, representações de problemas e soluções, algoritmos e sistemas de informação inovadores.
- **Metodologias:** o desenvolvimento criativo e o uso de métodos de avaliação e novas métricas de avaliação fornecem contribuições importantes, pois medições e métricas de avaliação são componentes cruciais em pesquisas de *Design-Science*.

Em suma, dois critérios importantes para a contribuição são: i) A capacidade do artefato ser implementável, e ii) Resolver um problema importante e ainda não-resolvido.

- **Diretriz 5: Rigor da Pesquisa**

O rigor endereça a maneira como a pesquisa é conduzida. Pesquisas em *Design-Science* requerem a aplicação de métodos rigorosos de construção e avaliação do artefato. Em relação à atividade de construção do artefato, o rigor deve ser avaliado em respeito à aplicabilidade e capacidade de generalização do artefato. O rigor é também derivado do uso efetivo das bases de conhecimento, tanto das bases teóricas como das metodologias de pesquisa. Os pesquisadores devem atentar para a correta seleção das métricas de avaliação, pois algumas reclamações acerca dos artefatos são dependentes das métricas de desempenho. Quanto mais rigorosamente for conduzida a pesquisa, maior será a efetividade dos artefatos construídos.

- **Diretriz 6: *Design* como um processo de Busca**

Design-science é um processo iterativo. *Design* é essencialmente um processo de busca para descobrir uma solução efetiva para um determinado problema. Simon (1996) *apud* Hevner *et al.* (2004, p. 22) cita que “a solução de problemas pode ser visualizada como utilizando meios disponíveis para atingir objetivos desejados enquanto satisfazem às leis existentes no ambiente.” Além disso, Simon (1996) *apud* Hevner *et al.* (2004, p. 22) descreve “a natureza do processo de *Design* como sendo um Ciclo de Gerar/Testar”, como apresentado na Figura 3.

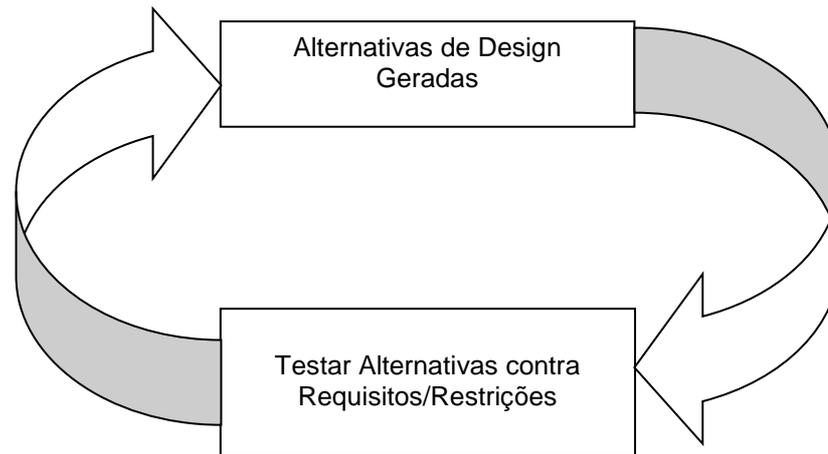


Figura 3 – Ciclo de Gerar/Testar

Fonte: Adaptado de Simon (1996) *apud* Hevner *et al.* (2004)

Em algumas situações, podem ser encontradas soluções satisfatórias. Em outras é necessária uma solução ótima ou otimal, ou seja, um artefato que trabalhe bem com uma classe especificada de problemas.

- **Diretriz 7: Comunicação da Pesquisa**

Pesquisa em *Design-science* deve ser efetivamente apresentada tanto para audiências técnicas quanto gerenciais.

Audiências técnicas necessitam detalhes suficientes para habilitar o artefato descrito para ser implementado e usado no contexto do ambiente organizacional. Além disso, permite aos praticantes ter vantagens com os benefícios oferecidos pelo artefato e permite aos pesquisadores construir uma base de conhecimento cumulativa para pesquisas e avaliações futuras.

Audiências gerenciais necessitam dos detalhes para determinar se os recursos organizacionais poderão ser comprometidos para construir e usar o artefato dentro de seu contexto organizacional. Zmud (1997) *apud* Hevner *et al.* (2004) sugere que a apresentação requer ênfase no conhecimento requerido para aplicar efetivamente o artefato no contexto organizacional proposto. Além disso, pode ser necessário descrever o artefato em algum detalhamento para permitir aos gerentes que apreciem sua natureza e entendam a sua aplicação.

Após esta breve revisão acerca de *Design Research*, será apresentado o método de trabalho desta dissertação, que foi baseado em DR.

2.2 MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho utilizado nesta dissertação baseia-se em *Design Research* e segue etapas construídas a partir das etapas propostas por Vaishnavi e Kuechler (2007). O produto final da dissertação é um método de aplicação das leis de *Factory Physics* em sistemas de produção, o qual será proposto à comunidade, como contribuição de conhecimento para futuros desdobramentos.

A regra tecnológica proposta por esta dissertação escrita na forma de “se você quer atingir Y na situação Z, então execute a ação X” (VAN AKEN, 2004, p. 227) é:

- Situação Desejada (Y): Melhorar o desempenho de um sistema produtivo com o uso das leis de *Factory Physics*;
- Ambiente (Z): Sistema de Produção de uma empresa de produção;
- Ação Proposta (X): implementar o método proposto para aplicação das leis de *Factory Physics* em sistemas de produção.

A regra tecnológica agrupada é descrita, então, como: Se deseja (Y) melhorar o desempenho de um sistema produtivo com o uso das leis de *Factory Physics* no ambiente (Z) de Sistemas de Produção de uma empresa de produção, execute (X) o método proposto para aplicação das leis de *Factory Physics* em sistemas de produção.

A partir dessas definições iniciais são construídas as etapas do processo de desenvolvimento do Método de Aplicação conforme a abordagem *Design Research*, de acordo com o modelo proposto por Vaishnavi e Kuechler (2007). A Figura 4 apresenta as etapas do método de trabalho sob a ótica de DR. Na Figura 5 as etapas do trabalho são apresentadas sob uma forma linear, de acordo com o planejamento para a execução deste trabalho.

Etapa 1 – Consciência Inicial do Problema

Nesta etapa tem início a pesquisa do assunto a partir de estudos anteriores e bibliografia existente na forma de livros e artigos científicos, obtidos a partir de portais de informação científica (CAPES, ScieLo, ABEPRO e outros). Outra fonte de entrada de dados utilizada neste caso pode ser a experiência de profissionais da área, do pesquisador e de outros trabalhos relatados, úteis sob a forma de elementos de análise crítica da bibliografia pesquisada. Nesta coleta de dados inicial e pesquisa bibliográfica, são compiladas informações de modo a criar as questões iniciais para o trabalho como a consciência do

problema, bem como fornecer um marco de referência na forma do estado da arte da pesquisa.

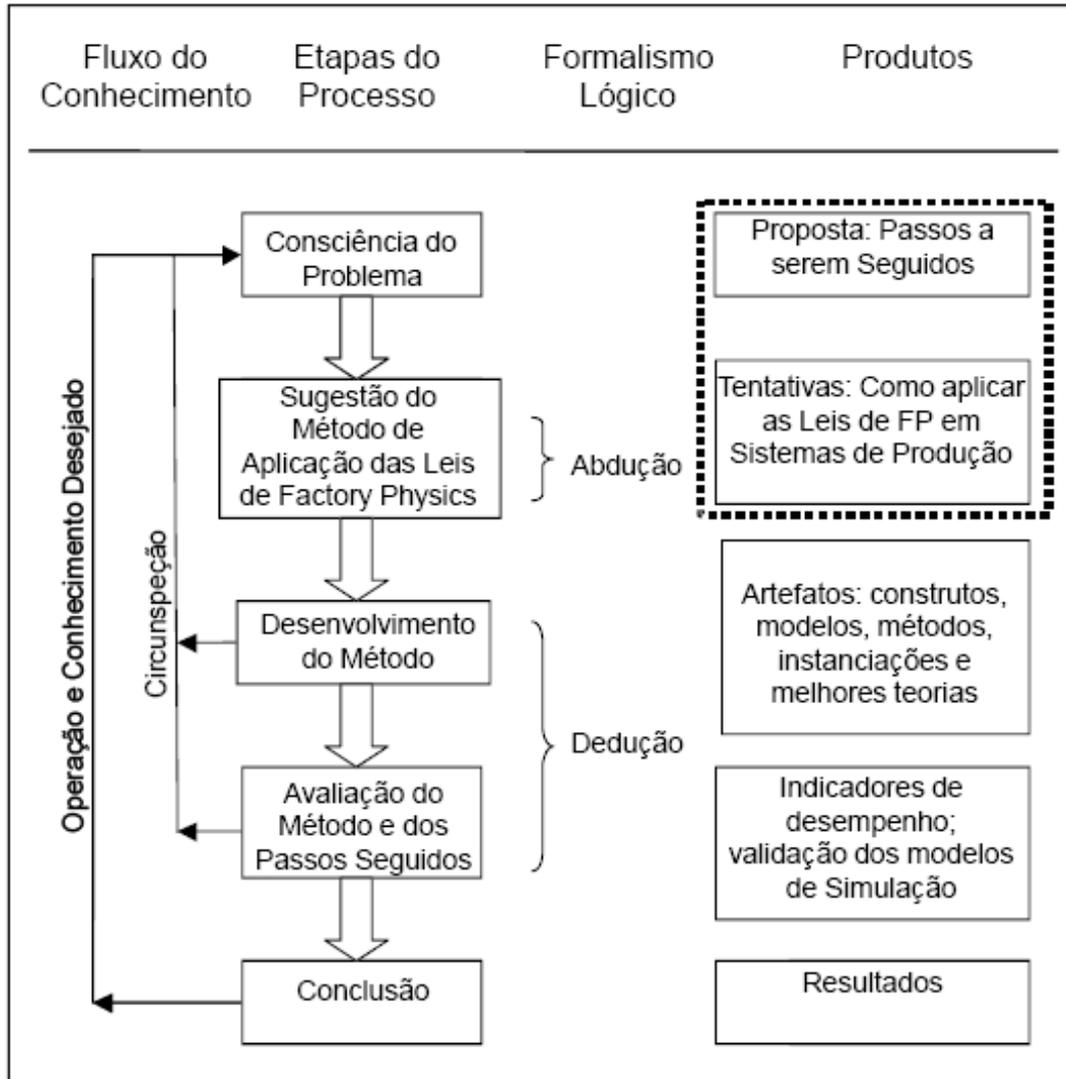


Figura 4 – Etapas do Método de Trabalho pelo *Design Research*, na forma proposta por Vaishnavi e Kuechler (2007)

Etapa 2 – Sugestão Versão 1

Nesta etapa, essencialmente criativa, foram formuladas hipóteses sob a forma de sugestão para tentar resolver o problema delineado na etapa anterior, fundamentado no material encontrado na pesquisa documental para a definição do problema.

Além do uso para criação de alternativas para o desenvolvimento de artefatos, esta etapa poderá ser utilizada para avaliar, no nível de ideias e esboços iniciais, o grau de adequação da sugestão quanto à eficácia para a tratativa do problema, como se fosse uma pré-avaliação da sugestão para o artefato.

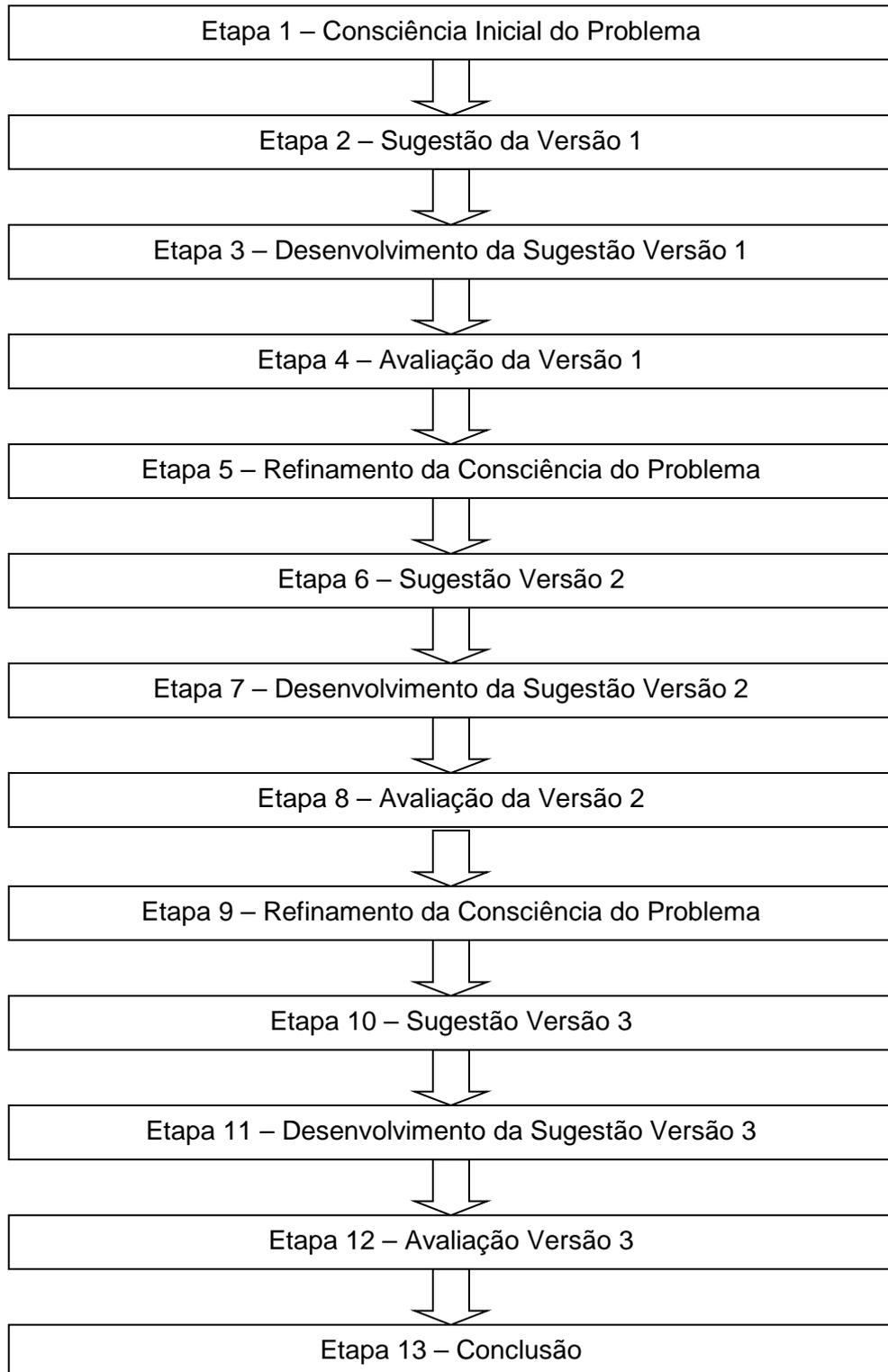


Figura 5 – Etapas do Método de Trabalho Proposto

Etapa 3 – Desenvolvimento da Sugestão Versão 1

Nesta etapa foi criado um modelo de método preliminar, na forma de uma seqüência simples de etapas para tentar resolver o problema delineado anteriormente, que será

apresentada no Capítulo 5. O objetivo deste artefato foi o de submissão para uma etapa de avaliação inicial, com o objetivo de validar o projeto desta dissertação.

Etapa 4 – Avaliação da Versão 1

Nesta etapa o artefato desenvolvido foi submetido à apreciação da Banca de Qualificação do Projeto, para fins de uma avaliação das ideias propostas neste método inicialmente sugerido. Neste momento, foi realizada uma análise estática do artefato apresentado, após a exposição do mesmo, para verificar sua funcionalidade e se atendia aos propósitos dos objetivos ora apresentados. Após esta avaliação, foi utilizado o recurso de *feedback* formal do método de DR, sob a forma de circunspeção, para retornar ao nível da Consciência do Problema. Importante salientar que esta etapa foi realizada ainda na fase do Projeto desta Dissertação. Os resultados desta etapa são apresentados no Capítulo 5.

Etapa 5 – Refinamento da Consciência do Problema

A partir do julgamento da Banca realizado na etapa anterior, o pesquisador retornou à etapa de Consciência do Problema com as ideias então sugeridas, e realizou novas pesquisas documentais de bibliografia, de forma a fornecer melhores subsídios para uma nova sugestão de método. Além disso, a visão proporcionada por estas novas ideias auxiliou o pesquisador sob a forma de outra ótica de visão do problema, contribuindo para delinear melhor o problema de pesquisa.

Etapa 6 – Sugestão Versão 2

Nesta etapa foi sugerido um novo método para atuar no problema delineado, utilizando as ideias contidas na sugestão dos avaliadores, que foram coletadas dentro da etapa de avaliação da Versão 1. Além disso, nesta etapa foram estipulados os indicadores iniciais, sob a forma de uma avaliação inicial do sistema de produção, sendo que, após a implementação das ações, os mesmos serão utilizados para a avaliação do resultado da aplicação de FP no sistema de produção. Estes indicadores foram utilizados para verificação do nível de melhoria após a implantação das ações e para aprovação dos artefatos para a resolução do problema delineado.

Etapa 7 – Desenvolvimento da Sugestão Versão 2

Nesta etapa foram construídos os artefatos necessários para aplicação do método proposto, classificados de acordo com os tipos descritos no Quadro 1, de modo a serem avaliados contra os critérios apresentados no Quadro 4.

Etapa 8 – Avaliação da Versão 2

Neste momento, foi realizada uma análise estática e de argumentação do artefato apresentado, com dois especialistas, na forma de entrevista semi-estruturada em momentos distintos. Após a exposição do artefato aos especialistas, foram geradas novas ideias para serem aplicadas ao artefato proposto, de modo a torná-lo mais robusto. Após esta avaliação, foi utilizado o recurso de *feedback* formal do método de DR, sob a forma de circunspeção, para retornar ao nível da Consciência do Problema. Os resultados desta etapa são apresentados no Capítulo 5.

Etapa 9 – Refinamento da Consciência do Problema

Nesta etapa foram reunidas as ideias geradas na etapa de avaliação anterior para um refinamento da consciência do problema, de modo que estas pudessem ser aplicadas aos artefatos, para aumentar a robustez dos mesmos.

Etapa 10 – Sugestão da Versão 3

Esta etapa apresenta uma nova proposta para o método final de resolução do problema delineado. Esta sugestão, beneficiada pelas ideias contidas na avaliação da Sugestão 1 e na avaliação da Sugestão 2, apresenta um nível de robustez superior às sugestões anteriores devido ao refinamento da consciência do problema pelas ideias e pelo conhecimento gerado a partir do estudo neste ambiente, documentado pelo método através das fases de avaliação, bem como as novas questões que emergiram nas etapas de refinamento da consciência do problema.

Etapa 11 – Desenvolvimento da Versão 3

Nesta etapa foram desenvolvidos os artefatos de acordo com a sugestão da etapa anterior. Estes artefatos foram construídos de acordo com os tipos descritos no Quadro 1 e avaliados contra os critérios apresentados no Quadro 4, e então, aplicados em um ambiente simulado para que, neste nível de instanciação, pudesse ser realizada a avaliação, com a validação e fornecimento de subsídios na forma de resultados para a avaliação final.

Etapa 12 – Avaliação da Versão 3

Nesta etapa o artefato foi avaliado em um modelo de simulação computacional de um sistema de produção, onde foram coletados e analisados os resultados obtidos com a aplicação dos artefatos em um ambiente simulado de estudo, que serão apresentados no Capítulo 5. Após esta aplicação o artefato pôde ser avaliado contra os critérios estipulados na etapa de sugestão desta versão, definindo se o artefato é bom o suficiente, ou não, para a resolução da questão de pesquisa deste trabalho.

Etapa 13 – Conclusão

Nesta etapa, conforme definido no escopo, o trabalho foi finalizado. Como entregas deste projeto existem os artefatos construídos para resolver a questão delineada na consciência do problema e o conhecimento gerado após a aplicação do método de DR. Estes itens gerados são formalmente apresentados no Capítulo 5 e nos Apêndices 1 e 2.

Caso a conclusão da etapa de Avaliação fosse que o artefato não fosse bom o suficiente para resolver o problema definido, o pesquisador deveria seguir o que estabelece o método de DR: retornar ao nível da consciência do Problema, conforme apresentado na Figura 2.

2.3 DELIMITAÇÕES DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho concentrar-se-á na área da Gerência de Produção, dentro do contexto de Sistemas de Produção em empresas de produção. A linha mestra de seu referencial teórico é a linha proposta pela *Factory Physics*, de Hopp e Spearman (2000). Serão adotados os princípios com suas respectivas técnicas, formulações e conceitos para a aplicação do contexto específico citado acima. Embora os autores citem que a metodologia descrita pode ser ampliada para além do conceito de empresa, como por exemplo, pode ser utilizada dentro do tema *Supply Chain Management* (Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos), este não será objetivo deste trabalho. Por este motivo, as conclusões aqui apresentadas não poderão ser generalizadas em outros contextos sem a devida adaptação.

O uso de *Design Research* como metodologia deste trabalho visa a contribuir para os meios acadêmico e empresarial, criando uma ou mais regras tecnológicas relativas ao problema abordado, as quais poderão servir de base a outros pesquisadores no sentido de aplicá-las em um mesmo contexto ou de refinar o método ora proposto.

Com o uso de DR, para a aplicação do método de trabalho proposto foram necessárias técnicas já consolidadas de mapeamento de processos, coleta e análise de dados, indicadores e avaliação de desempenho, simulação computacional, que serão aplicadas como meios, em cada etapa do processo, de acordo com a necessidade. Uma breve revisão das técnicas mais importantes é apresentada no referencial teórico deste trabalho, mas essa não visa exaurir a base de conhecimento disponível para tal, tampouco apresentar uma visão aprofundada sobre tais técnicas, dado seu caráter de suporte ao foco da pesquisa realizada. Além disso, outras técnicas poderão ser utilizadas conjuntamente, ou em substituição às técnicas ora sugeridas por este trabalho, caso sejam mais apropriadas

ao contexto. Assim, as avaliações de desempenho destas técnicas podem ser estudadas em trabalhos futuros.

Quanto ao contexto de avaliação inicial do artefato, o estudo de simulação foi realizado em uma empresa metal-mecânica, em uma unidade de fabricação de produtos para a indústria do petróleo, envolvendo algumas operações de produção. O método proposto foi avaliado utilizando os critérios propostos por Hevner *et al.* (2004), que serão apresentados juntamente com os resultados no Capítulo 5.

Por fim, o objetivo desta dissertação é o de apresentar um método, para que gestores de sistemas de produção possuam um artefato que possibilite a aplicação das leis de *Factory Physics* em seus sistemas de produção. Na forma proposta por Popper (1975), esta dissertação apresenta uma nova conjectura (método) para resolução de um problema (aplicar as leis de FP em sistemas de produção). Porém, será apresentado de modo a subsidiar tentativas de falseamento, para que, então, o problema seja redefinido pela lógica da conjectura e refutação, forçando o pesquisador a abduzir novas sugestões na forma do DR. Desta forma, a proposta deste trabalho não pretende validar o método, diante do horizonte de tempo desta dissertação, pois seriam necessárias diversas aplicações do método visando o seu falseamento, deixando este artefato (método de aplicação das leis) como contribuição para atividades de aplicação e validação em trabalhos futuros.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou uma breve revisão teórica discorrendo sobre o método de pesquisa empregado neste trabalho, *Design Research*. Após, foi apresentado o método de trabalho utilizado como linha mestra para o desenvolvimento desta Dissertação, e as delimitações.

A seguir será apresentado o referencial teórico que, para uma melhor compreensão, será dividido em dois capítulos, a saber, Revisão da Literatura e Referencial Teórico. O capítulo de revisão da literatura apresentará tópicos sobre sistemas de produção, seus princípios e algumas das técnicas utilizadas para implantação de melhorias, necessários para o entendimento deste trabalho. O capítulo de referencial teórico apresentará os elementos que subsidiarão o método que será proposto neste trabalho.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresentará uma revisão da literatura, inicialmente versando sobre as dimensões estratégicas e os objetivos de competitividade. Em seguida, serão revisados os sistemas de produção e algumas técnicas sugeridas para utilização no contexto deste trabalho. Após, serão apresentados os princípios que estão na teoria contida em *Factory Physics*, e será finalizado com uma breve apresentação sobre algumas técnicas sugeridas para análise e implantação de melhorias em sistemas de produção, no contexto deste trabalho.

Conforme já apresentado anteriormente, esta base conceitual visa oferecer a compreensão necessária para o desenvolvimento do trabalho, sem exaurir a base do conhecimento disponível. Para aprofundamento nos temas apresentados, serão sugeridas obras de referência em cada seção.

3.1 DIMENSÕES ESTRATÉGICAS E OBJETIVOS PARA MELHORAR A COMPETITIVIDADE DAS ORGANIZAÇÕES

Em seu trabalho, Skinner (1969) apresenta a falta de um elo entre a estratégia da organização e o gerenciamento da produção, afirmando que, quando a organização falha em reconhecer o relacionamento entre as decisões de produção e a estratégia corporativa, os sistemas de produção podem se tornar sobrecarregados, ineficientes e onerosos, requerendo muito tempo para responder a alterações de demanda. O autor sugere que um dos prováveis erros cometidos pelos gestores é a confiança em somente dois objetivos-chave para o sucesso da produção: eficiências altas e custos baixos, sem observar a real necessidade dos consumidores, prevista na estratégia corporativa. A partir da lacuna apresentada por Skinner, Slack (1993) apresenta em seu trabalho uma forma de traduzir as ambições estratégicas em ações operacionais, pois “a estratégia somente significa algo quando pode ser traduzida em ação operacional” (SLACK, 1993, p. 13).

Segundo Slack (1993), a operação pode ser considerada como a anatomia de uma organização, e uma função de operação saudável fornece força para a empresa suportar o ataque da concorrência, fornece vigor para o melhoramento uniforme no desempenho competitivo e proporciona versatilidade operacional para fornecer respostas aos mercados voláteis e aos concorrentes. Desta forma, o autor afirma que, por ser o alicerce do sucesso

estratégico da organização, todas as empresas deveriam ter uma visão estratégica de suas operações de manufatura, fornecendo a competitividade necessária para manter esta função saudável, preservando a empresa no mercado.

A partir da vantagem em operações, a organização pode se tornar líder em seu mercado. Mas conforme Slack (1993), para atingir este objetivo, são necessárias informações oriundas de dois grupos de pessoas, os consumidores e os concorrentes.

Segundo o autor, os consumidores fornecem a informação do que é importante para eles, então, são os requisitos que deverão ser obedecidos para que os consumidores adquiram produtos da empresa. Uma maneira de priorizar isto é separar os objetivos em Ganhadores de Pedidos e Qualificadores (HILL, 1985 *apud* SLACK, 1993). Ganhadores de pedidos são objetivos que são vistos pelos consumidores como fatores-chave de competitividade, que mais influenciam nas decisões de fazer negócios com a empresa, e que, melhorando o desempenho nestes objetivos, maiores serão as chances de ganhar negócios. Qualificadores são objetivos nos quais o desempenho deverá estar acima de determinado nível para que a empresa possa ser considerada um possível fornecedor, e abaixo deste nível a empresa sequer participa da concorrência. Desta forma, conclui Slack (1993), é o consumidor que determina o que a manufatura deverá considerar importante.

A definição do nível de desempenho a ser atingido será de acordo com o desempenho dos concorrentes (SLACK, 1993). Conforme o autor, toda melhoria no desempenho vale a pena, porém a melhoria que pode ultrapassar um concorrente em um objetivo ganhador de pedidos é mais valiosa, e o autor alerta que o efeito da redução de desempenho neste quesito pode ser devastador. A parte mais difícil é justamente obter a informação da concorrência, para realizar o *Benchmarking*, definido sucintamente por Slack (1993, p. 17) como sendo “a avaliação de todos os aspectos da operação contra o melhor das empresas rivais”.

Inicialmente, com as informações dos consumidores sobre o que querem, e com a referência da concorrência fornecida pelo Benchmarking, a organização precisa desenvolver uma maneira de fazer melhor para obter a vantagem em produção (SLACK, 1993). O autor sugere cinco significados para fazer melhor, que são, em sua visão, os objetivos de desempenho, apresentados a seguir como as vantagens para a empresa:

- Fazer Certo – Vantagem de Qualidade: não cometer erros, fabricando produtos conforme as especificações de projeto.
- Fazer Rápido – Vantagem de Velocidade: produzir com tempo menor do que o da concorrência.

- Fazer Pontualmente – Vantagem da Confiabilidade: estimar datas de entrega com acuidade ou aceitar as datas de entrega solicitadas pelo cliente, comunicar as datas com clareza e realizar a entrega pontualmente.
- Mudar o que está sendo feito – Vantagem da Flexibilidade: desenvolver a capacidade de variar e adaptar a operação, por razões do cliente, processo ou suprimentos, estando apto a mudar o quanto seja necessário e com velocidade adequada.
- Fazer Barato – Vantagem de Custo: fazer produtos a custos mais baixos do que os concorrentes. Melhorias em qualquer um dos quatro objetivos acima reduzirá os custos, e a operação, a longo prazo, precisará obter recursos mais baratos e/ou transformá-los de uma forma mais eficiente do que os concorrentes.

Estes objetivos possuem aspectos internos e externos, apresentados na Figura 6, e Slack (1993) alerta para a importância de realizar esta distinção. Conforme o autor, enquanto os aspectos externos do desempenho podem ser tomados separadamente, os méritos, a contribuição e a forma com que os aspectos internos contribuem e podem ser contrapostos uns contra os outros são relacionados de forma mais íntima e complexa. O autor conclui que não se trata de saber qual objetivo interno é o mais importante, mas por que ele é importante e de que forma contribui para os desempenhos interno e externo, e como pode ser aperfeiçoado o desempenho individualmente.

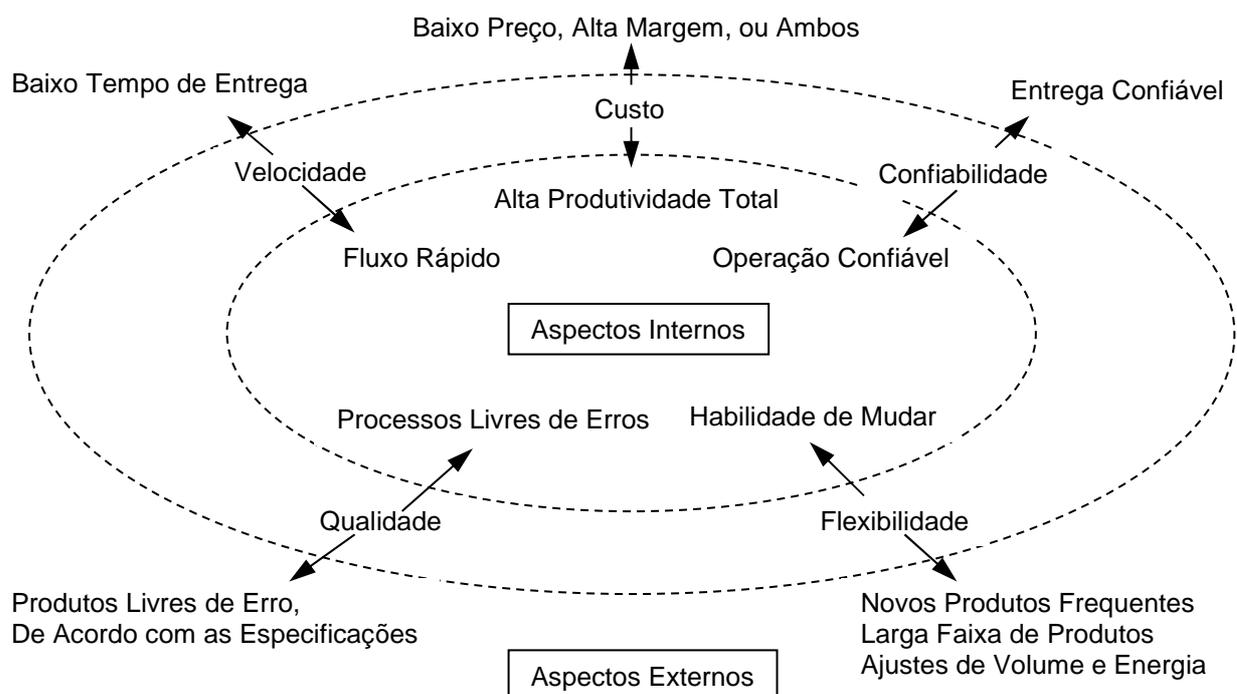


Figura 6 – Aspectos Internos e Externos dos Objetivos de Desempenho

Fonte: adaptado de Slack (1993, p. 20)

Para um maior aprofundamento ao tema, o leitor pode consultar, dentre outras obras, Skinner (1969); Slack (1993); Slack, Chambers e Johnston (2002); Slack (2005).

3.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Um dos primeiros sistemas de produção conhecidos é a linha de montagem idealizada por Henry Ford, dando início ao que é conhecido como sistema de produção em massa ou Fordismo. Ford, alterando a forma com que o automóvel era montado, fez com que o automóvel em construção fluísse através de uma linha na qual os montadores adicionavam os componentes. Conseguiu aumentar a produtividade e reduzir os custos em relação ao sistema anterior, artesanal, através dos efeitos da economia de escala (BATALHA *et al.*, 2008). O mercado, no início da produção em massa, não era restrição, e a oferta de produtos era insuficiente para atender à demanda, o que ficou conhecido como “Product Out”, ou seja, tudo o que era produzido era vendido (ANTUNES *et al.*, 2008).

O sistema de produção em massa prevaleceu desde a sua fundação como sendo o principal sistema de produção até que a crise do petróleo em 1973 alterou a lógica do mercado para “*Market in*”. Nesta lógica, a oferta passou a ser superior à demanda e o mercado passou a definir suas exigências (ANTUNES *et al.*, 2008; YAMASHIMA, 1988 *apud* ANTUNES *et al.*, 2008). A partir dessa mudança, estabeleceu-se a necessidade das empresas produzirem uma variedade maior de produtos, em lotes menores, e darem respostas mais rápidas às flutuações de demanda (ANTUNES *et al.*, 2008). Esse movimento também deu início ao sistema de produção conhecido como produção enxuta (WOMACK; JONES, 1998).

Considerando estes dois tipos de sistemas produtivos (produção em massa e produção enxuta) e a necessidade de melhoria do desempenho dos mesmos, ao longo do tempo, foram surgindo diversas abordagens técnicas ou metodológicas para lidar com estas questões. Após a Administração Científica e o Fordismo, seguiram-se outras abordagens tais como o Gerenciamento da Qualidade Total (DEMING, 1990; JURAN, 1992; FEIGENBAUM, 1994), Sistema Toyota de Produção (OHNO, 1997; SHINGO, 1996a; SHINGO, 1996b), *Lean Manufacturing* (WOMACK; JONES, 1998), Teoria das Restrições (GOLDRATT, 1992) e *Factory Physics* (HOPP; SPEARMAN, 2000).

A seguir são apresentadas sucintamente algumas das abordagens sobre sistemas de produção, com técnicas para melhorias de sistemas de produção contidas nestas, necessárias para a compreensão deste trabalho.

3.2.1 Sistema Toyota de Produção

O STP, idealizado por Taiichi Ohno e aperfeiçoado ao longo do tempo com a ajuda de Shigeo Shingo, foi constantemente melhorado apoiado em seus dois pilares: Automação, que pode ser entendida como automação com toque humano, e sistema *Just-in-Time* (JIT), que significa ter as peças necessárias no momento em que são necessárias e na quantidade necessária.

A Automação remonta da ideia de Toyoda Sakiichi (1867-1930) em fazer com que o tear detectasse, de modo autônomo, o rompimento de algum dos fios e interrompesse a produção para que uma ação pudesse ser tomada sem perdas de qualidade. Em suma, a máquina passava a ter um “toque” humano. Antes dessa invenção, era necessário ter uma operária por tear; após a implementação da automação, uma operária controlava 50 teares, pois só necessitava intervir quando um dos teares parasse por defeitos, detectados pela máquina no momento da ocorrência.

O sistema JIT permite que a empresa estabeleça um fluxo unitário de peças com estoque zero (ou mínimo) entre processos. De acordo com Ohno (1997, p. 26), “do ponto de vista da gestão da produção, este é um estado ideal”. O JIT ajuda a evitar que uma falha na previsão, um erro no preenchimento de um formulário, ou produtos defeituosos se transformem em desperdícios para o sistema de produção.

Para o controle e operação do sistema de produção na Toyota, a ferramenta desenvolvida e utilizada é o *Kanban* (OHNO, 1997). O *Kanban* foi apresentado inicialmente por Ohno como um pedaço de papel que continha as informações essenciais para o sistema: quantidade de produção, tempo, método, ponto de estocagem, etc. O *Kanban* funcionava também como ordem de produção: se um cartão era retirado de determinado local, então o operador sabia naquele instante que necessitava produzir um lote para atender ao pedido e, após, deveria aguardar outro cartão para que pudesse produzir novamente, evitando assim a superprodução.

Ao longo do tempo, para que o STP funcionasse melhor, foram desenvolvidos diversos métodos, técnicas para desdobrar, em abordagens práticas, os conceitos do STP: o estudo do Mecanismo da Função Produção (MFP), o sistema de Troca Rápida de Ferramentas (TRF), dispositivos à prova de erros (*poka-yoke*), identificação e eliminação de perdas, operadores multifuncionais, gestão de postos de trabalho, etc. Diversas técnicas desenvolvidas durante o aprimoramento do STP foram implementadas em empresas dentro e fora do Japão, porém com sucesso parcial. Isso se deve, em parte, à questão cultural, propícia na Toyota desde a sua criação, e, em parte, à necessidade de mudança de

conceitos importantes para o perfeito funcionamento das ferramentas e das técnicas (SHINGO, 1996a; SHINGO, 1996b; OHNO, 1997; HOPP; SPEARMAN, 2000).

Em relação à introdução de melhorias no STP, Shingo (1996a) afirma que para a realização de melhorias significativas no processo de produção, é necessário entender antes o Mecanismo da Função Produção (MFP), apresentado na Figura 7, realizando a distinção entre o fluxo de produto (processo) e o fluxo de trabalho (operação), analisando-os separadamente.

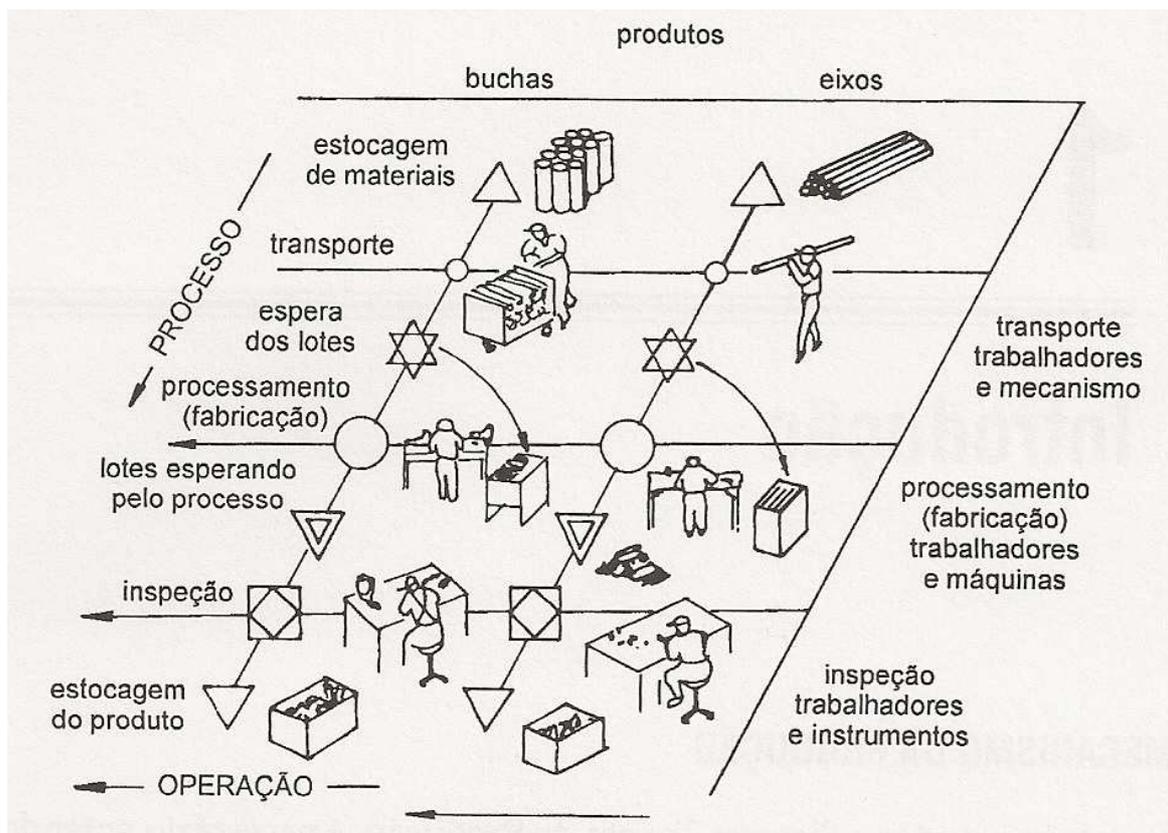


Figura 7 – A Estrutura da Produção – Mecanismo da Função Produção

Fonte: Shingo (1996, p. 38)

A partir deste mapeamento, deve ser priorizada a melhoria na Função Processo antes de ser implementada uma melhoria na Função Operação (SHINGO, 1996b). Por exemplo, uma operação de transporte pode ser mecanizada para reduzir o esforço do operador, sendo esta uma melhoria típica de operação. No entanto, enquanto analisada sob o ponto de vista da Função Processo, ao agrupar os dois centros de trabalho que necessitam deste transporte, o mesmo pode ser minimizado ou eliminado, reduzindo mais do que a aplicação da mecanização no transporte o custo do processo e o tempo de processamento.

Além da aplicação da autonomia e do JIT, do correto entendimento do MFP, a eliminação dos Sete Desperdícios pregados por Taiichi Ohno proporcionou a motivação que tornou possível a evolução do STP (OHNO, 1997). De acordo com Ohno (1997), os Sete Desperdícios são:

- Desperdício de superprodução;
- Desperdício de tempo disponível (espera);
- Desperdício em transporte;
- Desperdício do processamento em si;
- Desperdício de estoque disponível (estoque);
- Desperdício de movimento;
- Desperdício de produzir produtos defeituosos.

Desta forma, a partir de uma análise do processo utilizando a lógica do MFP, que apresenta o processo como ele realmente acontece, ficam em evidência os desperdícios, ou seja, as atividades que não agregam valor ao produto e facilitam a implementação de melhorias, no sentido da redução ou eliminação de tais desperdícios, otimizando o sistema de produção.

Acima foram apresentados alguns elementos importantes do STP para o foco de pesquisa deste trabalho. Para um maior aprofundamento ao tema, o leitor pode consultar, dentre outras obras, Shingo (1996a, 1996b); Ohno (1997); Monden (1984); Antunes *et al.* (2008); Liker (2005); Liker e Meyer (2007); Liker e Meyer (2008); Hino (2009); Liker e Hoseus (2009); Osono *et al.* (2008).

3.2.2 *Lean Manufacturing*

O *Lean Manufacturing* começou a ser difundido e consolidado a partir da pesquisa realizada por Womack, Jones e Ross entre 1985 e 1990, com o objetivo de comparar o sistema de produção em massa (Fordismo) com o sistema de produção enxuta existente no Japão. Após este estudo inicial, Womack e Jones continuaram a estudar a produção enxuta e escreveram o livro “A Mentalidade Enxuta nas Empresas”, que buscava ensinar como transformar uma empresa da era da produção em massa para produção enxuta, ou “*Lean*”.

Os autores afirmam que esta mudança é possível se fundamentada em cinco princípios, a saber: (i) Valor; (ii) A Cadeia de Valor; (iii) Fluxo; (iv) Produção Puxada; e (v) Perfeição. Estes princípios eram, e são, analisados à luz da eliminação de desperdícios.

Valor significa entender o que o cliente realmente quer de um produto ou serviço, para oferecer somente o necessário ao cliente. A Cadeia de Valor procura identificar entre as atividades necessárias para a produção de um item, quais as atividades que realmente adicionam valor ao produto, e visa à eliminação das demais, que geram somente custos. O Fluxo é importante para manter o ritmo de produção: Henry Ford e seus sócios foram bem sucedidos em perceber o potencial do fluxo de produção, reduzindo em 90% a quantidade de esforço necessária para montar o modelo T (WOMACK; JONES, 1998). Porém, o grande desafio não era somente manter o fluxo na produção em massa, mas sim produzir baixos volumes e grandes variedades de produtos. A Produção Puxada representa a visão pela qual o cliente “puxa” o produto desejado no momento em que ele é necessário em vez do produtor “empurrar” produtos (eventualmente indesejados) aos clientes. Por fim, a Perfeição acaba sendo uma consequência do processo de aprimoramento realizado pelos quatro princípios anteriores no sistema de produção, pois a percepção de valor faz com que a empresa produza somente o que o cliente deseja, a cadeia de valor apresenta somente o que deve ser feito que adiciona valor ao produto, o fluxo é mantido com técnicas como a troca rápida de ferramentas e a produção é puxada conforme a necessidade do cliente.

Uma técnica desenvolvida dentro do contexto de *Lean Manufacturing* e aplicada com bastante frequência para a análise de sistemas de produção é o Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), desenvolvida por Rother e Shook (1999). Na visão dos autores, Fluxo de Valor é “toda ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais a cada produto” (p. 3). De acordo com os autores, o MFV permite mapear o fluxo de valor e de informação, considerando todas as atividades dentro do fluxo produtivo, vislumbrando um quadro mais amplo, não somente os processos individuais, tendo como objetivo melhorar o todo. A partir desta etapa, verificando o estado atual do processo, pode-se iniciar o planejamento do estado futuro, o qual se deseja alcançar, estabelecendo para isto as ações necessárias. Uma das limitações desta técnica é a sua capacidade em avaliar somente o estado estático de um sistema, analisando inicialmente um produto por vez (LIAN; VAN LANDEGHEM, 2002). Porém, esta lacuna tem sido observada por diversos autores, e já existem trabalhos aplicando a mesma com a adição de técnicas de simulação computacional (LIAN; VAN LANDEGHEM, 2002; PAÇO, 2006; STANDRIDGE; MARVEL, 2006) e sugerindo o seu uso com simulação computacional para análise de múltiplos produtos e treinamento preparatório para a implementação de mudanças no sistema de produção (LIAN; VAN LANDEGHEM, 2002).

Para um maior aprofundamento ao tema, o leitor pode consultar, dentre outras obras, Womack, Jones e Roos (1992); Womack e Jones (1998); Rother e Shook (1999); Liker (1998); Tubino *et al.* (2008); Silva *et al.* (2008); Silva *et al.* (2009).

3.2.3 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições (TOC) surgiu a partir da visão de Eliyahu Goldratt, que, em 1984, introduziu por meio de seu romance “A Meta”, uma nova maneira de analisar os problemas de gestão de operações. Em um comentário no Capítulo 1, Goldratt (1992) afirma que a meta de uma organização é ganhar dinheiro hoje e no futuro, e para que isto seja possível, é necessário que a organização descubra qual a restrição que restringe a empresa de ganhar mais dinheiro, definindo esta como sendo o “gargalo” do sistema.

Para auxiliar nesta busca, o autor apresenta um método de análise baseado em cinco etapas: (i) Identificar a restrição do sistema; (ii) Decidir como explorar a restrição do sistema; (iii) Subordinar todas as decisões à decisão acima; (iv) Elevar a capacidade da restrição do sistema; (v) Se a restrição for quebrada, voltar à etapa inicial. Ao concluir a apresentação, o autor adiciona um aviso às cinco etapas: não deixar que a inércia tome conta do sistema, garantindo assim um ambiente de melhoria contínua na organização.

Outra contribuição de Goldratt foi a proposta de um sistema de indicadores globais em vez de locais para medir os resultados do sistema, pois, segundo ele, nem sempre a soma dos resultados ótimos locais garante o resultado ótimo global.

Para coordenar o sistema de produção, Goldratt (1992) apresentou o algoritmo Tambor-Pulmão-Corda (TPC), que visa “puxar” a produção nos estágios antes da restrição do sistema e “empurrá-la” tão logo seja processada pelo recurso restritivo. Também objetiva garantir a sincronia do sistema produtivo e desta forma garantir o máximo desempenho da restrição do sistema de acordo com a meta da organização: ganhar dinheiro hoje e no futuro.

Para um maior aprofundamento ao tema, o leitor pode consultar, dentre outras obras, Goldratt (1992); Goldratt e Cox (2004); Goldratt e Fox (1989); Kendall (2006); Goldratt (2006).

3.3 *FACTORY PHYSICS*

Segundo Hopp e Spearman (2000, p. 1), *Factory Physics* é “uma descrição sistemática do comportamento existente em sistemas de produção”. Conforme os autores, entender o comportamento de um sistema de produção permite, aos gerentes e engenheiros, trabalhar com as tendências naturais dos sistemas de produção para:

1. Identificar oportunidades de melhoria nos sistemas atuais;

2. Projetar e desenvolver novos sistemas efetivos;
3. Efetuar as negociações necessárias para coordenar políticas entre áreas distintas.

FP foi desenvolvida inicialmente por Hopp e Spearman (2000), a partir da maneira pela qual explicavam como as coisas aconteciam e por quais motivos aconteciam em sistemas de produção. Em seu trabalho, os autores definem precisamente seu foco, escopo, método e ambiente de trabalho. O **foco** de FP é **no Gerenciamento da Produção**, devido aos desafios enfrentados por este setor, pois o sucesso de cada empresa depende da efetividade do seu gerenciamento.

O **escopo** de FP é **o campo de Operações**. O tipo de orientação dada serve para diversos setores dentro das organizações, como projeto do produto, desenvolvimento de processos, projeto de plantas, gerenciamento da capacidade, distribuição, programação da produção, controle de qualidade, gerenciamento da cadeia de suprimentos, organização da força de trabalho, manutenção de equipamentos, planejamento estratégico, coordenação interplantas, e também na produção direta, em operações de manufatura como usinagem, retificação e montagem. Os autores referenciam operações como “a aplicação de recursos (capital, materiais, tecnologia, e conhecimento e habilidades humanas) para a produção de bens e serviços” (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 3). Operações podem se referir também a uma função específica da organização, tal como projeto de produto, contabilidade, marketing, finanças, recursos humanos e sistemas de informação. Hopp e Spearman (2000) afirmam que importância de Operações é dada por três dimensões: (i) Custo; (ii) Qualidade; e (iii) Velocidade, embora Slack (1993) apresente também as dimensões de Confiabilidade e Flexibilidade, para resolver a falta do elo entre a estratégia e produção, apontada por Skinner (1969).

O **método de trabalho é FP**. O motivo apresentado por Hopp e Spearman (2000, p. 6) é refletido na seguinte questão: “Como os gerentes podem usar um ponto de vista de operações para identificar uma combinação sensível de políticas que seja efetiva agora e flexível o suficiente para se adaptar às necessidades do futuro?” A resposta não reside em o que fazer em relação aos problemas de produção, mas em como pensar sobre eles. Hopp e Spearman (2000, p. 6) fazem as seguintes afirmações para complementar a resposta desta pergunta:

Cada ambiente de produção é único. Nenhum conjunto simples de procedimentos pode funcionar bem sobre todas as condições. Portanto, Gerentes de Produção Efetivos do futuro dependerão de um sólido entendimento de seus sistemas para permitir a eles identificarem pontos de

influência, saltando criativamente na competição, e gerando um ambiente de melhorias contínuas. Para os estudantes de Gerenciamento da Produção, este é um tipo de notícia boa e má. A má notícia é que gerentes de produção necessitarão saber mais sobre os fundamentos de produção do que antes. A boa notícia é que o gerente que desenvolver estas habilidades será altamente valorizado na indústria.

Hopp e Spearman (2000) procuram estabelecer uma Ciência da Produção através de conceitos básicos como construção de blocos, citando princípios fundamentais como sendo “leis de produção”, e identificando conceitos genéricos a partir de práticas específicas. Neste aspecto, o uso do termo *Factory Physics* é utilizado pelos autores para distinguir a ênfase no longo prazo em relação às práticas de curto prazo de programas de melhoria em produção. A comparação com experimentos da física é feita a partir de características em comum: (i) Estrutura de Resolução de Problemas; (ii) Aproximação Técnica; e (iii) Usufruem do Papel da Intuição.

A perspectiva do trabalho de melhoria proposta pelos autores é através do entendimento dos sistemas de produção como sendo linhas de fluxo. Desta forma, como os processos de produção variam entre si, os autores classificam os processos por “estrutura de processos” e os dividem em quatro categorias, a saber:

1. *Job Shops*: lotes pequenos produzidos em uma variedade alta de roteiros de fabricação, e máquinas agrupadas por setores;
2. Linhas de Fluxo Desconectadas: lotes de produtos produzidos em um número limitado de rotas;
3. Linhas de Fluxo Conectadas: linha de montagem clássica de Henry Ford;
4. Processos de Fluxo Contínuo: produtos químicos, alimentícios, petroquímicos, que fluem automaticamente em uma rota fixa.

Acima foram apresentados os conceitos da teoria *Factory Physics* sob a forma de uma aproximação inicial. A seção seguinte versará sobre os sistemas de produção e a relação destes com os princípios contidos em FP.

3.3.1 Sistemas de Produção e os Princípios de *Factory Physics*

Na área de Gestão de Operações, existe uma grande variedade de livros, cursos, seminários, pacotes de *software*, e outras fontes de materiais para resolver os problemas da

produção, confundindo e dificultando o trabalho dos gerentes de produção (SLACK, 1993; HOPP; SPEARMAN, 2000). Embora o objetivo destes “pacotes para solução de problemas de produção” seja oferecer uma solução única para todas as situações, muitas vezes o tipo de “pacote” utilizado é escolhido conforme os últimos lançamentos, aplicando assim, o que existe de mais atual para tentar resolver este problema, muitas vezes com resultados insatisfatórios. E, quando uma tentativa não funciona bem, é implantada uma nova alternativa, até que os funcionários, esgotados por participarem de uma revolução após a outra, adaptam-se, em uma atitude condescendente de que “isto também irá passar” (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 186). A respeito disto, Slack (1993) pondera que os sistemas podem se beneficiar de novos conceitos e teorias, através da exploração das ideias contidas nestes para obter benefícios, porém adaptando-as ou rejeitando-as, se necessário.

Uma parte da dificuldade encontrada pelos gestores pode estar na maneira com que os consultores preparam o marketing de seus pacotes, dificultando a tarefa de comparação destes pacotes. Suspeitando que as raízes do problema sejam mais profundas do que isto, Hopp e Spearman (2000) afirmam a sua crença de que este problema é uma conseqüência direta da falta de uma Ciência de Produção.

Para auxiliar neste sentido, Hopp e Spearman (2000) explicam que muitos campos aplicados dependem de ciência, como, por exemplo, a Medicina depende da Biologia e da Química, a Engenharia Elétrica depende das ciências de eletricidade e magnetismo, entre outras. Em cada caso, a base científica fornece um poderoso conjunto de ferramentas, mas não é, em si mesma, uma disciplina aplicada completa, como, por exemplo, a prática da Medicina envolve muito mais do que simplesmente aplicar os princípios da Biologia. Os autores afirmam que a ciência oferece muitos usos no contexto do Gerenciamento da Produção, principalmente precisão, intuição e síntese.

A precisão é apresentada devido à necessidade de quantificar os fenômenos, pois “quando não é possível expressar o conhecimento em números, ele é escasso e insatisfatório” (LORD KELVIN *apud* HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 186). Hopp e Spearman (2000) citam que uma das razões para que seja desenvolvida uma Ciência de Produção é a de fornecer uma caracterização precisa de como os sistemas trabalharão.

A intuição é oferecida pela ciência, como no exemplo apresentado pelos autores com relação à segunda lei de Newton, “ $F = ma$ ”, que induz ao raciocínio de que dobrando o módulo da força, com a mesma massa, a aceleração terá o dobro de seu módulo. De acordo com os autores, relações como esta são apresentadas aos estudantes na disciplina de Física não somente para que eles descubram o resultado final, mas também para que eles entendam os fenômenos que acontecem no mundo ao redor deles. Em relação especificamente à *Factory Physics*, Shoemig (1999) relata em seu trabalho a facilidade de compreensão dos fenômenos que ocorrem na produção pelos operadores a partir dos

princípios apresentados por Hopp e Spearman (2000). Frequentemente os gerentes não possuem tempo de conduzir análises detalhadas para tomar decisões e, então, concluem Hopp e Spearman (2000), uma boa intuição permite a eles focar suas energias em questões de máxima importância.

Desta forma, a ciência facilitaria a síntese de diferentes perspectivas através de uma estrutura unificada. Por exemplo, James Clerk Maxwell unificou conceitos de eletricidade, magnetismo e ótica (que, por muitos anos, pensava-se pertencerem a diferentes campos da ciência) em quatro equações (HOPP; SPEARMAN, 2000). Em produção, indicadores de performance importantes, como *Work in Process* (WIP), Taxa de Produção (TH) e Tempo de Ciclo / *Lead Time* (CT) são frequentemente tratados como independentes. Mas, através da equação proposta por John C. Little em 1961, a partir de um estudo sobre teoria das filas, são apresentadas relações fundamentais e úteis entre elas (LITTLE, 1961), utilizada para diversas finalidades com resultados satisfatórios por diversos autores, que será apresentada mais adiante.

Porém, de acordo com a visão de Hopp e Spearman (2000), sistemas de produção são sistemas complexos envolvendo pessoas, equipamentos e dinheiro, sendo vistos por perspectivas diferentes: (i) uma coleção de pessoas com valores compartilhados; (ii) uma comunidade criativa para desenvolvimento de novos produtos; (iii) um conjunto de processos físicos inter-relacionados; (iv) uma rede de fluxo de materiais; ou (v) um conjunto de centros de custo. Desta forma, através de uma estrutura consistente, a Ciência da Produção oferece meios para sintetizar estas visões distintas.

Para que seja desenvolvida uma Ciência da Produção, é necessário que seja definido precisamente o que significa um sistema de produção. Neste sentido Hopp e Spearman (2000, p. 190) afirmam que “um sistema de produção é uma *rede* de *processos* orientada para *objetivos* através da qual *entidades fluem*.” Os autores destacam em itálico as palavras-chave desta definição. Um sistema de produção precisa ter um **objetivo**, contém diversos **processos**, as **entidades** processadas podem ser produtos físicos ou informação, e o **fluxo** descreve como materiais e informação são processadas. Os autores concluem a explicação desta definição citando a importância de reconhecer que um sistema de produção é uma **rede** de partes que interagem, e gerenciando estas interações é tão ou mais importante do que gerenciar entidades e processos individuais.

O conceito de um sistema de produção apresentado acima por Hopp e Spearman (2000) é parecido com o conceito do MFP que Shingo já havia apresentado para entender a produção (SHINGO, 1996a), porém estendido. Antunes *et al.* (2008) citam que os conceitos presentes no MFP divergem da visão existente no início do século XX nos EUA, na qual o processo era considerado um “conjunto de operações”. A partir das informações acima, é possível perceber a evolução, ao longo do tempo, da maneira com a qual os sistemas de

produção são compreendidos, e a partir desta compreensão, a implantação de melhorias torna-se mais eficiente para transformar análises, metas e ações em resultados.

Outra maneira de auxiliar na tarefa de entender um sistema de produção é fazer uso de modelos (HOPP; SPEARMAN, 2000). Segundo Ackoff & Sasieni (1977, p. 70), “modelos são representações da realidade”, pois, segundo eles, se fossem tão complexos e difíceis de controlar como a realidade, não haveria vantagem em utilizá-los. Neste sentido, Hopp e Spearman (2000) afirmam que a maioria dos modelos utilizados em pesquisa e ensino de Gerenciamento de Produção são prescritivos, que de acordo com Simon (1990), são uma classe de modelos que ajudam a verificar quais serão os efeitos futuros de decisões a serem tomadas no sistema. Em seus exemplos, Hopp e Spearman (2000) fazem uso de modelos descritivos, justificando que, antes de utilizar modelos prescritivos, é essencial entender os relacionamentos básicos que governam o sistema em vez de tentar otimizá-lo, e nesta situação se faz necessário o uso de modelos descritivos. Outro argumento dos autores é que modelos descritivos auxiliam a fixar conceitos, como, por exemplo, qual o comportamento de determinado material sob tensões de tração e compressão em Engenharia Civil, que uma vez compreendidos pelo engenheiro, o mesmo pode fazer uso dos modelos prescritivos para projetar a sua construção.

Analogamente à maneira como o engenheiro civil constrói suas obras a partir de pequenos blocos de modelos, Hopp e Spearman (2000) citam que estes modelos elementares podem ser utilizados como blocos de construção para sistemas complexos. Porém, os próprios autores afirmam que é necessária uma adequada derivação a partir das suposições para as conclusões, e não confiar que o modelo é uma representação realista do sistema, conforme afirmam autores de Modelagem de Sistemas (PIDD, 1998a; ANDRADE, 1998; BANKS *et al.*, 1998). Outra questão importante no uso das leis é entender quando elas se aplicam e quando não se aplicam, podendo inclusive desafiar o gestor não somente a testar hipóteses, mas sim tentar refutar a lei, utilizando o processo de Conjetura e Refutação, pois quanto mais uma lei for refutada maior é o aprendizado sobre o sistema e melhor será a sobrevivência da lei (POPPER, 1975; POLYA, 1954 *apud* HOPP; SPEARMAN, 2000).

Hopp e Spearman (2000) afirmam que, apesar de nem sempre as leis poderem ser comprovadas, elas podem ser úteis para entender os relacionamentos entre variáveis fundamentais de produção. Os autores acreditam que, entendendo estes relacionamentos no contexto de uma ciência de produção, mesmo que de uma maneira incompleta, preparará melhor o gestor para projetar e controlar organizações de produção. Em suma, a construção deste tipo de teoria, a partir de conhecimento empírico e de casos, pode encontrar uma referência a partir do trabalho de Eisenhardt (1989), que propõe a construção de teorias a partir de casos práticos, ou seja, de situações práticas que possuem evidências

empíricas, coerência lógica e que podem ser testadas, produzindo novidades em relação à base de conhecimento existente.

A noção de conjectura e refutação não é somente um veículo para pesquisa científica, afirmam Hopp e Spearman (2000), mas também a base para uma metodologia de resolução de problemas extremamente útil, conhecida como Análise de Sistemas ou Abordagem de Sistemas, desenvolvida inicialmente por Jay Forrester e seus colaboradores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) como dinâmica de sistemas, e aplicada por diversos autores no sentido de modelagem de sistemas e pensamento sistêmico (GODINHO FILHO, 2008; GODINHO FILHO; UZSOY, 2009; MOREIRA; LACERDA; DIEHL, 2009). De acordo com a teoria proposta por Hopp e Spearman (2000), a análise de sistemas é caracterizada pelos seguintes elementos:

1. Visão Sistêmica: o problema é visualizado no contexto de um sistema de interação de subsistemas, de modo que o objetivo é ter uma visão ampla e holística do sistema.
2. Análise Meio-Fim: o objetivo é especificado inicialmente, para que então alternativas sejam pesquisadas e avaliadas para atingir o objetivo. Um exemplo citado por Hopp e Spearman (2000, p. 192) poderia ser “entregar os produtos rapidamente e convenientemente aos consumidores” em vez de “aumentar a eficiência do processamento de ordens de compra”, pois este último poderia desestimular a criação de uma alternativa que poderia ser a elaboração de um novo procedimento de compras.
3. Geração de Alternativas Criativas: com o objetivo em mente, esta abordagem proporciona a busca das mais amplas alternativas possíveis, como por exemplo, as geradas através de técnicas de *brainstorming*.
4. Modelagem e Otimização: para comparar as alternativas para atingir o objetivo, algum tipo de quantificação é necessário. Dependendo da complexidade do sistema, pode variar desde uma simples análise de custos e seleção do menor custo, até o desenvolvimento de um modelo matemático.
5. Iteração: em quase todas as análises de sistemas, o objetivo, as alternativas e a modelagem são revisadas repetidamente devido à complexidade dos sistemas, pois encontrar erros e descuidos é uma parte natural do processo de Conjectura e Refutação.

A Figura 8 apresenta a estrutura do processo de análise de sistemas em quatro fases básicas: análise de operações, projeto de sistemas, implementação e avaliação. Hopp

e Spearman (2000) citam que estas fases não são seqüenciais, e que a iteração pode ser realizada tanto dentro das fases quanto entre elas.

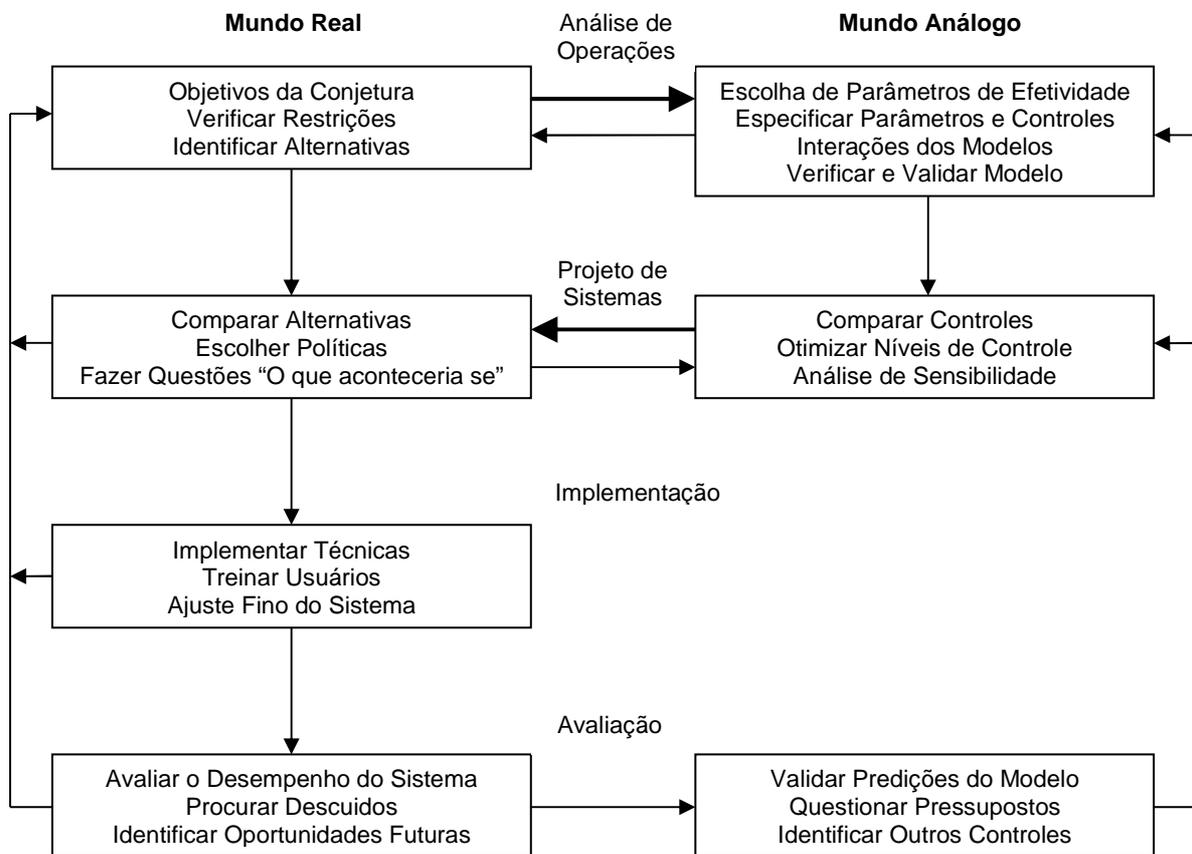


Figura 8 – Estrutura da Análise de Sistemas

Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2000)

Na explicação de Hopp e Spearman (2000), o processo inicia com a Fase de Análise de Operações, que foca essencialmente na tarefa científica de observar o sistema atual e desenvolver um modelo útil e apropriado. A essência desta tarefa é definir os objetivos, as restrições e as alternativas para o projeto, que na medida em que as conjecturas e refutações estiverem sendo realizadas nestas definições iniciais, novos objetivos, restrições e alternativas aparecerão. Para que o entendimento de sistemas complexos seja facilitado, Hopp e Spearman (2000) sugerem o desenvolvimento de analogias ou modelos dos aspectos essenciais do sistema.

Após a análise, a fase seguinte de Projeto do Sistema é o início da porção "engenharia" do paradigma de análise de sistemas. A partir da analogia ou do modelo desenvolvido na fase de análise, é realizada uma tentativa de otimização deste modelo em relação aos critérios de efetividade selecionados, e será verificada a robustez das soluções geradas pelo modelo via análise de sensibilidade. Estes resultados são então "traduzidos"

para as políticas atuais e é examinada a possibilidade de aplicação no ambiente real. Porém, Pidd (1998a) alerta para os perigos que o uso de modelos proporciona, devido à simplificação da realidade intrínseca no uso destes. Segundo o autor, um destes perigos é o “perigo do modelo perfeito” (p. 37), pois sendo o modelo uma simplificação e uma representação aproximada de algum aspecto da realidade, poderão existir detalhes do sistema que são descartados pela modelagem, e tanto o analista quanto os usuários do modelo devem estar cientes disto ao realizar a análise do modelo para definir o plano de ações.

Após a apresentação das políticas selecionadas para atender ao objetivo, a fase de implementação oferece a oportunidade de verificar se as ações selecionadas foram propriamente adotadas e ainda identificar problemas que não foram antecipados pelos modelos enquanto ainda existe tempo de lidar efetivamente com eles.

Na fase de avaliação, deve ser revisado o sistema após a implementação das ações e avaliar os resultados em relação aos objetivos iniciais. De acordo com Hopp e Spearman (2000), esta é uma fase extremamente importante, pois oferece a melhor oportunidade para validar a utilidade do modelo em melhorar o sistema real, ao contrário de simplesmente utilizar o mesmo para descrever o comportamento do sistema. Além disso, oportunidades para melhorias futuras tanto no modelo quanto no sistema real podem ser identificadas como novas entradas para outros ciclos do procedimento de análise de sistemas.

3.3.2 Definições e Parâmetros de *Factory Physics*

Hopp e Spearman (2000) afirmam que um método científico requer uma terminologia precisa, e que na área de Gerenciamento de Produção a terminologia está longe de ser padronizada. Para facilitar o entendimento dos conceitos tratados em seu trabalho, os autores apresentam as definições que serão descritas a seguir:

- **Estação de Trabalho (*Workstation*):** é um conjunto de uma ou mais máquinas ou estações manuais de trabalho que executam funções idênticas. São seus sinônimos: Estação (*Station*), Centro de Trabalho (*Workcenter*) e Centro de Processo (*Process Center*).
- **Peça (*Part*):** pode ser uma porção de matéria-prima, um componente, uma sub-montagem ou um conjunto montado que é trabalhada nas estações de trabalho da planta.

- **Produto Final (*End Item*):** é uma peça que é vendida diretamente ao cliente, seja ela montada ou não. A relação entre o item e suas partes é mantida através da lista de materiais (*Bill of Materials – BOM*).
- **Consumível (*Consumable*):** são elementos utilizados para a fabricação das peças, porém não fazem parte da lista de materiais, como, por exemplo, ferramentas, produtos químicos, gases, lubrificantes, etc.
- **Roteiro de Trabalho (*Routing*):** descreve a seqüência de estações de trabalho pelas quais uma peça passará. O roteiro de trabalho e a lista de materiais contêm a informação básica necessária para fazer um item final.
- **Pedido de Fabricação (*Customer Order*):** é uma requisição do cliente para um item específico, em uma quantidade determinada, para ser entregue em uma data estabelecida.
- **Ordem de Produção / Serviço (*Job*):** refere-se a um conjunto de materiais físicos que percorre o roteiro de trabalho, com a informação lógica associada (lista de materiais, desenhos, especificações, etc). Pode ou não ser do mesmo tamanho do Pedido de Fabricação, de acordo com a eficiência da empresa, ou para antecipação ao Pedido.
- **Taxa de Produção (*Throughput ou Throughput Rate – TH*):** é a taxa média de saída de um processo de produção (de uma máquina, estação de trabalho, linha, planta, etc) por unidade de tempo. Hopp e Spearman (2000) definem que TH é a quantidade média de peças boas (sem defeito) por unidade de tempo.
- **Capacidade (*Capacity*):** a máxima Taxa de Produção possível de um processo de produção é definida como a capacidade de produção deste processo.
- **Estoque de Matérias-Primas (*Raw Material Inventory – RMI*):** são as entradas físicas do início de um processo de produção, por exemplo, barras antes do corte para usinagem, bobinas de chapas para estampagem, etc.
- **Estoque de Produtos Acabados ou Produtos Aguardando Embarque (*“Crib” and Finished Goods Inventory – FGI*):** o ponto de estocagem ao final do roteiro pode ser considerado tanto como um Local de Inventário Intermediário (aguardando para ser transferido para outra linha ou fábrica) como Estoque de Produtos Acabados. Em algumas situações, pode ser utilizada a estratégia de manter um estoque intermediário para consolidar em um único embarque, componentes diversos que são fabricados em diferentes locais dentro da fábrica.
- **Estoque em Processo (*Work in Process – WIP*):** é a quantidade de inventário existente entre o início e o fim de um processo de produção. Em alguns casos, Hopp e Spearman (2000) alertam que a contagem de WIP considera o Estoque

de Produtos Aguardando Embarque, porém no seu livro os autores consideram o WIP como somente o estoque em produção efetiva, excluindo da contagem o Estoque Intermediário (Aguardando Embarque).

- **Giros de Estoque (*Inventory Turns*):** um indicador normalmente utilizado para medir a eficiência do uso do inventário é chamado de Giros de Estoque, ou Taxa de Troca (*Turnover Ratio*), que é definido como sendo a razão entre a Taxa de Produção (*Throughput* – TH) e o Inventário Médio. Neste caso, tipicamente a Taxa de Produção é utilizada em base anual. Portanto, esta razão representa a taxa média de vezes em que o inventário é reabastecido durante um ano. Hopp e Spearman (2000) informam que o que é incluído no cálculo de inventário depende do que está sendo medido, como por exemplo, em um almoxarifado todo o estoque é de Produtos Acabados. Portanto, os Giros de Estoque são calculados por TH/FGI , mas em uma planta de produção o estoque a ser considerado deve ser a soma do WIP (inventários ainda em produção na linha) com o FGI (inventário aguardando embarque), então o Giro de Estoque será $TH/(WIP + FGI)$. Além disso, os autores citam que as unidades de medida sempre deverão ser as mesmas (por exemplo, se o estoque é calculado em dólares, o TH também deverá ser calculado na mesma base – dólares).
- **Tempo de Ciclo (*Cycle Time* – CT):** o Tempo de Ciclo (também chamado de Tempo de Ciclo Médio, Tempo de Fluxo, Tempo de Atravessamento e Tempo de Jornada) de um dado roteiro de fabricação é o tempo médio desde a liberação da Ordem de Produção (*Job*) no início da linha até que o item atinja o ponto de inventário ao final da linha.

Na proposição de Hopp e Spearman (2000), esse tempo incluiria, além dos tempos de processamento das estações de trabalho todo e qualquer tempo de espera, possuindo inclusive uma natureza estocástica (aleatória), possuindo então o termo “Tempo de Ciclo” um significado semelhante ao termo “*Lead Time*” aplicado por diversos autores no Brasil. Hopp e Spearman (2000) afirmam que, embora a definição dada seja precisa, ela é também limitada, pois permite a definição de Tempo de Ciclo somente para roteiros individuais. Além disso, os autores citam em nota que o termo Tempo de Ciclo é utilizado em linhas de produção para indicar o tempo alocado para que cada estação execute o seu trabalho, ou então poderá ser o tempo de processamento individual de um equipamento. A partir disto, os autores evitam o uso destas duas outras aplicações citadas acima deste termo para prevenir confusão. No entanto, no contexto deste trabalho, o termo utilizado para expressar a variável CT será o de *Lead Time*.

- **Tempo de Atravessamento, Nível de Serviço e Taxa de Abastecimento (*Lead Time, Service Level and Fill Rate*):** o tempo de atravessamento de um determinado roteiro é o tempo necessário para a produção de uma peça neste roteiro ou linha. Desta forma, requer um gerenciamento constante, principalmente quando utilizado um sistema MRP como controle de produção, em que a Função de Faseamento do Tempo do MRP é dependente crítico deste tempo. Entretanto, em uma linha que trabalha em um ambiente *Make-to-Order* (fabricar contra pedidos, que significa produzir a partir de um pedido do cliente com uma data de entrega determinada), um indicador importante de desempenho da linha é o Nível de Serviço, que é definido pela equação (1):

$$\text{Nível de Serviço} = P \{ \text{Tempo de Ciclo} \leq \text{Tempo de Atravessamento} \} \quad (1)$$

Esta definição implica que para uma dada distribuição do tempo de ciclo, o nível de serviço pode ser afetado pelo Tempo de Atravessamento, pois quanto maior o Tempo de Atravessamento maior será o nível de serviço. Se a linha trabalha em um ambiente *Make-to-Stock* (Fabricar para Estoque, como, por exemplo, preencher um pulmão para garantir o atendimento a outras linhas de produção sem atrasos), então o indicador mais apropriado é a Taxa de Abastecimento (*Fill Rate*), que é a fração de ordens que foram preenchidas a partir do estoque, ou seja, não deixaram de serem entregues por falta de produtos, que também é uma maneira de medir o Nível de Serviço.

Observa-se que a menção ao termo *Lead Time* no conceito apresentado acima possui o intuito de manter a correspondência com o termo original do livro. Porém, no contexto deste trabalho, o termo *Lead Time* será utilizado para representar o termo *Cycle Time* apresentado anteriormente. Este mesmo termo será utilizado nas leis 17, 18 e 20, de modo a manter o conceito sob a mesma nomenclatura.

- **Utilização (*Utilization – U*):** é a fração do tempo em que a Estação de Trabalho não está ociosa por falta de peças. Este tempo inclui a fração do tempo em que a estação de trabalho está trabalhando em peças ou que tem peças esperando devido a uma falha e/ou quebra do equipamento, setup, ou outro detrator. A equação (2) calcula a utilização da estação de trabalho, onde a Taxa de Produção Efetiva é definida como a máxima taxa média na qual a estação de trabalho pode processar peças, considerando os efeitos das falhas, *setups* e todos os outros detratores que são relevantes sobre o período de interesse planejado.

$$Utilização = \frac{Taxa\ de\ Chegada\ de\ Peças}{Taxa\ Efetiva\ de\ Processamento} \quad (2)$$

Para o emprego correto desta definição, é importante considerar no cálculo o tempo efetivamente disponível de trabalho. Por exemplo, se um equipamento opera somente durante um turno de trabalho, o cálculo deverá considerar somente este período de tempo, e não a totalidade de tempo em que o equipamento poderia trabalhar, que encontra justificativa somente nos casos de recursos que são restrição no sistema, os gargalos (BARRETO; ANTUNES JR, 2009). Se este fator fosse desconsiderado do cálculo, um equipamento poderia ter uma utilização baixa, não representativa da realidade, pois a utilização do recurso deverá ser medida e controlada durante o tempo em que este estiver realmente disponível e operando.

Além das definições anteriores, serão descritos abaixo os três parâmetros fundamentais que, na visão de Hopp e Spearman (2000, p. 218) “são descritores numéricos de processos de produção, que possuem valores diferentes de acordo com cada planta”. Os autores definem como críticos dois parâmetros para trabalho com linhas (Taxa de Produção do Gargalo – r_b – e Tempo de Processamento da Linha – T_0) e um terceiro parâmetro que pode ser computado a partir destes dois (Nível Crítico de WIP – W_0):

- **Taxa de Produção do Gargalo (*Bottleneck Rate* – r_b):** é a taxa (em peças por unidade de tempo ou ordens de produção por unidade de tempo) de uma estação de trabalho com a maior utilização ao longo do tempo. Gargalo nem sempre será a operação mais lenta de uma linha, mas sim aquela que permanecerá a maior parte do tempo trabalhando, e que impede a empresa de gerar mais ganho e/ou o lucro (HOPP; SPEARMAN, 2000; GOLDRATT; COX, 2004).
- **Tempo de Processamento da Linha (*Raw Process Time* – T_0):** é a soma dos tempos médios de processo de cada estação de trabalho da linha ao longo do tempo. Para facilitar o entendimento, este tempo pode ser definido como o tempo médio que uma Ordem de Trabalho gasta para atravessar uma linha vazia, sem ter que esperar pela finalização de outros trabalhos. No longo prazo, no tempo T_0 são incluídos os tempos planejados de parada e paradas aleatórias, enquanto no curto prazo podem ser incluídos somente os atrasos mais freqüentes.
- **Nível Crítico de WIP (*Critical WIP* – W_0):** é o nível de WIP no qual uma linha com valores determinados de r_b e T_0 , mas sem variabilidade, pode atingir o máximo de Taxa de Processamento (r_b) com o menor *Lead Time* possível (T_0).

Desta forma, o WIP Crítico pode ser definido pela Taxa de Produção do Gargalo e pelo Tempo de Processamento da Linha de acordo com o relacionamento apresentado a seguir pela equação (3):

$$W_0 = r_b \times T_0 \quad (3)$$

As definições e parâmetros apresentados acima representam uma tentativa de Hopp e Spearman (2000) de padronização da terminologia para aplicação da ciência da produção. A seção seguinte fará uso dos conceitos explicitados aqui para auxiliar o leitor a entender o significado das leis de FP propostas pelos autores, bem como apresentará alguns casos e exemplos de aplicação de FP em outros trabalhos.

3.3.3 Leis de *Factory Physics*

Hopp e Spearman (2000) utilizam diversos conceitos sob a forma de leis para auxiliar no entendimento do comportamento dos sistemas de produção. A seguir são apresentados as leis, os corolários e as definições conforme os autores.

3.3.3.1 Lei de Little (*Little's Law*)

Esta lei foi formulada por John D. C. Little em 1961 e revela um relacionamento entre as variáveis: (i) Estoque em Processo (WIP); (ii) *Lead Time* (CT); e (iii) Taxa de Produção (TH), através da equação (4):

A Lei de Little é representada por:

$$WIP = TH \times CT \quad (4)$$

O objetivo inicial da Lei de Little era o de auxiliar a encontrar o número de entidades no sistema ou o tempo gasto por uma unidade no sistema, quando aplicada em um modelo de filas, em um sistema estável (LITTLE, 1961). Hopp e Spearman (2000) afirmam que esta lei revela um relacionamento interessante e fundamental entre WIP, *Lead Time* e Taxa de Produção, pois a cada nível de WIP, este é igual ao produto da Taxa de Produção pelo *Lead Time*, e os pressupostos associados a ela se sustentam em uma variedade de casos práticos (RUST, 2008). Em relação a isto, Hopp e Spearman (2000) afirmam que esta Lei se sustenta tanto em ambientes estáveis quanto em ambientes com a presença de variabilidade, embora ela seja mais adequada para sistemas em equilíbrio (LITTLE, 1961;

RUST, 2008). Sobre esta questão em especial, Rust (2008) discute em seu trabalho alguns pontos referentes ao pressuposto de comportamento estável de um sistema de produção, abrindo uma questão interessante para pesquisas futuras.

Em seu trabalho, Hopp e Spearman (2000) apresentam outras aplicações desta lei, dentre as quais:

- **Cálculo do Tamanho de Filas:** a partir da equação $WIP = TH \times CT$, pode ser calculado tanto o tamanho da fila em uma estação de trabalho quanto à taxa de disponibilidade desta, de acordo com o fluxo na linha de produção.
- **Redução do *Lead Time*:** escrevendo a Lei de Little como apresentado na equação $CT = WIP / TH$, a indicação de longas filas indica oportunidades de melhoria para redução do *Lead Time* e no WIP, na medida em que a Taxa de Produção permanece constante.
- **Medição do *Lead Time*:** em algumas situações, pode ser difícil medir diretamente o Tempo de Ciclo (Atravessamento), mas se as Variáveis WIP e Taxa de Produção forem controladas, então pode ser utilizada a razão entre WIP/TH para indiretamente encontrar um valor razoável de *Lead Time*.
- **Planejamento de Inventário:** em alguns sistemas, as Ordens de Produção são planejadas para término antes das datas prometidas, para assegurar um alto nível de Taxa de Atendimento. Como os clientes geralmente não aceitam receber os seus pedidos antes, é provável que este material aguarde no Estoque de Produtos Acabados. Em um exemplo, se o cálculo de inventário é feito em n dias, então de acordo com a Lei de Little o total de inventário no Estoque de Produtos Acabados será de $n \times TH$ (se TH for medido em unidades por dia).
- **Cálculo dos Giros de Inventário:** de acordo com a definição explicada antes, o Giro de Inventário é a razão entre TH e o inventário médio. Se uma planta na qual todo o inventário é WIP, sem Estoque de Produtos Acabados, então os Giros de Inventário são TH / WIP , ou então pela Lei de Little simplesmente $1 / CT$. Se for incluído o Estoque de Produtos Acabados, então a expressão passa a ser $TH / (WIP + FGI)$. A partir disto, intuitivamente, o Giro de Inventário é a razão inversa do tempo de permanência médio do inventário no sistema.

Devido a estas diferentes possibilidades de seu emprego, alguns trabalhos têm sido publicados utilizando a Lei de Little para cálculo de WIP (GODINHO FILHO, 2008), estimativa de WIP e custos (RUST, 2008), verificação e validação de modelos de Simulação Computacional (STANDRIDGE, 2004), identificação do nível ótimo de WIP com Simulação Computacional (GUNN; NAHAVANDI, 2000), ajudar a compreender os resultados de diferentes cenários quando o objetivo é atingir um fluxo de produção estável com baixo nível

de inventário (DUANMU; TAAFFE, 2007), além de medir o impacto de diferentes melhorias na redução do nível de WIP (GODINHO FILHO; UZSOY, 2009), entre outros.

3.3.3.2 Lei do Melhor Desempenho (*Best-Case Performance*)

A partir da Lei de Little, em casos em que não existe variabilidade em sistemas produtivos, o que seria o caso de linhas de produção perfeitas, apresentariam o caso de máxima Taxa de Produção e mínimo *Lead Time* que são apresentadas nas equações (5) e (6):

O mínimo *Lead Time* para um dado nível de WIP “*w*” é dado por:

$$CT_{best} = \begin{cases} T_0 & \text{se } w \leq W_0 \\ \frac{w}{r_b} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (5)$$

A máxima Taxa de Produção para um dado nível de WIP “*w*” é dada por:

$$TH_{best} = \begin{cases} \frac{w}{T_0} & \text{se } w \leq W_0 \\ r_b & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$$

A partir das equações (5) e (6), Hopp e Spearman (2000) concluem que Zero inventário não é uma meta realista, pois mesmo sob condições determinísticas perfeitas, inventário zero significaria zero TH e, portanto, zero faturamento. Desta forma, conforme a visão destes autores, o nível ideal de WIP seria o nível crítico de WIP, W_0 . Como um contraponto à visão dos autores, é importante ressaltar que o próprio Shigeo Shingo afirma que o combate aos estoques não deve se tornar um fim em si mesmo, pois a eliminação radical dos estoques pode causar atrasos na entrega ou queda nas taxas de operação, e sugere que sejam corrigidas as condições que geram o estoque (SHINGO, 1996a). Neste contexto, o autor sugere que o Estoque Zero é “a pedra fundamental da eliminação da perda” (SHINGO, 1996a, p. 260).

Em relação ao TH, Hopp e Spearman (2000) citam que a Lei de Little oferece pouca ajuda neste contexto, pois como a relação envolve três variáveis, e para um mesmo valor de TH poderá haver tanto baixas quantidades de WIP com Tempos de Ciclo curtos quanto grandes quantidades de WIP com Tempos de Ciclo longos. Para auxiliar neste caso, seria necessário desenvolver outra relação para determinar duas variáveis a partir de uma terceira, como, por exemplo, determinar o WIP e o *Lead Time* a partir do TH. Como não é possível existir um segundo relacionamento entre estas três variáveis, a sugestão dos

autores é caracterizar o comportamento da linha de produção sobre pressupostos específicos, e para isto os autores criaram os cenários que serão chamados de Pior Desempenho e Pior Desempenho Aceitável.

Convém ressaltar que a Lei de Little é apenas uma maneira de analisar a relação entre o valor de TH e o nível de WIP. Analisando esta situação sob outra perspectiva, o valor de TH é um dos componentes da estratégia de produção da organização, pois em um ambiente em que a velocidade é crucial para o negócio, para ter menor *Lead Time* podem ser adquiridos equipamentos ou contratados trabalhadores multifuncionais para incrementar a sua capacidade, embora existam outras maneiras de aumentar a capacidade, como aumentar a eficiência do recurso restritivo do sistema (BARRETO; ANTUNES JR, 2009), ou a adoção de estratégias de customização em massa (MACHADO; MORAES, 2008), para atingir este objetivo. Outra solução para este problema, muito utilizada em casos de sazonalidade elevada, seria utilizar uma política de capacidade constante e menor do que a demanda máxima, estabelecendo a capacidade como constante durante o período de planejamento, não considerando estas flutuações da previsão de demanda (SLACK *et al.*, 2002). Os autores alertam que esta situação pode ser aplicável para materiais não perecíveis e que não sejam vendidos imediatamente, mas sim transferidos para o estoque de produtos acabados, antes da realização da venda em período posterior, onde a capacidade existente não seria suficiente para atender à demanda sazonal, com menor custo de produção e menor investimento. Importante acrescentar nesta questão que o incremento da capacidade implica em aumento da estrutura operacional, e de seus custos, requerendo uma análise de viabilidade para decidir por estas ações.

3.3.3.3 Lei do Pior Desempenho (*Worst-Case Performance*)

Em vez de apresentar o comportamento no melhor caso, Hopp e Spearman (2000) consideram também o pior caso, procurando pelo máximo *Lead Time* e a mínima Taxa de Produção de uma linha, através das equações (7) e (8):

O máximo *Lead Time* para um dado nível de WIP “w” é dado por:

$$CT_{worst} = w \times T_0 \quad (7)$$

A mínima Taxa de Produção para um dado nível de WIP “w” é dada por:

$$TH_{worst} = \left\{ \frac{1}{T_0} \right. \quad (8)$$

A ideia principal dos autores é apresentar, em um contraste do melhor desempenho possível com o pior desempenho de uma linha, onde está a localização atual de

desempenho da linha de produção. Se o desempenho da linha de produção estudada estiver mais próximo do pior caso do que do melhor caso, então existem problemas reais (ou oportunidades, dependendo da perspectiva do gerente). Hopp e Spearman (2000) comentam que a possibilidade de acontecer esta situação de pior caso é muito remota, mas, no entanto, esta situação pode ocorrer em alguma extensão, como por exemplo, por alguns momentos dentro da jornada de trabalho, sendo uma das causas prováveis desta situação a Movimentação em Lotes. Desta forma, afirmam Hopp e Spearman (2000, p. 229) "o Tamanho dos Lotes é um problema genuíno (ou seja, uma oportunidade) em muitos sistemas de produção".

3.3.3.4 Definição do Pior Desempenho Aceitável (*Practical Worst-Case Performance*)

Hopp e Spearman (2000) afirmam que virtualmente não existe a condição de melhor caso e nem de pior caso (*Best-Case* e *Worst-Case*). Além disso, os autores acreditam que possuir o pior caso como referência para melhoria não seria adequado como meta. A partir disto, os autores criaram o "Pior Desempenho Aceitável" (*Practical Worst-Case Performance – PWC*) como uma referência de melhoria nos sistemas produtivos, cujas expressões são apresentadas nas equações (9) e (10):

O Lead Time para o Pior Desempenho Aceitável (PWC) de um dado nível de WIP "w" é dado por:

$$CT_{PWC} = T_0 + \frac{w-1}{r_b} \quad (9)$$

A Taxa de Produção para o PWC de um dado nível de WIP "w" é dada por:

$$TH_{PWC} = \frac{w}{W_0 + w - 1} r_b \quad (10)$$

Embora a tradução do termo PWC para a língua portuguesa seja um pouco diferente (Pior Caso Prático, em tradução livre), este trabalho adotará este termo na forma de "Pior Desempenho Aceitável", para apresentá-lo como um parâmetro inicial de análise do *benchmarking* interno.

Diferentemente do Pior e do Melhor Desempenho, esta definição feita por Hopp e Spearman (2000) acrescenta aleatoriedade na análise. Neste caso em particular, os autores o definem como "caso de máxima aleatoriedade" (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 229), que é definido também como o comportamento mínimo aceitável por um sistema (HOPP;

SPEARMAN, 2000, *apud* STANDRIDGE, 2004). Para sua obtenção, assumem que todas as estações de trabalho possuem o mesmo tempo médio de processo e cada uma somente pode trabalhar com uma entidade por vez. Esta escolha, feita pelos autores, determina que tanto os tempos de processamento quanto os tempos entre chegadas são distribuídos exponencialmente, e, portanto, dotados de uma propriedade conhecida como "ausência de memória" (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 231). Standridge (2004) alerta que o uso da distribuição exponencial pode causar implicações e diferentes resultados em modelos construídos utilizando simulação computacional. Segundo esse autor, o uso da distribuição exponencial é tido como um pressuposto conservador, que pode adicionar uma maior variabilidade no sistema modelado e assim pode ser definido um pulmão maior do que o necessário para prevenir a variabilidade. Para verificar qual a extensão desta diferença, o autor sugere a condução de experimentos com menor variabilidade e com o uso de constantes para efeito de comparação. Vaughan (2008) apresenta em seu trabalho uma discussão mais profunda sobre a aplicação da distribuição exponencial no sentido de sua aplicação como "melhor ajuste de distribuição", quando aplicadas para processos de chegada em estudos de simulação.

Antes de apresentar esta definição, Hopp e Spearman (2000) conceituam o "estado do sistema". De acordo com Hopp e Spearman (2000, p. 229) "o estado de um sistema é uma descrição completa dos trabalhos em todas as estações de trabalho: quantos existem no processo e quanto tempo eles estão em processo". Desta forma, quando a aleatoriedade é introduzida em um sistema, mais estados se tornam possíveis, aproximando o comportamento da linha estudada de uma situação real e criando uma meta realista de melhoria a ser perseguida. Outra questão importante apontada por Hopp e Spearman (2000) é a intuição que surge a partir desta definição, pois quando um sistema atinge o TH próximo de sua capacidade máxima com alta variabilidade, altos níveis de inventário são necessários para manter alta a taxa de utilização das máquinas.

Nesta definição, tanto o TH quanto o CT sempre estarão entre o Pior Caso e o Melhor Caso, criando o que Hopp e Spearman (2000, p. 232) chamam de "*Benchmarking* Interno", ao contrário do "*Benchmarking* Externo", comparando o primeiro com o método amplamente conhecido. Em um exemplo, os autores explicam e demonstram através de um gráfico apresentado na Figura 8 como seria o *Benchmarking* Interno obtido a partir da aplicação das Leis do Melhor e do Pior Desempenho e da Definição do Pior Desempenho Prático. Os autores comentam que o modelo ajuda a diagnosticar quando uma linha de produção está operando com eficiência ou não, mas não explica o porquê nem ajuda a determinar como melhorar este desempenho. Os autores salientam que, para resolver este problema, é necessária uma investigação mais profunda para descobrir as razões que tornam uma linha mais produtiva e que a transformam em uma linha ineficiente.

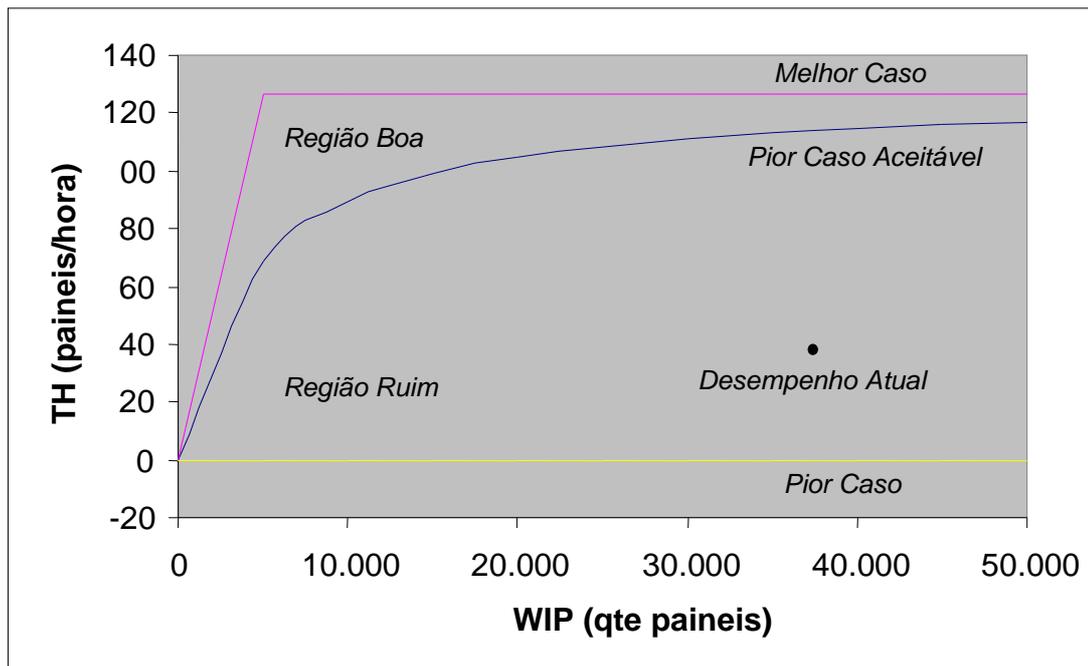


Figura 9 – Comparação Melhor Caso x Pior Caso x Pior Caso Aceitável

Fonte: Adaptado de Hopp e Spearman (2000)

3.3.3.5 Lei da Capacidade do Trabalho (*Labor Capacity*)

Em casos nos quais não existe restrição da quantidade de equipamentos, mas sim da quantidade de operadores aptos ao trabalho, desde que um operador não execute mais de uma tarefa simultaneamente, Hopp e Spearman (2000) apresentam esta lei expressa conforme a equação (11):

A máxima Taxa de Produção de uma linha suprida por “ n ” operadores capacitados com Taxas de Trabalho (rendimento) idênticas é dada por:

$$TH_{\max} = \frac{n}{T_0} \quad (11)$$

De acordo com os autores, esta lei é uma aproximação inicial para introdução do fator trabalho para cálculos de capacidade, pois em uma linha onde a quantidade de trabalhadores é inferior à quantidade de equipamentos, utilizar a Taxa de Produção do Gargalo (r_b) pode gerar uma estimativa incorreta. Para estes casos, onde o TH estiver restringido pelo trabalho, a equação (11) poderá gerar um valor mais realista para a capacidade. A exceção para aplicação desta lei, de acordo com Hopp e Spearman (2000), é para sistemas de produção onde um operador pode processar mais de um trabalho simultaneamente, como, por exemplo, em uma célula de trabalho onde um mesmo operador

pode cuidar de mais de uma máquina automática, e então o TH pode exceder a relação n/T_0 .

3.3.3.6 Lei de CONWIP com Trabalho Flexível (*CONWIP with Flexible Labor*)

Em uma linha CONWIP com “n” trabalhadores idênticos e “w” trabalhos, onde “w ≥ n”, qualquer política que não permita deixar trabalhadores ociosos quando existem trabalhos disponíveis atingirá uma Taxa de Produção (TH) dada pela equação (12), onde $TH_{CW}(x)$ representa a Taxa de Produção (TH) de uma linha CONWIP com todas as máquinas ocupadas pelos trabalhadores e com “x” trabalhos no sistema.

A máxima Taxa de Produção de uma linha suprida por “n” operadores e “w” trabalhos em uma linha CONWIP é dada por:

$$TH_{CW}(n) \leq TH(w) \leq TH_{CW}(w) \quad (12)$$

O termo CONWIP, de acordo com Hopp e Spearman (2000), significa **CON**stant **W**ork **I**n **P**rocess, ou seja, um nível de WIP praticamente constante em uma linha de produção; uma vez definido o nível de WIP, a linha recebe materiais até atingir este nível, que uma vez atingido só permite a liberação de novos materiais quando um trabalho é finalizado, mantendo o nível (ou a quantidade) de WIP.

Conforme Hopp e Spearman (2000), esta lei oferece conceitos importantes sobre o valor de treinamentos multifuncionais (*cross-training*) em um sistema de produção, principalmente se esta possui variabilidade em suas operações. A conclusão dos autores é que, devido ao balanceamento dinâmico causado na linha pelo trabalho flexível dos operadores multifuncionais, o sistema poderá ter a sua capacidade efetiva aumentada e, desta forma, atingir um nível mais alto de TH.

3.3.3.7 Lei da Variabilidade (*Variability*)

Aumentar a variabilidade sempre reduz a performance de um sistema de produção.

A variabilidade pode ter causas diversas, e a definição formal apresentada por Hopp e Spearman (2000, p. 249) é “a qualidade de não-uniformidade de uma classe de entidades”. Montgomery (2004) afirma que a variabilidade costuma ter dois tipos de causas: (i) Causas Naturais, ou Aleatórias, causadas por muitas pequenas causas dentro de uma faixa limitada, como a variação do tempo de deslocamento do operador em um percurso

pré-determinado; (ii) Causas Atribuíveis, ou seja, causadas por interferências maiores no processo de produção, como quebra de um equipamento ou outro evento especial, que terá um impacto maior na variabilidade do processo. Hopp e Spearman (2000) citam também entre as causas principais da variabilidade os setups, a disponibilidade do operador e os retrabalhos. Em relação aos tipos de paradas, os autores as classificam em: (i) Acidentais, em situações onde a parada ocorre sem estar programada, como, por exemplo, a quebra de um equipamento durante a execução de um trabalho ou a falta de energia elétrica devido a algum evento externo; e (ii) Não-Acidentais, que podem ser devido a eventos programados tais como setups, manutenções preventivas, reuniões operacionais, e que geralmente são realizadas após a conclusão do trabalho ou da operação, as diferenciando do outro tipo.

Para que seja possível avaliar o nível de variabilidade, é necessário quantificá-la. Neste sentido, Hopp e Spearman (2000) fazem uso de medidas estatísticas padrão para quantificar a variabilidade de acordo com suas leis, adotando como regra o uso de medidas relativas de variabilidade como o Coeficiente de Variação (CV – *Coefficient of Variation*) ou o Quadrado do Coeficiente de Variação (SCV – *Squared Coefficient of Variation*) para representar e analisar a variabilidade em sistemas de produção. O Quadro 5 apresenta a interpretação dos autores em relação à quantidade de variabilidade de uma variável, representada pela letra “c”: variabilidade baixa (LV – *Low Variability*), variabilidade moderada (MV – *Moderate Variability*) ou variabilidade alta (HV – *High Variability*).

Classe de Variabilidade	Coeficiente de Variação	Situação Típica
Baixa (LV)	$c < 0.75$	Tempos de Processo sem paradas
Moderada (MV)	$0.75 \leq c < 1.33$	Tempos de Processo com pequenos ajustes (exemplo: setups)
Alta (HV)	$c \geq 1.33$	Tempos de Processo com longas paradas (exemplo: quebras de máquinas)

Quadro 5 – Classes de Variabilidade

Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2000)

Para auxiliar o entendimento das expressões para os cálculos da variabilidade, Hopp e Spearman (2000) iniciam com a explicação do Tempo Natural de Processo, que contém a variabilidade inerente ao processo avaliado. Utilizando t_0 como a média do processo e σ_0 como desvio padrão, o coeficiente de variação é apresentado a seguir pela equação (13):

O coeficiente de variação do tempo natural do processo é representado por:

$$c_0 = \frac{\sigma_0}{t_0} \quad (13)$$

Conforme os autores, realizar o cálculo dos tempos de processo naturais é apenas o início do trabalho de avaliação. Nos sistemas de produção, os tempos estão sujeitos à ação de muitos detratores, além da variabilidade natural inerente ao processo. Para calcular a variabilidade do sistema de produção, o Quadro 6 apresenta o sumário preparado por Hopp e Spearman (2000) de acordo com as três situações: Variabilidade Natural, Paradas Acidentais e Paradas não-Acidentais. No sentido de facilitar o entendimento e a aplicação deste sumário, o Quadro 7 descreve cada um dos termos apresentados no Quadro 6. A função de distribuição utilizada pelos autores é a exponencial, pelos motivos apresentados anteriormente por eles.

Situação	Natural	Paradas Acidentais	Paradas não-Acidentais
Exemplos	Máquina Confiável	Falhas Aleatórias	Setups, Retrabalhos
Parâmetros	t_0, c_0^2 (Básicos)	Básicos + m_f, m_r, c_r^2	Básicos + N_s, t_s, c_s^2
t_e	t_0	$\frac{t_0}{A}, A = \frac{m_f}{m_f + m_r}$	$t_0 + \frac{t_s}{N_s}$
σ_e^2	$t_0^2 c_0^2$	$\frac{\sigma_0^2}{A^2} + \frac{(m_r^2 + \sigma_r^2)(1-A)t_0}{A m_r}$	$\sigma_0^2 + \frac{\sigma_s^2}{N_s} + \frac{N_s - 1}{N_s^2} t_s^2$
c_e^2	c_0^2	$c_0^2 + (1 + c_r^2) A (1 - A) \frac{m_r}{t_0}$	$\frac{\sigma_e^2}{t_e^2}$

Quadro 6 – Sumário de Expressões para Avaliar os Tempos Efetivos de Processo

Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2000)

No sentido de classificar os eventos que ocorrem em um sistema de produção, Wu, McGinnis e Zwart (2008) apresentam na Figura 10 alguns exemplos para uma classificação de eventos sob a perspectiva da Teoria das Filas, que auxiliam a identificar os tipos principais de interrupções e agentes da variabilidade que atuam sobre um sistema de produção.

Termo	Significado
CV	Coeficiente de variação de uma variável aleatória, o qual é o resultado do desvio padrão dividido pela média desta variável
t_e	Tempo médio efetivo de processo, incluindo detratores
c_e	CV do tempo de processo
c_e^2	Quadrado do CV do tempo de processo (SCV – <i>Squared Coefficient of Variation</i>)
σ_e	Desvio padrão do tempo de processo
σ_e^2	Variância do tempo de processo
t_0	Tempo médio efetivo de processo (natural), sem detratores
c_0	CV do tempo de processo natural
c_0^2	Quadrado do CV do tempo de processo natural (SCV)
σ_e	Desvio padrão do tempo de processo natural
σ_0^2	Variância do tempo de processo natural
m_f	Tempo Médio entre Falhas (MTBF)
m_r	Tempo Médio de Reparo (MTTR)
c_r	CV do tempo de reparo
c_r^2	Quadrado do CV do tempo de reparo (SCV)
σ_r	Desvio padrão do tempo de reparo
σ_r^2	Variância do tempo de reparo
A	Disponibilidade da estação (<i>Availability</i>)
N_s	Quantidade do lote entre <i>setups</i>
t_s	Tempo médio de <i>setup</i>
c_s	CV do tempo de <i>setup</i>
c_s^2	Quadrado do CV do tempo de <i>setup</i> (SCV)

Quadro 7 – Termos para Avaliar os Tempos Efetivos de Processo

Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2000)

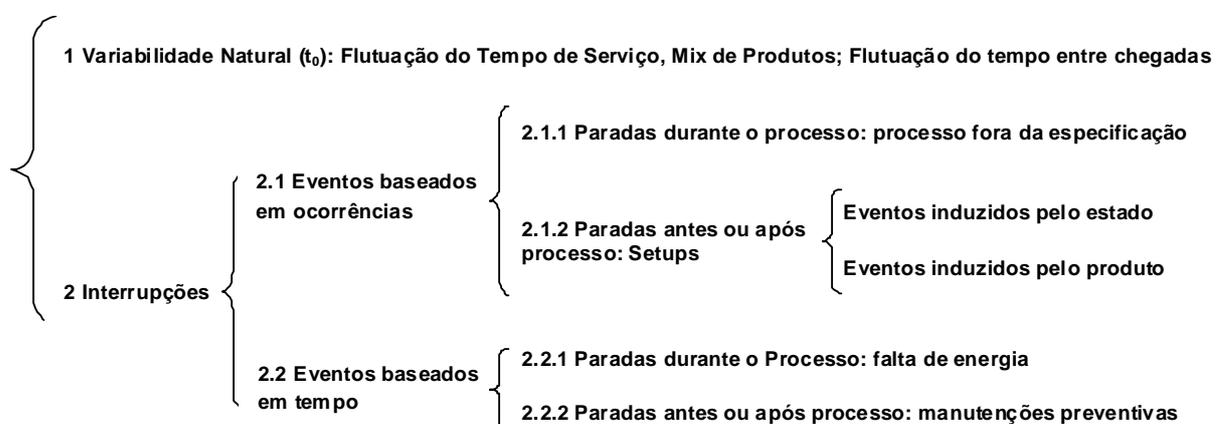


Figura 10 – Classificação de Eventos

Fonte: adaptado de Wu, McGinnis e Zwart (2008)

Utilizando os conceitos e expressões apresentados acima, calculando a variabilidade do tempo de processo e variabilidade de fluxo, podem ser construídos pequenos blocos para entender e avaliar o impacto destes tipos de variabilidade nos indicadores chave de performance (KPI – *Key Performance Indicator*) de um sistema de produção, como poderiam ser, por exemplo, WIP, CT e TH. De acordo com Hopp e Spearman (2000), a ciência das “esperas” é a Teoria das Filas (*Queueing Theory*), que, conforme afirmam Wu, McGinnis e Zwart (2008), é uma abordagem metodológica historicamente conhecida para avaliação do desempenho de sistemas de produção. Um sistema de filas combina os componentes principais para realizar esta análise: um processo de chegada, um processo de serviços (ou de produção) e uma fila. Wu, McGinnis e Zwart (2008) afirmam que a teoria das filas prediz o desempenho de sistemas de produção sob influência da variabilidade.

3.3.3.8 Lei da Proteção da Variabilidade (*Variability Buffering*)

A variabilidade em um sistema de produção será protegida por alguma combinação de: (i) Inventário; (ii) Capacidade; (iii) Tempo.

De acordo com Hopp e Spearman (2000), esta lei é uma extensão importante da lei anterior porque apresenta as maneiras através das quais a variabilidade pode afetar um sistema. Desta forma, os efeitos da variabilidade podem ser reduzidos ao definir uma estratégia para enfrentá-los. E, neste sentido, diferentes ambientes de negócios requererão diferentes estratégias. Os autores apresentam alguns exemplos para ilustrar as diferenças, como por exemplo, em uma loja de varejo que venda canetas, cuja demanda é imprevisível, e caso o cliente não encontre o item que está procurando, procura outra revenda. Neste caso a proteção para a variabilidade será fazer uso de inventário, para garantir o atendimento a esta demanda. Em outro exemplo os autores citam o serviço de ambulâncias, que para atender à variabilidade e imprevisibilidade das emergências precisam ter excesso de capacidade, para atender aos picos de demanda.

Um exemplo de corporação que faz uso deste princípio é a Toyota, através de seu sistema de produção, que busca reduzir a variabilidade em cada possível oportunidade, como, por exemplo, dentro de seu sistema de produção, padronizando métodos de trabalho, reduzindo tempos de setup, implementando sistemas à prova de erros (*Poka-Yoke* ou *Error Proofing*), entre outros métodos, tornando-se o modelo de *Lean Manufacturing*. Além disso, de acordo com Spearman (2003) *apud* Standridge (2004), um dos significados de “*Lean*” é permitir que um sistema de produção possua o menor nível de Proteção contra a Variabilidade.

Em relação a métodos para cálculo das proteções, Standridge (2004) afirma que a simulação ajuda a avaliar o comportamento do sistema quando os efeitos ruins da

variabilidade ocorrem. Segundo o autor, tanto a variabilidade natural quanto a estrutural podem ser modeladas através da simulação, e então avaliados diferentes cenários com o objetivo de reduzir a capacidade das proteções (tamanho do *buffer*).

3.3.3.9 Corolário da Localização da Variabilidade (*Variability Placement*)

Em uma linha de produção onde as liberações de material são independentes das finalizações, a variabilidade no início do fluxo de produção aumenta o *Lead Time* mais do que a mesma taxa de variabilidade no final do fluxo produtivo.

De acordo com Hopp e Spearman (2000), a principal implicação deste corolário é que os esforços para redução da variabilidade deverão ser realizados inicialmente nas primeiras etapas do processo, que é o local onde é provável que ocorra o maior impacto nos resultados. Os autores alertam que este corolário se aplica somente em um ambiente onde as liberações do trabalho (*releases*) são independentes das finalizações (*completions*), não se aplicando a ambientes que fazem uso de CONWIP e sim quando o sistema de produção trabalha com produção empurrada (*push systems*).

3.3.3.10 Corolário da Flexibilidade das Proteções (*Buffer Flexibility*)

A flexibilidade reduz a quantidade das proteções de variabilidade necessárias em um sistema de produção.

Apesar da variabilidade presente nos sistemas de produção geralmente exigir algum tipo de proteção, Hopp e Spearman (2000) afirmam que estes efeitos podem ser atenuados com o uso de flexibilidade. Dentre outros exemplos, os autores citam o uso de operadores multifuncionais para cobrir uma eventual necessidade em alguns postos de trabalho sobrecarregados; fazer as cotações utilizando tempos de *Lead Time* variáveis de acordo com a carga de trabalho da fábrica, quanto maior a carga de trabalho maior o prazo para entrega e vice-versa; ou utilizando estoque de produtos semi-acabados aguardando uma etapa final de customização, reduzindo a necessidade de inventário dentro da fábrica.

3.3.3.11 Lei da Conservação de Material (*Conservation of Material*)

Em um sistema estável, ao longo do tempo, a taxa de saída do sistema será igual à taxa de entrada, menos as perdas por defeitos (*yield losses*), mais as peças em produção (*parts production*) dentro do sistema, apresentada na equação (14):

A Lei de Conservação de Material pode ser representada por:

$$\text{Taxa de Saída} = (\text{Taxa de Entrada} - \text{Perdas por Defeitos}) + (\text{Peças em Produção}) \quad (14)$$

De acordo com Hopp e Spearman (2000), esta lei se deriva da física natural, porém foi adaptada para os termos de produção. Standridge (2004) afirma que esta lei é aplicada em um projeto de simulação como uma maneira de obter evidências de validação e verificação do modelo. O Quadro 8 apresenta o significado das expressões contidas nesta lei com o objetivo de facilitar o entendimento desta lei.

Frase	Significado
Em um sistema estável	A taxa de entrada de peças não deve ser maior do que a capacidade do sistema (nem mesmo igual).
ao longo do tempo	O sistema deve ser observado sobre um período significativo de tempo.
a taxa de saída do sistema será igual à taxa de entrada	Indica o início da equação (14) apresentada acima.
menos as perdas por defeitos (<i>yield losses</i>)	Peças que são perdidas no sistema por sucateamento ou danos que impeçam o uso.
mais as peças em produção (<i>parts production</i>) dentro do sistema	Peças em produção ocorrem quando uma peça que entra no sistema dá origem a múltiplas peças, como, por exemplo, uma chapa de metal que forma diversas peças menores.

Quadro 8 – Significado das Expressões da Lei da Conservação de Material

Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2000)

Hopp e Spearman (2000) afirmam que esta lei conecta a utilização das estações de trabalho individuais de uma linha com o TH, conforme a equação (15), sendo “*i*” uma estação de trabalho qualquer. Além disso, para os autores esta lei justifica a sua escolha em definir o gargalo como sendo a estação de trabalho mais ocupada, e não necessariamente a mais lenta da linha de produção. Como exemplo, os autores apresentam uma linha com perdas por defeitos, onde uma estação de trabalho do final da linha poderá ter uma utilização mais baixa do que uma estação de trabalho mais rápida do início da linha, pois esta estação está processando peças que serão sucateadas, e cujo material não será transformado em peças boas ao final da linha. Neste caso, como a estação de trabalho do início da linha passa a ser a restrição de performance da linha, então esta estação torna a ser considerada como sendo o gargalo da linha.

A utilização de uma estação de trabalho “*i*” é representada por:

$$u(i) = \frac{TH(i)}{r_e(i)} = \frac{r_a}{r_e(i)} \quad (15)$$

3.3.3.12 Lei da Capacidade (*Capacity Law*)

Em um sistema estável, todas as plantas liberarão trabalhos em uma taxa média ligeiramente menor do que a média da capacidade produtiva.

Hopp e Spearman (2000) afirmam que esta lei possui implicações profundas no modo com que os gestores atuam sobre os problemas relacionados à tentativa de atingir 100% de utilização de uma planta. Segundo os autores, se a taxa de liberação de trabalhos for igual à capacidade de produção, o nível de WIP dentro do sistema aumentará até o máximo nível suportável por este. Como o nível de WIP deverá ser limitado por razões físicas ou financeiras, em algum momento da produção poderá ocorrer a parada da operação gargalo por falta de peças. Para evitar este problema, o nível de WIP poderia ser aumentado (para fins de proteger o gargalo), aumentando o *Lead Time*, causando reclamações dos clientes devido a atrasos, o que motiva os gestores a tomar decisões como aumento de capacidade por horas extras, terceirização da produção e outras, melhorando os indicadores por um tempo até que a situação retorna. A este fenômeno Hopp e Spearman (2000, p. 302) deram o nome de “Círculo Vicioso das Horas Extras (*The Overtime Vicious Cycle*)”, pois se constitui de resolver os problemas reativamente, como se o trabalho da gestão estivesse em um modo de combate a incêndios.

3.3.3.13 Lei da Utilização (*Utilization*)

Se uma estação de trabalho aumenta a utilização sem fazer outra alteração no sistema, a média do WIP e do CT aumentarão de uma maneira fortemente não-linear (ou exponencial).

Nesta lei, Hopp e Spearman (2000) apresentam o grau de sensibilidade do *Lead Time* em relação à utilização do sistema. Na constatação dos autores, à medida que o valor de utilização se aproxima de 1 (100%), existe um incremento súbito no *Lead Time*, conforme é apresentado na Figura 11, a partir do exemplo apresentado pelos autores. Nesta figura são apresentadas as curvas da relação entre o *Lead Time* e a utilização de um determinado processo, porém com dois coeficientes de variação distintos: $V=1,0$ representa um sistema com grande variabilidade enquanto que $V=0,25$ representa um sistema com baixa variabilidade. Na Figura 11 pode ser percebido que ambos os gráficos apresentam um súbito incremento a partir de um determinado valor de utilização. Também é possível perceber que a linha que representa o processo de maior variabilidade sobe mais rapidamente em relação ao processo com menor variabilidade, o que indica um *Lead Time* menor quando o nível de variabilidade é menor.

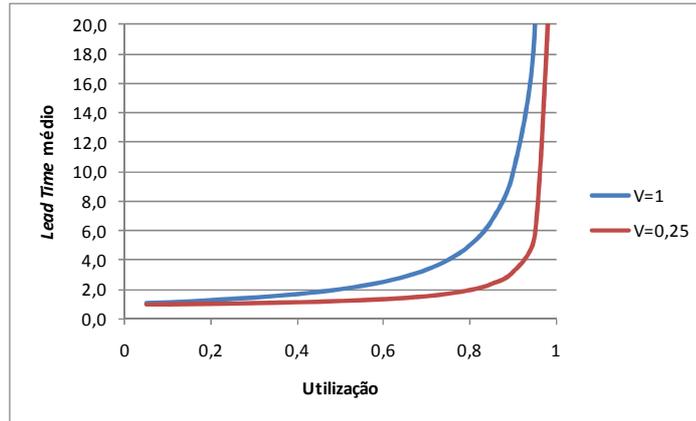


Figura 11 – Curvas *Lead Time* Médio vs. Utilização

Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2000)

3.3.3.14 Lei do Processamento em Lotes (*Process Batching*)

Em estações de trabalho com processamento em lotes ou tempos de setup significativamente longos ocorre: (i) O mínimo tamanho de lote para o sistema trabalhar com estabilidade deve ser maior do que uma peça; (ii) Como o tamanho do lote se torna grande, o *Lead Time* cresce proporcionalmente com o tamanho do lote; (iii) O *Lead Time* na estação de trabalho será minimizado para alguns tamanhos de lote, os quais deverão ser maiores do que um.

Nesta lei, Hopp e Spearman (2000) recorrem ao JIT para comentar sobre a escolha do lote unitário, pois nesta situação haverá menores tempos de esperas do que ocorreria quando um item fosse processado em lotes maiores que um. Apesar do lote unitário aparentemente ser a melhor solução para um sistema de produção, esta alteração não é tão simples no mundo real. Dentre os motivos citados pelos autores, o tamanho do lote pode afetar a capacidade ou tornar estações de trabalho subutilizadas, devido a tempos excessivos de *setup* ou trabalhos em paralelo, sendo o desafio para este caso balancear as considerações sobre capacidade com os atrasos que o tamanho dos lotes introduz em um sistema de produção.

3.3.3.15 Lei da Movimentação em Lotes (*Move Batching*)

Os *Lead Times* sobre o segmento de um roteiro são proporcionais aos tamanhos dos lotes de transferência usados sobre este segmento, que providencia para que não exista espera para o dispositivo de transferência.

Esta lei, de acordo com Hopp e Spearman (2000), sugere uma das maneiras mais fáceis de reduzir os *Lead Times* em alguns sistemas de produção, através da redução dos lotes de transferência, solução esta já presente tanto na TOC quanto no STP. De acordo

com Shingo (1996a), transportar lotes (mais frequentemente) reduz os ciclos de produção (*Lead Time*), e assim a redução do tempo é obtida, mesmo em lotes grandes, quando cada item é transportado individualmente ao processo seguinte, sem esperar pelo processamento do lote inteiro para então realizar o transporte para o processo seguinte.

Apesar de simples, Hopp e Spearman (2000) alertam que este tipo de alteração merece cuidado no caso de sua implementação em estratégias mais complexas, pois haverá uma maior movimentação de materiais e o sistema deverá estar preparado para isto, com mais recursos para evitar que os lotes (agora menores) aguardem o equipamento que o movimentará para a próxima etapa dentro do sistema de produção. Os autores afirmam que esta lei permite a redução do *Lead Time* por meio da redução do tamanho do lote, desde que exista capacidade suficiente de movimentação de materiais, não ocorrendo atrasos por falta desta capacidade específica.

3.3.3.16 Lei das Operações de Montagem (*Assembly Operations*)

O desempenho de uma estação de montagem (ou de uma linha de montagem) é reduzido pelo aumento de qualquer um dos seguintes elementos: (i) quantidade de componentes sendo montados; (ii) variabilidade da chegada dos componentes; (iii) falta de coordenação entre as chegadas dos componentes.

Esta lei é definida por Hopp e Spearman (2000, p. 316) como “um caso específico da Lei da Variabilidade geral”, pois cada um dos itens acima descritos pode ser considerado um aumento na variabilidade. Para que o desempenho seja adequado, é necessário manter um bom sistema de programação e controle da produção, que possua capacidade de gerenciar a entrega dos processos e estabelecer a sincronização necessária entre os componentes, para que estes estejam disponíveis no momento em que forem necessários na linha de montagem, sem atrasos ou antecipação excessiva. Para sistemas de produção em geral os sistemas MRP, MRPII e ERP (*Material Resources Planning*, *Manufacturing Resources Planning*, e *Enterprise Resources Planning* respectivamente) trabalham com este objetivo, no contexto do STP a ferramenta que sincroniza os processos enquanto faz a programação e controle da produção é o *kanban* (SHINGO, 1996a; OHNO, 1997), enquanto que na TOC o elemento que possui esta função é a Corda, do algoritmo Tambor-Pulmão-Corda (GOLDRATT; FOX, 1989).

3.3.3.17 Definição do *Lead Time* de uma Estação de Trabalho (*Station Cycle Time*)

O Tempo Médio de Ciclo de uma estação de trabalho é formado pelos componentes de acordo com a equação (16) apresentada a seguir:

$$\text{Lead Time} = \text{Tempo de Transporte} + \text{Tempo em Filas} + \text{Tempo de Setup} + \text{Tempo de Processamento} + \text{Tempo de Espera para o Lote} + \text{Tempo de Espera no Lote} + \text{Tempo de Espera para Montagem.} \quad (16)$$

Conforme Hopp e Spearman (2000), dos elementos constantes na equação (16), somente o Tempo de Processamento contribui efetivamente para a produção de produtos. De acordo com os autores, o Tempo de Transporte pode ser visualizado com um mal necessário, pois mesmo quando as estações de trabalho estão muito próximas umas das outras, alguma quantidade de transporte será necessária, e os demais elementos são pura ineficiência, ou desperdícios. Os autores pontuam que, normalmente, estes elementos são colocados juntos como atraso ou tempo de fila, mas eles são consequência de causas diversas e por isso podem ser resolvidos com diferentes soluções. O Quadro 9 apresenta os significados de cada um dos termos da expressão acima, com o objetivo de facilitar o entendimento conceitual.

Elemento	Significado
Tempo de Transporte	Tempo que uma Ordem de Produção consome sendo movimentada a partir da estação de trabalho anterior.
Tempo em Filas	Tempo que uma Ordem de Produção consome esperando para processamento na estação de trabalho ou para ser movimentada para a próxima estação de trabalho.
Tempo de Setup	Tempo que uma Ordem de Produção consome para que a estação de trabalho seja preparada; pode ser menor do que o tempo de setup da estação de trabalho se, quando o mesmo estiver parcialmente concluído, o lote estiver sendo movimentado até a estação de trabalho.
Tempo de Processamento	Tempo em que a Ordem de Produção está realmente sendo processada na estação de trabalho.
Tempo de Espera para o Lote	Tempo que uma Ordem de Produção consome esperando para formação de um lote tanto para processamento quanto para transporte.
Tempo de Espera no Lote	Tempo médio que uma peça consome na espera do lote quando a máquina está ligada.
Tempo de Espera para Montagem	Tempo que ocorre quando componentes esperam por outros necessários para permitir que a operação de montagem ocorra.

Quadro 9 – Significado das Expressões da Lei da Conservação de Material

Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2000)

3.3.3.18 Definição do *Lead Time* de uma Linha de Produção (*Line Cycle Time*)

O *Lead Time* Médio de uma linha de produção é igual à soma dos *Lead Times* das estações individuais, menos qualquer tempo que ultrapasse duas ou mais estações de trabalho, situação que ocorre quando são realizados trabalhos simultâneos.

Conforme Hopp e Spearman (2000), quando as Ordens de Produção são processadas em lotes e os transportes são instantâneos, o *Lead Time* é simplesmente a soma dos tempos de processamento e dos tempos em filas. Porém, quando são considerados os lotes e os transportes, nem sempre é possível utilizar esta forma de cálculo, pois, por exemplo, se um lote for processado em mais de um equipamento ao mesmo tempo, deverá ser considerado o tempo de ultrapasse nas estações de trabalho.

3.3.3.19 Lei do Retrabalho (*Rework*)

Para um dado nível de Taxa de Produção, o retrabalho aumenta tanto a média quanto o desvio padrão do *Lead Time* de um processo.

Em um exemplo apresentado a partir de uma estação de trabalho única, Hopp e Spearman (2000) explicam que, a partir do momento em que é detectado um defeito, que pode ser recuperado a partir de retrabalho, de acordo com a probabilidade p de falha para produzir uma peça boa, esta peça consumirá outro Tempo de Processamento com média t_0 e desvio padrão σ_0 , e estará sujeita à mesma probabilidade p de falha, que é inerente ao processo. O tempo consumido para a produção desta peça com o retrabalho é denominado “Tempo de Processamento Efetivo” (HOPP; SPEARMAN, 2000, p. 391).

Os autores afirmam que o efeito do retrabalho no *Lead Time* não é tão óbvio assim. Neste caso, o fato de que o SCV do Tempo de Processamento Efetivo pode ser reduzido quando o retrabalho aumenta, poderá dar a impressão de que o retrabalho reduzirá o *Lead Time*. Na realidade, o efeito do aumento do retrabalho causará o aumento do *Lead Time* médio, aumentando a variância do Tempo de Processamento Total da Ordem de Produção e a variância do Tempo de Espera na Fila, aumentando ao mesmo tempo a média e o desvio padrão do *Lead Time* do processo.

3.3.3.20 Lei do *Lead Time* (*Lead Time*)

O *Lead Time* de produção para um roteiro que trabalha com um determinado nível de serviço é uma função que incrementa tanto a média quanto o desvio padrão do *Lead Time* deste roteiro.

Conforme Hopp e Spearman (2000), esta lei intuitivamente sugere que o *Lead Time* de Produção é expresso pelo *Lead Time* adicionado com um “fator de folga”, que depende do desvio padrão do *Lead Time*. Nesta situação, quando maior o desvio padrão do *Lead Time*, maior deverá ser o fator de folga para garantir um mesmo nível de serviço. Dentre os fatores que aumentam o *Lead Time* médio estão a variabilidade do operador, as paradas por quebras aleatórias, os *setups*, os retrabalhos, etc. Os autores afirmam que sob a perspectiva do *Lead Time*, o retrabalho é particularmente perturbador, pois quando existe a necessidade de uma Ordem de Produção retornar à linha de produção, a variabilidade do *Lead Time* aumenta.

3.3.3.21 Lei da Eficiência do CONWIP (*CONWIP Efficiency*)

Para um dado nível de Taxa de Produção, um sistema empurrado terá um nível maior de WIP do que um sistema CONWIP equivalente.

Esta lei é apresentada por Hopp e Spearman (2000, p. 354) a partir de uma distinção existente entre os sistemas de produção empurrados e puxados: “Sistemas empurrados controlam TH e observam WIP, enquanto sistemas puxados controlam WIP e observam TH”. A partir desta distinção, os autores tecem observações, dentre elas a facilidade de observação do WIP em relação ao TH e a maior eficiência dos sistemas puxados.

Conforme os autores, o WIP é facilmente observável em sistemas de produção, podendo ser realizada uma contagem física das Ordens de Produção dentro do sistema, e que em um sistema puxado necessita atender à capacidade do sistema para manter o nível de TH. Em sistemas empurrados o controle de TH é realizado a partir da liberação de ordens, que também necessita ser realizada de acordo com a capacidade do sistema. Neste caso, se a taxa de liberação de ordens for muito alta, o sistema de produção será “inundado” com WIP, e se for muito baixa, faturamento pode ser perdido devido ao baixo nível de TH ao final do sistema. Outro argumento que os autores apresentam é que sistemas puxados são mais eficientes do que sistemas empurrados, pois o nível de WIP necessário para atingir um determinado valor de TH é menor em sistemas puxados do que em sistemas empurrados.

3.3.3.22 Lei da Robustez do CONWIP (*CONWIP Robustness*)

Um sistema CONWIP é mais robusto para erros no nível de WIP do que um sistema empurrado puro é para erros na taxa de liberação de ordens de produção.

Para Hopp e Spearman (2000), a maior vantagem de um sistema CONWIP sobre um sistema de produção empurrado não é a redução do WIP nem a redução da variância do *Lead Time*, embora elas sejam muito importantes, mas sim a robustez do CONWIP em relação a erros que podem ocorrer da estimativa do nível de WIP. Desta forma, o nível de

lucratividade ótimo será maior em um sistema CONWIP do que em seu equivalente empurrado, desde que o sistema CONWIP tenha um nível baixo de WIP para qualquer nível de TH. Para explicar melhor em termos gráficos, a Figura 12, apresentada pelos autores, auxilia na identificação da robustez do CONWIP.

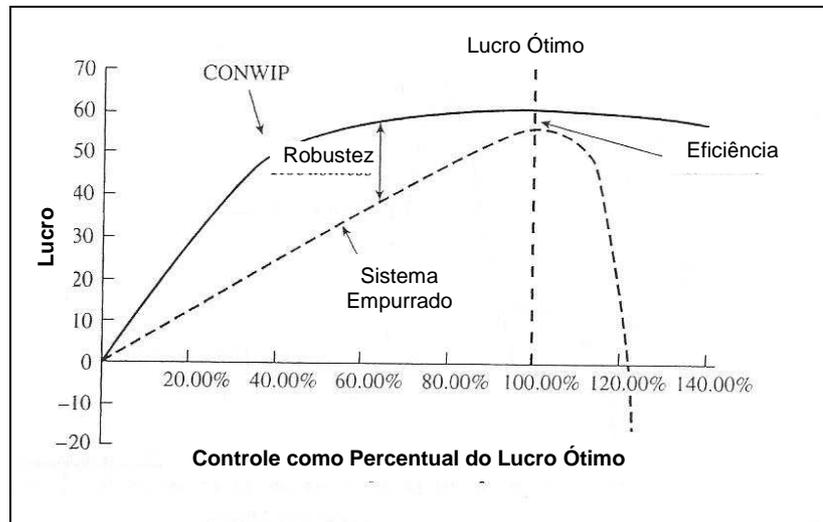


Figura 12 – Robustez Relativa de Sistemas CONWIP ante Sistemas Empurrados

Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2000)

Os autores concluem afirmando que a justificativa para o uso de sistemas puxados é o aumento da robustez de um sistema de produção, assegurando-lhe um nível ótimo de lucratividade ante os sistemas empurrados.

3.3.3.23 Lei do Auto-Interesse (*Self-Interest*)

As pessoas, e não as organizações, são “auto-otimizantes”.

Nesta lei, Hopp e Spearman (2000) chamam a atenção para o ponto que as pessoas fazem suas escolhas baseadas em suas preferências ou metas, enquanto que as empresas necessitam decidir baseadas em suas necessidades, algumas vezes contra as preferências pessoais de seus funcionários. Neste caso, as pessoas que formam as organizações não agem necessariamente de acordo com os objetivos organizacionais, e uma das razões apontadas pelos autores é que a soma das ações que melhoram os indivíduos não garantem a melhoria da organização. Em um exemplo, os autores citam que um Projetista de Produtos pode projetar um produto difícil de fabricar porque as suas metas como projetista são em relação ao desempenho do produto, mas para uma organização o produto precisa oferecer um bom desempenho e precisa ter uma fácil fabricação, assim como este tipo de conflito pode ocorrer em outras funções dentro de uma organização.

Em um sistema de produção, o objetivo das melhorias é sempre aperfeiçoar os resultados através da remoção ou redução das restrições do sistema, como por exemplo, aumentar o lucro do sistema (GOLDRATT; COX, 2004). No entanto, Hopp e Spearman (2000) alertam que melhorar um sistema de produção não é uma simples questão de remover restrições, mas sim uma questão de escolher os incentivos apropriados às pessoas e quais as restrições que serão resolvidas de acordo com as metas da organização.

3.3.3.24 Lei da Individualidade (*Individuality*)

As pessoas são diferentes.

Hopp e Spearman (2000) afirmam que esta lei possui inúmeras ramificações dentro de uma fábrica, como por exemplo, os operadores trabalham em ritmos diferentes, são motivados por diferentes objetivos, e os gerentes interagem de modos distintos com seus subordinados. Os autores citam que a mais evidente diferença entre empregados está no seu nível de habilidade, pois algumas pessoas simplesmente executam o trabalho melhor do que outras, e as razões podem ser as mais diversas, tais como diferença de experiência, destreza manual, disciplina, entre outras. O ponto mais importante a partir desta constatação é que as diferenças existem e não podem ser ignoradas. Taylor (2008) reconheceu no início do século passado estas diferenças e desenvolveu a administração científica, na forma de uma ciência para a administração da produção, para atingir um resultado que assegurasse a máxima prosperidade ao patrão e ao empregado. A maneira empregada por Taylor para atingir seu objetivo foi o de identificar o melhor método para o trabalho e promover o treinamento aos empregados de modo a obter um resultado padrão.

Hopp e Spearman (2000) apresentam que, entre as diferenças pessoais, estão os fatos de que os indivíduos têm diferentes perspectivas sobre suas vidas, e em seu trabalho isto implica que eles também terão respostas diferentes às várias formas de motivação pessoal, pois desde os estudos de Taylor era visto que somente a remuneração não era suficiente para manter os operadores motivados. Dentre as formas de motivação apontadas pelos autores, são utilizadas premiações, cerimônias, flexibilidade no trabalho, reconhecimento no jornal interno, e muitas outras formas criativas que podem ser eficazes, desde que usadas em uma atmosfera genuína de respeito pelas pessoas.

3.3.3.25 Lei da Advocacia (*Advocacy*)

Para quase todos os programas, sempre existe um campeão (gênio ou especialista) que pode fazê-lo funcionar – pelo menos por algum tempo.

De acordo com Hopp e Spearman (2000), muitos programas de mudanças falham apesar da existência de um campeão na equipe. A falha pode significar que o programa era

ruim, mas o campeão, apesar de seu sucesso individual, não teve a capacidade de transformar o programa em um sucesso. Esta lei implica que os campeões podem ser poderosos agentes de mudança, mas isto pode ter tanto um lado bom quanto um lado ruim.

O lado bom dos campeões é que eles podem ter uma tremenda influência no sucesso de um sistema, como por exemplo, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo na Toyota. Além de desenvolver, vender suas ideias e implementá-las, transformando o sistema *Just-in-Time* na espinha dorsal da empresa Toyota, eles foram também pensadores e inventores, trabalhando em tempo integral por longos anos, permitindo que conhecessem intimamente a realidade da empresa (HOPP; SPEARMAN, 2000). Os autores afirmam que um campeão de verdade precisa possuir a habilidade de desenvolver e adaptar um sistema para as necessidades da aplicação a ser implantada, e para que esta ação seja eficaz é fundamental conhecer e envolver-se intimamente com o sistema que estiver tentando mudar.

Conforme Hopp e Spearman (2000), o lado ruim dos campeões é que estes, como gerentes, são a qualquer momento candidatos em potencial para assumir novas posições, o que deixará o projeto desassistido de seu criador (ou mentor), ocorrendo o fracasso deste projeto em algum tempo, de acordo com a experiência dos autores. O tempo “campeão”, de acordo com os autores, foi definido como “alguém que consegue ficar um passo adiante dos desastres que ele mesmo causa” (p. 372), sendo que, se existir alguma verdade neste conceito, o fenômeno a qual este se refere pode ser a tendência natural da degradação de sistemas uma vez que seus campeões originais os deixarem.

A importância da reflexão sobre a função dos campeões como agentes de mudança, é que devemos preparar o sistema para sobreviver à perda de um destes campeões, desenvolvendo esta habilidade como uma medida importante da qualidade de um novo sistema. Para comentar um exemplo, Hopp e Spearman (2000) lembram que o JIT não foi uma revolução no Japão, e sim o resultado de uma série de melhorias incrementais sobre um período de décadas, fornecendo o tempo necessário para que a força de trabalho se adaptasse às mudanças, dependendo menos de campeões para seu sucesso. Os autores afirmam que os campeões podem ser muito influentes na promoção das mudanças, mas devem ser desenvolvidos ambientes onde eles possam contribuir, mas não sejam insubstituíveis.

3.3.3.26 Lei do Esgotamento (*Burnout*)

As pessoas se esgotam com o trabalho.

Com o ritmo rápido das revoluções na produção, somado às idas e vindas de campeões, este efeito negativo apareceu. Hopp e Spearman (2000) comentam que uma das

causas deste problema pode ser o excesso de revoluções, sendo taxada em algumas organizações como “a revolução do mês”. Segundo os autores, em diversas empresas visitadas por eles tipicamente havia uma grande lista de inovações anunciadas com orgulho, comandadas por verdadeiros campeões, implantadas com entusiasmo por pessoas zelosas, e então o sistema era utilizado apenas parcialmente, aos poucos esquecido, e finalmente descartado. Talvez, comentam os autores, nas primeiras vezes em que foram anunciadas, tais revoluções receberam confiança, mas a cada fracasso os colaboradores foram se tornando cada vez mais céticos de que tal revolução, desta vez, resolveria o problema. Com uma revolução após a outra, além de céticas, as pessoas se tornavam esgotadas.

Todavia, é necessário realizar mudanças nos sistemas de produção, trabalhando com pessoas céticas, estressadas e esgotadas. Hopp e Spearman (2000) apresentam em seu trabalho algumas formas de realizar tais mudanças, explicadas a seguir.

- **Realize Revoluções com Parcimônia:** nem todas as melhorias precisam ser apresentadas como um novo estilo de vida. Em um exemplo, os autores sugerem que, ao invés de mergulhar de cabeça em um sistema de *kanban*, podem ser adotados alguns procedimentos de limitação do WIP, que oferecem muitos dos benefícios logísticos do *kanban*, sendo mais transparente aos funcionários.
- **Não Economize em Capacitação:** se uma mudança maior do sistema for necessária, certifique-se de que todos os trabalhadores sejam treinados adequadamente. Todos os trabalhadores devem saber por que um sistema está sendo implementado, e não somente como ele deve ser operado. Se um treinamento básico for pré-requisito para um programa maior, forneça o mesmo, como, por exemplo, conhecimentos em estatística básica podem ser necessários para a implementação de um Programa de Controle de Qualidade, e sem este treinamento básico, todo o Programa pode fracassar.
- **Utilize Programas Piloto:** em vez de preparar e implementar um novo programa na organização inteira, pode fazer sentido implementá-lo em uma pequena parte da fábrica, testar os conceitos em uma linha nova, aprender com esta experiência para então, a partir da demonstração dos novos procedimentos no programa piloto, será mais fácil aplicá-los aos sistemas existentes. Além disso, o uso de projetos piloto em novas linhas evita a rejeição de inovações e a defesa dos métodos tradicionais existentes. Uma observação que Hopp e Spearman (2000) fazem é que um estudo piloto deve ser pensado e planejado de antemão, pois dependendo de seus resultados, o sistema precisa ser adaptado para que o programa piloto possa ser realista e funcione adequadamente. Por exemplo, se uma ferramenta de programação é usada apenas em parte da fábrica, ela

precisará funcionar da mesma maneira no restante da fábrica. Ao abordar um ponto gerenciável do problema, o sistema terá maiores probabilidades de sucesso e, portanto, melhores chances de superar o ceticismo, obtendo o apoio da força de trabalho.

No contexto desta lei, poderiam ser obtidos benefícios realizando a gestão deste conhecimento, a nível empresarial, de modo a manter o conhecimento obtido a partir de diferentes problemas sob o poder da organização, para consultas futuras, formando uma organização de aprendizado (SENGE, 1990). Além disso, outra possibilidade seria o uso de técnicas conforme a proposta de *Design Research*, pois esta metodologia registra e comunica o aprendizado e os *loose-ends* obtidos em um trabalho.

3.3.3.27 Lei da Responsabilidade (*Responsibility*)

O ato de delegar aos colaboradores a responsabilidade sem a autoridade necessária é desmoralizante e anti-produtivo.

Hopp e Spearman (2000) observam que avaliar as pessoas contra metas irreais pode ser desmoralizante, pois as pessoas não podem ser punidas por coisas que estão além de seu controle. Embora seja uma questão de senso comum, os autores afirmam que este princípio é freqüentemente ignorado no gerenciamento da produção, quando são definidas metas inalcançáveis ou quando os colaboradores são avaliados contra indicadores que eles não podem controlar.

Acima foram apresentados brevemente as leis de *Factory Physics* com o objetivo de fornecer um subsídio básico para o entendimento deste trabalho. Em algumas leis, foram apresentados exemplos de aplicações disponíveis na literatura, breves discussões, contrapontos e questionamentos quanto aos pressupostos que os autores utilizam, principalmente em relação ao uso da distribuição exponencial para tempos entre chegadas. Em relação ao conteúdo presente na teoria de Hopp e Spearman (2000), sua contribuição é muito importante para melhoria de sistemas de produção, onde existe muito campo para aplicação e discussão, visando o crescimento da base de conhecimento disponível.

A próxima seção fará uma breve apresentação da Pesquisa Operacional e de algumas de suas técnicas, aplicadas em modelagem empresarial, com o objetivo de auxiliar gestores para tomada de decisões.

3.4 PESQUISA OPERACIONAL E MODELAGEM EMPRESARIAL

A Pesquisa Operacional (PO, do Inglês *Operations Research*) é um campo de estudos integrado às Ciências Administrativas e que, no Brasil, ganhou força no campo da Engenharia de Produção, auxiliando no suporte a decisões. Segundo Hillier e Lieberman (1988, p. 16), a PO pode ser definida como “uma abordagem científica para o suporte à decisões que envolvem as operações de sistemas organizacionais”. Cassel (2007, p. 26) define PO como “uma interface de ciências, vinculada à Teoria da Decisão e dotada de um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar o gestor na tomada de decisões”.

A PO faz uso de diversas técnicas, também chamadas de técnicas de modelagem, minimizando risco e custos testando se as alterações propostas alcançarão o efeito desejado. Modelos criados por alguma destas técnicas são representações da realidade (ACKOFF; SASIENI, 1977), porém se usados com sensibilidade, os modelos e a modelagem fornecem uma maneira de gerenciar o risco e a incerteza (PIDD, 1998a; CASSEL, 2007). Complementando esta afirmação, Pidd (1998a, p. 25) define modelo como “uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade”.

Pidd (1998a) apresenta duas áreas principais de aplicação da modelagem: a Modelagem Interpretativa e a Modelagem Matemática e Lógica, também conhecidas como métodos “*soft*” e “*hard*” respectivamente. Métodos “*soft*” de modelagem iniciam com pressupostos de que a definição do problema não é direta, mas sim multifacetada, e emergirá através de debate e discussão, fornecendo para isto ferramentas e técnicas para tal, gerando com isto uma definição para o problema empresarial. Métodos “*hard*” geralmente pretendem encontrar uma solução para um problema já definido, utilizando para este objetivo técnicas como programação matemática, simulação computacional ou heurísticas, gerando como resultado um algoritmo ou modelos, por exemplo. Embora diferentes conceitualmente, Pidd (1998a) afirma que tais abordagens são complementares, podendo ser utilizadas em conjunto, como, por exemplo, utilizar uma abordagem *Soft* para estruturar determinado problema e então utilizar uma abordagem *Hard* para encontrar uma resposta para este problema agora definido. Uma comparação entre os métodos pode ser observada no Quadro 10, apresentado a seguir.

Uma das técnicas da abordagem *hard*, a Simulação Computacional têm se tornado popular devido ao seu baixo custo e grande aplicabilidade, sendo aplicada em diversas situações (MORITO *et al.*, 1999; GUNN; NAVAHANDI, 2000; GRANGER; KRISHNAMURTHY; ROBINSON, 2002; MESQUITA; GOLDEMBERG, 2006; CASSEL; VACCARO, 2007; CASSEL, 2007; DUANMU; TAAFE, 2007; CECILIANO, 2007) e como

apoio à tomada de decisão em algumas metodologias como *Lean Manufacturing* (LIAN; VAN LANDEGHEM, 2002; STANDRIDGE; MARVEL, 2006).

Aspecto	Abordagens <i>Hard</i>	Abordagens <i>Soft</i>
Definição do Problema	Vista como direta, unitária	Vista como problemática, pluralista
A Organização	Assumida tacitamente	Requer negociação
O Modelo	Uma representação do mundo real	Uma forma de gerar debate e ideias a respeito do mundo real
Resultado	Um produto ou recomendação	Progresso através da aprendizagem

Quadro 10 – Abordagens *Hard* versus *Soft*

Fonte: adaptado de Pidd (1998a)

Da linha *soft* de abordagens, a dinâmica de sistemas tem sido cada vez mais aplicada em sistemas de produção no entendimento de seus problemas, sendo aplicado, por exemplo, em planejamento de cenários (MOREIRA; LACERDA; DIEHL, 2009) e para modelagem deste ambiente (GODINHO FILHO, 2008; GODINHO FILHO; UZSOY, 2009).

Conforme apresentado acima, a PO tem contribuído com as técnicas de modelagem para entendimento e análise de problemas administrativos e de produção. Para um maior aprofundamento deste tema, o leitor poderá consultar, dentre outras obras, Ackoff e Sasieni (1977); Hillier e Lieberman (1988); Pidd (1998a, 1998b); Banks (1998); Law e Kelton (2000); Andrade (1998); Lachtermacher (2002); Winston (1994); Forrester (1962; 1994; 2007a; 2007b); Senge (1990); Sterman (2000).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou uma breve revisão da literatura sobre sistemas de produção e abordagens técnicas, princípios de sistemas de produção e de *Factory Physics* e técnicas de modelagem contidas no campo de estudos de PO. A partir destes conceitos foram construídos os elementos do referencial teórico que será apresentado no capítulo seguinte, versando sobre como estes elementos podem trabalhar em conjunto, gerando uma sinergia para melhorar sistemas de produção.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo deste capítulo é de apresentar os elementos utilizados para o desenvolvimento do método de aplicação das leis de FP que será proposto neste trabalho.

Inicialmente, será discutida a possibilidade de aplicação das leis de *Factory Physics* sobre a estrutura do MFP, a partir do trabalho de Cassel e Pohlman (2009), com o objetivo de priorizar a implementação das melhorias na Função Processo, conforme as afirmações de Shingo (1996a; 1996b). Em seguida, será apresentada uma proposta no sentido de integrar esta visão com alguns tipos de problemas enfrentados pelas organizações. Após, serão integrados nesta proposta os elementos e objetivos que representam as dimensões competitivas de uma organização (SLACK, 1993; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002), visando integrar as decisões estratégicas da organização com as ações a serem implantadas na produção, alinhadas com estes objetivos.

4.1 CRUZAMENTO DAS LEIS DE *FACTORY PHYSICS* SOBRE A ESTRUTURA DO MECANISMO DA FUNÇÃO PRODUÇÃO

Utilizando como elementos as leis de *Factory Physics* apresentadas por Hopp e Spearman (2000), sobre a estrutura do Mecanismo da Função Produção apresentada por Shingo (1996a), Cassel e Pohlmann (2009) afirmam que é possível a seleção das leis de FP que se aplicam em melhorias tanto para a Função Processo quanto para a Função Operação. Em seu trabalho, os autores classificam essas leis verificando individualmente quais delas atendem aos requisitos para serem aplicadas em melhorias na Função Processo, na Função Operação ou em ambas, enquanto Hopp e Spearman (2000) apresentam as leis em seu trabalho para melhoria da produção como um todo, sem classificá-las. No entanto, afirmam Cassel e Pohlmann (2009), o subsídio que as leis de FP fornecem ajuda a entender o comportamento de sistemas de produção. De acordo com estes autores, pode existir a probabilidade de serem obtidos melhores resultados em um sistema de produção aplicando as leis de FP se estas forem aplicadas inicialmente na Função Processo em vez de serem aplicadas na Função Operação, conforme a classificação do MFP. Embora ganhos possam ser obtidos em qualquer uma das abordagens, os autores salientam que o impacto poderá ser muito maior se aplicada esta teoria (FP) na estrutura de Processos e Operações do MFP. Neste sentido, os autores

corroboram a afirmação de Goldratt e Cox (2004), de que nem sempre a soma dos ótimos locais é igual ao ótimo global, e enfatizam as afirmações de Shingo (1996a; 1996b) sobre a prioridade de implementação das melhorias na Função Processo ante a implementação de melhorias na Função Operação.

Cassel e Pohlmann (2009) fornecem uma aproximação inicial do cruzamento entre o MFP e as leis de FP, apresentada no Quadro 11. Neste quadro, observa-se que todas as leis, corolários e definições de FP podem ser aplicadas à Função Processo, enquanto somente algumas aplicam-se à Função Operação. Além disso, existem situações em que as leis podem ser aplicadas para ambos os casos, criando a oportunidade de seleção de prioridade para aplicação de acordo com a proposição de Shingo (1996a; 1996b).

Nº	Lei / Corolário / Definição	Função Processo	Função Operação
1	Lei de Little	X	X
2	Lei do Caso de Melhor Performance	X	X
3	Lei do Caso de Pior Performance	X	X
4	Definição do Pior Caso Prático de Performance	X	X
5	Lei da Capacidade do Trabalho	X	
6	Lei de CONWIP com Trabalho Flexível	X	
7	Lei da Variabilidade	X	X
8	Lei da Proteção da Variabilidade	X	X
9	Corolário da Localização da Variabilidade	X	
10	Corolário da Flexibilidade das Proteções	X	
11	Lei da Conservação de Material	X	
12	Lei da Capacidade	X	
13	Lei da Utilização	X	X
14	Lei de Processamento em Lotes	X	
15	Lei da Movimentação em Lotes	X	
16	Lei das Operações de Montagem	X	
17	Definição do Tempo de Ciclo de uma Estação de Trabalho	X	X
18	Definição do Tempo de Ciclo de uma Linha de Produção	X	
19	Lei do Retrabalho	X	X
20	Lei do <i>Lead Time</i>	X	
21	Lei da Eficiência do CONWIP	X	
22	Lei da Robustez do CONWIP	X	
23	Lei do Auto-Interesse	X	X
24	Lei da Individualidade	X	X
25	Lei da Advocacia	X	X
26	Lei do Esgotamento	X	X
27	Lei da Responsabilidade	X	X

Quadro 11 – Seleção das Leis de FP para Aplicação nas Funções do MFP

Fonte: adaptado de Cassel e Pohlmann (2009)

Aprofundando um pouco mais este conceito, Cassel e Pohlmann (2009) apresentam alguns exemplos de melhorias que podem ser aplicadas a partir das leis de FP na Função Operação e na Função Processo, que são apresentadas no Quadro 12. Uma afirmação importante feita pelos autores é que, se as leis de *Factory Physics* vierem a ser aplicadas de

acordo com a ordem de Prioridade proposta por Shingo (1996b), iniciando pela Função Processo, o Sistema de Produção, conforme a conclusão de Shingo (1996a; 1996b), poderá auferir ganhos melhores do que se as mesmas leis fossem aplicadas na melhoria de operações individuais. Neste contexto, deve ser observado o aspecto sobre a decisão de investimento, pois esta decisão, sobre onde aplicar as melhorias, deve ser balizada por um referencial econômico-financeiro, conforme alertam Antunes *et al.*, 2008.

Nº	Lei / Corolário / Definição	Função Processo	Função Operação
1	Lei de Little	Calcular Filas, Reduzir Tempo de Ciclo, etc.	Medir Tempo de Ciclo
2	Lei do Caso de Melhor Performance	Estabelecer <i>Benchmarking</i> Interno	
3	Lei do Caso de Pior Performance		
4	Definição do Pior Caso Prático de Performance		
7	Lei da Variabilidade	Controlar Tempo de Ciclo	Controlar Tempo Operacional/Setup
8	Lei da Proteção da Variabilidade	Reduzir Excesso de Inventário, Capacidade ou Tempo	
13	Lei da Utilização	Controlar Nível de Utilização	
17	Definição do Tempo de Ciclo de uma Estação de Trabalho	Definir Tempo Padrão; Melhoria da Operação Padrão	
19	Lei do Retrabalho	Controlar e Reduzir: reduz variabilidade	
23	Lei do Auto-Interesse	Motivar as pessoas	
24	Lei da Individualidade	Respeitar a individualidade das pessoas	
25	Lei da Advocacia	Trabalho em Equipe	
26	Lei do Esgotamento	Evitar o desgaste das pessoas	
27	Lei da Responsabilidade	Delegar com autonomia suficiente	

Quadro 12 – Exemplos de Melhorias na Função Processo e na Função Operação conforme as Leis de FP

Fonte: adaptado de Cassel e Pohlmann (2009)

A contribuição do trabalho proposto por Cassel e Pohlman (2009) está na apresentação do emprego das leis de FP, sob uma ótica diferente da apresentada por Hopp e Spearman (2000), possibilitando avaliar a aplicação de melhorias na Função Processo e na Função Operação conscientemente.

A partir do trabalho apresentado nesta seção, uma questão emerge: como relacionar as leis de FP com os problemas dos sistemas de produção? A seção seguinte apresentará sugestões no sentido de preencher esta lacuna, com o objetivo de relacionar alguns problemas de sistemas de produção com a implementação de melhorias na estrutura proposta acima.

4.2 RELAÇÃO ENTRE PROBLEMAS DE PRODUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

Muitos sistemas de produção possuem problemas a serem resolvidos, e a introdução de melhorias é uma oportunidade para otimizar o seu desempenho. Porém, existe a necessidade de foco em problemas específicos da organização para que estas melhorias gerem resultado, de forma a auferir benefícios para esta organização.

A partir da avaliação interna da organização (*benchmarking* interno), realizada com o uso da Lei de Little e das suas variações propostas por Hopp e Spearman (2000), a saber, Lei do Melhor Desempenho, Lei do Pior Desempenho e Definição do Pior Desempenho Aceitável, pode ser interessante o uso das variáveis contidas nesta lei para direcionar ações de melhoria. Neste sentido, o Quadro 13 apresenta uma seleção inicial de problemas de sistemas de produção de acordo com as três categorias de melhorias possíveis, consoante com os termos da Equação (1), a saber: (i) Aumentar TH; (ii) Reduzir WIP; (iii) Reduzir CT.

Tipo de Melhoria	Problema de Produção a ser Resolvido
Aumentar TH	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar Capacidade de Produção; • Aumentar Disponibilidade de Recursos;
Reduzir WIP	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir WIP; • Melhorar Sincronização da Produção; • Reduzir Desperdícios; • Reduzir Custos;
Reduzir CT	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir Prazo de Entrega; • Melhorar Sincronização da Produção; • Reduzir Desperdícios; • Entregar no Prazo Acordado; • Reduzir Custos;

Quadro 13 – Problemas de Produção Classificados por Tipo de Melhoria

Com a nova visão do tipo de melhoria a ser implementada apresentada no Quadro 13, pode ser delineado outro tipo de seleção para a classificação das melhorias, de acordo com a separação dos problemas nas funções Processo e Operação, conforme sugestão apresentada por Cassel e Pohlmann (2009). Segundo os autores, o sistema de produção pode ser beneficiado ao aplicar melhorias em um sistema se estas forem priorizadas na Função Processo, em vez de aplicá-las inicialmente na Função Operação, de acordo com a lógica do MFP. Desta forma, reunindo a ideia presente no Quadro 13 com a afirmação acima de Cassel e Pohlmann (2009), pode ser explorada uma nova ideia em um quadro que: (i) apresente os tipos de melhoria por categorias; (ii) apresente os problemas de

sistemas de produção dentro de cada categoria de melhoria; (iii) identifique-os de acordo com a Função (processo ou operação); e (iv) sugira quais leis podem ser aplicadas para resolver cada um destes problemas separadamente. Uma aproximação inicial desta ideia está apresentada no Quadro 14. Sob este raciocínio, é possível a criação de um método de resolução de problemas de sistemas de produção, através da implementação de melhorias nestes, utilizando as leis e corolários de FP dentro da estrutura do MFP, e ainda é possível a priorização de acordo com a seqüência sugerida por Shingo (1996b). Para facilitar a interpretação deste quadro, o Apêndice 1 apresenta um resumo das leis de FP.

Tipo de Melhoria	Problema de Produção a ser Resolvido	Aplicável à Função Processo	Aplicável à Função Operação	Leis de <i>Factory Physics</i> aplicáveis ao problema
Aumentar TH	Aumentar Capacidade de Produção	X	X	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,16,17,18
	Aumentar Disponibilidade de Recursos		X	1,2,3,4,5,6,7,8,12,13
Reduzir WIP	Reduzir WIP	X	X	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,14,15,21,22
	Melhorar Sincronização da Produção	X		1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,14,15,16,17,18,19,21,22
	Reduzir Desperdício	X	X	1,2,3,4,7,8,9,10,13,19,23
	Reduzir Custos	X	X	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,17,18,19
Reduzir CT	Reduzir Prazo de Entrega	X		1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,17,18,19,20
	Melhorar Sincronização da Produção	X		1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,14,15,16,17,18,19,21,22
	Reduzir Desperdício	X	X	1,2,3,4,7,8,9,10,13,19,23
	Entregar no Prazo Acordado	X		1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,17,18,19,20,23
	Reduzir Custos	X	X	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,17,18,19

Quadro 14 – Seleção de Função Processo, Função Operação e Leis de FP para Aplicação em Problemas de Produção

O fato de ser estabelecido o *benchmarking* interno do sistema permite a avaliação do impacto das ações estabelecidas e implantadas, e a efetiva contribuição destas para a melhoria do sistema, desde que as ações delineadas para realizar a mudança possuam, de fato, relação com o problema a ser resolvido. Porém, o uso das variáveis TH, CT e WIP

requer a criação de pelo menos estes três novos indicadores para o acompanhamento da eficácia da implantação das melhorias, e isto pode gerar conflitos com o sistema de indicadores da empresa, além de oferecerem pouco subsídio para a estratégia da organização, ocasionando a falta de um *link* entre a estratégia corporativa e as ações da produção, segundo a ideia sustentada por Skinner (1969).

A próxima seção apresentará uma proposta considerando a separação dos problemas de produção conforme os objetivos de desempenho propostos por Slack (1993), visando estreitar a relação entre as ações da produção e os objetivos estratégicos da empresa.

4.3 OBJETIVOS DE DESEMPENHO NO CONTEXTO DE *FACTORY PHYSICS*

Skinner (1988) cita que não é possível para uma empresa ser boa em tudo o que faz, mas ela pode determinar quais são os objetivos para o sucesso competitivo na função de produção, focando seus esforços nas ações corretas, limitadas aos objetivos prioritários e com a aplicação das técnicas adequadas, e desta forma atingir este objetivo. Desta forma, uma alternativa para tornar a proposta contida no Quadro 13 e refinada no Quadro 14 mais robusta, seria a inclusão nestes quadros das ideias contidas nos objetivos de desempenho para o aumento da competitividade das organizações, apresentados por Slack (1993), e discutidos de uma maneira mais sucinta, porém contextualizada na área da Administração da Produção, por Slack, Chambers e Johnston (2002).

Assim, aplicando os objetivos de desempenho apresentados por Slack (1993) nas ideias contidas no Quadro 14, é possível alinhar as questões pontuadas por Skinner (1969; 1988) no sentido de aplicar melhorias em sistemas de produção que, de maneira focada, contribuirão para elevar o desempenho do sistema, conforme a necessidade identificada. Uma aproximação inicial desta ideia é apresentada no Quadro 15.

O Quadro 15 apresenta inicialmente os objetivos de desempenho propostos por Slack (1993), de forma a direcionar as ações conforme estes objetivos, sugeridas na coluna seguinte. Nesta etapa do trabalho, é importante alertar que estas ações sugeridas não objetivam exaurir as possibilidades, e sim criar uma aproximação inicial. Na coluna que informa o impacto da ação, o propósito é situar, dentro do contexto da Lei de Little e de *Factory Physics*, em que variável será percebido o impacto da ação proposta, quando implementada, desde que a ação realmente mude o sistema, ou seja, melhore a condição do mesmo. O impacto no custo do sistema é observado por Slack (1993), que afirma que uma melhoria em qualquer um dos objetivos de desempenho, afetará o objetivo custo,

Dimensão Competitiva	Ação Macro – Como Melhorar o Sistema de Produção	Impacto da Ação				Função Processo	Função Operação	Leis de <i>Factory Physics</i>
		TH	CT	WIP	Custo			
Qualidade	Reduzir Refugo	X	X	X	X		X	7, 8, 9, 11
	Reduzir Retrabalho	X	X	X	X	X	X	7, 8, 9, 19
Confiabilidade	Reduzir a Variabilidade dos Tempos de Processamento	X	X	X	X	X		7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
	Planejar com Antecipação		X	X	X	X		7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22
	Melhorar Disponibilidade dos Equipamentos	X	X	X	X		X	7, 8, 9, 11, 12, 13
	Distribuir trabalhos conforme Capacidade de Produção	X	X	X	X	X		5, 6, 7, 8, 9, 11, 12
	Melhorar Sincronização da Produção	X	X	X	X	X		7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22
Velocidade	Reduzir tempo de Processamento	X	X	X	X		X	5, 6, 7, 8, 9, 13, 17, 18, 19
	Reduzir <i>Lead Time</i>	X	X	X	X	X	X	5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
	Aproximar Estações de Trabalho		X	X	X	X		7, 8, 9, 16, 17, 18
	Reduzir Tempo de Setup		X	X	X	X	X	7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18
	Reduzir Tamanho do Lote de Produção		X	X	X	X		7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18
	Reduzir Tamanho do Lote de Movimentação		X	X	X	X		7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18
	Reduzir Tempo de Movimentação		X	X	X	X		7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18
	Reduzir Ordens Urgentes na Produção		X	X	X	X		7, 8, 9, 10, 20
Aumentar Capacidade de Produção	X	X	X	X	X	X	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	
Flexibilidade	Capacitar Operadores Multifuncionais	X	X	X	X	X	X	5, 6, 7, 8, 9, 10, 20
	Criar Roteiros Alternativos	X	X	X	X	X		5, 6, 7, 8, 9, 10, 20
	Adaptar Equipamentos para Alternativos	X	X	X	X	X	X	5, 6, 7, 8, 9, 10, 20
Custo	Reduzir Desperdícios	X	X	X	X	X	X	7, 8, 9, 17, 18, 19

Quadro 15 – Ações para Melhorias de Sistemas de Produção

sendo assim, qualquer melhoria (ou regressão) após implementação de ações em um sistema de produção terá impacto diretamente no custo de produção. As colunas Função Processo e Função Operação visam estabelecer um vínculo com o MFP, no sentido de alertar o time de trabalho sobre possibilidade de implementar determinada melhoria inicialmente na Função Processo, conforme afirmações de Shingo (1996b) e de Antunes *et al.* (2008). Por fim, são recomendadas as leis de *Factory Physics* necessárias para avaliação do sistema conforme a ação-macro indicada, que deverão ser aplicadas durante a análise do processo, de forma a obter as informações para determinar o plano de trabalho para melhoria. O objetivo das leis, neste método, não é o de resolver problemas, mas sim, através da compreensão do fenômeno pelo uso destas, fomentar possibilidades de solução.

Em relação a estas leis, recomendadas no Quadro 15, algumas delas não estão diretamente relacionadas às ações-macro, mas sim podem ser utilizadas de modo mais abrangente, sobre as melhorias do sistema de produção. Conforme já mencionado, as leis 1, 2, 3, e 4 são utilizadas no método proposto no sentido de estabelecer o *benchmarking* interno do sistema de produção. Para uma melhor compreensão da aplicação específica deste conjunto de leis, os gráficos que apresentarão o *benchmarking* interno estão apresentados na Figura 13.

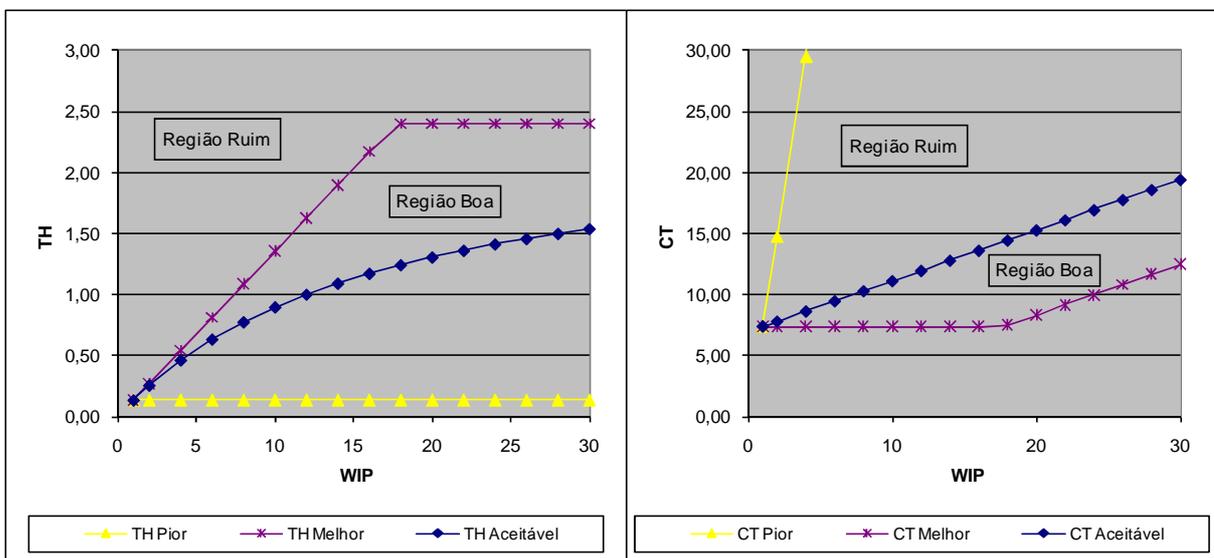


Figura 13 – Gráficos TH x WIP e CT x WIP

Para entender a informação que estes gráficos apresentam, é necessário compreender o princípio das leis 1, 2, 3 e 4, ou seja, da Lei de Little e de suas variantes propostas por Hopp e Spearman (2000). O gráfico TH x WIP apresenta a relação que a capacidade de produção (TH) tem com o nível de inventário (WIP) do sistema de produção, se o nível deste é excessivo ou não para um dado valor de TH. Conforme explicado

anteriormente, são utilizados por Hopp e Spearman (2000) pressupostos de probabilidade que formam a Definição do Pior Desempenho Aceitável, apresentada no gráfico como sendo a linha com losangos (azul). Se o ponto, que indicará o desempenho do sistema, estiver entre a linha com losangos e a linha com triângulos (amarela), que representa o Pior Caso possível de desempenho, chamado no gráfico de “região ruim”, isto significa que o nível de estoque está muito acima do nível necessário para tal desempenho, indicando que existem muitas possibilidades de melhoria. Se este ponto estiver localizado entre a linha com losangos e a linha com asteriscos (roxa), que representa o Melhor Caso possível, ou a “região boa”, o nível de estoque pode ser considerado razoavelmente bom, e melhorias neste caso serão possíveis, mas seu impacto poderá não ser tão expressivo, como no caso onde o sistema esteja com muito estoque, com seu desempenho dentro da região ruim. O gráfico CT x WIP possui o mesmo pressuposto do gráfico TH x WIP, porém apresenta na sua análise o *Lead Time* em relação ao nível de WIP do processo.

Além da aplicação específica das leis citadas acima, existem outras que podem ser aplicadas para entender, de maneiras diferentes, como diversos problemas acontecem no sistema de produção. Um destes casos ocorre com as leis 7, 8 e 9 (variabilidade, proteção da variabilidade e localização da variabilidade, respectivamente). Como, de acordo com a lei 7, qualquer aumento na variabilidade degrada o desempenho do sistema de produção, resolver ou reduzir algum dos problemas reduzirá a variabilidade, impactando nos indicadores do sistema, quando forem executadas ações visando a melhoria em qualquer uma das dimensões competitivas. Em um caso como, por exemplo, para melhorar a dimensão da velocidade através da aproximação das estações de trabalho, se houver variabilidade na linha, é importante prever espaço para estoque, que amortecerá os efeitos desta variabilidade (leis 7 e 8, proteção da variabilidade). Outro ponto, conforme o corolário 9, consistirá em entender que, em uma linha com liberações de material independente das finalizações, a variabilidade maior no início produz um resultado, em *Lead Time*, pior no sistema do que se esta variabilidade existir em recursos no final da linha. Uma conclusão que poderá ser feita é que, para preparar o sistema contra os efeitos desta variabilidade, é que o estoque de proteção precisará ser maior no início da linha, requerendo maior espaço entre as estações de trabalho. Desta forma, se a ação-macro fosse executada sem considerar a variabilidade e seus efeitos durante a análise, o resultado poderia ser inferior ao pretendido com a execução das ações.

A lei 5 se aplica quando existe, dentro da linha ou da célula de produção, a restrição de capacidade operacional. Portanto, pode ser importante para a análise de algumas ações em relação às dimensões de confiabilidade (distribuir trabalhos conforme capacidade de produção), velocidade (reduzir tempo de processamento), e, principalmente flexibilidade, para otimizar os recursos do sistema de produção promovendo, através da formação de

multifuncionalidade no quadro de operadores, a sua melhoria. Em relação ainda à flexibilidade, a lei 10 (corolário de flexibilidade das proteções) pode ser utilizada para entender qual a importância, para diversas situações dentro do sistema de produção, da flexibilidade das proteções. A flexibilidade pode ajudar, por exemplo, a reduzir a quantidade de proteções necessárias, para mitigar os efeitos da variabilidade dentro do sistema.

A lei 11 (conservação de material) representa a taxa de saída do sistema, enfatizando a perda de peças por refugo e a partição de uma peça em múltiplas partes, quando aplicável. Esta lei permite utilizar este índice para a lei 12 (capacidade), que indica que a quantidade de liberação de trabalhos deverá ser um pouco menor do que a capacidade do sistema, para evitar o aumento do WIP desnecessariamente, sendo este interpretado como uma forma de desperdício por antecipação da produção, por exemplo.

A lei 13 (utilização) precisa ser considerada em diversas situações para evitar que aumentos na utilização aumentem o WIP e/ou o *Lead Time* de modo a causar problemas ao sistema de produção. Conforme apresentou a Figura 9, quando a utilização se aproxima de 100%, o *Lead Time* aumenta muito, e ainda mais rapidamente quanto maior for a variabilidade do sistema de produção.

As leis 14 e 15 (processamento em lotes e movimentação em lotes) são muito úteis no sentido de entender o benefício de reduzir o tamanho dos lotes para estas duas situações tanto em condições de uma linha de produção. A utilização destas leis têm seus efeitos ampliados quando existe uma operação de montagem sendo suprida por mais de uma linha de produção, conforme cita a lei 16 (operações de montagem), e serve para, em conjunto com o planejamento da produção, reduzir as causas da variabilidade mencionada nesta lei.

As definições 17 e 18 tratam da definição do *Lead Time*, tanto em uma estação de trabalho quanto para uma linha de produção, através da soma dos diversos tempos de processamento ou de esperas. Apesar de parecer simples, o fato de mapear e identificar os diversos estágios pelos quais o produto passa (e em alguns permanece) dentro do sistema de produção, apresenta, de forma clara e individual por etapa, oportunidades de melhoria. A partir destas constatações, a lei 20 (*Lead Time*) apresenta o impacto que o *Lead Time* representa para o nível de serviço deste sistema.

A lei 19 (retrabalho) pretende auxiliar no sentido de entender o impacto do retrabalho para o sistema, pois o item é processado e, se requer novo processamento ou correção, este evento reduzirá o desempenho do sistema de produção, paralisando o ciclo do processo dos itens seguintes, por ocupar o mesmo recurso novamente. Desta forma, podem ser definidas ações para, reduzindo o retrabalho, e seus custos devido ao retorno à etapa de processamento, aumentar o desempenho do sistema de produção, provavelmente reduzindo em conjunto o custo global da operação.

As leis 21 e 22 (eficiência e robustez do CONWIP – *Constant Work in Process*) apresentam os benefícios que podem ser auferidos com o uso da estratégia CONWIP em relação aos sistemas empurrados ou *kanban*, sendo aplicáveis principalmente ao planejamento e programação da produção, com o objetivo de melhorar as dimensões de confiabilidade, e, por consequência, de velocidade da operação.

As leis 23 (Auto-Interesse), 24 (Individualidade), 25 (Advocacia), 26 (Esgotamento) e 27 (Responsabilidade), conforme os próprios Hopp e Spearman (2000) comentam, são relacionadas às pessoas da organização, desta forma, deverão ser utilizadas na gestão da equipe para implementação das ações com o método proposto.

A partir do uso das leis apresentadas acima, e dentro da estrutura do Quadro 15, podem ser identificadas novas relações entre as leis e os problemas de produção, assim como nem todas as leis recomendadas para determinada ação-macro podem ser passíveis de uso, devido às particularidades de cada sistema de produção.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou os elementos que foram desenvolvidos e aplicados durante este trabalho, iniciando com a aplicação das leis de *Factory Physics* sobre a estrutura do MFP. A estrutura gerada foi relacionada com os problemas de sistemas de produção, utilizando as variáveis da Lei de Little como referência, e este trabalho foi concluído com a introdução dos objetivos de desempenho, fornecendo em um quadro uma estrutura que resume: (i) Leis de *Factory Physics* (HOPP; SPEARMAN, 2000); (ii) Mecanismo da Função Produção (SHINGO, 1996a; 1996b); e (iii) Objetivos de Desempenho para a Competitividade das Organizações (SLACK, 1993). O próximo capítulo apresentará o Desenvolvimento do Método Proposto por esta Dissertação.

5 CONSTRUÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO UTILIZANDO *DESIGN RESEARCH*

O conteúdo deste capítulo versará sobre o desenvolvimento do Método de Aplicação das Leis de *Factory Physics*, de acordo com os passos apresentados na Figura 5 do Método de Trabalho.

5.1 ETAPA 1 – CONSCIÊNCIA INICIAL DO PROBLEMA

A consciência do tema deste trabalho começou a surgir da necessidade de aperfeiçoar os sistemas de produção (SP), utilizando os princípios de *Factory Physics*. A questão do aperfeiçoamento de SP não é nova, e tem sido abordada por diversos autores desde o princípio da produção em massa, conforme apresentado brevemente na introdução deste trabalho. Em razão da complexidade dos sistemas de produção e das particularidades de cada ambiente, resolver os problemas a partir de uma única abordagem técnica é uma questão muito difícil, de acordo com Hopp e Spearman (2000).

Esta etapa compreendeu também a pesquisa documental e bibliográfica preliminar, buscando, desta maneira, analisar a relevância do trabalho para a questão apontada na consciência, sendo que a relevância do problema é uma diretriz importante para um estudo de DR, conforme Hevner *et al.* (2004).

A partir do trabalho realizado nesta etapa, a consciência inicial do problema, foi definida a questão de pesquisa deste trabalho:

Como aplicar as leis de *Factory Physics* em sistemas de produção?

5.2 ETAPA 2 – SUGESTÃO VERSÃO 1

A partir do entendimento e definição da Consciência do Problema, foi necessário estabelecer alternativas para propor uma regra tecnológica para a resolução deste problema. Abaixo estão algumas das alternativas que emergiram nesta etapa.

- Mapear o sistema de produção por completo e aplicar individualmente cada lei de FP, com o intuito de entender o comportamento do sistema de produção e elencar ações possíveis de ser implantadas para melhorar o seu desempenho;
- Modelar o sistema de produção utilizando técnicas apropriadas, criando cenários a partir das hipóteses de ganhos oriundas do mapeamento;
- Utilizar os indicadores do sistema de produção para avaliar os ganhos nos cenários simulados;
- Avaliar os resultados nos indicadores com o uso da modelagem realizada.

A partir das percepções apresentadas acima, a ideia final foi a de propor uma sequência de passos para a aplicação dos princípios de FP, sendo o desenvolvimento de um método o trabalho a ser realizado, e entregando como artefato um método de aplicação das leis. Desta forma, a etapa de sugestão cumpriu o seu papel de prover ideias para o desenvolvimento do artefato necessário para a resolução do problema, que é apresentado na próxima seção.

5.3 ETAPA 3 – DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO VERSÃO 1

Nesta etapa foi desenvolvida a proposta inicial do método, na qual a principal preocupação foi a de manter uma seqüência lógica de etapas para garantir o atendimento do resultado, cujo modelo está apresentado na Figura 14, cujos passos para execução do método proposto são descritos brevemente a seguir.

1. Apresentação dos Princípios de *Factory Physics*.

Nesta etapa são apresentados os princípios de *Factory Physics* em sua totalidade para que o grupo de trabalho tenha um referencial dos pontos a serem avaliados no sistema.

2. Análise do Sistema de Produção.

Consiste em realizar o mapeamento do SP à luz dos princípios apresentados na etapa anterior, coletando os dados e informações necessárias para a proposta de aplicação. Para esta etapa, poderão ser utilizadas diversas técnicas de mapeamento de acordo com o nível de detalhamento necessário dos processos estudados. Além do mapeamento do processo, deverão ser coletadas informações acerca dos indicadores utilizados para a

gestão do SP. Após a coleta e apresentação do estado atual, o corpo gestor do SP deverá apresentar os resultados desejados após a implementação dos princípios, ou seja, as metas do trabalho.

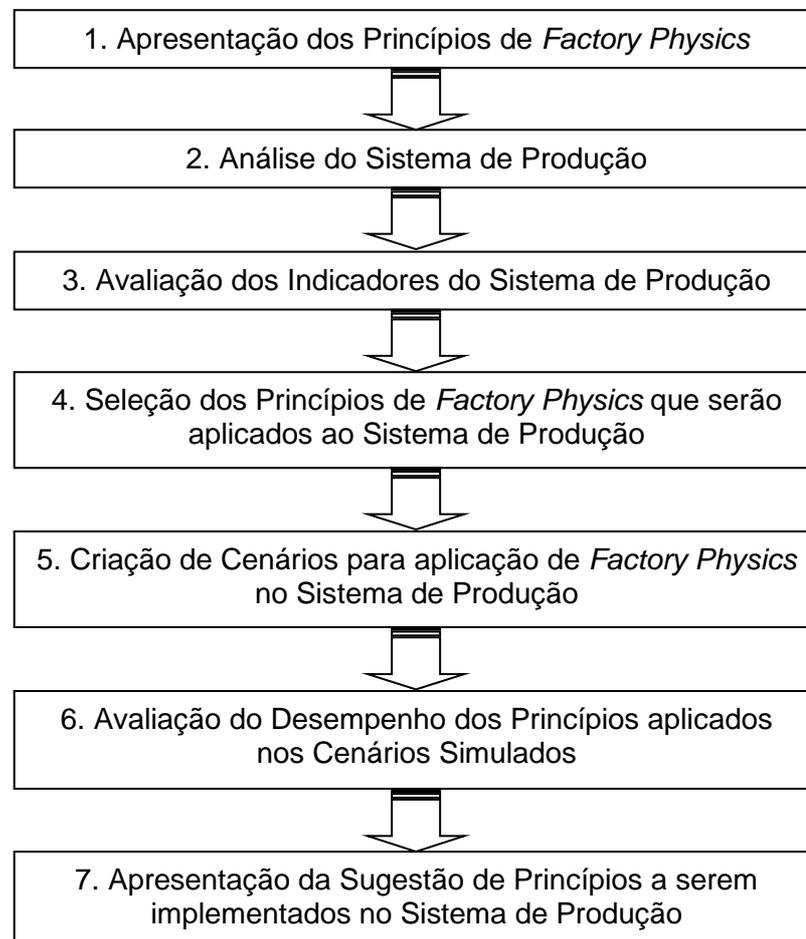


Figura 14 – Sugestão Proposta Versão 1

3. Avaliação dos Indicadores do Sistema de Produção.

Nesta etapa são analisados os indicadores atuais sob a ótica de sua aplicabilidade para avaliar corretamente o SP. Poderão ser propostos outros indicadores para a análise dos resultados após a implementação dos princípios ao SP. Como possíveis exemplos citam-se *throughput*, giro de inventário e *lead time*, à luz de *Factory Physics*, quando aplicáveis.

4. Seleção dos Princípios de *Factory Physics* que serão aplicados ao Sistema de Produção.

Nesta etapa são selecionados os princípios de *Factory Physics* que serão utilizados para análise dos problemas no sistema de produção, pois nem todas as leis podem ser

aplicáveis ao problema. Podem ser utilizadas técnicas de priorização, *brainstorming*, votação, etc., para definir o conjunto de princípios que poderão beneficiar o SP. Priorizar é importante, podendo ser utilizado o Princípio de Pareto, pois este método ajuda a separar os problemas em duas classes: os poucos vitais e os muitos triviais (JURAN, 1992).

5. Criação de Cenários para aplicação de *Factory Physics* no SP.

Uma vez definidos os princípios para implementação, é necessária a criação de cenários para realizar os experimentos. A técnica utilizada para pesquisa experimental é a Simulação Computacional, conforme apresentado no Quadro 4, utilizando diferentes cenários para verificar, em condições estocásticas, qual poderia ser uma alternativa a ser aplicada. Importante considerar que os cenários correspondem à situação (Z) do problema de pesquisa, ou seja, estão relacionados ao ambiente do SP.

6. Avaliação do Desempenho dos Princípios aplicados nos Cenários Simulados.

Nesta etapa são avaliados os resultados obtidos nos modelos de Simulação, para determinar quais os princípios que deverão ser implementados no SP em estudo. Os indicadores serão definidos durante o trabalho utilizando como referência os indicadores utilizados por Hopp e Spearman (2000).

7. Apresentação da Sugestão de Princípios a serem implementados no SP.

Nesta etapa é realizada a apresentação dos resultados verificados através do estudo do SP.

É provável que a aplicação de alguns princípios apresente resultados diferentes em relação a outros, sendo que desta forma é necessário estabelecer uma priorização para implementação, que poderia ser de acordo com regras do tipo: (i) melhor retorno do investimento; (ii) menor custo de implementação; (iii) menor prazo de implementação; (iv) maior vantagem competitiva, etc, observando a realidade da empresa em seu contexto.

5.4 ETAPA 4 – AVALIAÇÃO DO MÉTODO VERSÃO 1

Conforme já mencionado anteriormente, a primeira proposta de método foi submetida à apreciação da Banca de Qualificação do Projeto desta dissertação, composta de dois pesquisadores, que, ao avaliar o trabalho, emitiram seus pareceres quanto ao artefato apresentado.

Nesta etapa de avaliação, foi questionada a razão pela qual o método não possuía retroalimentação a partir de uma etapa para as anteriores, em caso de não atendimento a alguma necessidade específica daquela etapa. Além disso, na opinião de um dos avaliadores, o modelo se apresentou genérico em demasia para situações em que os sistemas de produção possuem problemas específicos. Este avaliador acrescentou, por exemplo, que uma análise de todas as leis poderia não ser adequada para resolver problemas imediatos, sendo que o método poderia ter uma velocidade de resposta baixa em relação à velocidade desejada pelos gestores de SP.

Como uma sugestão para aumentar a robustez do método, foi sugerido o uso das leis de FP em uma estrutura pré-definida de processos e operações do STP, conhecida como Mecanismo da Função Produção (MFP). Segundo esta sugestão, a partir da lógica existente nesta estrutura, e aplicando os princípios de FP para entender o comportamento do sistema de produção, o método poderia ser mais robusto utilizando como espinha dorsal a mesma desenvolvida e aplicada com sucesso no STP, e então, nesta estrutura realizar a aplicação dos princípios inovadores de FP no sentido de entender o comportamento de SP's.

5.5 ETAPA 5 – REFINAMENTO DA CONSCIÊNCIA DO PROBLEMA

A partir do *feedback* fornecido pela avaliação dos pesquisadores durante a Banca de Qualificação do Projeto, foi necessário aprofundar o trabalho de pesquisa em referências bibliográficas de modo a subsidiar principalmente a sugestão de utilizar como estrutura do método o Mecanismo da Função Produção (Shingo, 1996a), principalmente com a sua visão de uma rede de processos e operações, e adicionando a esta estrutura os elementos de FP. Além disto, também foi destinada atenção em relação à visão de que Sistemas de Produção possuem problemas específicos, e que um método que realizasse a análise de todas as leis poderia ser muito lento ao analisar o sistema de produção inteiro para então tentar resolver estes problemas específicos.

A partir dos elementos apresentados acima, o problema passou a ser abordado de modo a incorporar no método o uso da estrutura do MFP. Com isto, o método poderá ser utilizado para iniciar a análise do sistema de produção a partir de problemas específicos de sistemas de produção que, com base na prioridade dos gestores, poderão então fornecer suporte à resolução inicialmente de problemas mais urgentes, indicando assim a prioridade para a aplicação do método. Como DR é um método que, por definição, deseja encontrar soluções para problemas não resolvidos, ou, soluções mais eficientes para problemas já

resolvidos, de acordo com Hevner *et al.* (2004), esta perspectiva pode ser aplicada neste trabalho.

Desta forma, a consciência do problema pode ser delineada como a proposição de um método que possibilite a tentativa de resolução de problemas de sistemas de produção aplicando as leis e corolários de FP, priorizando as ações de acordo com a estrutura do MFP.

5.6 ETAPA 6 – SUGESTÃO DO MÉTODO VERSÃO 2

A partir da avaliação inicial da primeira sugestão, e do refinamento da consciência do problema, o trabalho desta etapa de sugestão foi dirigido no sentido de fornecer novas ideias para desenvolver um método para resolver os problemas de SP aplicando as leis e corolários de FP, utilizando, na sua análise e aplicação, a estrutura do MFP. Os elementos que representam esta ideia foram apresentados na seção 4.1 e nos Quadros 11 e 12.

Utilizando outro conceito apresentado na avaliação anterior, de que Sistemas de Produção possuem problemas específicos, e o método proposto poderia, em vez de analisar todas as leis para então propor as ações no sistema de produção, partir de uma sugestão das leis para aplicação em problemas específicos do sistema de produção. Esta ideia foi desenvolvida e os elementos que demonstram esta possibilidade estão contidos na seção 4.2 e nos Quadros 13 e 14.

A partir das informações apresentadas nesta etapa de sugestão em conjunto com os elementos contidos nas Seções 4.1 e 4.2, foi possível a criação de uma nova proposta de método para aplicação das leis, que será apresentado na seção seguinte.

5.7 ETAPA 7 – DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO VERSÃO 2

A partir do delineamento das informações apresentadas na seção anterior, o novo método é proposto de acordo com a sequência de passos apresentados na Figura 15. Estes passos serão comentados brevemente abaixo, para identificação dos pontos de melhoria e a criação de um plano de trabalho para atuar em um sistema de produção.

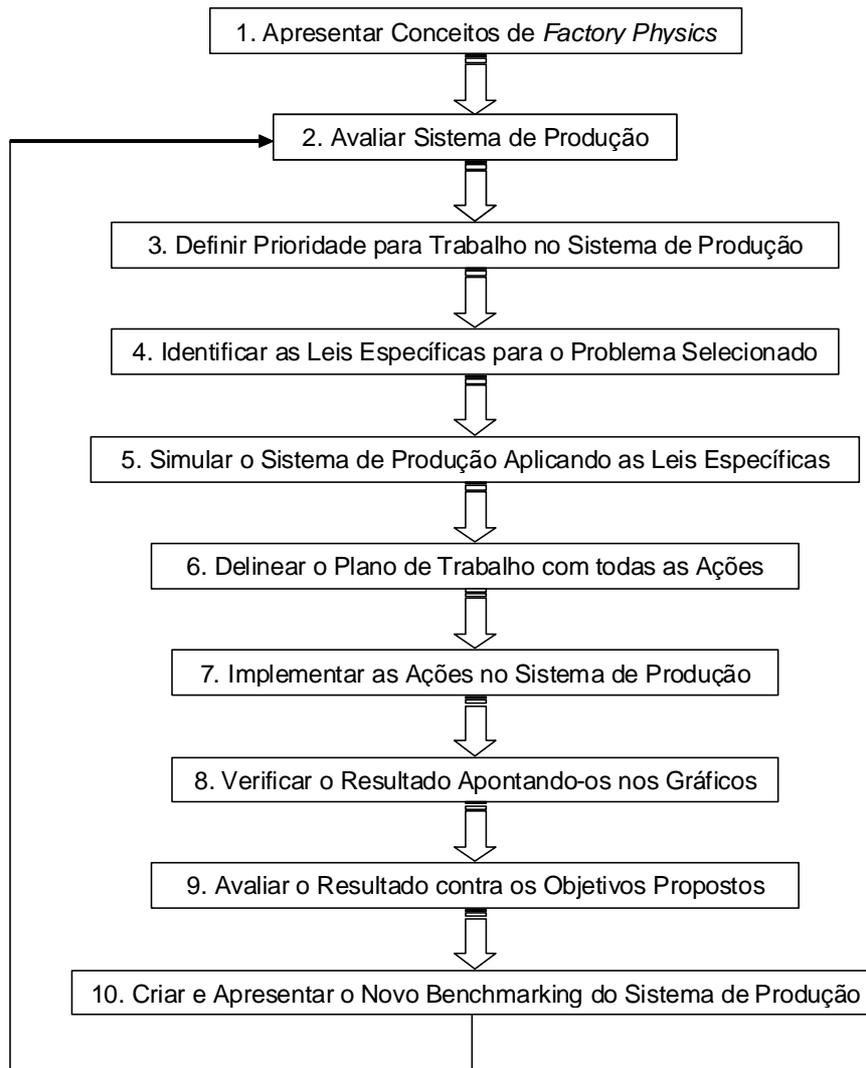


Figura 15 – Sugestão Proposta Versão 2

- Passo 1. Apresentar os conceitos e princípios de *Factory Physics* na forma de treinamento inicial para a equipe de trabalho, de modo a nivelar o conhecimento de todos sobre o tema.
- Passo 2. Avaliar o desempenho do sistema de produção aplicando as leis 1, 2, 3 e 4, apresentando o desempenho na forma gráfica plotando os gráficos TH x WIP e CT x WIP, criando assim o *Benchmarking* interno do sistema.
- Passo 3. Definir o problema a ser resolvido de acordo com as opções apresentadas no Quadro 14, definindo um ou mais dos objetivos a serem alcançados:
- a. Aumentar TH;
 - b. Reduzir WIP;
 - c. Reduzir CT;

- Passo 4. Selecionar no Quadro 14, a partir do problema definido no Passo 3, dentre as leis apresentadas, quais são aplicáveis e necessárias para avaliação do problema, aplicando as mesmas para análise do sistema de produção.
- Passo 5. Realizar técnicas de grupo para discutir as ações que poderão ser aplicáveis no sistema de produção, como, por exemplo, “Tempestade de Ideias” (*Brainstorming*), e definir uma forma de quantificar os resultados desejados com a implementação destas ações. Outra necessidade é avaliar quais serão os recursos necessários para implantação das melhorias. Poderão ser utilizadas técnicas de modelagem, tais como simulação computacional e análise por dinâmica de sistemas para verificar o impacto das mudanças, e deverão ser definidas as metas pela equipe gerencial antes do início do trabalho, como, por exemplo, reduzir 30% do WIP dentro de uma linha de produção.
- Passo 6. A partir da discussão acerca das ações, delinear um plano de trabalho com as ações para atingir o resultado desejado corrigindo, se necessário, os objetivos propostos no Passo 2;
- Passo 7. Implementar as ações no sistema;
- Passo 8. Verificar o resultado atingido após implementação das ações, apontando nos gráficos TH x WIP e CT x WIP os resultados obtidos;
- Passo 9. Avaliar o resultado obtido contra os objetivos propostos no Passo 2;
- Passo 10. Criar e apresentar o novo *Benchmarking* do sistema, a partir dos resultados obtidos, que apresentam o desempenho atual do sistema;
- Passo 11. Retornar para o Passo 2.

Nesta sugestão de método, é possível implementar as melhorias em projetos piloto, e avaliar os resultados dentro do próprio *Benchmarking* interno do sistema. O método possibilita a criação de um modelo de melhoria contínua para o sistema, se aplicado de modo cíclico, seguindo as etapas do método, e aplicando as ações de acordo com as prioridades do sistema, de forma incremental.

Para que o processo de implementação deste método seja mais objetivo e completo, no Quadro 16 estão apresentados requisitos complementares para cada um dos Passos do Método Proposto.

Passo	O Quê	Como	Quem
1	Apresentar Conceitos e Princípios de FP – Nivelamento	Seminários e treinamento.	Consultor ou Líder da Equipe
2	Avaliar Sistema de Produção	1. Coletar as informações referentes aos indicadores CT, TH e WIP do sistema; 2. Criar os Gráficos TH x WIP e CT x WIP como <i>Benchmarking</i> inicial do sistema.	Líder ou Membro da Equipe
3	Definir Prioridade para Trabalho no Sistema de Produção	Decidir qual o tipo de melhoria será implementada e qual o objetivo a ser melhorado para cada indicador selecionado.	Equipe
4	Identificar as Leis Específicas para o(s) problema(s) selecionado(s)	Selecionar no Quadro 14 de acordo com a classe de problema a ser resolvido.	Equipe
5	Simular o resultado das ações no sistema de produção utilizando as Leis Específicas	Realizar técnicas de sugestão de ideias com o objetivo de identificar qual o ganho para o sistema se determinada ação, baseada no que apresenta tal lei, fosse implementada no sistema.	Membro da Equipe
6	Delinear o Plano de Trabalho com todas as Ações	1. Criar um plano de trabalho estruturado com as metas dos indicadores, prazos e responsáveis. 2. Adicionar aos Gráficos TH x WIP e CT x WIP os resultados obtidos.	Equipe
7	Implementar as Ações no sistema de produção	Cumprir o Plano de Trabalho.	Equipe
8	Verificar o resultado das ações apontando-os nos gráficos TH x WIP e CT x WIP	Incluir nos gráficos criados para a avaliação inicial do sistema de produção o resultado obtido após a implementação das ações.	Membro da Equipe
9	Avaliar o resultado contra os objetivos propostos	Avaliar criticamente os resultados obtidos verificando as lições aprendidas e em caso de não atingir algum objetivo, quais as razões.	Equipe
10	Criar e apresentar o novo <i>Benchmarking</i> do sistema de produção	Redesenhar os Gráficos TH x WIP e CT x WIP como novo <i>Benchmarking</i> do sistema.	Membro da Equipe
11	Retornar ao Passo 2	Definir nova prioridade, para promover a melhoria contínua do sistema.	Equipe

Quadro 16 – Requisitos para os Passos do Método Versão 2

Utilizando como referência as informações citadas nos Quadros 14 e 16 e na Figura 15, o método está pronto para ser implementado e/ou avaliado.

5.8 ETAPA 8 – AVALIAÇÃO DO MÉTODO VERSÃO 2

Durante esta etapa, o artefato gerado na etapa anterior foi avaliado de forma analítica e descritiva, conforme os critérios estabelecidos no Quadro 4, por dois especialistas, em entrevista semi-estruturada. A avaliação do método foi realizada em caráter individual com cada especialista, e o perfil dos mesmos estão apresentados no Quadro 17.

Especialista	Formação Acadêmica	Focos de Pesquisa	Experiência no Tema
1	Mestrado em Engenharia de Produção (1997) Doutorado em Ciência da Computação (2001)	Gerência de Operações, Métodos Quantitativos, Modelagem, Simulação.	11 anos
2	Mestrado em Engenharia de Produção (1988) Doutorado em Administração de Empresas (1998)	Administração de Empresas, Teoria das Restrições, Sistema Toyota de Produção, Sistemas de Produção com Estoque Zero.	23 anos

Quadro 17 – Perfil dos Especialistas

Após a apresentação dos elementos desenvolvidos neste trabalho, e da estrutura do método proposto, os tópicos apresentados para os especialistas foram os seguintes:

- Facilidade de entendimento / compreensão;
- Facilidade de implementação;
- Consistência do método: potencialidades e fragilidades;
- Comentários gerais e sugestões.

Após a apresentação mencionada acima, o primeiro especialista constatou a dificuldade, para o profissional designado a implementar o método, da seleção das leis a partir dos problemas apresentados no Quadro 14, que serve de base para a aplicação do método proposto. Na sua visão, os problemas deveriam ser fracionados em partes menores para que fosse reduzida a quantidade de leis para aplicação em um único problema, facilitando todo o processo de aplicação do método.

Outro comentário foi em relação ao Passo 5, onde é proposta a Simulação das ações para avaliar o ganho para o sistema com a possível implementação desta, em um Passo posterior. Para este especialista, o método não deveria impor qual técnica utilizar, pois a mesma verificação poderia ser realizada com uso de outras técnicas, como, por exemplo, o uso de *Kaizen* ou outras metodologias já em uso na organização. Além disso, este especialista comentou que o uso da técnica de Simulação Computacional requer profissionais qualificados e experientes, dados disponíveis do sistema e tempo para coleta e tratamento destes dados. Somente após reunir estes recursos, nem sempre disponíveis em todas as organizações, seria possível obter um modelo confiável para representar o sistema produtivo, e este ser então utilizado para avaliação dos cenários com as ações propostas. O parecer deste especialista foi bom, mas foram consideradas necessárias as melhorias nos pontos comentados para um bom funcionamento deste método.

Após a apresentação do método proposto no passo anterior, o segundo especialista questionou o formato da figura do método, em relação à possibilidade de ser utilizada de forma cíclica. Na visão deste especialista, uma técnica que pode ser utilizada para comparar

o método proposto com esta afirmação é o Método PDCA (*Plan-Do-Check-Action*, que pode ser traduzido como Planejar-Executar-Verificar-Agir), proposto por Shewhart (DEMING, 1990). Em sua opinião, se um dos passos propostos no método PDCA estiver faltando em um novo método proposto, este terá dificuldades para ter uma aplicação com sucesso.

Em relação aos problemas apresentados no Quadro 14, a vinculação destes com a realidade “depende do ambiente externo”, e assim precisa ter esta possibilidade de vínculo. Na sua visão, uma possibilidade de realizar a ligação entre este Quadro e o ambiente externo seria o uso de Dimensões da Competitividade, como, por exemplo, qualidade, custo, entrega, confiabilidade e velocidade, estas especialmente, propostas por Slack (1993).

Outra fragilidade encontrada por este especialista foi em relação aos indicadores utilizados: TH, CT e WIP, a partir da Lei de Little; na sua visão, estes até poderiam ser adotados, mas seria necessário utilizar os indicadores da própria organização para que esta pudesse avaliar os resultados conforme suas ações estratégicas e táticas. Portanto, um método que apresentasse somente a possibilidade de uso de indicadores próprios, poderia ter dificuldades de controle, pois sua efetividade seria relativa e não absoluta em relação ao sistema. Em geral, o parecer foi positivo, mas, em sua opinião, é importante melhorar o método estabelecendo a ligação entre o ambiente externo, através das dimensões da competitividade, e o ambiente interno, ou seja, o sistema de produção.

5.9 ETAPA 9 – REFINAMENTO DA CONSCIÊNCIA DO PROBLEMA

A partir do *feedback* fornecido pela avaliação dos especialistas realizada na etapa anterior, foi necessário aprofundar o trabalho de pesquisa em referências bibliográficas de modo a subsidiar a aplicação das dimensões da competitividade no método, apresentadas conceitualmente na seção 3.1 e aplicadas nos elementos deste trabalho na seção 4.3, visto que o Ciclo PDCA é amplamente difundido e que as outras sugestões foram no sentido de realizar mudanças na forma de implementação do método, sem revisão de literatura além da realizada inicialmente.

Desta forma, a consciência do problema pode ser delineada como a necessidade de desenvolver um método para aplicação das leis de *Factory Physics* em sistemas de produção, que, além da utilização do MFP, proporcione a possibilidade de seleção da dimensão competitiva a ser explorada pelo trabalho de melhorias.

5.10 ETAPA 10 – SUGESTÃO DO MÉTODO VERSÃO 3

Ao método proposto Versão 2, foram adicionados os elementos resultantes da avaliação anterior e do refinamento do problema, realizado na etapa anterior, de modo a tornar o método mais robusto, em relação aos elementos que esta proposta continha inicialmente. O principal reforço consistiu em adicionar à proposta do método o conceito dos objetivos de desempenho apresentados por Slack (1993) para melhorar a competitividade, de modo a facilitar a aplicação do método em sistemas de produção. Estes elementos adicionados aos elementos apresentados no Quadro 14, foram desenvolvidos na seção 4.3, e deram origem ao Quadro 15, que apresenta uma compreensão mais abrangente do problema a ser enfrentado pelo Grupo de Trabalho. Desta forma, iniciando o plano de ação em um objetivo da competitividade, com a sugestão de ações específicas para cada um destes, e contemplando as leis de *Factory Physics* dentro do contexto do MFP, o método, baseado no Quadro 15, pode facilitar a criação do plano de ação para implementação das melhorias necessárias.

A partir dos elementos desenvolvidos nesta etapa de sugestão, foi possível a criação de um novo método para aplicação das leis, que será apresentado na seção seguinte. O objetivo foi o de apresentar uma estrutura para aplicação das leis de *Factory Physics*, com uma forma de avaliar se as melhorias aplicadas ao sistema de produção podem ser avaliadas em indicadores próprios para estas, mesmo se utilizados os indicadores do sistema de produção. Assim, este será o objetivo a ser utilizado para avaliar o método proposto.

5.11 ETAPA 11 – DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO VERSÃO 3

A partir do delineamento das informações apresentadas no Quadro 15, o novo método é proposto, de acordo com a sequência de passos apresentados na Figura 16, para identificação dos pontos de melhoria e a criação de um plano de trabalho para aplicar no sistema de produção as leis e corolários de *Factory Physics*, e avaliando os resultados após a implementação das ações para melhoria do sistema de produção.

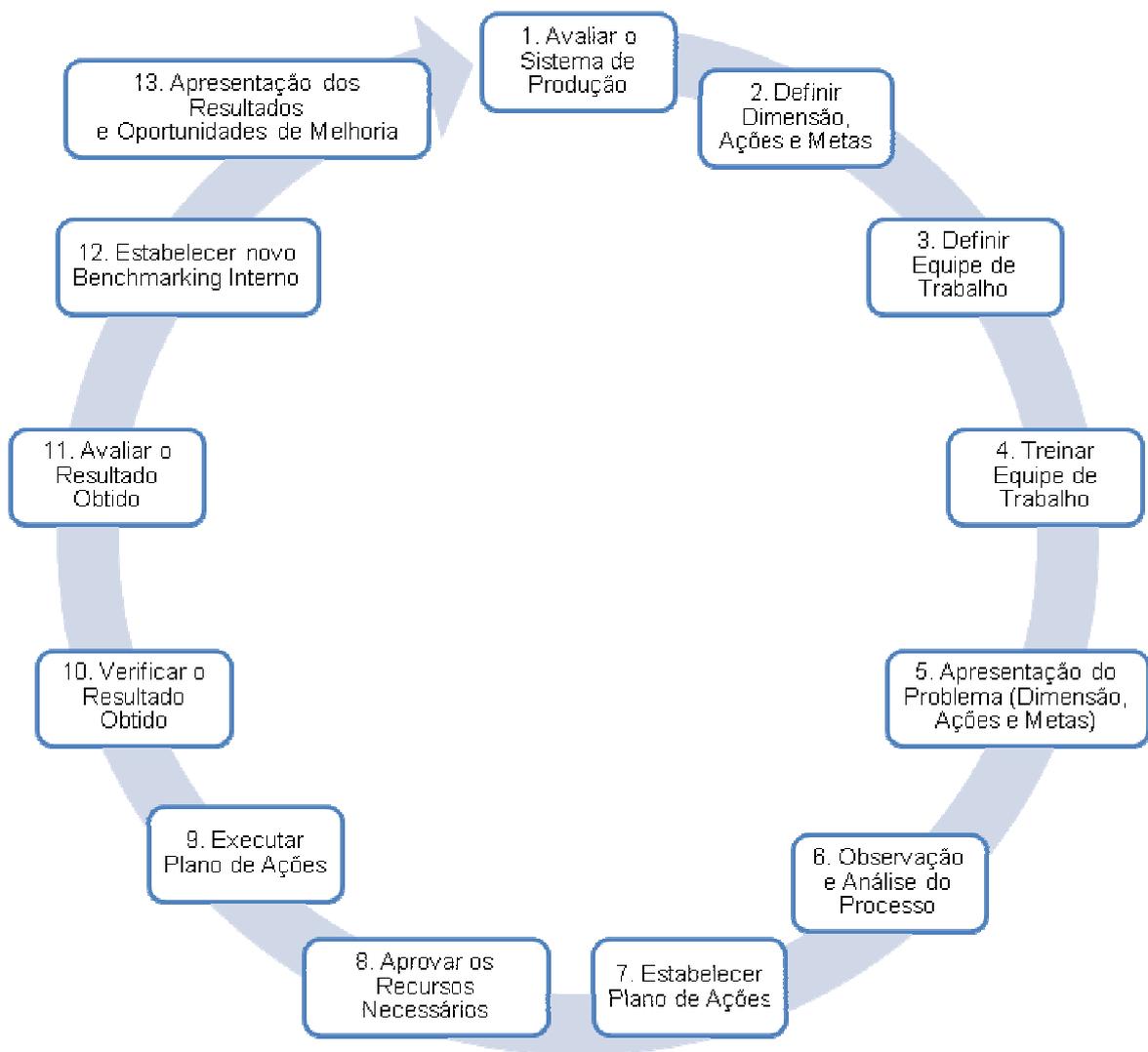


Figura 16 – Diagrama da Sugestão do Método Versão 3

- Passo 1. **Avaliar o Sistema de Produção:** avaliar o desempenho do sistema de produção utilizando o sistema de indicadores da organização e formatando o *benchmarking* interno do sistema, aplicando as leis 1, 2, 3 e 4, apresentando este desempenho na forma gráfica plotando os gráficos TH x WIP e CT x WIP.
- Passo 2. **Definir Dimensão, Ações e Metas:** definir a dimensão competitiva e a(s) ação(ões)-macro conforme o Quadro 15, e qual(is) será(ão) o(s) objetivo(s) (metas) a ser(em) alcançado(s) durante o trabalho.
- Passo 3. **Definir Equipe de Trabalho:** definir a equipe de trabalho para atuar no problema.
- Passo 4. **Treinar Equipe de Trabalho:** treinar a equipe de trabalho nos princípios de *Factory Physics*, focando nas leis conforme indicação para as ações definidas para trabalho e na dimensão competitiva selecionada.

- Passo 5. **Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas):** apresentar o problema a ser resolvido, que foi selecionado pela alta administração, e os objetivos do trabalho.
- Passo 6. **Observação e Análise do Processo:** observar o processo, a partir dos resultados atuais, e realizar uma análise do mesmo para identificar as oportunidades de melhoria, juntamente com a priorização necessária de modo a atender aos objetivos propostos.
- Passo 7. **Estabelecer Plano de Ações:** estabelecer o Plano de Ações, a partir da análise do processo.
- Passo 8. **Aprovar os Recursos Necessários:** aprovar os recursos necessários para execução das ações com a Alta Administração.
- Passo 9. **Executar Plano de Ações:** executar o Plano de Ações, com os recursos aprovados pela Alta Administração.
- Passo 10. **Verificar o Resultado Obtido:** verificar o resultado obtido após a implementação das ações, apontando nos gráficos TH x WIP e CT x WIP os resultados obtidos, e avaliando os indicadores atuais do sistema.
- Passo 11. **Avaliar o Resultado Obtido:** avaliar o resultado obtido frente aos objetivos propostos para a equipe de trabalho.
- Passo 12. **Estabelecer novo *Benchmarking* Interno:** criar e apresentar o novo *Benchmarking* do sistema, a partir dos resultados obtidos, que apresentam o desempenho atual do sistema.
- Passo 13. **Apresentação dos Resultados e Oportunidades de Melhoria:** apresentar os resultados obtidos no trabalho realizado, ações pendentes, ações em andamento e oportunidades para melhoria; após este passo, na próxima rodada poderá ser iniciado o ciclo a partir do Passo 2, pois o sistema já estará avaliado.

Nesta sugestão proposta para o método, assim como na proposta anterior, é possível implementar as melhorias em projetos piloto, avaliando os resultados obtidos dentro do *Benchmarking* interno do sistema, este atuando como um indicador para as melhorias implantadas. O método também possibilita a criação de um modelo de melhoria contínua para o sistema, devido ao seu aspecto cíclico, visto que as ações podem ser implementadas de acordo com as prioridades do sistema, de forma incremental.

A decisão sobre o tamanho e investimento nas mudanças a serem implementadas dependerá da alta administração da empresa, devido aos recursos necessários para a execução das ações. Neste sentido, uma mudança radical, com custo elevado, precisa ter viabilidade econômica para ser aprovada.

Se aplicado na forma de ciclos de melhoria, este método pode ser avaliado a partir de uma analogia com o método PDCA, para avaliar se a sequência das etapas atende à este formato, promovendo, através desta, a melhoria contínua ao aplicar o método proposto neste trabalho. Neste sentido, o Quadro 18 apresenta os passos do método, sugerindo quais etapas pertencem aos passos do Método PDCA, sendo estas atribuídas tanto para a Alta Administração (AA) quanto para a Equipe de Trabalho (ET) envolvidas na resolução do problema do sistema de produção. Além de apresentar a comparação das etapas propostas com o método PDCA, atribuindo papéis para a AA e para a ET no sentido da promoção de melhorias no sistema de produção, o Quadro 18 também apresenta a necessidade de colocar a AA e a ET em sintonia, promovendo uma melhor comunicação entre os dois grupos, e assim contribuir para o comprometimento da AA com o trabalho de melhorias.

PDCA para a Alta Administração	Passo do Método Proposto	PDCA para a Equipe de Trabalho
P	1. Avaliar Sistema de Produção	P
P	2. Definir Dimensão, Ações e Metas	Não Participa
P	3. Definir Equipe de Trabalho	Não Participa
D	4. Treinar Equipe de Trabalho	P
D	5. Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas)	P
Não Participa	6. Observação e Análise do Processo	P
P	7. Estabelecer o Plano de Ações	P
D	8. Aprovar os Recursos Necessários	P
Não Participa	9. Executar Plano de Ações	D
Não Participa	10. Verificar o Resultado Obtido	C
C	11. Avaliar o Resultado Obtido	C
C	12. Estabelecer novo <i>Benchmarking</i> Interno	C
A	13. Apresentação dos Resultados e Oportunidades de Melhoria	A

Quadro 18 – Atribuições da Alta Administração e da Equipe de Trabalho conforme o PDCA

Para que o processo de implementação deste método seja mais objetivo e completo, no Quadro 19 estão apresentadas sugestões iniciais de requisitos complementares para cada um dos Passos do Método Proposto. O objetivo das informações contidas neste Quadro é o de apresentar uma estrutura para implementação do método, observando os recursos necessários e como desenvolver as atividades em cada um dos Passos do método.

Utilizando como referência as informações citadas na Figura 16 e nos Quadros 15, 18 e 19, o método está pronto para ser implementado e assim avaliado em um sistema de produção, conforme apresentado no Método de Trabalho.

Passo	O Quê	Como	Quem
1	Avaliar Sistema de Produção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coletar as informações referentes aos indicadores CT, TH e WIP do sistema; 2. Criar os Gráficos TH x WIP e CT x WIP como <i>Benchmarking</i> inicial do sistema; 3. Coletar as informações referentes aos indicadores do sistema de controle da organização. 	AA e Membro da ET, Consultor Externo ou Líder da Equipe
2	Definir Dimensão, Ações e Metas	Decidir conforme Quadro 15 qual(is) a(s) dimensão(ões) a ser(em) melhorada(s), indicar ações macros e metas para cada uma das dimensões e ações selecionadas.	AA
3	Definir Equipe de Trabalho	Definir quem deverão ser os membros que farão parte da equipe para atuar nos itens selecionados.	AA
4	Treinar Equipe de Trabalho	Seminários e treinamento para apresentar os conceitos e princípios de <i>Factory Physics</i> – nivelamento.	Membro da AA, Consultor Externo ou Líder da Equipe
5	Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas)	Apresentar para a ET a situação atual do sistema de produção e quais são os objetivos a serem atingidos na dimensão selecionada.	Membro da AA, Consultor Externo ou Líder da Equipe
6	Observação e Análise do Processo	Observar o sistema de produção e analisar as possibilidades de melhoria no sentido de atender aos objetivos propostos pela AA. Poderão ser utilizadas técnicas existentes na literatura para executar este trabalho.	ET
7	Estabelecer Plano de Ações	Criar um plano de trabalho estruturado com as metas, os recursos necessários, os prazos para realização e os responsáveis de cada ação.	ET + AA
8	Aprovar os Recursos Necessários	Revisar e aprovar os recursos financeiros necessários para promover as melhorias no sistema, apresentados no plano de ações.	AA
9	Executar Plano de Ações	Cumprir o Plano de Trabalho, utilizando padrão de projetos da empresa.	ET
10	Verificar o resultado obtido com a execução das ações	Incluir nos gráficos criados para a avaliação inicial do sistema de produção o resultado obtido após a implementação das ações, bem como verificar o resultado nos indicadores do sistema de produção.	ET
11	Avaliar o resultado obtido contra os objetivos propostos	Avaliar criticamente os resultados obtidos verificando: <ol style="list-style-type: none"> 1. Resultados Alcançados; 2. Lições aprendidas; 3. Oportunidades de Melhoria; 4. Aspectos Relevantes do sistema. 	ET e Membro da AA
12	Criar e apresentar o novo <i>Benchmarking</i> Interno do sistema de produção	Redesenhar os Gráficos TH x WIP e CT x WIP como novo <i>Benchmarking</i> do sistema.	ET e Membro da AA
13	Apresentação dos Resultados e Oportunidades de Melhoria	Apresentar os resultados e o novo <i>Benchmarking</i> interno do sistema formalmente, de acordo com os itens avaliados no Passo 10; Após a aplicação do método, por já haver informações disponíveis, o mesmo pode ser aplicado a partir do Passo 2, iniciando um novo ciclo de aplicação.	AA e ET

Quadro 19 – Requisitos para os Passos do Método Versão 3

5.12 ETAPA 12 – AVALIAÇÃO DO MÉTODO VERSÃO 3

Para a implementação e conseqüente avaliação do método, foi utilizado um modelo de simulação computacional de um sistema real de produção, previamente existente. Este modelo foi utilizado para estabelecer os parâmetros iniciais do sistema, criando a avaliação inicial e assim o *Benchmarking* Interno, conforme estabelece o Método de Aplicação das leis. Além disso, este modelo foi utilizado como base para criação dos cenários de modo a permitir a avaliação do impacto das ações propostas, nos diferentes Passos deste método.

A linha de produção utilizada neste modelo é formada por diversas operações de fabricação, dentre as quais usinagem, preparação da peça, aplicação de produtos químicos, vulcanização e teste operacional, e sendo este ciclo de fabricação realizado dentro de uma planta de manufatura localizada no Estado do Rio Grande do Sul, não sendo necessárias operações externas à fábrica. O processo de fabricação é composto por uma rede de catorze operações distintas entre si, tanto do ponto de vista das suas características técnicas, quanto de equipamentos necessários e disponibilidade das ferramentas exigidas para cada operação distinta durante o ciclo de fabricação. Além disso, por possuir peças com características diferentes de tamanhos e modelos, e pelo fato de algumas atividades das operações serem manuais (como, por exemplo, a carga e a descarga da peça nos postos de trabalho e a montagem de alguns itens do ferramental necessário), os tempos de operação para cada fase do processo variam tanto em valor característico como em distribuição probabilística. Em relação ao transporte, o processamento ocorre em mais de um prédio da empresa, em setores diferentes, e por se tratarem de itens de grandes dimensões, o transporte é uma parte fundamental no processo produtivo.

Os tempos das peças são registrados nos roteiros de fabricação, tempos estes que são determinados de acordo com as normas de cronoanálise da empresa. O tempo previsto é o elemento referencial utilizado para determinar a capacidade produtiva da planta, de modo a avaliar a viabilidade do plano de produção. Este procedimento é atualmente o utilizado pelo setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP) da empresa. O sistema de dados da empresa dispõe da informação em tempo real do tempo de processamento de cada lote de peças, que fica armazenado no banco de dados, para o controle das Ordens de Produção (OP's) e do nível de WIP. Estes dados são úteis para diversas finalidades, dentre as quais a identificação dos tempos de produção de cada modelo da peça, possibilitando uma análise mais apurada da situação ideal de fabricação de cada lote de peças produzido.

5.12.1 Passo 1 – Avaliar Sistema de Produção

Inicialmente foram coletados os dados no modelo de simulação do sistema, que forneceram os parâmetros necessários para a criação dos gráficos TH x WIP e CT x WIP, que são apresentados no Quadro 20. Estas informações, convertidas em parâmetros conforme a Lei de Little, foram formatadas para representar o *Benchmarking* inicial do sistema, apresentado nos Gráficos da Figura 17.

Parâmetros do Sistema			Dados do Sistema		
Parâmetro	Valor Numérico	Unidade	Variável	Valor Numérico	Unidade
T_0	44,37	Horas	TH	0,76	Peças/hora
r_b	1,20	Peças/hora	CT	433,07	Horas
W_0	53,25	Peças	WIP	330	Peças

Quadro 20 – Dados e Parâmetros Iniciais do Sistema

Dentro do modelo, foram coletados os parâmetros T_0 (Tempo de Processamento da Linha), através da soma simples dos tempos de processamento contidos no roteiro de fabricação do componente expressando seu total em horas, e r_b (Taxa de Produção do Gargalo), transformando o tempo no roteiro de fabricação do componente em taxa horária, ou seja, peças/hora, medido no gargalo da produção. Para obter o valor de W_0 , foram multiplicados os valores de T_0 e r_b conforme apresentado na Equação 3, cujo resultado é expresso em quantidade de peças. Em relação aos dados do sistema, a informação referente ao WIP foi coletada no modelo e corresponde ao nível de WIP do sistema de produção. O valor do CT foi coletado na planilha de resultados do modelo de simulação e o valor de TH foi calculado aplicando os valores de CT e WIP na Equação 4, a Lei de Little.

No caso estudado, o desempenho do sistema está representado por um ponto nos gráficos da Figura 17. Analisando estes gráficos, pode ser percebido que o sistema de produção apresentaria possibilidade de melhorar seu desempenho, visto que em ambos os gráficos o ponto está localizado na região ruim, dada a posição do *Benchmarking* Interno do desempenho nos gráficos “TH x WIP” e “CT x WIP”. Outra conclusão que pode ser extraída do uso destes gráficos na situação atual do sistema é que, qualquer ação para reduzir o nível de inventário, mantendo o mesmo nível de TH, reduzirá o *Lead Time* do processo.

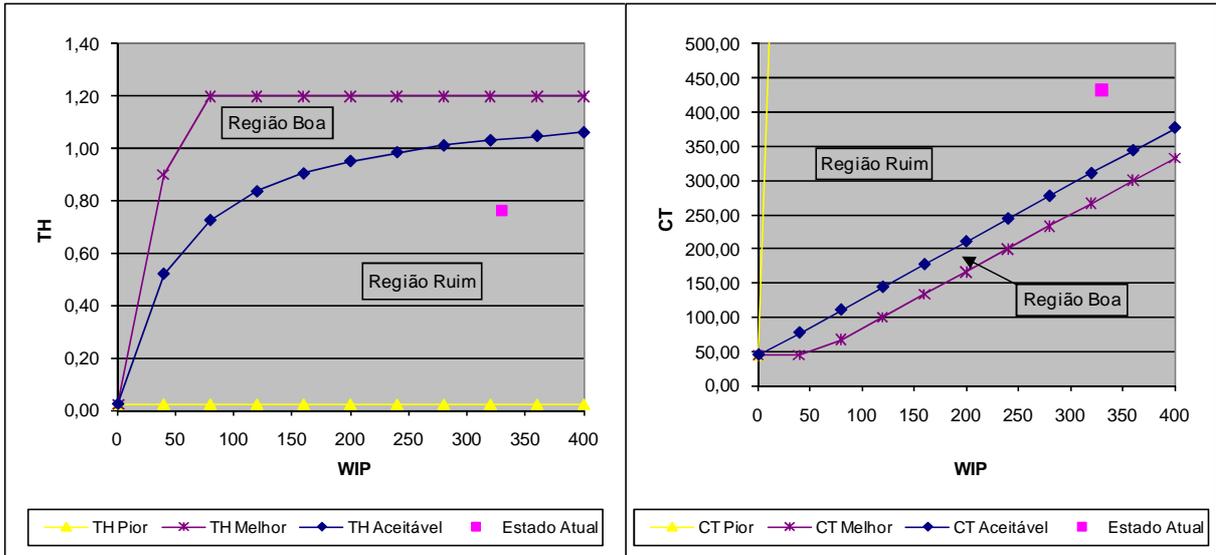


Figura 17 – Gráficos de Benchmarking Interno do Sistema – Estado Atual

A partir das informações apresentadas acima, os gestores podem avaliar e decidir qual deverá ser o plano de ações, a ser definido no passo seguinte. Em função do trabalho de avaliação ser realizado pelo próprio pesquisador que propôs o método, não haverá envolvimento com o corpo gestor da empresa e, também, não será montada uma equipe de trabalho. Os problemas e as supostas soluções, metas e sugestões serão modeladas através de cenários sobre o modelo de simulação atual do sistema, para o teste do artefato gerado conforme um dos critérios de avaliação apresentado no Quadro 4, com a Simulação do artefato.

5.12.2 Passo 2 – Definir Dimensão, Ações e Metas

No contexto de aplicação inicial deste método, sob a simulação do modelo do sistema de produção, esta etapa teve como papel fundamental verificar se é possível, atuando em algumas das ações apresentadas no Quadro 15, melhorar o desempenho do sistema de produção.

Desta forma, para aplicação inicial no modelo foram selecionadas as ações macro de redução do refugo e do retrabalho gerados pelo processo, cuja meta é a redução dos valores nominais dos indicadores em 50%, pois o retrabalho, conforme o indicador atual da empresa, em algumas operações chega a ser perto de 20%, representado no modelo de simulação. Seguindo uma sugestão do próprio método, esta ação será inicialmente selecionada para avaliar o método e observar demais possibilidade de melhorias.

5.12.3 Passo 3 – Definir Equipe de Trabalho

Neste passo não foi necessária a seleção de uma equipe de trabalho, pois o trabalho foi realizado através de simulação computacional pelo pesquisador.

5.12.4 Passo 4 – Treinar Equipe de Trabalho

Neste passo não foi necessário o treinamento da equipe de trabalho, pois o trabalho foi realizado através de simulação computacional pelo pesquisador.

5.12.5 Passo 5 – Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas)

Este passo não foi necessário, pois o trabalho foi realizado através de simulação computacional pelo pesquisador.

5.12.6 Passo 6 – Observação e Análise do Processo

Neste passo foi analisado o estado atual do sistema de produção conforme as operações (OP) do processo de fabricação, a partir do modelo de simulação computacional existente, com o objetivo delimitado no Passo 2. As informações encontradas estão sumarizadas no Quadro 21.

Retrabalho	Valor Atual	Onde	Tempo Operação	Impacto	Motivo
Correção da Camada de Adesivo	5%	OP 70	0,36h	Retorno à OP 60; tempo = 24,68h	Não atendimento aos requisitos mínimos de qualidade
Corte de Novos Corpos de Prova	1%	OP 140	0,32h	Retorno à OP 140; tempo = 0,32h	Novo corte para confirmação do resultado
Reteste de Componente	20%	OP 160	0,83h	Retorno à OP 160; tempo = 0,83h	Não atendimento à eficiência solicitada
Refugo	Valor Atual	Onde	Tempo Operação	Impacto	Motivo
Teste de Componente	2%	OP 160	0,83h	Refugo do componente; tempo = 44,37h	Não atendimento a condições de teste possíveis

Quadro 21 – Observação do Processo quanto à Refugo e Retrabalho

5.12.7 Passo 7 – Estabelecer o Plano de Ações

A partir dos problemas apresentados no Quadro 20, durante uma aplicação real em um sistema de produção, podem ser estabelecidas ações pela equipe de trabalho no sentido de identificar quais as causas dos problemas nas operações indicadas.

Em relação às leis apresentadas no Quadro 15 para resolução dos problemas de refugo e retrabalho, são nomeadas as leis 7, 8, 9 (relacionadas à variabilidade) e 11 (conservação de material) para refugo e 7, 8, 9 (relacionadas à variabilidade), e 19 (retrabalho) para retrabalho. As leis 7, 8 e 9 mencionam a questão da variabilidade, suas proteções e a sua localização. Como tanto o refugo quanto o retrabalho são perturbações ao ciclo de produção, requerendo ações imediatas (quando refugo a reposição e quando retrabalho o processamento pelo mesmo centro de trabalho ou outro procedimento), é natural que o *Lead Time* do processo aumente, pelo incremento da variabilidade nesta linha, como mencionado na lei 19 (do Retrabalho), pela qual o retrabalho aumenta tanto a média quanto o desvio padrão do *Lead Time*. Desta forma, através de ações implementadas diretamente nas operações com estes desvios, objetivando sua redução ou eliminação, sem outra alteração no sistema, o *Lead Time* será reduzido. De modo a priorizar determinadas ações, é importante entender as diferenças dos impactos de onde os desvios ocorrem, conforme a lei 9 (localização da variabilidade), para que sejam priorizadas as ações que podem obter um melhor retorno com o mesmo esforço, dentro do contexto do sistema de produção, por exemplo, uma ação, embora o resultado no *Lead Time* seja menor, poderá ser priorizada em função de custo ou evitar problemas de entrega, em detrimento à outra ação, com percentual maior, porém com menor impacto no custo de produção.

Em função de o método ter sido avaliado com o uso de simulação computacional, o indicador a ser utilizado para delinear as ações em cenários para análise, será o percentual dos problemas (refugo e retrabalho), sem considerar outras variáveis, por não pertencer ao modelo utilizado neste trabalho.

Desta forma, neste passo, os cenários foram estabelecidos de acordo com a seguinte prioridade: (i) maior tempo de processamento; (ii) maior percentual individual; (iii) combinação de todas as metas reunidas. Em relação à operação (OP) 140, esta foi descartada pelo seu valor relativamente baixo (1% em relação às demais). Por fim, devido à facilidade proporcionada pela técnica de simulação computacional, foi sugerido o Cenário 9, com redução total do refugo e do retrabalho. Assim, as ações possíveis e os resultados estimados através do cumprimento de 50% e 100% das metas foram modeladas sob a forma de cenários, para avaliar o impacto destas ações sob o resultado do sistema,

conforme a proposta deste método. O Quadro 22 apresenta os cenários selecionados para avaliar o impacto das ações propostas.

Cenário	Objetivo	Onde?
1	Reduzir 25% Retrabalho	OP 160
2	Reduzir 50% Retrabalho	OP 160
3	Reduzir 25% Refugo	OP 160
4	Reduzir 50% Refugo	OP 160
5	Reduzir 25% Retrabalho	OP 70
6	Reduzir 50% Retrabalho	OP 70
7	Reduzir 25% Refugo e Retrabalho	OP 160, OP 70 e OP 140
8	Reduzir 50% Refugo e Retrabalho	OP 160, OP 70 e OP 140
9	Reduzir 100% Refugo e Retrabalho	OP 160, OP 70 e OP 140

Quadro 22 – Cenários para Execução das Ações

5.12.8 Passo 8 – Aprovar os Recursos Necessários

Neste passo não foram consideradas restrições de recursos para implementação das ações, devido aos dados não serem disponibilizados para este trabalho. Desta forma, serão considerados possíveis de implementação todos os cenários criados.

5.12.9 Passo 9 – Executar o Plano de Ações

Neste passo foram criados os diferentes cenários a partir do modelo de simulação computacional, e foram rodados cada um destes cenários estabelecidos no passo anterior, e foi realizada a coleta de dados dos resultados obtidos, que estão apresentados no Quadro 23.

Cenário	Objetivo	Onde?	CT Antes (h)	CT Depois (h)	Melhoria (%) CT	TH Antes (pç/h)	TH Depois (pç/h)	Melhoria (%) TH
1	Reduzir 25% Retrabalho	OP 160	433,1	406,08	6,2%	0,76	0,81	6,6%
2	Reduzir 50% Retrabalho	OP 160	433,1	385,72	10,9%	0,76	0,86	12,3%
3	Reduzir 25% Refugo	OP 160	433,1	430,93	0,5%	0,76	0,77	0,5%
4	Reduzir 50% Refugo	OP 160	433,1	428,6	1,0%	0,76	0,77	1,0%
5	Reduzir 25% Retrabalho	OP 70	433,1	431,58	0,3%	0,76	0,76	0,3%
6	Reduzir 50% Retrabalho	OP 70	433,1	432,78	0,1%	0,76	0,76	0,1%
7	Reduzir 25% Refugo e Retrabalho	OP 160, OP 70 e OP 140	433,1	405,29	6,4%	0,76	0,81	6,9%
8	Reduzir 50% Refugo e Retrabalho	OP 160, OP 70 e OP 140	433,1	381,49	11,9%	0,76	0,87	13,5%
9	Reduzir 100% Refugo e Retrabalho	OP 160, OP 70 e OP 140	433,1	340,36	21,4%	0,76	0,97	27,2%

Quadro 23 – Resultados dos Cenários Simulados

5.12.10 Passo 10 – Verificar o Resultado Obtido com a Execução das Ações

Neste passo foram incluídos os dados de saída dos cenários simulados 7, 8, e 9 nos gráficos TH x WIP e CT x WIP, apresentados nas Figuras 18 e 19.

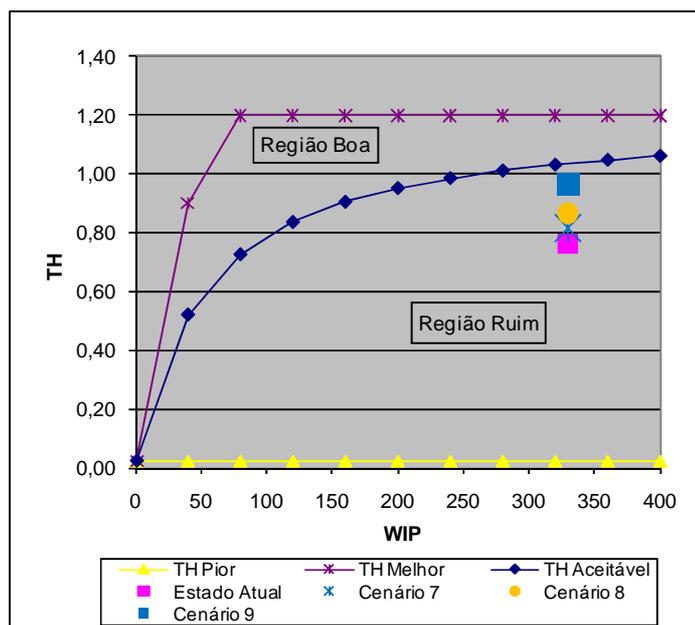


Figura 18 – Resultados dos Cenários Aplicados ao Gráfico TH x WIP

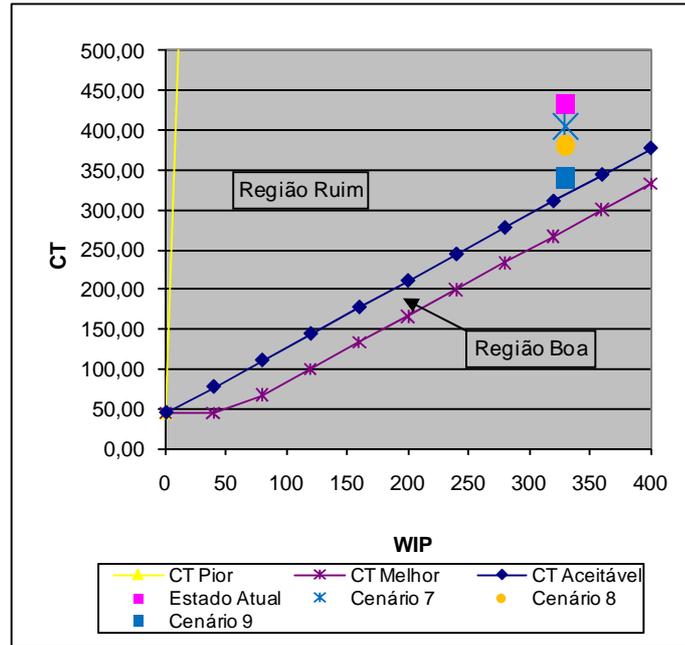


Figura 19 – Resultados dos Cenários Aplicados ao Gráfico CT x WIP

5.12.11 Passo 11 – Avaliar o Resultado em Relação aos Objetivos Propostos

Neste passo foram avaliados os resultados apresentados no Quadro 23 e nos gráficos das Figuras 18 e 19.

Em primeiro lugar, constatou-se que qualquer um dos cenários em que foi proposta a redução do nível de refugo e/ou de retrabalho, foi obtido no modelo simulado um melhor resultado de CT e TH do que o resultado do sistema atual, apresentados visualmente nos gráficos das Figuras 18 e 19. Assim, pode se concluir que, se as ações fossem efetivamente implementadas, o resultado do sistema de produção seria melhor, e estaria representado no *Benchmarking* Interno do sistema, além de reduzir diretamente o valor do próprio indicador do sistema de produção. Para a continuidade da avaliação do método, serão considerados os resultados do Cenário 8, que foram as metas estabelecidas para o trabalho.

A partir desta constatação pode ser confirmada a afirmação de Deming (1990), de que pode ser obtido aumento de produtividade através da melhoria da qualidade, pois, além da redução de custos com o menor índice de retrabalho e de refugos, nenhum parâmetro em relação à capacidade de produção do sistema foi alterado, e, mesmo assim, o *Lead Time* de fabricação foi reduzido (433,07 horas para 381,49 horas, uma redução de 11,9%) e a taxa de produção foi aumentada (0,76 pçs/hora para 0,87 pçs/hora, um incremento de 13,5%).

Em se tratando de uma aplicação através da simulação de cenários, não pode ser resumida uma lista de oportunidades de melhoria neste momento, pois não houve a interação entre uma equipe de trabalho para levantar tais informações. Em relação aos aspectos relevantes do sistema, eles estão intrínsecos ao modelo previamente desenvolvido, de forma a representar o sistema de produção. Outro item mencionado nos requisitos para os passos do método, no Quadro 19, as lições aprendidas são fruto da interação e do trabalho de uma equipe sobre o sistema, e poderão, assim como os outros itens já comentados, se corretamente sistematizados e arquivados, beneficiar um sistema de produção através do aprendizado organizacional. Como uma sugestão para aplicações futuras, estas oportunidades podem ser apresentadas em conjunto com os resultados, e servirem como um “banco de ideias”, para novas implementações de melhorias, aproveitando o conhecimento gerado a partir dos trabalhos como a forma de lições aprendidas.

5.12.12 Passo 12 – Criar e Estabelecer o novo *Benchmarking* Interno do Sistema de Produção

A partir dos resultados obtidos, foi possível estabelecer o novo *Benchmarking* Interno do sistema, apresentado nas informações do Quadro 24 e nos gráficos da Figura 20. Em relação à forma de aplicação do método, ao serem utilizados os resultados de um modelo de simulação neste passo, é importante comentar os resultados de forma imparcial, pois os mesmos mostram que o método, através da aplicação dos princípios de *Factory Physics*, pode demonstrar os resultados sob a forma de um indicador próprio de melhorias. Além disso, o método pode apresentar os resultados através dos indicadores do próprio sistema de produção, mantendo a relação das melhorias dentro do sistema de produção da maneira como os resultados do mesmo são controlados pela alta administração.

Parâmetros do Sistema			Dados do Sistema		
Parâmetro	Valor Numérico	Unidade	Variável	Valor Numérico	Unidade
T_0	44,37	Horas	TH	0,87	Peças/hora
r_b	1,20	Peças/hora	CT	381,49	Horas
W_0	53,25	Peças	WIP	330	Peças

Quadro 24 – Dados e Parâmetros do Sistema após Primeiro Ciclo de Melhorias

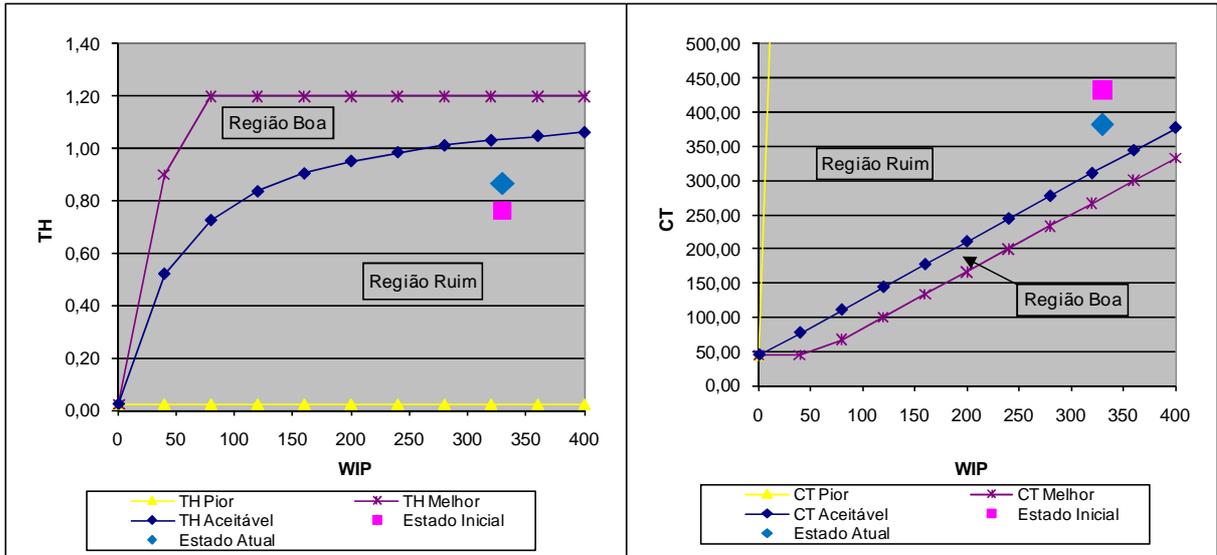


Figura 20 – Benchmarking Interno do Sistema após Primeiro Ciclo de Melhorias

5.12.13 Passo 13 – Apresentação dos Resultados e das Oportunidades de Melhoria

De acordo com o Quadro 17, este passo consiste na apresentação e conseqüente discussão dos resultados avaliados no Passo 10 e, na apresentação do novo *Benchmarking* Interno do sistema. Após este passo, o método pode ser novamente aplicado, a partir do Passo 2, por ter sido criado um referencial, que balizará a decisão da Alta Administração em direção de novas melhorias no sistema de produção. A partir da afirmação do Quadro 17, o método foi novamente aplicado, para observar o funcionamento da natureza do ciclo proposta em relação à esta continuidade.

5.12.14 Passo 2 – Definir Dimensão, Ações e Metas – 2º Ciclo

A partir das informações sobre o desempenho do sistema de produção, foi definida uma nova ação macro para melhorar este sistema. A dimensão a ser melhorada é a velocidade, e a ação-macro será a de reduzir o *Lead Time* do sistema de produção. A meta para esta ação será reduzir em 20% o valor nominal de *Lead Time*, em relação aos resultados obtidos no primeiro ciclo de melhorias.

5.12.15 Passo 3 – Definir Equipe de Trabalho – 2º Ciclo

Neste passo novamente não foi necessária a seleção de uma equipe de trabalho, pois o trabalho foi realizado através de simulação computacional pelo pesquisador.

5.12.16 Passo 4 – Treinar Equipe de Trabalho – 2º Ciclo

Neste passo novamente não foi necessário o treinamento da equipe de trabalho, pois o trabalho foi realizado através de simulação computacional pelo pesquisador.

5.12.17 Passo 5 – Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas) – 2º Ciclo

Este passo novamente não foi necessário, pois o trabalho foi realizado através de simulação computacional pelo pesquisador.

5.12.18 Passo 6 – Observação e Análise do Processo – 2º Ciclo

Neste passo foi analisado o estado do sistema de produção conforme as leis propostas na ação macro, utilizando o modelo de simulação computacional existente, com o objetivo delimitado no Passo 2. Nesta análise, foram consideradas, dentre as leis sugeridas no Quadro 15, quais as que poderiam ou não ser aplicáveis ao sistema modelado, e este sumário está apresentado no Quadro 25.

Dando continuidade à análise, após a eliminação das leis que não seriam aplicáveis ao sistema, foi necessário medir a variabilidade das operações do processo produtivo, para entender qual o nível desta ao sistema de produção. Para tal análise, foram coletadas as informações do processo produtivo referentes ao tempo médio e desvio padrão do processo, que estão sumarizadas no Quadro 26, juntamente com o valor do Coeficiente de Variação (CV) de cada uma das operações, calculado conforme a Equação 13, e com a classificação de variabilidade, conforme o Quadro 5.

Lei	Descrição	Aplicável?	Se não, qual o motivo?
5	Capacidade do Trabalho	Não	Há restrição de equipamentos.
6	CONWIP com Trabalho Flexível	Não	Não há trabalho flexível.
7	Variabilidade	Sim	-
8	Proteção da Variabilidade	Sim	-
9	Localização da Variabilidade	Sim	-
10	Flexibilidade das Proteções	Sim	-
12	Capacidade	Sim	-
13	Utilização	Sim	-
14	Processamento em Lotes	Não	Lote é unitário.
15	Movimentação em Lotes	Não	Lote é unitário.
16	Operações de Montagem	Não	Não há operações de montagem.
17	Definição de <i>Lead Time</i> – Estação	Sim	-
18	Definição de <i>Lead Time</i> – Linha	Sim	-
19	Retrabalho	Sim	-
20	<i>Lead Time</i>	Sim	-

Quadro 25 – Aplicação das Leis da Ação-Macro Proposta ao Sistema de Produção

Uma observação em especial deve ser feita em relação às operações 55, 68 e 75. Estas operações são consideradas “esperas” por tratar-se de tempos de cura química, necessários nestas operações dentro do processo em estudo. Devido ao alto tempo necessário, estas operações requerem uma atenção especial dos programadores de produção, para evitar que o processo seja paralisado por falta de peças com estas operações de cura completas, no momento em que são necessárias.

Operação	Tempo Médio (minutos)	Desvio Padrão (minutos)	CV	Observação	Nível de Variabilidade
10	5,8	4,8	0,83		MV
20	9,2	6,9	0,75		MV
40	15	9	0,60		LV
50	12,3	11,4	0,93		MV
55	60	-	-	Espera	-
60	19	12,9	0,68		LV
68	1440	-	-	Espera	-
70	22	11,7	0,53		LV
75	720	-	-	Espera	-
80	79,6	23,7	0,30		LV
100	19,4	8,7	0,45		LV
120	154	70,5	0,46		LV
130	18,7	14,1	0,75		MV
140	19,3	19,5	1,01		MV
150	17,8	10,5	0,59		LV
160	50	54	1,08		MV
Total (horas)	44,37				

Quadro 26 – Classificação da Variabilidade das Operações do Sistema de Produção

A partir da observação dos tempos individuais das operações e de suas respectivas variabilidades, apresentadas no Quadro 26, foram questionados os motivos da alta variabilidade da última estação, bem como a questão do retrabalho gerado nesta operação. Além disso, o fato do *Lead Time* ser cerca de oito vezes maior do que o tempo de processamento necessário pode ser indicador de um WIP elevado, que é cerca de seis vezes o nível crítico, W_0 , conforme percebido no Quadro 23. De acordo com a lei da Proteção da Variabilidade, este WIP elevado pode ser uma das proteções para a variabilidade do sistema, conforme Hopp e Spearman (2000). Além disso, como o *Lead Time* é a soma de todos os tempos do processo, inclusive o tempo em que as peças permanecem aguardando o processamento (leis 18 e 19), reduzir o nível de WIP poderia reduzir o *Lead Time* do processo.

5.12.19 Passo 7 – Estabelecer o Plano de Ações – 2º Ciclo

Com as informações acima, foi realizado o passo seguinte do processo, para delimitar o plano de Ações, momento em que foram selecionados sete cenários para a simulação no sistema de produção, apresentados no Quadro 27.

Cenário	Objetivo	Onde?
1	Reduzir 50% Retrabalho	OP 160
2	Reduzir 50% Variabilidade	OP 160
3	Reduzir 5% WIP	Processo
4	Reduzir 10% WIP	Processo
5	Reduzir 50% Retrabalho e 50% Variabilidade	OP 160
6	1. Reduzir 50% Retrabalho e 50% Variabilidade; 2. Reduzir 5% WIP.	1. OP 160; 2. Processo
7	1. Reduzir 50% Retrabalho e 50% Variabilidade; 2. Reduzir 10% WIP.	1. OP 160; 2. Processo

Quadro 27 – Cenários para Execução das Ações – 2º Ciclo

5.12.20 Passo 8 – Aprovar os Recursos Necessários

Neste passo, novamente não foram consideradas restrições de recursos para implementação das ações, devido aos dados não serem disponibilizados para este trabalho. Desta forma, serão considerados possíveis de implementação todos os cenários criados.

5.12.21 Passo 9 – Executar o Plano de Ações – 2º Ciclo

Neste passo foram criados e simulados os diferentes cenários estabelecidos no passo anterior, e foi realizada a coleta de dados dos resultados obtidos, que estão apresentados no Quadro 28.

Cenário	Objetivo	Onde?	CT Antes (h)	CT Depois (h)	Melhoria (%) CT	TH Antes (pç/h)	TH Depois (pç/h)	Melhoria (%) TH	WIP (pç)
1	Reduzir 50% Retrabalho	OP 160	381,49	362,47	5,0%	0,87	0,91	5,2%	330
2	Reduzir 10% Variabilidade	OP 160	381,49	360,16	5,6%	0,87	0,92	5,9%	330
3	Reduzir 5% WIP	Processo	381,49	364,27	4,5%	0,87	0,86	-0,4%	314
4	Reduzir 10% WIP	Processo	381,49	348,28	8,7%	0,87	0,85	-1,4%	297
5	Reduzir 50% Retrabalho e 10% Variabilidade	OP 160	381,49	342,48	10,2%	0,87	0,96	11,4%	330
6	Reduzir 50% Retrabalho, 10% Variabilidade e Reduzir 5% WIP	OP 160 e Processo	381,49	330,18	13,4%	0,87	0,95	9,9%	314
7	Reduzir 50% Retrabalho, 10% Variabilidade e Reduzir 10% WIP	OP 160 e Processo	381,49	312,81	18,0%	0,87	0,95	9,8%	297

Quadro 28 – Resultados dos Cenários Simulados – 2º Ciclo

Como, a partir dos cenários simulados não foi possível atingir a meta proposta na definição da ação-macro, aos cenários iniciais foram adicionados quatro cenários adicionais, apresentados no Quadro 29, junto com os resultados encontrados após simulação.

Cenário	Objetivo	Onde?	CT Antes (h)	CT Depois (h)	Melhoria (%) CT	TH Antes (pç/h)	TH Depois (pç/h)	Melhoria (%) TH	WIP (pç)
8	Reduzir 15% WIP	Processo	381,49	330,21	13,4%	0,87	0,85	-1,6%	281
9	Reduzir 20% WIP	Processo	381,49	311,98	18,2%	0,87	0,85	-2,2%	264
10	Reduzir 50% Retrabalho, 10% Variabilidade e 15% WIP	OP 160 e Processo	381,49	298,05	21,9%	0,87	0,94	9,0%	281
11	Reduzir 50% Retrabalho, 10% Variabilidade e 20% WIP	OP 160 e Processo	381,49	281,88	26,1%	0,87	0,94	8,3%	264

Quadro 29 – Cenários Adicionais com Resultados da Simulação – 2º Ciclo

Após a execução dos novos cenários no modelo de simulação, foi possível verificar quais deles poderiam atender à meta estabelecida para este ciclo de melhorias, que foram o cenário 10 e 11, conforme os resultados apresentados no Quadro 28.

5.12.22 Passo 10 – Verificar o Resultado Obtido com a Execução das Ações – 2º Ciclo

Neste passo foram incluídos os dados de saída dos cenários simulados 9, 10 e 11 nos gráficos TH x WIP e CT x WIP, apresentados nas Figuras 21 e 22, para comparar o desempenho encontrado nestes cenários em relação ao desempenho após o Primeiro Ciclo de melhorias. Em relação ao cenário 9, este foi incluído apesar de não atingir o valor da meta, mas ficar próximo, e apresentar uma taxa de produção abaixo da anterior, situação que será discutida durante o Passo de Avaliação seguinte.

5.12.23 Passo 11 – Avaliar o Resultado em Relação aos Objetivos Propostos – 2º Ciclo

Neste passo foram avaliados os resultados apresentados nos Quadros 27 e 28, e nos gráficos das Figuras 21 e 22.

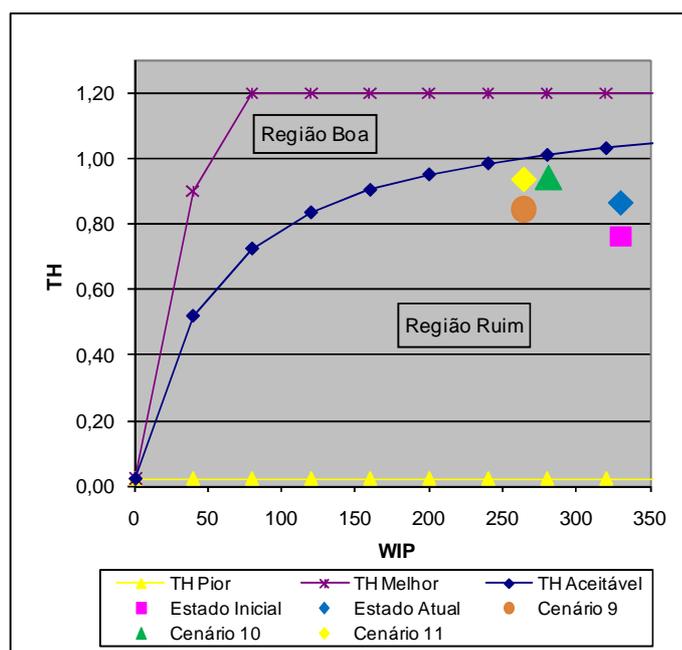


Figura 21 – Resultados dos Cenários Aplicados ao Gráfico TH x WIP – 2º Ciclo

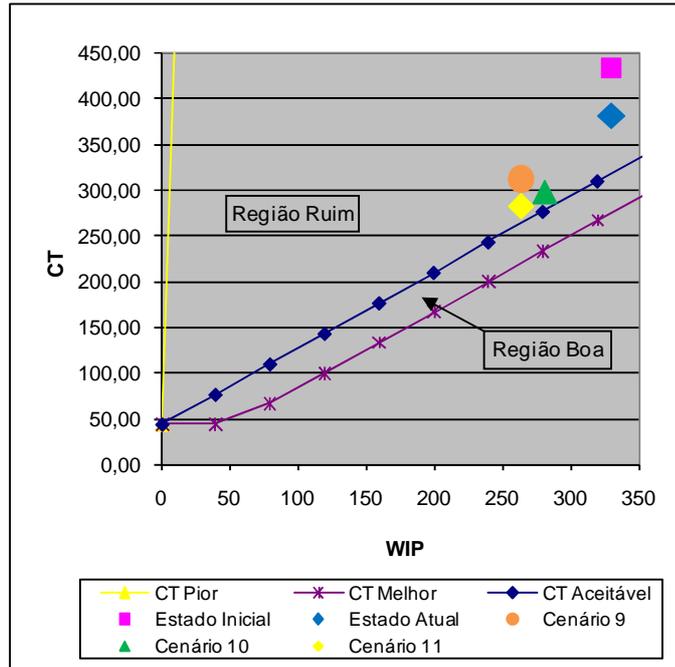


Figura 22 – Resultados dos Cenários Aplicados ao Gráfico CT x WIP – 2º Ciclo

Em relação aos resultados obtidos nos cenários 10 e 11, ambos os planos de ação poderiam superar a meta de redução de *Lead Time* em 20%, inclusive aumentando o valor da Taxa de Produção (TH) em cerca de 9%, como pode ser percebido nos gráficos apresentados nas Figuras 21 e 22. O cenário 9, embora não atinja o objetivo inicialmente proposto, poderia ser uma alternativa interessante, pois demonstra o que aconteceria se somente o nível de WIP fosse reduzido, resultando em um menor *Lead Time* (18%), próximo à meta (20%), mas também reduzindo um pouco o TH, em cerca de 2%, o que poderia ter uma sequência de ações para resolver o problema apresentado, para, após esta redução de TH, aumentar a taxa de produção do sistema com outra ação prevista neste momento, já que com a combinação das três ações propostas (redução de WIP, retrabalho e variabilidade) o resultado pode ser alcançado. Nesta análise, é importante citar que a redução de WIP em 15% (Cenário 8) resultaria no atendimento de 67% da meta, e a redução de WIP em 20% (Cenário 9) resultaria em 91% do valor da meta, servido ao propósito de ação prioritária, sendo que tanto a redução do retrabalho (Cenário 1) quanto a redução de variabilidade (Cenário 2) representariam cerca de 25% da meta cada uma, mas somando a melhoria destas com uma redução de WIP de 10% (Cenário 7), chegariam a 18% de redução de *Lead Time*, ou seja, os mesmos 90% obtidos com a redução de WIP em 20% do valor inicial.

Após esta análise, constatou-se que implementando com sucesso o cenário 10 ou 11, pode se concluir que, o resultado do sistema de produção seria melhor, conforme apresentado nos gráficos das Figuras 21 e 22. Para a continuidade da avaliação do método,

serão considerados os resultados do Cenário 10, que atende às metas estabelecidas para o trabalho neste segundo ciclo de melhorias, e cujos resultados serão apresentados para formar o próximo *Benchmarking* Interno do sistema.

Do mesmo modo que no primeiro ciclo, devido ao trabalho ter sido realizado através da simulação de cenários, não pode ser sumarizada uma lista de oportunidades de melhoria neste momento, pois não houve a interação entre uma equipe de trabalho para levantar tais informações.

5.12.24 Passo 12 – Criar e Estabelecer o Novo *Benchmarking* Interno do Sistema de Produção – 2º Ciclo

A partir dos resultados obtidos com a utilização do Cenário 10 no segundo ciclo de melhorias, foi estabelecido o novo *Benchmarking* Interno do sistema, apresentado nas informações do Quadro 30 e nos gráficos da Figura 23, que foram utilizados para a avaliação do Método de Aplicação das Leis de *Factory Physics*.

Parâmetros do Sistema			Dados do Sistema		
Parâmetro	Valor Numérico	Unidade	Variável	Valor Numérico	Unidade
T_0	44,37	Horas	TH	0,95	Peças/hora
r_b	1,20	Peças/hora	CT	298,05	Horas
W_0	53,25	Peças	WIP	281	Peças

Quadro 30 – Dados e Parâmetros do Sistema após Segundo Ciclo de Melhorias

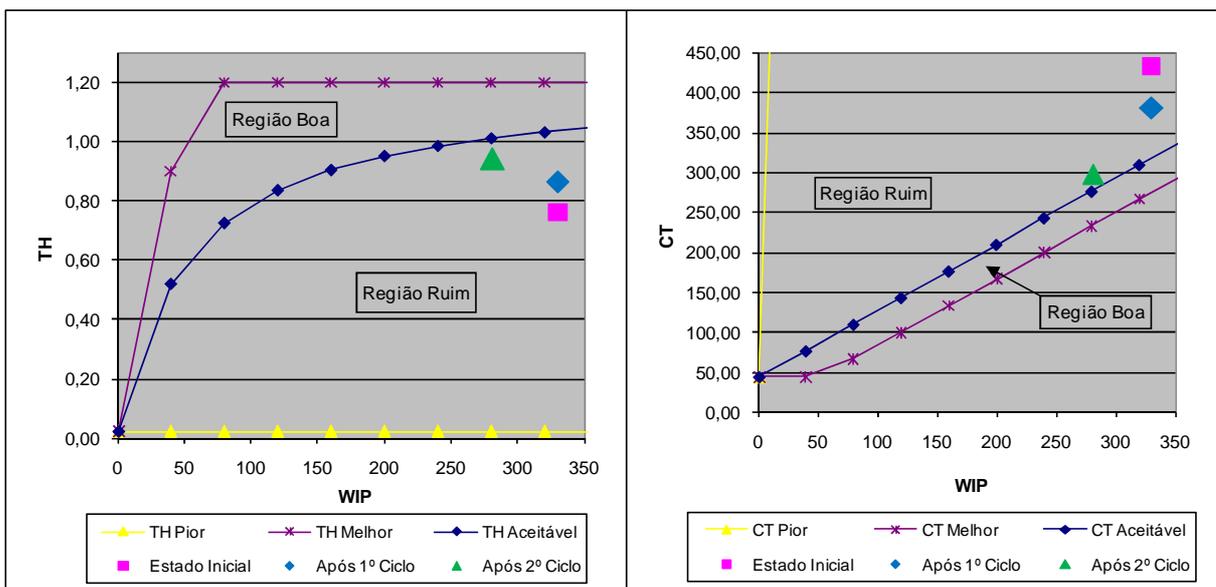


Figura 23 – *Benchmarking* Interno do Sistema após Segundo Ciclo de Melhorias

5.12.25 Passo 13 – Apresentação dos Resultados e das Oportunidades de Melhoria – 2º Ciclo

De acordo com o Quadro 17, este passo consiste na apresentação e conseqüente discussão dos resultados avaliados no Passo 10 e, na apresentação do novo *Benchmarking* Interno do sistema. Após este passo, o método pode ser novamente aplicado, a partir do Passo 2, por ter sido criado um referencial, que balizará a decisão da Alta Administração em direção de novas melhorias no sistema de produção, e ser utilizado de modo cíclico dentro de um sistema de produção, para estabelecer as melhorias aplicando as leis de *Factory Physics*.

5.13 ETAPA 13 – CONCLUSÃO

A partir da etapa anterior, como o funcionamento do artefato foi satisfatório no ambiente simulado, este foi considerado bom o suficiente para o contexto deste trabalho. O objetivo do método, apresentado na seção 5.10 p. 105, foi o seguinte:

apresentar uma estrutura para aplicação das leis de *Factory Physics*, com uma forma de avaliar se as melhorias aplicadas ao sistema de produção podem ser avaliadas em indicadores próprios para estas, mesmo se utilizados os indicadores do sistema de produção(...)

A estrutura desenvolvida, apresentada na Etapa de Desenvolvimento da Versão 3 (seção 5.11), na forma da Figura 15 e dos Quadros 15, 17 e 18, foi aplicada em um modelo de simulação e avaliada conforme o desenvolvimento do Passo 12. Nesta etapa, foram simuladas ações em diferentes cenários no modelo, e quando melhorado algum dos itens conforme as ações propostas nos cenários do modelo, ações estas selecionadas a partir das ações-macro apresentadas no Quadro 15 e, analisadas de acordo as leis de FP, os indicadores do sistema de melhorias apresentavam resultados positivos nos gráficos, e os mesmos poderiam ser controlados também pelos indicadores do sistema, conforme os cenários apresentaram nos Quadros 22, 27 e 28.

Assim, como entregas deste projeto existem os artefatos construídos para resolver a questão delineada na consciência do problema, e o conhecimento gerado após a aplicação do método de DR, explicitado ao longo do Capítulo 5. Além disso, o trabalho entregará um resumo das leis de *Factory Physics* e o Método nos Apêndices 1 e 2, respectivamente.

A análise do trabalho desenvolvido, sob a ótica de DR, será apresentada no Capítulo de Análise e Discussões a seguir.

5.14 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou as etapas do desenvolvimento do Método de Aplicação das Leis de *Factory Physics*, segundo os passos apresentados no Método de Trabalho. A seguir serão apresentadas as análises e discussões provenientes do desenvolvimento deste trabalho.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO

Este capítulo tem por objetivo apresentar uma análise e discutir os resultados do trabalho de pesquisa desta dissertação. Inicialmente é discutida a questão da aplicação da teoria *Factory Physics* para obtenção de melhorias em sistemas de produção. Em seguida, são analisadas questões sobre o método desenvolvido neste trabalho e, por fim, é realizada uma análise crítica acerca da utilização do método *Design Research* em trabalhos de Engenharia de Produção.

6.1 FACTORY PHYSICS PARA MELHORIAS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

O referencial teórico proposto por Hopp e Spearman (2000), denominado *Factory Physics*, tem sido utilizado e citado por diversos autores, como visto nos capítulos 3 e 4, em virtude do modo com que facilita o entendimento de sistemas de produção para implementação de melhorias.

Ao realizar o estudo desse referencial, a linha mestra que os autores utilizam começa a explicar a história da produção, delineando seus acontecimentos, na ordem cronológica. Esta linha do tempo facilita o entendimento de diversos fatos, como, por exemplo, a administração científica, o estabelecimento da produção em massa, a sua transformação para a manufatura enxuta, entre outros acontecimentos e transformações, explicando como foram criados os conceitos que podem sustentar a ciência da produção, conforme sugerem os autores.

Após este breve entendimento da história, que Hopp e Spearman (2000) sugerem ser importante para evitar os mesmos erros do passado, os autores começam a delinear os conceitos da “Física da Fábrica”, em tradução livre do nome de sua teoria. Explicam conceitos, apresentam leis, algumas bastante conhecidas como a Lei de Little (LITTLE, 1961) e outras que podem ser entendidas como comentários, para que se tenha uma compreensão sobre seus efeitos, como são as leis direcionadas às pessoas, que são uma das principais estruturas de uma organização. Finalmente, estas leis são agrupadas para que possam ajudar a resolver os problemas práticos, conforme sugere a terceira parte do livro.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi constatada a facilidade de compreensão de alguns fenômenos dentro da fábrica a partir da aplicação do método no modelo de simulação, com a criação de cenários, conforme apresentado no capítulo anterior. Por exemplo, foi constatado que melhorar a qualidade melhora a produtividade, após o primeiro ciclo de melhorias do método, pois, ao reduzir o índice de retrabalho, o desempenho do sistema aumentava.

A partir do exposto acima, pode ser percebido o efeito danoso do retrabalho sobre o desempenho da linha de produção. Este efeito pode ser explicado da seguinte maneira: se o retrabalho aumenta tanto a média e o desvio padrão do *Lead Time* (lei do retrabalho), a variabilidade dos tempos de processamento aumentam, degradando o desempenho do sistema de produção (lei da variabilidade), exigindo uma proteção devido à presença de variabilidade no sistema (lei da proteção da variabilidade), aumentando o WIP dentro do sistema de produção, que também aumentará o *Lead Time*. Para quem observar somente o nível de WIP dentro do sistema, se considerar o nível elevado, poderá traçar uma meta de reduzir o WIP ao mínimo possível. Bem, se o WIP é proteção para a variabilidade, é provável que ocorra a falta de peças em alguma das estações de trabalho que compõem a linha, possivelmente no gargalo, ou em alguma estação que o alimenta, reduzindo também a taxa de produção do sistema, devido à alta variabilidade. Mas, ao reduzir o WIP, a taxa de produção do sistema poderia aumentar devido à redução do *Lead Time*, conforme a Lei de Little ($WIP = TH \times CT$), desde que não houvesse variabilidade dentro deste sistema.

Assim, é importante entender a diferença que existe entre os dois tipos de variabilidade, a natural e a aleatória. A redução da variabilidade natural de uma estação de trabalho pode ser realizada através da implementação de trabalho padronizado, mas, em algum nível, ela sempre existirá. Reduzir a variabilidade aleatória exige trabalho sobre manutenção, para evitar quebras de máquinas, e tornar o trabalho de reparos mais eficiente. E, de acordo com a amplitude desta variabilidade, baixa, média ou alta, para que aumente o desempenho do sistema, será necessária alguma proteção, na forma de tempo, estoque ou capacidade. Reduzindo a variabilidade, é reduzida a necessidade de proteções, então possibilitando a redução de WIP. Porém, existe um nível mínimo de WIP, sob o qual o sistema terá seu desempenho reduzido: W_0 .

Outra maneira pela qual estas leis podem ajudar a entender e resolver os problemas de sistemas de produção está na forma de apresentar o desempenho do sistema em relação à sua capacidade, através da análise do *Benchmarking* Interno, com o uso das variáveis TH (Taxa de Produção), WIP (nível de estoque em processo) e CT (*Lead Time*), da Lei de Little, construindo os gráficos TH x WIP e CT x WIP, conforme se apresentam as leis do pior desempenho, do melhor desempenho, e a definição do pior desempenho aceitável. Para decidir para onde ir, é necessário saber o ponto de partida e quão difícil será atingir a

meta, necessária tanto para atender ao planejamento estratégico de modo a vencer a concorrência. Para aumentar a velocidade do sistema de produção, uma decisão gerencial pode ser a compra de equipamentos. Pois bem, pode ser possível reduzir a variabilidade, reduzir os custos, aumentando a velocidade simplesmente reduzindo a quantidade de refugo e de retrabalhos gerados na linha. Pode ser aumentado o rendimento do sistema aumentando a flexibilidade dos operadores, onde os mesmos podem ser treinados para serem operadores multifuncionais, reduzindo a necessidade de proteções conforme apresenta o Corolário da Flexibilidade das Proteções.

Dentre as contribuições que FP apresenta, existe a possibilidade de encontrar fundamentos para a intuição sobre o comportamento dos sistemas de produção que, após esta descoberta, pode ser sintetizada para facilitar a compreensão de outras pessoas, e indicar um melhor caminho para a tomada de decisões sobre como melhorar o sistema de produção. Outra contribuição é a possibilidade de quantificar certos efeitos, como a variabilidade, por exemplo, ou estabelecer qual o melhor desempenho possível de ser atingido, contribuição esta chamada por Hopp e Spearman (2000) de precisão.

A partir do trabalho aqui desenvolvido e das afirmações ora apresentadas, pode-se concluir que a teoria contida na Física da Fábrica, proposta por Hopp e Spearman (2000), pode ser muito útil para auxiliar os gerentes de produção a empreender melhorias em seus sistemas, entendendo em princípio quais são as raízes de seus problemas, para, então, agir nos pontos corretos, aumentando a efetividade de suas ações.

6.2 ANÁLISE DO MÉTODO PARA APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE *FACTORY PHYSICS* EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, nesta seção será analisado o método (artefato) desenvolvido nesta dissertação. Para esta atividade, serão utilizadas as sete diretrizes para pesquisa, propostas por Hevner *et al.* (2004) e apresentadas no Quadro 3. Este trabalho procurou seguir estas diretrizes em sua totalidade, dentro do escopo previsto e do horizonte de tempo disponível para este trabalho.

No trabalho foram desenvolvidos diferentes artefatos. Alguns, sob a forma de construtos, são os quadros que, ao longo de seu desenvolvimento, auxiliaram o leitor a alinhar os conceitos de *Factory Physics* (HOPP; SPEARMAN, 2000), Mecanismo da Função Produção (SHINGO, 1996a) e Dimensões Competitivas (SKINNER, 1969; SLACK, 1993), resultando no Quadro 15, que integra as idéias contidas nestas abordagens. Durante este trabalho também foram desenvolvidos três propostas diferentes de métodos, uma inicial,

que foi refinada por duas vezes dentro das etapas previstas para este trabalho, visando sua melhoria. Em sua terceira proposta, este método foi instanciado em um ambiente simulado, para verificar se, avaliado em um ambiente com dados artificiais, poderia estar apto para uma aplicação prática. Por fim, o conhecimento desenvolvido durante este trabalho pode ser considerado “uma nova teoria”, pois, conforme as pesquisas realizadas no início do trabalho, não havia método para aplicar as leis da teoria proposta por Hopp e Spearman (2000), e, a este objetivo, estão entregues junto ao método desenvolvido, a integração de FP, MFP e Dimensões Competitivas, sintetizadas no Quadro 15.

O problema de pesquisa, conforme apresentado neste trabalho, é considerado relevante, pois os gerentes de sistemas de produção buscam melhorias em seus sistemas, que possam ser implementadas rapidamente e que forneçam o resultado esperado. Diversas abordagens técnicas fornecem subsídios neste sentido, mas este método, por representar uma nova proposta para resolução de problemas de sistemas de produção, pode ser considerado uma nova alternativa para resolução destes problemas, de interesse da comunidade de Gerência de Produção.

Em relação à avaliação, os artefatos gerados foram avaliados em três diferentes momentos, sendo nas duas etapas iniciais, sob as formas descritiva e analítica, à base de argumentação e confronto de idéias, por especialistas em produção. Estes especialistas forneceram, através do *feedback* nesta etapa novos conceitos, levando o pesquisador de volta a fase de consciência do problema, abduzindo novas sugestões para tentar resolver o problema proposto. Na terceira e última avaliação, o método foi experimentado através do uso da técnica de simulação computacional, na qual foi possível executar o método e verificar, se em determinados cenários propostos naquele momento, o desempenho do sistema de produção seria melhorado. Junto com esta instanciação do método, foram testados os indicadores propostos no método, formados pelo *Benchmarking* Interno do sistema, utilizando WIP, TH e CT e os gráficos TH x WIP e CT x WIP, para apresentar o que aconteceria no sistema se as melhorias fossem implementadas com sucesso. Embora tenham sido definidas no escopo deste trabalho somente três rodadas para refinamento do artefato, o mesmo poderá ser melhorado se forem executados mais ciclos de DR a partir do trabalho já realizado.

Em relação às contribuições deste trabalho, existem os artefatos gerados e a base de projeto do conhecimento gerado durante o desenvolvimento destes. O método gerado, em seu formato final, está pronto para ser implementado, até que seja refutado, ou não, pela próxima tentativa de avaliação. O objetivo deste artefato, descrito no Capítulo 1, desejava resolver um problema importante e ainda não resolvido, pois, naquele momento, não havia método para aplicação das leis de *Factory Physics* em sistemas de produção.

Nesta pesquisa, o rigor foi considerado desde o início da pesquisa bibliográfica, tanto nos temas sobre *Factory Physics* e suas aplicações já realizadas, quanto sobre as diferentes abordagens técnicas desenvolvidas e acerca da implementação de melhorias em sistemas de produção. No entanto, apesar das três avaliações realizadas com o artefato, e da necessidade de pesquisa sobre materiais e desenvolvimento do método, seriam necessárias mais rodadas, com novas avaliações, tenderão a refinar ainda mais o método, no sentido de simplificá-lo ou enrobustecê-lo para a aplicação em sistemas de produção, conforme a teoria de Popper (1975).

Todo o processo conduzido neste trabalho teve o objetivo de buscar um método para aplicação das leis de FP nos sistemas de produção, analisando as questões que emergiram nas etapas de avaliação para refinar o modelo. A partir do desenvolvimento deste trabalho, o conhecimento gerado foi sendo testado conforme o ciclo de Gerar e Testar, apresentado por Simon (1996) *apud* Hevner *et al.* (2004), na Figura 3. Através do estudo das teorias (conhecimento puro), do desenvolvimento do método (conhecimento puro, aplicado aos artefatos necessários para resolução do problema de pesquisa), e a aplicação do artefato gerado no seu próprio ambiente, fica clara a importância da idéia de Van Aken (2004), que discorre sobre a necessidade de unir conhecimento teórico com aplicações práticas, e dos ganhos que poderão ser obtidos com a integração destes dois campos.

Fundamental para que o processo de DR tenha continuidade, a comunicação da pesquisa deve ser realizada para audiências técnicas, que, no contexto deste trabalho, é a academia, por ser a dissertação de um mestrado acadêmico, e a audiência gerencial, que, dentro do tema deste trabalho, caracteriza-se por ser formada pelos gerentes de sistemas de produção, que poderão aplicar os artefatos gerados em suas organizações. Neste sentido, a comunicação será feita para a academia através da apresentação deste trabalho e na forma de artigos e estudos decorrentes da presente dissertação, e para a audiência gerencial, ficarão os artefatos sob a forma do método para aplicação em seu ambiente. De acordo com Zmud (1997) *apud* Hevner *et al.* (2004), existe a importância de citar qual o conhecimento requerido para a aplicação efetiva do artefato, que neste caso, além do conhecimento do método entregue, deverá ser desenvolvido o conhecimento sobre *Factory Physics* para que, ao aplicar o método, seja possível orientar a Equipe de Trabalho durante a aplicação das leis de FP. Em relação à descrição do artefato, o mesmo está descrito na seção 5.11 deste trabalho, e também é apresentado sucintamente no Apêndice 2. Como indicado anteriormente, as leis, que estão apresentadas na revisão de literatura deste trabalho (seção 3.3.3), estão também, em forma resumida, no Apêndice 1.

Conforme apresentado acima, o método foi desenvolvido considerando os critérios para estudos de DR, propostos por Hevner *et al.* (2004). A seguir serão apresentadas as potencialidades e fragilidades do método.

6.2.1 Potencialidades do Método

De acordo com o desenvolvimento deste trabalho e a apresentação dos resultados frente aos critérios propostos para avaliação de trabalhos em DR, o método apresenta pontos fortes.

Em relação ao embasamento teórico, foram revisados trabalhos sobre *Factory Physics*, abordagens técnicas e sistemas de produção de modo a prover um fundamento completo e detalhado para este trabalho. Com isto, foi possível apresentar tanto o método quanto elementos desenvolvidos para tornar a proposta mais robusta, integrando conceitos do Sistema Toyota de Produção, através do Mecanismo da Função Produção (SHINGO, 1996a) e as Dimensões Competitivas, propostas por Slack (1993) como uma das maneiras de integrar a visão estratégica das organizações com as decisões de produção.

Em relação ao método de trabalho utilizado, o DR apresenta uma estrutura apropriada para a criação de artefatos, que auxiliou, por exemplo, na questão de avaliação dos artefatos devido aos critérios, e a sua natureza orientada para projetos, fornecendo a estruturação do trabalho de pesquisa através dos passos e dos sucessivos refinamentos realizados.

Em relação à forma de aplicação do método, ao serem utilizados os resultados de um modelo de simulação, foi verificado na etapa de avaliação que, através da aplicação dos princípios de *Factory Physics*, o mesmo pode demonstrar os resultados sob a forma de um indicador próprio de melhorias. Além disso, o método permite a apresentação dos resultados através dos indicadores do próprio sistema de produção, mantendo a relação das melhorias dentro do sistema de produção e a maneira como os resultados do mesmo são controlados pela alta administração.

Também, com o uso do método, ideias intuitivas foram confirmadas como, por exemplo, a afirmação de Deming (1990), de que pode ser obtido aumento de produtividade através da melhoria da qualidade. Durante a avaliação do método, no modelo simulado, com a redução do índice de retrabalho e refugos em determinado cenário proposto, e sem alterações nos parâmetros que dizem respeito à capacidade de produção do sistema, o *Lead Time* de fabricação foi reduzido (433,07 horas para 381,49 horas, uma redução de 11,9%) e a taxa de produção foi aumentada (0,76 pçs/hora para 0,87 pçs/hora, um incremento de 13,5%).

A partir destes pontos fortes, o método possui potencial para ser desenvolvido em sistemas de produção, utilizando uma abordagem proposta para melhorar o entendimento de sistemas de produção e, assim, auxiliar a resolver os novos e desafiadores problemas que estes sistemas enfrentam.

6.2.2 Fragilidades do Método

Em função de limitações durante o desenvolvimento deste trabalho, existem alguns pontos que exigirão atenção, se este trabalho for continuado como objeto de pesquisas futuras.

Uma das fragilidades do método pode ser considerada a etapa de avaliação, devido à limitação do número de especialistas consultados em função da disponibilidade de agenda dos especialistas consultados quando foi realizada esta avaliação.

Outro problema com o uso do método pode surgir em função da complexidade dos sistemas de produção, pois atender a diferentes organizações poderá ser uma dificuldade que demandará adaptações ao método, que poderá ser muito simples para atender às demandas desta complexidade inerente aos sistemas de produção. Neste sentido, o trabalho de avaliação para o método envolveria a instanciação do mesmo nestes diferentes cenários, para averiguar se o artefato atenderia às necessidades de cada um destes ambientes que, embora sejam também sistemas de produção, possuem características distintas entre si. Em função da consciência desta complexidade, foram adicionados elementos dentro do método, em uma tentativa para reduzir esta possibilidade, como a adoção dos passos do PDCA para a Alta Administração e Equipe de Trabalho, a inclusão do Passo 8 no método final, no sentido de receber os recursos necessários para a implementação das ações, a serem descritas no plano de ação após a observação e análise do sistema. Porém, entende-se que estes elementos poderão não ser suficientes para resolver esta questão.

Outra fragilidade deste método, a partir da questão apresentada sobre a complexidade dos sistemas de produção, percebida durante a realização do trabalho, é decorrente da não aplicação do mesmo em um sistema de produção real. Em um sistema real, haveria a interação entre as pessoas que executariam as ações, as condições do sistema e da organização, as decisões que poderiam ser tomadas, o horizonte de tempo para implementar as ações, entre outros fatos que ocorrem no mundo real e que, pela natureza da modelagem, não são contemplados em um modelo de simulação.

Apesar da questão aqui apresentada sobre a não aplicação do artefato em um sistema real, a simulação é um método, conforme o Quadro 4, considerado aceitável para avaliação de artefatos em DR, e que a pesquisa sobre este tema não se exaure no âmbito de uma única dissertação. Portanto, novas pesquisas poderão ser conduzidas de modo a refinar o método, reduzindo as fragilidades aqui apresentadas.

6.3 ANÁLISE CRÍTICA DO MÉTODO *DESIGN RESEARCH* COMO MÉTODO DE PESQUISA PARA TRABALHOS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

A criação de um artefato utilizando *Design Research*, envolve basicamente o cumprimento: (i) Das etapas propostas por Vaishnavi e Kuechler (2007); e (ii) Das diretrizes apresentadas por Hevner *et al.* (2004), para garantir tanto a geração de conhecimento quanto a criação de um artefato confiável e efetivo para a solução do problema. Além disso, existe a idéia de Van Aken (2004) de unir, com base nas chamadas *Design Sciences*, a teoria com a prática.

Neste trabalho, o DR auxiliou no desenvolvimento do artefato por se tratar de uma metodologia própria para desenvolvimento de artefatos, visando desde o refinamento do artefato através de sucessivas etapas de avaliação e circunspeção, até concluir o trabalho com a comunicação dos artefatos e do conhecimento desenvolvido. O fato de existir material publicado, embora em língua inglesa, suficiente para compreender o que a técnica requer para trabalho contribuiu para formar o referencial apresentado na seção 2.1. Uma característica forte deste método é que ele sugere técnicas desenvolvidas em outras áreas para avaliar os artefatos, apresentadas no Quadro 4. Assim, DR pode ser entendido como um método estruturado para desenvolvimento de artefatos.

Em seu trabalho, Gruginskie (2008) definiu DR como sendo a construção de um artefato em seu ambiente de aplicação, desenvolvendo e aplicando o artefato gerado em na análise e configuração da central de atendimento do Tribunal Regional da 4ª Região, de acordo com as expectativas de seus usuários. Porém, a autora afirma que este artefato poderá ser estendido para análise de outras centrais de atendimento, que era o objetivo proposto para o artefato. Pohlmann (2009) também utiliza DR para construção de um método, para apoiar a elaboração do posicionamento estratégico de Programas de Pós-Graduação, com base em dinâmica de sistemas.

Entre as limitações de seu trabalho, Pohlmann (2009) destaca que a avaliação dos artefatos e instanciações geradas foi baseada apenas em elementos qualitativos, tais como percepções perpassadas por entrevistas ou a própria análise do pesquisador, enquanto observador. O autor ressalta que essa forma de avaliação, apesar de indicada por Hevner *et al.* (2004), não possui o mesmo poder de geração de artefatos contundentes como provas formais e validações matemáticas. Outro ponto limitante foi a aplicação dos passos propostos em apenas um caso selecionado, a fim de observar como se comportariam os artefatos resultantes do método.

Gruginskie (2008) realizou somente uma rodada para o desenvolvimento de seu trabalho, e apresenta, após trabalhar com a técnica de simulação computacional,

recomendações e pontos de investigação para trabalhos futuros a partir do conhecimento obtido com este método, sugerindo a continuidade de seu trabalho. Pohlmann (2009) também utilizou o método em somente uma rodada, e afirma que o artefato gerado em seu trabalho pode ser conduzido para aplicação em trabalhos futuros. Em função dos resultados encontrados em seus trabalhos, Gruginskie (2008) e Pohlmann (2009) consideraram o método DR adequado para suas pesquisas.

Abaixo estão alguns motivos pelos quais Gruginskie (2008) e Pohlmann (2009) justificaram o uso de DR em seus trabalhos:

- Desenvolvimento de conhecimento a ser usado para resolver problemas;
- O resultado final será a proposição de um método;
- O método permite diversas rodadas de *design*, até concluir a hipótese desejada;
- Permite a utilização de diversos métodos de pesquisa na etapa de tentativa, com o propósito de validação do *design* proposto;
- O método possibilita a geração de aprendizado durante a implementação através de *feedbacks* na construção do *design*, denominados de circunspecção, o que possibilita, na presente pesquisa, gerar conhecimento para refinamento da consciência do problema na construção de um novo *design*;
- O trabalho pode contribuir com a aplicação de um método de pesquisa ainda em expansão, possibilitando a utilização deste método em pesquisas na área de Engenharia de Produção em temas correlatos.

Desta forma, o método *Design Research* pode ser uma alternativa interessante para trabalhos em Engenharia de Produção se o objetivo for desenvolver conhecimento para criar um artefato, testá-lo de forma a avaliar o mesmo, por diversas rodadas até que o resultado atenda aos requisitos necessários, ou seja, o artefato resolve o problema proposto. Além disso, pelo seu aspecto iterativo, permite a abdução de diversas idéias a fim de gerar conhecimento novo.

Um aspecto fundamental para que se reconheça a utilidade de um artefato gerado por este método, é a aplicação dos critérios propostos por Hevner et al. (2004) durante o desenvolvimento do artefato. Estes critérios, em especial o Rigor e a Relevância do Problema, garantirão a correta aplicação de DR para resolver um problema realmente importante e necessário, avaliando com técnicas reconhecidas os artefatos gerados. Os demais critérios providenciarão a estrutura adequada para o desenvolvimento dos artefatos, mantendo o registro dos passos já percorridos, das contribuições da pesquisa e direcionando os esforços para o desenvolvimento de uma ciência cada vez melhor.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentadas as discussões e análises realizadas a partir do desenvolvimento deste trabalho, versando sobre *Factory Physics*, sobre o método proposto e uma análise crítica sobre o uso de *Design Research* em trabalhos de Engenharia de Produção.

O próximo capítulo apresentará as conclusões finais, as limitações para a realização deste trabalho, as recomendações para trabalhos futuros a partir do trabalho desenvolvido e a opinião pessoal do autor após a finalização desta dissertação.

7 CONCLUSÃO

A teoria proposta por Hopp e Spearman (2000), denominada *Factory Physics*, tem sido utilizada em diversos trabalhos e citada por diversos autores em virtude do modo com que facilitam o entendimento de sistemas de produção, que, a partir desta melhor percepção, poderão ser mais bem preparados para os novos desafios, com os quais se deparam todos os dias.

Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo preencher uma lacuna existente na literatura, que até o momento da pesquisa inicial deste trabalho, era a falta de um método para a aplicação das leis de *Factory Physics*. Ao conhecer o tema, o autor da presente pesquisa ficou fascinado com a possibilidade de entender melhor os fenômenos intrínsecos à produção, que, no livro, estavam apresentados de uma maneira ordenada e cronológica. Desse fascínio surgiu a ideia de desenvolver este trabalho, que finaliza neste momento, com a entrega de um Método para Aplicação das Leis de *Factory Physics* em Sistemas de Produção.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi utilizado um método de trabalho baseado em *Design Research*, com três rodadas previstas, e realizadas, de refinamento da consciência do problema. Este método foi definido por Van Aken (2004) como um método para desenvolver conhecimento para projeto e criação de artefatos para a resolução de problemas, ou melhorar o desempenho de entidades existentes de uma nova maneira. Neste sentido, este método foi importante para atingir o objetivo deste trabalho, tendo sido, ao final deste trabalho, analisado criticamente quanto à sua utilização para pesquisas em sistemas de produção.

Dentro do desenvolvimento do método proposto, foram identificadas inicialmente as leis, corolários e definições de FP para a análise de sistemas de produção. Conforme a evolução deste trabalho, outros elementos foram adicionados, como a estrutura do Mecanismo da Função Produção, de modo a fornecer a espinha dorsal da aplicação das leis. Por fim, foram adicionadas as Dimensões Competitivas, com a função de promover a ligação entre a Gerência de Produção e a implementação das melhorias no sistema de produção, mantendo o MFP para priorizar melhorias no sentido da Função Processo ou Função Operação.

No método, foram propostos indicadores específicos para melhorias, baseados na Lei de Little: WIP, TH e CT, que em conjunto com algumas leis, formam o Benchmarking

Interno do sistema de produção, fornecendo a visibilidade sobre o resultado das ações implementadas no sistema.

Por fim, foi utilizado um modelo de simulação computacional para avaliação do método proposto, de modo a atender aos requisitos de avaliação requeridos para garantir o rigor do método de trabalho utilizado.

Uma dificuldade encontrada, tanto para o uso de *Design Research* quanto para pesquisa de *Factory Physics*, foi a escassez de material de pesquisa em língua portuguesa. Assim, pretendeu-se neste trabalho, deixar um referencial sucinto, mas suficiente para auxiliar os leitores para que tenham um bom entendimento destes temas. Além disto, foram apresentados alguns elementos reunindo algumas teorias, que foram utilizados durante o desenvolvimento do artefato gerado, para fins de robustecer o método. Estes elementos, sob a forma de conhecimento, poderão ser úteis para outras situações, ou mesmo para um estudo com mais profundidade em trabalhos futuros no tema desta dissertação.

Após o desenvolvimento deste trabalho, diante da complexidade envolvida para entender e melhorar sistemas de produção, foram entregues artefatos e o conhecimento armazenado durante o desenvolvimento destes, para o início de uma série de estudos visando, com o uso da teoria contida em *Factory Physics*, melhorar cada vez mais o desempenho de sistemas de produção.

7.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Neste trabalho foi desenvolvido e apresentado um Método para Aplicação das Leis de *Factory Physics* em Sistemas de Produção, avaliado conforme os critérios estabelecidos por Hevner *et al.* (2004), utilizando na sua etapa final de avaliação um modelo de simulação computacional de um sistema de produção como objeto de estudo.

Uma limitação deste trabalho foi a avaliação do método, em dois momentos distintos. O primeiro deles, quando foram consultados especialistas para realizar esta atividade na segunda rodada do método, e somente dois estavam disponíveis para a apresentação do método de modo a emitirem seus pareceres. E na última etapa de avaliação, a utilização da técnica de simulação computacional para atender ao prazo estipulado para a conclusão desta dissertação, ainda que sendo um dos objetivos desta dissertação, devido à impossibilidade de aplicar o método em um sistema de produção real, e avaliar esta aplicação sob as condições reais de um sistema de produção, devido à consciência sobre a complexidade de sistemas de produção, para os quais o método poderia ser simplista para atender às suas demandas.

Essas observações objetivam assegurar coerência com o paradigma científico estabelecido por Popper (1975), pelo qual o falseamento de um método ou de suas hipóteses presta-se a apontar novas direções para a melhoria do método e do produto da pesquisa. Apesar da técnica de Simulação ser uma das formas de avaliação permitidas de acordo com Hevner *et al.* (2004), um modelo é sempre uma simplificação da realidade (ACKOFF; SASIENI, 1977; PIDD, 1998a), e, ao aplicar o método na situação real, as contribuições desta implementação para o fortalecimento do método podem ser maiores do que as obtidas com o uso do modelo de simulação.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Conforme comentado anteriormente, houve pontos que não puderam ser explorados por este trabalho. Estes pontos são apresentados brevemente abaixo para ser objeto de pesquisas futuras, a partir do trabalho apresentado aqui.

Uma das recomendações para trabalhos futuros é a aplicação do método em casos reais de sistemas de produção, para que o artefato possa ser refinado em busca de sua validação.

No sentido de ampliar os limites de aplicação do método, o mesmo poderia ser aplicado no contexto do Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos, para avaliar quais benefícios uma organização poderia auferir com o uso das leis neste contexto ampliado.

7.3 UMA PALAVRA PESSOAL

Chegamos ao fim. Por favor, agora, leia devagar. Ler e entender este trabalho já deve ter sido uma tarefa bastante trabalhosa.

Realizar este trabalho foi uma tarefa árdua. Tão árdua quanto desafiadora, por se tratar do aprendizado de conceitos novos, junto a releituras de conceitos já bastante conhecidos, porém agora, lidos com foco diferenciado. Tarefa difícil esta, mas necessária, pois o conhecimento só pode ser desenvolvido com muito trabalho, empenho e dedicação. E todo este conhecimento sozinho, não seria útil se não o pudéssemos aplicar onde de fato trabalhamos, no local onde ganhamos o nosso pão e realizamo-nos profissionalmente, ou seja, nos sistemas de produção. Sistemas estes que produzem os mais diversos itens, que

fazem a nossa vida ser mais confortável, e sob o ponto de vista da Engenharia de Produção, novamente desafiadora.

Não foi fácil realizar um trabalho com esta envergadura, mas me sinto orgulhoso deste feito. Espero que minhas contribuições, escritas acima, ajudem a desenvolver cada vez mais a Engenharia de Produção, em nossas cidades, no nosso Estado, e no nosso País. E a desenvolver nossas cidades, nosso Estado, nosso País.

O nosso Brasil carece de desenvolvimento, não somente tecnológico e econômico, que está acontecendo, que tem sido alardeado na imprensa, e será muito necessário para o nosso futuro, mas este, muitas vezes, só está disponível para aqueles indivíduos que tiveram condições financeiras para se desenvolver. Nosso Brasil carece de desenvolvimento humano e social, para aqueles indivíduos que ainda não tem condições sociais dignas, e os quais eu espero, e pretendo trabalhar muito, para que um dia, muito em breve, as tenham.

E, ao fim deste trabalho, gostaria de deixar um recado para meus colegas, Engenheiros de Produção, ou não. Peço que ajudem a melhorar este País, para que o seu povo, na sua totalidade, um dia, tenha uma condição de vida melhor. Começando agora, este dia chega antes!

Abraço, e muito sucesso!

Guilherme Luiz Cassel

8 REFERÊNCIAS

- ACKOFF, R. L.; SASIENI, M. W. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.
- AL-TAHAT, Mohammad D.; RAWABDEH, Ibrahim A. Stochastic Analysis and Design of CONWIP Controlled Production Systems. **Journal of Manufacturing Technology Management**. Vol. 19, n. 2, p. 258-273, 2008.
- ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para a análise de decisão**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998.
- ANTUNES JR., Junico A. V., ALVAREZ, Roberto, BORTOLOTTTO, Pedro, KLIPPEL, Marcelo, de PELLEGRIN, Ivan. **Sistemas de produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- BANKS, Jerry. **Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice**. Atlanta: John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- BARCO, Clarissa Fullin, VILLELA, Fábio Barbin. Análise dos Sistemas de Programação e Controle da Produção. In: **Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Abepro, 2008.
- BARRETO, Ronaldo Merlo; ANTUNES JR., José Antonio Valle. Ferramenta de Análise Capacidade versus Demanda – um Estudo de Caso. In: **Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Salvador: Abepro, 2009.
- BATALHA *et al.* **Introdução à Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- BORTOLOTTTO FAGUNDES ALVES, Pedro Henrique. **Proposta de um Modelo para Gestão da Cadeia de Suprimentos: um Estudo de Caso em uma Empresa de Alimentos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – UNISINOS, São Leopoldo, 2008.
- BRITO, Francisco Oliveira; DACOL, Silvana. A Manufatura Enxuta e a Metodologia Seis Sigma em uma Indústria de Alimentos. In: **Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Abepro, 2008.
- CASSEL, Guilherme Luiz. **A Aplicação de Simulação-Otimização para Definição do Mix Ótimo de Produção de uma Empresa Metal-Mecânica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica) – UNISINOS, São Leopoldo, 2007.

CASSEL, Guilherme Luiz; POHLMANN, Christopher Rosa. A aplicação das leis contidas na teoria de *Factory Physics* utilizando como eixo de análise o mecanismo da função produção do sistema toyota de produção: uma breve discussão. In: **Anais do XVI SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção**. Bauru, 2009.

CASSEL, Guilherme Luiz; VACCARO, Guilherme Luís Roehe. A Aplicação de Simulação-Otimização para Definição do Mix Ótimo de Produção de uma Indústria Metal-Mecânica. In: **Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Foz do Iguaçu: Abepro, 2007.

CECILIANO, Wellington R. A. **Aplicação de um Método de Simulação-Otimização na Cadeia Produtiva de Minérios de Ferro**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CONCEIÇÃO, Samuel Vieira. Otimização do Fluxo de Materiais através da Manufatura Celular. **Revista Produção**. Vol. 15, n. 2, p. 235-250, mai/ago. 2005.

CONCEIÇÃO, Samuel Vieira; RODRIGUES, Iana Araújo; AZEVEDO, Andressa Amaral; ALMEIDA, João Flávio; FERREIRA, Fabrício; MORAIS, Adriano. Desenvolvimento e Implementação de uma Metodologia para Troca Rápida de Ferramentas em Ambientes de Manufatura Contratada. **Gestão & Produção**. Vol. 16, n. 3, p. 357-369, jul./set. 2009.

COUSENS, Alan; SZWEJCZEWSKIAND, Marek; SWEENEY, Mike. A Process for Managing Manufacturing Flexibility. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 29, n. 4, p. 357-385, 2009.

DEMING, William Edwards. **Qualidade: A Revolução da Administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

DICENA FILHO, Rafael; NASCIMENTO, Tiago Luiz do; BALBINO, Gabriel Fassina. Implantação da Manufatura Enxuta – O Caso Trafo. In: **Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Abepro, 2008.

DOMASCHKE, Joerg, BROWN, Steven, ROBINSON, Jennifer, LEIBL, Franz. Effective Implementation of Cycle Time Reduction Strategies for Semiconductor Back-End Manufacturing. In: **Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference**. Washington DC, p. 985-992, 1998.

DUANMU, Jun, TAAFE, Kevin. Measuring Manufacturing Throuput Using Takt-Time Analysis and Simulation. In: **Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference**. Miami, p. 1633-1640, 2007.

EISENHARDT, Kathleen M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**. Vol. 24, n. 4, p. 532-550, 1989.

FEIGENBAUM, Armand V. **Controle da Qualidade Total**. São Paulo: Makron, 1994.

FORD, Henry. **Hoje e amanhã**. 1. ed. São Paulo: Nacional, 1927.

FORRESTER, Jay W. **Industrial Dynamics**. Cambridge, MA: MIT Press, 1962.

FORRESTER, Jay W. System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. **System Dynamics Review**. Vol. 10, n. 2-3, p. 245-256, 1994.

FORRESTER, Jay W. System Dynamics – a Personal View of the First Fifty Years. **System Dynamics Review**. Vol. 23, n. 2-3, p. 345-358, 2007a.

FORRESTER, Jay W. System Dynamics – the Next Fifty Years. **System Dynamics Review**. Vol. 23, n. 2-3, p. 359-370, 2007b.

GODINHO FILHO, Moacir. O Impacto da Variável Tamanho do Lote no Efeito da Implantação de Programas de Melhoria Contínua no Lead Time: Estudo Utilizando-se uma Abordagem Híbrida *System Dynamics – Factory Physics*. In: **Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Abepro, 2008.

GODINHO FILHO, Moacir; UZSOY, Reha. Efeito da Redução do Tamanho de Lote e de Programas de Melhoria Contínua no Estoque em Processo (WIP) e na Utilização: estudo utilizando uma abordagem híbrida *System Dynamics – Factory Physics*. **Revista Produção**. Vol. 19, n. 1, p. 214-229, jan/abr. 2009.

GOLDRATT, Eliyahu. **A Meta: um Processo de Aprimoramento Contínuo**. São Paulo: Instituto IMAM, 1992.

GOLDRATT, Eliyahu; COX, Jeff. **A Meta: um Processo de Melhoria Contínua**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Nobel, 2004.

GOLDRATT, Eliyahu M.; FOX, Robert E. **A Corrida pela Vantagem Competitiva**. São Paulo: Educator, 1989.

GOLDRATT, Eliyahu. **A Meta na Prática: livro de exercícios da TOC**. São Paulo: Ed. Nobel, 2006.

GRANGER, Julien; KRISHNAMURTHY, Ananth; ROBINSON, Stephen. M. Approximation and Optimization for Stochastic Networks. In: **Dynamic Stochastic Optimization**. Berlin, p. 67-79, Mar. 2002.

GRUGINSKIE, Lúcia Adriana dos Santos. **Proposta de Método para Configuração e Análise de Capacidade de Centrais de Atendimento Presenciais: uma Abordagem via Design Research**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – UNISINOS, São Leopoldo, 2008.

GUNN, Bruce, NAHAVANDI, Saied. Determining the Optimum Level of Work in Progress Using Constraint Analysis and Computer Simulation. **Assembly Automation**. Vol. 20, n. 4, p. 305-312, 2000.

HEVNER, A.R., MARCH, S. T., PARK, J., RAM, S. Design Science in Information Systems Research. **Management Information Systems Quarterly**. Vol. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1988.

HINO, Satoshi. **O Pensamento Toyota: princípios de gestão para um crescimento duradouro**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HOPP, Wallace J., SPEARMAN, Mark L. **Factory Physics: foundations of Manufacturing Management**. 2nd ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

JURAN, Joseph M. **Juran Planejando para a Qualidade**. 2^a ed. São Paulo: Ed. Pioneira, 1992.

KENDALL, Gerald I. **Visão Viável: transformando o Faturamento em Lucro Líquido**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2002.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2008.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

LIAN, Yang-Hua, Van LANDEGHEN, Hendrik. **An Application of Simulation and Value Stream Mapping in Lean Manufacturing**. Proceedings 14th European Simulation Symposium, 2002. Disponível em <http://www.scs-europe.net/services/ess2002/PDF/log-11.pdf> Acesso em Março, 2009.

LIKER, Jeffrey K. **Becoming Lean: inside stories of U.S. manufacturers**. Oregon: Productivity, 1998.

LIKER, Jeffrey K. **O Modelo Toyota: 14 Princípios do Maior Fabricante do Mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIKER, Jeffrey K.; MEYER, David P. **O Modelo Toyota: Manual de Aplicação – um Guia Prático para a Implementação dos 4 P's da Toyota**. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LIKER, Jeffrey K.; MEYER, David P. **O Talento Toyota: o Modelo Toyota Aplicado ao Desenvolvimento de Pessoas**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

LIKER, Jeffrey K.; HOSEUS, Michael. **A Cultura Toyota: a Alma do Modelo Toyota**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LITTLE, JOHN D. C. A Proof for the Queueing Formula: $L=\lambda W$. **Operations Research**. Vol. 9, n. 3, p. 383-387, 1961.

MACHADO, André Gustavo Carvalho; MORAES, Walter Fernando Araújo de. Estratégias de Customização em Massa Implementadas por Empresas Brasileiras. **Revista Produção**. Vol. 18, n. 1, p. 170-183, jan/abr. 2008.

MANSON, N. J. Is Operations Research Really Research? **ORION**. Vol. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.

MARCELINO, Henrique dos Prazeres; WEISS, James Manoel Guimarães. Melhoria de Processos por Meio do Mapeamento do Fluxo de Valor: Estudo de Caso. In: **Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Salvador: Abepro, 2009.

MARTINS, Jônatas Campos. **Sistema de Indicadores de Desempenho Industrial: Proposta de Alinhamento entre as Dimensões Competitivas da Estratégia de Produção e Sistemas de Produção**, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – UNISINOS, São Leopoldo, 2009.

MESQUITA, Marco Aurélio, GOLDEMBERG, Diana. Simulação em Planilhas de Linhas de Produção Puxada. In: **Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Fortaleza: Abepro, 2006.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: IMAM, 1984.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, c2004.

MOREIRA, Gabriela; LACERDA, Daniel Pacheco; DIEHL de DEUS, André. Planejamento por Cenários e Pensamento Sistêmico: Proposta de um Método Sistemático Visando a Tomada de Decisões Estratégicas. In: **Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Salvador: Abepro, 2009.

MORITO, Susumu; KOIDA, Jun; IWAMA, Tsukasa; SATO, Masanori; TAMURA, Yosiaki. Simulation-Based Constraint Generation with Applications to Optimization of Logistic System Design. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, v. 1, Phoenix, p. 531-536. Dec. 1999.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

OSONO, Emi; SHIMIZU, Norihiko; TAKEUCHI, Hirotaka; DORTON, John Kyle. **Relatório Toyota: contradições responsáveis pelo sucesso da maior montadora do mundo**. São Paulo: Ediouro, 2008.

PAÇO, Tatiany da Rocha. **Avaliação do Uso de Simulação como Ferramenta Complementar no Desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor Futuro**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – UFSCar, São Carlos, 2006.

PIDD, Michael. **Modelagem Empresarial: Ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998a.

PIDD, Michael. **Computer Simulation in Management Science**. London: John Wiley & Sons, Inc, 1998b.

POPPER, Karl S. **A Lógica da Pesquisa Científica**. São Paulo: Cultrix, 1975.

POHLMANN, Christopher Rosa. **Proposição de um Método para Apoiar a Elaboração do Posicionamento Estratégico de Programas de Pós-Graduação Baseado na Dinâmica de Sistemas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – UNISINOS, São Leopoldo, 2009.

ROTHER, M; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Reduzir Desperdício**. São Paulo: *Lean Institute* Brasil, 1999.

RUST, Kristin. Using Little's Law to Estimate Cycle Time and Cost. In: **Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference**. Miami, FL, p. 2223-2228, 2008.

SENGE, Peter M. **A Quinta Disciplina: Arte, Teoria e Prática da Organização de Aprendizagem**. São Paulo: Editora Best Seller, 1990.

SERRA, Claudio Mauro Vieira; NOGUEIRA, Juliana Ramos; CARNEIRO, Sara Solange Parga; LAGUNA, Theo Affonso. Aplicação da Ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor no Processo de Fabricação do Produto Painel de Madeira em uma Empresa Madeireira de Médio Porte Localizada na Região Metropolitana de Belém. In: **Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Abepro, 2008.

SHIBA, Shoji; GRAHAM, Alan; WALDEN, David. **TQM: Quatro Revoluções na Gestão da Qualidade**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção: do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996a.

SHINGO, Shigeo. **Sistemas de Produção com Estoque Zero: o Sistema Shingo para Melhorias Contínuas**. Porto Alegre: Bookman, 1996b.

SHOEMIG, Alexander. On the Corrupting Influence of Variability in Semiconductor Manufacturing. In: **Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference**. Phoenix, p. 837-842, 1999.

SILVA, Glauco G. M. P; TUBINO, Dalvio Ferrari; ANDRADE, Gilberto José Pereira Onofre de; SILVA, Adolfo Furtado da; SEIBEL, Silene. Benchmarking Enxuto: uma Análise das Aplicações do Método de Diagnóstico da Manufatura Enxuta. In: **Anais do XV SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção**. Bauru, 2008.

SILVA, Glauco G. M. P; TUBINO, Dalvio Ferrari; ANDRADE, Gilberto José Pereira Onofre de; GOMES, Sílvia Maria; OLIVEIRA, Rita de Cássia. Implantando a Manufatura Enxuta: um Método Estruturado. In: **Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Salvador: Abepro, 2009.

SIMON, Herbert A. Prediction and Prescription in Systems Modeling. **Operations Research**. Vol. 38, n. 1, p. 7-14, jan-fev/1990.

SKINNER, Wickham. Manufacturing – Missing Link in Corporate Strategy. **Harvard Business Review**. Vol. 156, p. 136-145, mai-jun/1969.

SKINNER, Wickham. What Matters in Manufacturing. **Harvard Business Review**. p. 10-16, jan-fev/1988.

SLACK, Nigel. **Vantagem Competitiva em Manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais**. São Paulo: Editora Atlas, 1993.

SLACK, Nigel. The Flexibility of Manufacturing Systems. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 25, n. 12, p. 1190-1200, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

SOUZA, Fernando Bernardi, RENTES, Antonio Freitas, AGOSTINHO, Oswaldo Luiz. A Interdependência entre Sistemas de Controle de produção e Critérios de Alocação de Capacidades. **Gestão & Produção**. Vol. 9, n. 2, p. 215-234, ago/2002.

STANDRIDGE, Charles R. How Factory Physics Helps Simulation. In: **Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference**. Chicago, 2004.

STANDRIDGE, Charles R., MARVEL, Jon. H. Why Lean Needs Simulation. In: **Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference**. Monterey, p. 1907-1913, 2006.

STERMAN, John. D. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. Nova York: McGraw-Hill, 2000.

TAYLOR, Frederick W. **Princípios de Administração Científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

TOWILL, Dennis R. Fadotomy – Anatomy of the Transformation of a Fad into a Management Paradigm. **Journal of Management History**. Vol. 12, n. 3, p. 319-338, 2006.

TUBINO, Dalvio Ferrari; SILVA, Glauco G. M. P; ANDRADE, Gilberto José Pereira Onofre de; HORNBERG, Sigfrid; OLIVEIRA, Luciano Marcelo de. Benchmarking Enxuto: um Método de Auxílio à Implantação da Manufatura Enxuta. In: **Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro: Abepro, 2008.

VAISHNAVI, V., KUECHLER, W. **Design Research in Information Systems. 2007** Disponível em < <http://home.aisnet.org> > Acesso em Mar/2009.

Van AKEN, Joan E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**. Vol. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.

VAUGHAN, Timothy S. In Search of the Memoryless Property. In: **Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference**. Miami, FL, p. 2572-2576, 2008.

WINSTON, Wayne L. **Operations Research: applications and algorithms**. 3rd ed. Belmont: Duxbury, 1994.

WOMACK, James P., JONES, Daniel T., ROOS, T. **A Máquina que Mudou o Mundo**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1992.

WOMACK, James P., JONES, Daniel T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1998.

WU, Kan, MCGINNIS, Leon, ZWART, Bert. Queueing Models for Single Machine Mang Systems wih Interruptions. In: **Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference**. Miami, FL, p. 2083-2092, 2008.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 2^a ed. Porto Alegre. Bookman, 2001.

APÊNDICE 1 – RESUMO DAS LEIS DE *FACTORY PHYSICS*

1	<p>Lei de Little (<i>Little's Law</i>): esta lei foi formulada por John D. C. Little em 1961 e revela um relacionamento entre as variáveis: (i) Estoque em Processo (WIP); (ii) <i>Lead Time</i> (CT); e (iii) Taxa de Produção (TH), através da equação (4):</p> <p>A Lei de Little é representada por:</p> $WIP = TH \times CT \quad (4)$
2	<p>Lei do Melhor Desempenho (<i>Best-Case Performance</i>): a partir da Lei de Little, em casos em que não existe variabilidade em sistemas produtivos, o que seria o caso de linhas de produção perfeitas, apresentariam o caso de máxima Taxa de Produção e mínimo <i>Lead Time</i> que são apresentadas nas equações (5) e (6):</p> <p>O mínimo <i>Lead Time</i> para um dado nível de WIP “w” é dado por:</p> $CT_{best} = \begin{cases} T_0 & \text{se } w \leq W_0 \\ \frac{w}{r_b} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (5)$ <p>A máxima Taxa de Produção para um dado nível de WIP “w” é dada por:</p> $TH_{best} = \begin{cases} \frac{w}{T_0} & \text{se } w \leq W_0 \\ r_b & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$
3	<p>Lei do Pior Desempenho (<i>Worst-Case Performance</i>): em vez de apresentar o comportamento no melhor caso, Hopp e Spearman (2000) consideram também o pior caso, procurando pelo máximo <i>Lead Time</i> e a mínima Taxa de Produção de uma linha, através das equações (7) e (8):</p> <p>O máximo <i>Lead Time</i> para um dado nível de WIP “w” é dado por:</p> $CT_{worst} = w \times T_0 \quad (7)$ <p>A mínima Taxa de Produção para um dado nível de WIP “w” é dada por:</p> $TH_{worst} = \begin{cases} \frac{1}{T_0} \end{cases} \quad (8)$
4	<p>Definição do Pior Desempenho Aceitável (<i>Practical Worst-Case Performance</i>): Hopp e Spearman (2000) afirmam que virtualmente não existe a condição de melhor caso e nem de pior caso (<i>Best-Case e Worst-Case</i>). Além disso, os autores acreditam que possuir o pior caso como referência para melhoria não seria adequado como meta. Portanto, foi estabelecido o “Pior Desempenho Aceitável” (<i>Practical Worst-Case Performance – PWC</i>) como uma referência de melhoria nos sistemas produtivos, cujas expressões são apresentadas nas equações (9) e (10):</p> <p>O <i>Lead Time</i> para o Pior Desempenho Aceitável (PWC) de um dado nível de WIP “w” é dado por:</p> $CT_{PWC} = T_0 + \frac{w-1}{r_b} \quad (9)$ <p>A Taxa de Produção para o PWC de um dado nível de WIP “w” é dada por:</p> $TH_{PWC} = \frac{w}{W_0 + w - 1} r_b \quad (10)$

5	<p>Lei da Capacidade do Trabalho (<i>Labor Capacity</i>): em casos onde não existe restrição da quantidade de equipamentos, mas sim da quantidade de operadores aptos ao trabalho, desde que um operador não execute mais de uma tarefa simultaneamente, Hopp e Spearman (2000) apresentam esta lei expressa conforme a equação (11):</p> <p>A máxima Taxa de Produção de uma linha suprida por “n” operadores capacitados com Taxas de Trabalho (rendimento) idênticas é dada por:</p> $TH_{\max} = \frac{n}{T_0} \quad (11)$
6	<p>Lei de CONWIP com Trabalho Flexível (<i>CONWIP with Flexible Labor</i>): em uma linha CONWIP com “n” trabalhadores idênticos e “w” trabalhos, onde “w ≥ n”, qualquer política que não permita deixar trabalhadores ociosos quando existem trabalhos disponíveis atingirá uma Taxa de Produção (TH) dada pela equação (12), onde TH_{CW}(x) representa a Taxa de Produção (TH) de uma linha CONWIP com todas as máquinas ocupadas pelos trabalhadores e com “x” trabalhos no sistema.</p> <p>A máxima Taxa de Produção de uma linha suprida por “n” operadores e “w” trabalhos em uma linha CONWIP é dada por:</p> $TH_{CW}(n) \leq TH(w) \leq TH_{CW}(w) \quad (12)$
7	<p>Lei da Variabilidade (<i>Variability</i>): aumentar a variabilidade sempre reduz a performance de um sistema de produção.</p>
8	<p>Lei da Proteção da Variabilidade (<i>Variability Buffering</i>): a variabilidade em um sistema de produção será protegida por alguma combinação de: (i) Inventário; (ii) Capacidade; (iii) Tempo.</p>
9	<p>Corolário da Localização da Variabilidade (<i>Variability Placement</i>): em uma linha de produção onde as liberações de material são independentes das finalizações, a variabilidade no início do fluxo de produção aumenta o <i>Lead Time</i> mais do que a mesma taxa de variabilidade no final do fluxo produtivo.</p>
10	<p>Corolário da Flexibilidade das Proteções (<i>Buffer Flexibility</i>): a flexibilidade reduz a quantidade das proteções de variabilidade necessárias em um sistema de produção.</p>
11	<p>Lei da Conservação de Material (<i>Conservation of Material</i>): em um sistema estável, ao longo do tempo, a taxa de saída do sistema será igual à taxa de entrada, menos as perdas por defeitos (<i>yield losses</i>), mais as peças em produção (<i>parts production</i>) dentro do sistema, apresentada na equação (14).</p> <p>A Lei de Conservação de Material pode ser representada por:</p> $\text{Taxa de Saída} = (\text{Taxa de Entrada} - \text{Perdas por Defeitos}) + (\text{Peças em Produção}) \quad (14)$
12	<p>Lei da Capacidade (<i>Capacity Law</i>): em um sistema estável, todas as plantas liberarão trabalhos em uma taxa média ligeiramente menor do que a média da capacidade produtiva.</p>
13	<p>Lei da Utilização (<i>Utilization</i>): se uma estação de trabalho aumenta a utilização sem fazer outra alteração no sistema, a média do WIP e do CT aumentarão de uma maneira fortemente não-linear (ou exponencial).</p> <p>A utilização de uma estação de trabalho “i” é representada por:</p> $u(i) = \frac{TH(i)}{r_e(i)} = \frac{r_a}{r_e(i)} \quad (15)$
14	<p>Lei do Processamento em Lotes (<i>Process Batching</i>): em estações de trabalho com processamento em lotes ou tempos de setup significativamente longos ocorre: (i) O mínimo tamanho de lote para o sistema trabalhar com estabilidade deve ser maior do que uma peça; (ii) Como o tamanho do lote se torna grande, o <i>Lead Time</i> cresce proporcionalmente com o tamanho do lote; (iii) O <i>Lead Time</i> na estação de trabalho será minimizado para alguns tamanhos de lote, os quais deverão ser maiores do que um.</p>

15	Lei da Movimentação em Lotes (Move Batching): os <i>Lead Times</i> sobre o segmento de um roteiro são altamente proporcionais aos tamanhos dos lotes de transferência usados sobre este segmento, que providencia para que não exista espera para o dispositivo de transferência.
16	Lei das Operações de Montagem (Assembly Operations): o desempenho de uma estação de montagem (ou de uma linha de montagem) é reduzido pelo aumento de qualquer um dos seguintes elementos: (i) quantidade de componentes sendo montados; (ii) variabilidade da chegada dos componentes; (iii) falta de coordenação entre as chegadas dos componentes.
17	Definição do <i>Lead Time</i> de uma Estação de Trabalho (Station Cycle Time): o Tempo Médio de Ciclo de uma estação de trabalho é formado pelos componentes de acordo com a equação (16) apresentada a seguir: <i>Lead Time</i> = Tempo de Transporte + Tempo em Filas + Tempo de Setup + Tempo de Processamento + Tempo de Espera para o Lote + Tempo de Espera no Lote + Tempo de Espera para Montagem. (16)
18	Definição do <i>Lead Time</i> de uma Linha de Produção (Line Cycle Time): o <i>Lead Time</i> Médio de uma linha de produção é igual à soma dos <i>Lead Times</i> das estações individuais, menos qualquer tempo que sobrepasse duas ou mais estações de trabalho, situação que ocorre quando são realizados trabalhos simultâneos.
19	Lei do Retrabalho (Rework): para um dado nível de Taxa de Produção, o retrabalho aumenta tanto a média quanto o desvio padrão do <i>Lead Time</i> de um processo.
20	Lei do <i>Lead Time</i> (Lead Time): o <i>Lead Time</i> de produção para um roteiro que trabalha com um determinado nível de serviço é uma função que incrementa tanto a média quanto o desvio padrão do <i>Lead Time</i> deste roteiro.
21	Lei da Eficiência do CONWIP (CONWIP Efficiency): para um dado nível de Taxa de Produção, um sistema empurrado terá um nível maior de WIP do que um sistema CONWIP equivalente.
22	Lei da Robustez do CONWIP (CONWIP Robustness): um sistema CONWIP é mais robusto para erros no nível de WIP do que um sistema empurrado puro é para erros na taxa de liberação de ordens de produção.
23	Lei do Auto-Interesse (Self-Interest): as pessoas, e não as organizações, são “auto-otimizantes”.
24	Lei da Individualidade (Individuality): as pessoas são diferentes.
25	Lei da Advocacia (Advocacy): para quase todos os programas, sempre existe um campeão (gênio ou especialista) que pode fazê-lo funcionar – pelo menos por algum tempo.
26	Lei do Esgotamento (Burnout): as pessoas se esgotam com o trabalho.
27	Lei da Responsabilidade (Responsibility): o ato de delegar aos colaboradores a responsabilidade sem a autoridade necessária é desmoralizante e anti-produtivo.

APÊNDICE 2 – MANUAL DO MÉTODO DE APLICAÇÃO DAS LEIS DE *FACTORY PHYSICS*

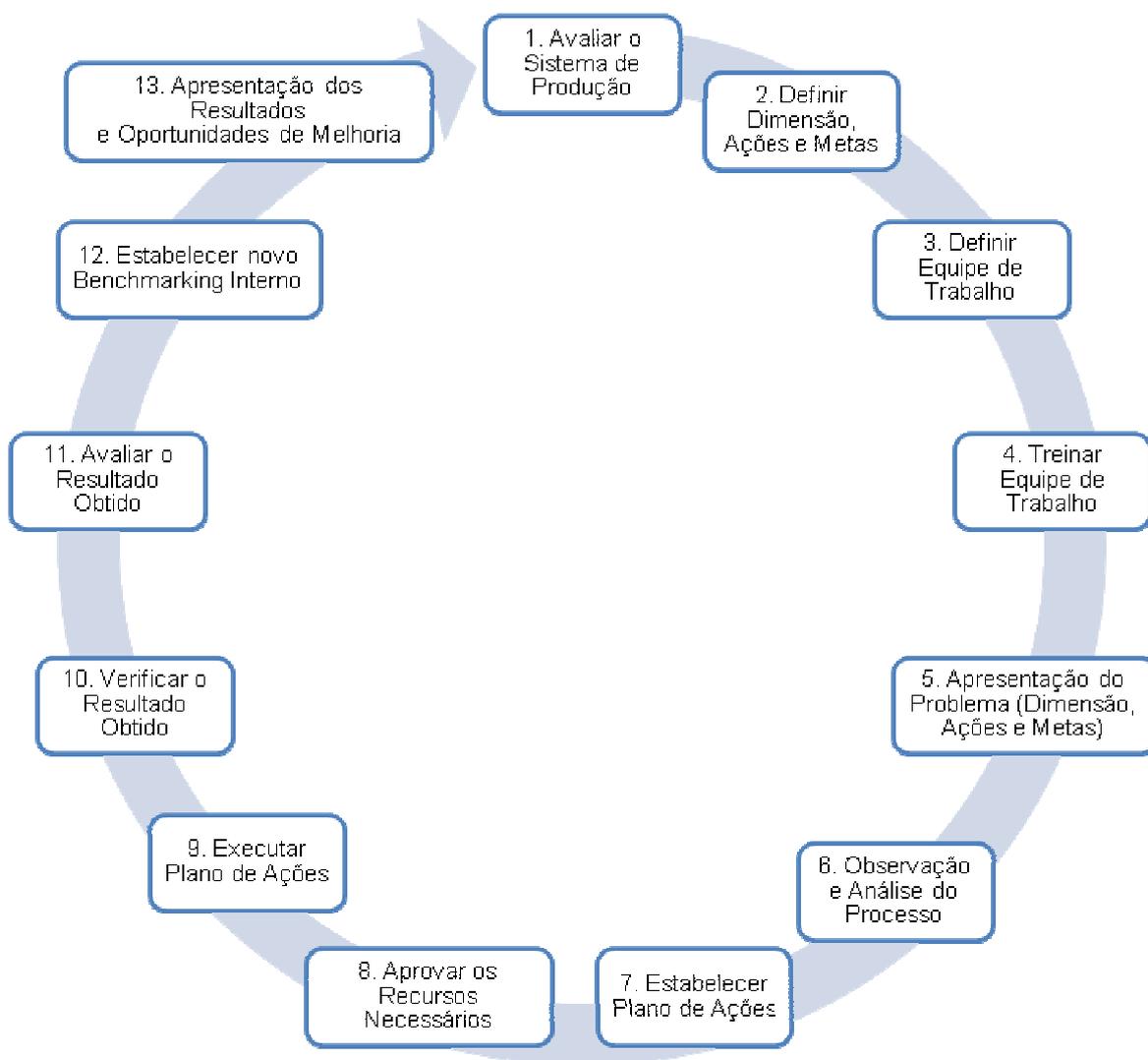


Figura 24 – Diagrama para Implementação do Método de Aplicação das Leis de *Factory Physics*

PASSOS DO MÉTODO PARA APLICAÇÃO DAS LEIS DE *FACTORY PHYSICS* EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

- Passo 1. **Avaliar o Sistema de Produção:** avaliar o desempenho do sistema de produção utilizando o sistema de indicadores da organização e formatando o benchmarking interno do sistema, aplicando as leis 1, 2, 3 e 4, apresentando este desempenho na forma gráfica plotando os gráficos TH x WIP e CT x WIP.
- Passo 2. **Definir Dimensão, Ações e Metas:** definir a dimensão competitiva e a(s) ação(ões)-macro conforme o Quadro das Ações para Implementação do Método de Aplicação das Leis de *Factory Physics*, e qual(is) será(ao) o(s) objetivo(s) (metas) a ser(em) alcançado(s) durante o trabalho.
- Passo 3. **Definir Equipe de Trabalho:** definir a equipe de trabalho para atuar no problema.
- Passo 4. **Treinar Equipe de Trabalho:** treinar a equipe de trabalho nos princípios de *Factory Physics*, focando nas leis conforme indicação para as ações definidas para trabalho e na dimensão competitiva selecionada.
- Passo 5. **Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas):** apresentar o problema a ser resolvido, que foi selecionado pela alta administração, e os objetivos do trabalho.
- Passo 6. **Observação e Análise do Processo:** observar o processo, a partir dos resultados atuais, e realizar uma análise do mesmo para identificar as oportunidades de melhoria, juntamente com a priorização necessária de modo a atender aos objetivos propostos.
- Passo 7. **Estabelecer Plano de Ações:** estabelecer o Plano de Ações, a partir da análise do processo.
- Passo 8. **Aprovar os Recursos Necessários:** aprovar os recursos necessários para execução das ações com a Alta Administração.
- Passo 9. **Executar Plano de Ações:** executar o Plano de Ações, com os recursos aprovados pela Alta Administração.
- Passo 10. **Verificar o Resultado Obtido:** verificar o resultado obtido após a implementação das ações, apontando nos gráficos TH x WIP e CT x WIP os resultados obtidos, e avaliando os indicadores atuais do sistema.
- Passo 11. **Avaliar o Resultado Obtido:** avaliar o resultado obtido frente aos objetivos propostos para a equipe de trabalho.
- Passo 12. **Estabelecer novo Benchmarking Interno:** criar e apresentar o novo *Benchmarking* do sistema, a partir dos resultados obtidos, que apresentam o desempenho atual do sistema.
- Passo 13. **Apresentação dos Resultados e Oportunidades de Melhoria:** apresentar os resultados obtidos no trabalho realizado, ações pendentes, ações em andamento e oportunidades para melhoria; após este passo, na próxima rodada poderá ser iniciado o ciclo a partir do Passo 2, pois o sistema já estará avaliado.

Passo	O Quê	Como	Quem
1	Avaliar Sistema de Produção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coletar as informações referentes aos indicadores CT, TH e WIP do sistema; 2. Criar os Gráficos TH x WIP e CT x WIP como <i>Benchmarking</i> inicial do sistema; 3. Coletar as informações referentes aos indicadores do sistema de controle da organização. 	AA e Membro da ET, Consultor Externo ou Líder da Equipe
2	Definir Dimensão, Ações e Metas	Decidir conforme Quadro 15 qual(is) a(s) dimensão(ões) a ser(em) melhorada(s), indicar ações macros e metas para cada uma das dimensões e ações selecionadas.	AA
3	Definir Equipe de Trabalho	Definir quem deverão ser os membros que farão parte da equipe para atuar nos itens selecionados.	AA
4	Treinar Equipe de Trabalho	Seminários e treinamento para apresentar os conceitos e princípios de <i>Factory Physics</i> – nivelamento.	Membro da AA, Consultor Externo ou Líder da Equipe
5	Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas)	Apresentar para a ET a situação atual do sistema de produção e quais são os objetivos a serem atingidos na dimensão selecionada.	Membro da AA, Consultor Externo ou Líder da Equipe
6	Observação e Análise do Processo	Observar o sistema de produção e analisar as possibilidades de melhoria no sentido de atender aos objetivos propostos pela AA. Poderão ser utilizadas técnicas existentes na literatura para executar este trabalho.	ET
7	Estabelecer Plano de Ações	Criar um plano de trabalho estruturado com as metas, os recursos necessários, os prazos para realização e os responsáveis de cada ação.	ET + AA
8	Aprovar os Recursos Necessários	Revisar e aprovar os recursos financeiros necessários para promover as melhorias no sistema, apresentados no plano de ações.	AA
9	Executar Plano de Ações	Cumprir o Plano de Trabalho, utilizando padrão de projetos da empresa.	ET
10	Verificar o resultado obtido com a execução das ações	Incluir nos gráficos criados para a avaliação inicial do sistema de produção o resultado obtido após a implementação das ações, bem como verificar o resultado nos indicadores do sistema de produção.	ET
11	Avaliar o resultado obtido contra os objetivos propostos	Avaliar criticamente os resultados obtidos verificando: <ol style="list-style-type: none"> 1. Resultados Alcançados; 2. Lições aprendidas; 3. Oportunidades de Melhoria; 4. Aspectos Relevantes do sistema. 	ET e Membro da AA
12	Criar e apresentar o novo <i>Benchmarking</i> Interno do sistema de produção	Redesenhar os Gráficos TH x WIP e CT x WIP como novo <i>Benchmarking</i> do sistema.	ET e Membro da AA
13	Apresentação dos Resultados e Oportunidades de Melhoria	Apresentar os resultados e o novo <i>Benchmarking</i> interno do sistema formalmente, de acordo com os itens avaliados no Passo 10; Após a aplicação do método, por já haver informações disponíveis, o mesmo pode ser aplicado a partir do Passo 2, iniciando um novo ciclo de aplicação.	AA e ET

Quadro 31 – Requisitos para Implementação do Método de Aplicação das Leis de *Factory Physics*

PDCA para a Alta Administração	Passo do Método Proposto	PDCA para a Equipe de Trabalho
P	1. Avaliar Sistema de Produção	P
P	2. Definir Dimensão, Ações e Metas	Não Participa
P	3. Definir Equipe de Trabalho	Não Participa
D	4. Treinar Equipe de Trabalho	P
D	5. Apresentação do Problema (Dimensão, Ações e Metas)	P
Não Participa	6. Observação e Análise do Processo	P
P	7. Estabelecer o Plano de Ações	P
D	8. Aprovar os Recursos Necessários	P
Não Participa	9. Executar Plano de Ações	D
Não Participa	10. Verificar o Resultado Obtido	C
C	11. Avaliar o Resultado Obtido	C
C	12. Estabelecer novo <i>Benchmarking</i> Interno	C
A	13. Apresentação dos Resultados e Oportunidades de Melhoria	A

Quadro 32 – Atribuições da Alta Administração e da Equipe de Trabalho para Implementação do Método de Aplicação das Leis de *Factory Physics*

Dimensão Competitiva	Ação Macro – Como Melhorar o Sistema de Produção	Impacto da Ação				Função Processo	Função Operação	Leis de <i>Factory Physics</i>
		TH	CT	WIP	Custo			
Qualidade	Reduzir Refugo	X	X	X	X		X	7, 8, 9, 11
	Reduzir Retrabalho	X	X	X	X	X	X	7, 8, 9, 19
Confiabilidade	Reduzir a Variabilidade dos Tempos de Processamento	X	X	X	X	X		7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
	Planejar com Antecipação		X	X	X	X		7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22
	Melhorar Disponibilidade dos Equipamentos	X	X	X	X		X	7, 8, 9, 11, 12, 13
	Distribuir trabalhos conforme Capacidade de Produção	X	X	X	X	X		5, 6, 7, 8, 9, 11, 12
	Melhorar Sincronização da Produção	X	X	X	X	X		7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22
Velocidade	Reduzir tempo de Processamento	X	X	X	X		X	5, 6, 7, 8, 9, 13, 17, 18, 19
	Reduzir <i>Lead Time</i>	X	X	X	X	X	X	5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
	Aproximar Estações de Trabalho		X	X	X	X		7, 8, 9, 16, 17, 18
	Reduzir Tempo de Setup		X	X	X	X	X	7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18
	Reduzir Tamanho do Lote de Produção		X	X	X	X		7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18
	Reduzir Tamanho do Lote de Movimentação		X	X	X	X		7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18
	Reduzir Tempo de Movimentação		X	X	X	X		7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18
	Reduzir Ordens Urgentes na Produção		X	X	X	X		7, 8, 9, 10, 20
	Aumentar Capacidade de Produção	X	X	X	X	X	X	7, 8, 9, 10, 11, 12, 13
Flexibilidade	Capacitar Operadores Multifuncionais	X	X	X	X	X	X	5, 6, 7, 8, 9, 10, 20
	Criar Roteiros Alternativos	X	X	X	X	X		5, 6, 7, 8, 9, 10, 20
	Adaptar Equipamentos para Alternativos	X	X	X	X	X	X	5, 6, 7, 8, 9, 10, 20
Custo	Reduzir Desperdícios	X	X	X	X	X	X	7, 8, 9, 17, 18, 19

Quadro 33 – Ações para Implementação do Método de Aplicação das Leis de *Factory Physics*

