

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

ISAAC PERGHER

**UM MÉTODO PARA QUANTIFICAR O ESTOQUE EM PROCESSO À LUZ DA  
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

São Leopoldo  
2010

ISAAC PERGHER

**UM MÉTODO PARA QUANTIFICAR O ESTOQUE EM PROCESSO À LUZ DA  
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Guilherme Luís Roehe Vaccaro, Dr.

São Leopoldo

2010

ISAAC PERGHER

**UM MÉTODO PARA QUANTIFICAR O ESTOQUE EM PROCESSO À LUZ DA  
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Aprovado em 16 de março de 2011.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Adiel Teixeira de Almeida – UFPE

---

Miguel Afonso Sellitto – UNISINOS

---

Rafael Teixeira – UNISINOS

Visto e permitida a impressão  
São Leopoldo, 05 de abril de 2011

Prof. Dr. Guilherme Luís Roche Vaccaro (orientador)

Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel  
Coordenador Executivo do PPG em  
Engenharia de Produção e Sistemas

*Ao meu avô  
Avelino (in memoriam).*

*Não julgueis, para que não sejais julgados.*

*Porque com o júzo com que julgais, sereis julgados; e com a medida com que medis vos  
medirão a vós.*

*E por que vês o argueiro no olho do teu irmão, e não reparas na trave que está no eu olho?*

*Ou como dirás a teu irmão: Deixa-me tirar o argueiro do teu olho, quando tens a trave no  
teu?*

*Hipócrita! Tira primeiro a trave do teu olho; e então verás bem para tirar o argueiro do olho  
do teu irmão.*

*Não deis aos cães o que é santo, nem lanceis aos porcos as vossas pérolas, para não  
acontecer que as calquem aos pés e, voltando-se, vos despedacem.*

*Pedi, e dar-se-vos-á; buscai, e achareis; batei e abrir-se-vos-á.*

*Pois todo o que pede, recebe; e quem busca, acha; e ao que bate, abrir-se-lhe-á.*

*Ou qual dentre vós é o homem que, se seu filho lhe pedir pão, lhe dará uma pedra?*

*Ou, se lhe pedir peixe, lhe dará uma serpente?*

*Se vós, pois, sendo maus, sabeis dar boas dádivas a vossos filhos, quanto mais vosso Pai, que  
está nos céus, dará boas coisas aos que lhas pedirem?*

*Portanto, tudo o que vós quereis que os homens vos façam, fazei-lho também vós a eles;  
porque esta é a lei e os profetas.*

(MATEUS, Cap. 7, 1-12)

## AGRADECIMENTOS

*Ao Criador, pelas oportunidades de aprendizado em relação à vida e as pessoas, com quem me apresento.*

*A minha família, minha namorada e meus amigos pelo forte apoio durante a elaboração deste trabalho.*

*A CAPES/PROSUP por subsidiar a realização do mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas na UNISINOS.*

*Ao meu amigo e orientador, Prof. Dr. Guilherme Luís Roehe Vaccaro, pelo auxílio, entusiasmo e dedicação na orientação desta dissertação.*

*Aos mestres, colegas e amigos do PPGEPS, PIPCA e GMAP, com quem tive inúmeras oportunidades de aprendizado durante a realização do mestrado.*

*Aos avaliadores deste estudo, pelas significativas contribuições para o aprimoramento do método proposto.*

## RESUMO

Em ambientes produtivos intermitentes que operam na condição ‘produzir para estoque’, com fluxo convergente, a possibilidade de constituir estoques em processo (*WIP*), de produtos prontos, ou matérias-primas pode aumentar o grau de complexidade da gestão das operações e a necessidade de utilizar procedimentos de controle distintos para cada tipo de estoque. Ao focar no alinhamento da gestão dos estoques aos planos de demanda e capacidade, considerando um ambiente produtivo que emprega a abordagem *Conwip*, a presente pesquisa tem por finalidade propor um método estruturado que possibilite quantificar o nível de *WIP* do sistema produtivo, a partir da Simulação por Eventos Discretos e da técnica de Apoio Multicritério ELECTRE TRI. Esta pesquisa tem o intuito de contribuir com a geração de informações que subsidiem a tomada de decisão concernente à escolha de uma configuração de cenário que aluda a um nível de estoque em processo e de produtos prontos considerando o *mix* de produção sob estudo. Fundamentado na proposta desenvolvida nesta dissertação, o Método de Pesquisa pode ser caracterizado quanto aos procedimentos técnicos, pelo uso da Simulação Computacional e relativo à natureza dos dados, destaca-se o da abordagem essencialmente quantitativa, ou Pesquisa Quantitativa. O método proposto foi avaliado, quanto a sua estrutura e proposta, por especialistas das disciplinas de Simulação, Gestão de Sistemas Produtivos e Métodos Multicritério à Decisão. Uma aplicação do método em um sistema produtivo real também é apresentada.

**Palavras-chave:** Simulação por Eventos Discretos; *Conwip*; ELECTRE TRI.

## ABSTRACT

*In intermittent productive systems that operate in the condition 'make to stock' with convergent flow, the possibility of generate work in process (WIP), finish good products or raw materials inventories can increase the degree of complexity of the management in the operations and the need of using procedures of different control for each stock type. Focusing in the alignment of the stocks to the demand and capacity plans, considering a productive system which uses the Conwip approach, this research describes a structured method that aims to quantify the level of WIP in the productive system, applying the Events Discrete Simulation and the technique nominated ELECTRE TRI. This research intends to contribute with the generation of information for decision support regarding the choice of work in process and finished goods stock levels, considering the production mix studied. Based in the proposal developed in this work, the Method of Research can be characterized, regarding the technical procedures, as Computational Simulation, and regarding the nature of the data, as Quantitative Research. The method proposed in this research was evaluated for specialists in the disciplines of Simulation, Administration of Production Systems and Multicriteria Decision Analysis. An application of the method in a real productive system is also presented.*

**Keywords:** *Discrete Event Simulation; Conwip, ELECTRE TRI.*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método de trabalho. ....	27
Figura 2 – Hierarquia do Planejamento e Controle de Produção Puxada. ....	34
Figura 3 – Representação do <i>DBR</i> no sistema produtivo. ....	42
Figura 4 – Estrutura típica do <i>WLC</i> . ....	44
Figura 5 – <i>Conwip</i> , empurrado puro e <i>Kanban</i> . ....	46
Figura 6 – Configurações do <i>Conwip</i> . ....	48
Figura 7 – Mecanismos de liberação de cartões. ....	50
Figura 8 – <i>TH versus WIP</i> . ....	54
Figura 9 – <i>CT versus WIP</i> . ....	54
Figura 10 – Passos em um modelo de simulação. ....	65
Figura 11 – Definição das categorias do ELECTRE TRI. ....	74
Figura 12 – Exemplo de estrutura de preferências por meio de pseudocritérios. ....	74
Figura 13 – Temas utilizados na efetivação do método proposto pela dissertação. ....	87
Figura 14 – Estrutura do Método de determinação do <i>WIP</i> . ....	94
Figura 15 – Rede de atividades do modelo de simulação computacional. ....	120
Figura 16 – Funcionamento do modelo de simulação. ....	121
Figura 17 – Rede que ilustra o processo de produção. ....	122
Figura 18 – Interface gráfica do IRIS 2.0. ....	130
Figura 19 – Classificações obtidas na replicação inicial. ....	131
Figura 20 – Classificações obtidas na simulação 1. ....	132
Figura 21 – Classificações obtidas na simulação 2. ....	133
Figura 22 – Classificações obtidas na simulação 3. ....	134
Figura 23 – Classificações obtidas na simulação 5. ....	135

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Base de dados utilizada na pesquisa.....	21
Quadro 2 – Pesquisadores consultados.....	31
Quadro 3 – Modos de determinar o Giro de estoques.....	58
Quadro 4 – Métodos de Apoio Multicritério à Decisão.....	70
Quadro 5 – Metodologia de execução do ELECTRE TRI.....	80
Quadro 6 – Quadro síntese dos trabalhos encontrados relacionando Simulação, <i>Conwip</i> e Dimensionamento de <i>WIP</i> .....	86
Quadro 7 – Fluxo de informações do método para quantificar o <i>WIP</i> .....	92
Quadro 8 – Requisitos para aderência do modelo conceitual.....	100
Quadro 9 – Matriz de desempenho dos cenários.....	105
Quadro 10 – Limiares das classes de referência à luz dos critérios de decisão.....	107
Quadro 11 – Parâmetros fixos à luz de múltiplos critérios.....	108
Quadro 12 – Configurações dos cenários testados.....	124
Quadro 13 – Número de replicações feitas para cada cenário.....	125
Quadro 14 – Matriz de desempenho dos cenários.....	127
Quadro 15 – Matriz de desempenho dos cenários.....	127
Quadro 16 – Coeficiente de importância de cada critério.....	128
Quadro 17 – Limiares das classes de referência à luz dos critérios de decisão.....	129
Quadro 18 – Síntese de informações dos cenários à escolha.....	136

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.3 JUSTIFICATIVA .....	18
1.4 DELIMITAÇÕES .....	22
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
2.1 MÉTODO DE PESQUISA .....	26
2.2 MÉTODO DE TRABALHO.....	27
2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 2 .....	32
<b>3 GESTÃO DE OPERAÇÕES E DO <i>WORK IN PROCESS</i>.....</b>	<b>33</b>
3.1 GESTÃO DO <i>WORK IN PROCESS</i> FRENTE AO PLANEJAMENTO HIERÁRQUICO DE PRODUÇÃO .....	33
3.2 PRINCIPAIS ABORDAGENS DE GESTÃO DO FLUXO PRODUTIVO ASSOCIADAS AO <i>CONWIP</i> .....	35
3.2.1 <i>O Sistema Toyota de Produção e o Sistema Kanban de Abastecimento</i> .....	36
3.2.2 <i>A Teoria das Restrições (TOC) e o Drum-Buffer-Rope (DBR)</i> .....	39
3.2.3 <i>WORKLOAD CONTROL (WLC)</i> .....	43
3.3 <i>CONSTANT WORK IN PROCESS (CONWIP)</i> .....	45
3.4 LEI DE LITTLE .....	50
3.5 INDICADORES DE DESEMPENHO .....	56
3.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 3 .....	58
<b>4 SUPORTE À DECISÃO .....</b>	<b>60</b>
4.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	60
4.1.1 <i>Simulação por Eventos Discretos</i> .....	61
4.1.2 <i>Os Efeitos da Estocasticidade dos Sistemas</i> .....	62

4.1.3	<i>Métodos de Condução de Projetos de Simulação Computacional</i> .....	63
4.2	MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO (MCDA) .....	69
4.3	APRESENTAÇÃO DO MÉTODO ELECTRE TRI .....	73
4.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 4 .....	80
<b>5</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>81</b>
5.1	SIMULAÇÃO, <i>CONWIP</i> E DIMENSIONAMENTO DE <i>WIP</i> .....	81
5.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DA LITERATURA .....	86
5.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 5 .....	90
<b>6</b>	<b>O MÉTODO PROPOSTO PARA QUANTIFICAR O <i>WIP</i>.....</b>	<b>91</b>
6.1	APRESENTAÇÃO DO MÉTODO.....	91
6.2	PREMISSAS DO MÉTODO .....	111
6.3	RECOMENDAÇÕES DOS ESPECIALISTAS CONSULTADOS.....	113
6.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 6.....	114
<b>7</b>	<b>APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.....</b>	<b>115</b>
7.1	AMBIENTE PRODUTIVO .....	115
7.2	EFETIVAÇÃO DAS ETAPAS DO MÉTODO .....	117
7.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 7.....	137
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>138</b>
8.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	139
8.2	TRABALHOS FUTUROS.....	140
	APÊNDICE A.....	153

## 1 INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século XX intensificou-se o incremento da complexidade dos mercados, fruto da virtualização e facilitação das comunicações, da globalização e, por consequência, da alteração das relações de governança das cadeias de produção e consumo. Atualmente, o mercado consumidor é disputado de forma intensa pelas organizações, que desenvolvem planos estratégicos voltados a proporcionar uma posição de destaque de sua concorrência, a fim de aumentar sua participação no mercado ou garantir sua sustentabilidade. Na hierarquia do planejamento estratégico, a estratégia de produção é caracterizada pelas decisões e ações que determinam os objetivos do departamento de produção, de forma que estas apoiem a estratégia de negócios, a qual estabelece a missão e as pretensões competitivas da organização (SLACK *et al.*, 2006). Para Hayes *et al.* (2008), a estratégia de produção é um conjunto de metas, políticas e restrições auto-impostas que descrevem como a organização planeja dirigir e desenvolver todos os recursos investidos na produção para melhor cumprir sua missão. Conforme Klippel, Antunes Júnior e Vaccaro (2007), no Brasil, as condições competitivas foram enfrentadas basicamente através da adoção de princípios de Engenharia de Produção, tais como: Sistema Toyota de Produção, Qualidade Total, Teoria das Restrições, entre outros.

Durante o desenvolvimento da estratégia de produção, um dos elementos que necessita ser avaliado diz respeito ao nível admissível dos estoques. O planejamento dos níveis de estoques pode ser considerado um fator determinante para os resultados financeiros de muitos ramos empresariais (PEIXOTO; PINTO, 2006). Conforme Araújo, Librantz e Alves (2009), a gestão dos estoques é um dos instrumentos imprescindíveis à eficiência das organizações modernas. Segundo Krajewski e Ritzman (2004), e Krever *et al.* (2003), o gerenciamento dos estoques consiste em ajustar os custos e as pressões conflitantes que exigem níveis de serviços elevados e estoques reduzidos, visto que os estoques não agregam valor ao produto e demandam gastos (BORNIA, 2002).

A gestão dos estoques nas distintas fases do processo de produção pode ser dependente: (i) da estratégia utilizada para atender a demanda, que neste contexto são destacados (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2001; PIRES, 2004; DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001; HOPP; SPEARMAN, 2000; SILVA; FERNANDES, 2008): (a) *make-to-stock*; (b) *assembly-to-order*; (c) *make-to-order*; (d) *engineer-to-order*; (e) *resources-to-*

*order*; e (f) *quick response- to-stock*; (ii) do tipo de *layout* utilizado, sendo distinguidos em (GAITHER; FRAZIER, 2001; DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001; MOREIRA, 1998; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009): (a) processos de projeto; (b) processo intermitente *job shop* ou *jobbing*; (c) processo intermitente em lotes/bateladas; e (d) processos contínuos; e por fim (iii) quanto ao fluxo de materiais, podendo ser compreendidos à luz das estruturas V-A-T (UMBLE; UMBLE, 1999).

Ao focalizar os sistemas produtivos intermitentes orientados a ‘produzir para estoque’ (*make-to-stock – MTS*), principalmente os com fluxo convergente (tipo A), a possibilidade de constituir estoques em processo (*WIP*), de produtos prontos, ou matérias-primas (CORRÊA *et al.*, 2001) pode aumentar o grau de complexidade da gestão dos estoques, por causa da necessidade de utilizar procedimentos de controle distintos, para gerenciar cada um dos diferentes tipos de estoque (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003). Contudo, o alinhamento da gestão dos estoques aos planos de demanda e capacidade pode minimizar os danos causados pelas diferenças entre as taxas de fornecimento, processamento e consumo para um dado produto, considerando um comércio consumidor específico.

Sob este enfoque, o uso de ferramentas que subsidiem o processo decisório, como a Simulação Computacional e Métodos de Apoio Multicritério à Decisão, pode contribuir com o desenvolvimento de ações voltadas à gestão de estoques, visando proporcionar ganhos significativos, em termos de obtenção de vantagem competitiva.

### 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A estratégia *MTS* pode ser caracterizada pela produção com base em previsões (PIRES, 2004) e, por possibilitar a formação de estoques de produtos prontos, *WIP* e de matérias-primas (CORRÊA *et al.*, 2001). Os sistemas produtivos norteados a produzir para estoque podem apresentar como vantagens: (a) maior velocidade no atendimento da demanda; (b) proteção da taxa de atendimento, definida pela fração atendida dos pedidos dos clientes (HOPP; SPEARMAN, 2000), no caso de paradas não-planejadas nos recursos subsequentes ao gargalo; e (c) atendimento a pedidos inesperados. Em contraponto, podem ocasionar (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001; SHINGO 1996; GAITHER; FRAZIER, 2001; OISHI, 1995): (i) custos de manutenção e manuseio; (ii) ocupação de espaço físico; (iii) necessidade de controle e inspeção; (iv) obsolescência; e (v) redução do retorno sobre investimento – ROI.

Os processos intermitentes podem ser caracterizados pela produção que é executada de maneira não sucessiva, tipicamente para trabalhar com alta variedade e baixo volume de produção, ocorrendo o compartilhamento de um recurso produtivo entre os diferentes produtos a serem processados (GAITHER; FRAZIER, 2001). No que se refere à caracterização dos sistemas produtivos quanto ao fluxo de materiais à luz da abordagem V-A-T (UMBLE; UMBLE, 1999) ao focar na estrutura do tipo A, esta pode ser distinta pela produção (ou montagem) de uma pequena variedade de produtos prontos, elaborados a partir de um grande número de matérias-primas e componentes, sendo possível observar uma predominância de convergência nos pontos de montagem (ANTUNES, 1998). As seguintes características desta estrutura são descritas por (UMBLE; UMBLE, 1999): (i) grande número de produtos manufaturados, originando uma pequena quantidade de produtos prontos; (ii) as rotinas de produção de componentes são diferentes; e (iii) os recursos produtivos são utilizados para executar operações diferentes em componentes distintos. Enquadram-se neste tipo de estrutura (CSILLAG; CORBETT, 1998): fábricas que produzem equipamentos especializados como, geradores, aviões, navios, caixas de câmbio para a indústria automobilística ou aparelhos de televisão e outros eletro-eletrônicos.

Um dos aspectos que pode se tornar significativo à complexidade da gestão de estoques em ambientes intermitentes orientados a 'produzir para estoque' (*make-to-stock – MTS*), principalmente os com fluxo convergente (tipo A), é a abordagem utilizada para gerir o fluxo de materiais. Isto se deve às diferentes premissas e pressupostos de operação, intrínsecas em cada proposta. Nesse contexto, destacam-se o *MRP (Material Resources Planning)*, *Kanban*, *Conwip (Constant work-in-process)*, *Workload Control (WLC)* e *DBR (Drum-Buffer-Rope)*. A abordagem *Conwip* (HOPP; SPEARMAN, 2000) caracteriza-se por manter constante o *WIP* entre pontos específicos do processo e por permitir a entrada de um 'novo trabalho' na linha de produção somente no instante em que ocorre a saída de um 'trabalho pronto'. Hopp e Spearman (2000) propõem o uso da Lei de Little (LITTLE, 1961) para estimar o desempenho do sistema de produção quanto ao *WIP*, à taxa de produção efetiva do sistema ou *throughput (TH)* e ao *lead time* de produção (*CT*).

Com base nessa visão conceitual, ao considerar um sistema produtivo com *WIP* igual a zero, Hopp e Spearman (2000) relatam que o aumento gradativo no nível de *WIP* ocasionará melhor desempenho para o *TH*, o qual será limitado à capacidade do recurso restritivo. No entanto, quando o valor de *TH* é igual à capacidade do(s) recurso(s) restritivo(s), o acréscimo no nível de *WIP* provocará o aumento no *lead time* de produção (*CT*). Mantendo esse

enfoque, é possível depreender que, dependendo do volume de *WIP* praticado no ambiente de produção, podem surgir problemas relativos à (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001; SHINGO, 1996; GAITHER; FRAZIER, 2001; OISHI, 1995): (i) ocupação de espaço físico; (ii) necessidade de controle ou inspeção; (iii) redução da capacidade de reação a mudanças nos pedidos; (iv) ocultação de problemas de qualidade/produção; e (v) elevação de custos. Contudo, em ambientes suscetíveis à ação da variabilidade e a paradas não-planejadas, o *WIP* excedente pode também apresentar resultados como (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001; GAITHER; FRAZIER, 2001): (i) proteger o recurso gargalo contra a ociosidade; (ii) nivelar a capacidade agregada; e (iii) desvincular as etapas de produção.

Baseado nas afirmações descritas no parágrafo anterior, é possível observar a ocorrência do *trade-off* composto pelos benefícios e perdas derivados do nível de *WIP*. Desta forma, a busca pelo equilíbrio desses elementos em sistemas intermitentes *MTS* à luz do *Conwip*, pode exigir, em paralelo à Lei de Little, o uso de informações complementares, que podem ser derivadas dos seguintes parâmetros: (a) *takt-time* do *mix* de venda; (b) capacidade dos recursos produtivos; (c) disponibilidade dos equipamentos; e (d) volume do estoque de produtos prontos.

Conforme Antunes *et al.* (2008), o *takt-time* mostra o ritmo de produção necessário, para o atendimento de uma demanda específica, promovendo uma conexão entre a função operação e a função processo. Alvarez e Antunes Júnior (2001) relatam que o *takt-time* é definido a partir da demanda do mercado e do tempo disponível para produção, sendo obtido pela razão entre o tempo disponível para produção e o número de unidades a serem produzidas. Neste sentido, o cálculo do *takt-time* aplicado ao *mix* de venda pode contribuir, com a definição da taxa de produção efetiva ou *throughput (TH)*, para cada tipo de produto, podendo ainda, prover informações que subsidiem o ajuste da capacidade produtiva ao plano de demanda. Davis, Aquilano e Chase (2001) relatam que a capacidade de um sistema de produção define os limites de competição da empresa, determina a taxa de resposta da empresa ao mercado, sua estrutura de custo, a composição de sua força de trabalho, seu nível de tecnologia, suas exigências de gestão e de apoio ao quadro funcional e sua estratégia geral de estoques.

Para Lafraia (2001), a Disponibilidade é uma definição ligada à confiabilidade dos equipamentos, que pode ser conceituada como a probabilidade de que um sistema ou componente exerça sua função de modo satisfatório, durante um período *t*. Segundo o mesmo autor, para efetuar o cálculo da disponibilidade podem ser utilizados os seguintes conceitos:



distribuição de tempos até a falha (*TTF*) e distribuição de tempos até o reparo (*TTR*). Ao focar na prevenção contra a ociosidade no recurso gargalo, que nesta dissertação tem relação com as paradas não-planejadas nos recursos precedentes, o emprego de parâmetros de disponibilidade e das respectivas distribuições de probabilidades associadas a *TTF* e *TTR*, podem fornecer subsídios que contribuam com o processo de quantificar o *WIP*, de modo a evitar a parada do recurso gargalo, provocada pela falta de abastecimento.

Quanto à manutenção da taxa de atendimento da demanda, frente à ocorrência de problemas que provocam a falta de suprimento ao estoque, um parâmetro que pode ser avaliado, refere-se ao volume de estoques de produtos prontos. Para tanto, dada sua complexidade, o alinhamento entre o volume estocado de produtos prontos, taxa de atendimento e custos relacionados, requer o emprego de técnicas que auxiliem no processo de decisão, de modo a auxiliar no equilíbrio desses elementos. Pode ocorrer situação análoga durante a definição do *WIP*, ao considerar um nível que proteja a operação no recurso gargalo em função do custo despendido por este montante.

Com base nos elementos apresentados e considerando a complexidade existente no ambiente de produção, emerge a seguinte questão de pesquisa: como é possível dimensionar o nível de *WIP* de sistemas produtivos *MTS* que utilizam o *Conwip*?

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo da presente pesquisa é **propor, um método estruturado que possibilite quantificar o nível de *WIP* do sistema produtivo, a partir das abordagens de Simulação por Eventos Discretos e Métodos de Apoio Multicritério à Decisão.**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- ✓ analisar como as variáveis: (i) *takt-time* do *mix* de venda; (ii) distribuições relativas à disponibilidade dos equipamentos; (iii) capacidade dos recursos produtivos; e (iv) volume do estoque de produtos prontos auxiliam na quantificação do nível de *WIP*;
- ✓ analisar os resultados obtidos da aplicação do método proposto em um ambiente real de produção.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O conceito ‘método’ é definido por Gil (2002) como o conjunto de procedimentos a serem utilizados para alcançar um determinado objetivo. Com este foco, o método proposto por esta pesquisa será fundamentado por quatro referenciais: (i) Simulação por Eventos Discretos; (ii) *Conwip*; (iii) Indicadores de Desempenho; e (iv) Métodos de Apoio Multicritério à Decisão. A simulação é um dos procedimentos mais utilizados em Pesquisa Operacional, sendo usada em casos de difícil (ou de alto custo de) experimentação na situação real. Com a simulação, é possível analisar o efeito de mudanças sem correr o risco da construção de um sistema real equivocado, que transformaria os custos deste empreendimento em prejuízo (SILVA *et al.*, 1998). O emprego desta abordagem no escopo da pesquisa tem por objetivo, subsidiar a construção de um modelo de simulação, que possibilite: (i) representar o sistema produtivo alvo do estudo; e (ii) incorporar as variáveis: disponibilidade dos recursos produtivos (focando especificamente nas distribuições de *TTF* e *TTR*), estoque de produtos prontos e capacidade dos recursos produtivos. O emprego do *Conwip* no modelo de simulação é atribuído à característica de manter um nível constante de *WIP* no sistema produtivo (HOPP; SPEARMAN, 2000).

O conjunto de indicadores de desempenho tem por finalidade gerar informações referentes ao comportamento do modelo de simulação, com base na proposta de cada um dos diferentes cenários, que visam representar situações pertinentes ao ambiente produtivo. Cabe ressaltar que um dos referenciais teóricos que fará parte do conjunto de indicadores é a Lei de Little (LITTLE, 1961) que, segundo Hopp e Spearman (2000), pode auxiliar na determinação do *WIP*, em ambientes que utilizam o *Conwip*. A informação procedente dos indicadores de desempenho representa os atributos inerentes a cada cenário, no que tange à capacidade de atingir determinados resultados. Esses atributos, juntamente com o *takt-time* do *mix* de venda, têm o desígnio de subsidiar o processo decisório, que será assistido por uma técnica de Apoio Multicritério à Decisão.

O Apoio Multicritério à Decisão pode ser definido como o conjunto de técnicas que têm a finalidade de investigar um número de alternativas, sob múltiplos critérios e objetivos em conflito (MELLO *et al.*, 2005). Conforme Araújo e Almeida (2009), a metodologia Multicritério de Apoio à Decisão objetiva fornecer, a quem necessita tomar uma decisão, as ferramentas necessárias e suficientes para habilitá-lo nas soluções de problemas em que vários pontos de vista, até mesmo contraditórios, devem ser levados em consideração. Segundo

Gomes, Araya e Carignano (2004), os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão possuem a capacidade de agregar, de maneira ampla, todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com a finalidade de possibilitar a transparência e a sistematização do processo de tomada de decisão. Conforme Sellitto, Borchardt e Pereira (2009), os Métodos Multicritério têm sido usados em estudos de estratégia e sua presença é observada na literatura sobre decisões estratégicas em Gerenciamento Ambiental, na Manufatura, em Finanças, Manutenção e Marketing, contribuindo com a tomada de decisão em situações complexas ou sob incertezas, tais como ocorrem durante a formulação de estratégias. Esta abordagem está relacionada à maneira que as pessoas tomam uma decisão, levando em consideração a multiplicidade de critérios, as correspondentes necessidades de avaliação e a coerente estruturação de situações complexas (PINHEIRO; SOUZA; CASTRO, 2008). Com base nos relatos apresentados pelos autores, destaca-se que a aplicação desta metodologia na pesquisa, tem por objetivo, assessorar o processo de decisão, concernente à estratégia de *WIP*.

No que diz respeito ao campo de aplicação do método proposto nesta pesquisa, destacam-se os sistemas produtivos intermitentes, com fluxo convergente (tipo A), que empregam a estratégia *make-to-stock*. Neste enfoque, ao analisar índices relativos ao desempenho de indústrias que operam sob estas condições, é possível ressaltar, como exemplos: (i) a indústria automobilística brasileira (automóveis, caminhões, chassis de ônibus, tratores e colheitadeiras), que representa 19,8% do PIB nacional no ano de 2009, tendo um faturamento de US\$79,0 bilhões (incluindo autopeças), segundo o Relatório Anual ANFAVEA (2009); (ii) com base no relatório apresentado pela ANFIR (Associação Nacional dos Fabricantes de Implementos Rodoviários), ao considerar o período de janeiro a setembro de 2010, o setor apresentou um aumento de 52,21% no número de emplacamentos, em comparação ao mesmo período do ano de 2009; e (iii) conforme apontado pela ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica) que representa segmentos de: Automação Industrial, Componentes, Equipamentos industriais, Informática, Material de instalação, GTD (geração, transmissão e distribuição de energia elétrica), Telecomunicações e Utilidades domésticas, o faturamento total deste setor em 2009 foi de 111.839 milhões de Reais, sendo projetado para o exercício de 2010, um aumento de 11% neste valor. Ainda, é possível ressaltar segundo a ABINEE, que as exportações dos produtos no primeiro semestre de 2010 totalizam 3.640 milhões de Dólares, superior em 5% quando comparado ao primeiro semestre de 2009; e (iv) o anuário 2009-2010 da ABIMAQ (Associação Brasileira da

Indústria de Máquinas e Equipamentos), descreve que o faturamento médio bruto do setor para o primeiro semestre de 2010 é superior em 3%, ao mesmo período de 2009. Vale também destacar que esta indústria movimenta R\$ 80 bilhões por ano e, emprega 245 mil funcionários.

Concernente aos resultados que podem ser obtidos com a aplicação no contexto industrial, é possível destacar: (i) cooperar com a gestão dos materiais que apresentam influência significativa no resultado da organização, sendo estes, classificados como ‘estratégicos’ e ‘competitivos’, segundo a Matriz de Posicionamento Estratégico de Materiais, apresentada por Klippel, Antunes Júnior e Vaccaro (2007); (ii) auxiliar no dimensionamento do estoque de produtos prontos e do *CT*, sendo estes, parâmetros utilizados no *MRP*, conforme Corrêa, Gianesi e Caon (2001); (iii) como o desempenho da métrica *TH* depende do nível do *WIP* (HOPP; SPEARMAN, 2000) e, da capacidade produtiva disponível, o método poderá ser empregado para validar ou revisar o planejamento de capacidade; (iv) pode contribuir com o balanço entre o nível de *WIP*, volume do estoque de produtos prontos, capacidade produtiva, atendimento ao *takt-time* do *mix* de venda, custos relacionados ao estoque de produtos prontos; (v) em processos que utilizam o *DBR*, o método pode fornecer elementos que auxiliem na determinação do pulmão de recurso e de expedição, a partir da alteração na configuração usada pelo *Conwip*, para puxar a entrada de materiais; e (vi) contribuir com os módulos: Definição do *WIP*/cotas e, Simulação em tempo real, abordados na estrutura hierárquica de produção, indicada por Hopp e Spearman (2000), a qual será apresentada na Seção 3.1.

No intuito de justificar a relevância do tema proposto nesta dissertação, foram efetuadas pesquisas nas bases de dados descritas pelo Quadro 1, analisando unicamente, artigos que focalizam sistemas produtivos, publicados no período de janeiro de 2005 até Novembro de 2010. Para tanto, foram utilizadas na busca, as palavras-chave: *Conwip* e *Constant work in process*. Compete também salientar que foram realizadas buscas suplementares nas bases de dados internacionais, utilizando as palavras-chave: *Discrete Event Simulation*; *Multicriteria Decision Analysis*; *Conwip*; *Constant work in process*.

Como resultados da pesquisa efetivada nas bases apresentadas pelo Quadro 1 são encontrados: (i) 13 artigos que relatam a utilização do *Conwip* em conjunto com distintas abordagens, visando constituir procedimentos híbridos voltados ao gerenciamento da produção e suprimentos; (ii) 14 artigos que descrevem comparações entre o *Conwip* e outras abordagens que gerenciam o fluxo de materiais como exemplos, o *Kanban* e o *MRP* em

diferentes áreas da Engenharia de Produção. Foram encontradas ainda, pesquisas que comparam o desempenho do *Conwip Multiloop* e *Single-loop* (Básico), utilizando Algoritmos Genéticos; e (iii) 16 artigos que possuem entre outros objetivos específicos, a quantificação do *WIP* à luz do *Conwip*, por meio de técnicas como à Simulação por Eventos Discretos, Simulação Dinâmica, Cadeias de Markov, Redes de Petri ou Teoria das Filas.

Bases Pesquisadas	Área	Classificação	ISSN
Gestão e Produção	Engenharias III	B2	0104-530X
Produção		B2	0103-6513
GEPROS		B5	1984-2430
Produção <i>online</i>		B3	1676-1901
Gestão Industrial		B5	1808-0448
Administração e Inovação (RAI)		B4	1809-2039
Pesquisa e Desenvolvimento		B5	1679-5830
Revista Brasileira de Pesquisa Operacional		B2	0101-7438
SPOLM – Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha do Brasil	-		
<i>Winter Simulation Conference</i>	-		
<i>Manufacturing Technology Management</i>	Engenharias III	B2	1741-038X
<i>Annals of Operations Research</i>		B1	0254-5330
<i>Productivity and Performance Management</i>		B2	1741-0401
<i>Management Science</i>		A1	0025-1909
<i>Advanced Manufacturing Technology</i>		B1	0268-3768
<i>Production Research</i>		B1	0020-7543
<i>Production Economics</i>		A2	0925-5273
<i>Intelligent Manufacturing</i>	Administração, C. Contábeis e Turismo	A2	0956-5515
<b>Fonte:</b> <a href="http://qualis.capes.gov.br/webqualis/ConsultaListaCompletaPeriodicos.faces">http://qualis.capes.gov.br/webqualis/ConsultaListaCompletaPeriodicos.faces</a> (16-01-2010)			

**Quadro 1 – Base de dados utilizada na pesquisa.**  
**Fonte: o autor (2010).**

No entanto, é observada a carência de artigos na literatura, ao focar em trabalhos que relatam a quantificação do *WIP*, considerando no escopo preconizado por esta dissertação, o qual é relatado nos parágrafos 1 e 2 desta seção.

Por fim, do ponto de vista de linha e continuidade de pesquisa, este trabalho, de certa forma, apresenta continuidade ao tema desenvolvido por Cassel (2010), estando alinhado à área de concentração e às linhas de pesquisa do programa de pós-graduação no qual foi desenvolvida.

## 1.4 DELIMITAÇÕES

Esta seção apresenta as delimitações do escopo de utilização do método, expondo elementos que não serão abordados pela pesquisa. Compete lembrar que o foco de aplicação do método, são sistemas produtivos intermitentes, com fluxo convergente (tipo A), que operam sob a ótica *make-to-stock*. Neste aspecto, não serão analisadas, outras possibilidades de responder à demanda por meio de estoques, bem como, as estruturas remanescentes da taxonomia V-A-T (UMBLE; UMBLE, 1999).

Ainda, não fazem parte do escopo de aplicação proposto, os seguintes contextos:

- ✓ indústrias siderúrgicas, petroquímicas e de produtos perecíveis, pois envolvem tipicamente fluxo contínuo ou processos do tipo V ou T;
- ✓ temas provenientes da disciplina Gerenciamento de Projetos, em específico: (i) desenvolvimento do escopo do projeto; (ii) planejamento de cronograma; (iii) gestão de riscos; (iv) planejamento dos recursos físicos; (v) gestão de recursos humanos; e (vi) monitoramento e controle do projeto;
- ✓ elementos que assessorem o desenvolvimento: (i) do plano das operações de manutenção; (ii) da previsão de demanda para o *mix* de produtos; e (iii) do planejamento de capacidade dos recursos físicos e humanos. Porém, entende-se que o método proposto poderá contribuir para avaliar o plano de capacidade formulado previamente. Conforme Davis, Aquilano e Chase (2001), o objetivo do planejamento da capacidade é especificar o nível de capacidade necessário para atender as demandas do mercado consumidor, de modo eficiente em termos de custos. No entanto, Gaither e Frazier (2001) relatam que fatores como: quebra de equipamentos, atrasos na entrega das matérias-primas, ausência e férias dos empregados, alterações da demanda, entre outros, quando combinados, tornam o processo de determinação da capacidade complexo. Neste sentido, compete destacar a possibilidade de utilizar o modelo de simulação computacional (construído para representar o sistema produtivo alvo do método proposto) para analisar o plano de capacidade, a partir da efetivação de cenários alternativos que aludam mudanças em parâmetros como: demanda do *mix* de venda, tempo de processamento, parâmetros de disponibilidade (*TTF* e *TTR*), quantidade de recursos produtivos e humanos, entre outros;

- ✓ subsídio direto de ações de melhoria ou proposição do uso de abordagens voltadas à: (i) gestão de vendas, compra de matéria-prima e peças de reposição; e (ii) gestão da qualidade;
- ✓ procedimentos específicos para: (i) coleta de tempos operacionais; (ii) determinar os parâmetros *TTF* e *TTR* dos recursos produtivos; (iii) identificação do recurso gargalo; (iv) definição do *mix* ótimo de venda; e (v) determinar o tamanho do lote de produção, bem como, o lote de compra de matérias-primas;
- ✓ alterações: (i) nas características técnicas de engenharia dos produtos; e (ii) no arranjo produtivo. Neste último, Antunes *et al.* (2008) relatam que um dos elementos utilizados para combater o problema ‘perdas por estoque’, é a busca do fluxo unitário de peças, que pode ser obtido, por exemplo, através da utilização do *layout* celular. Sob este enfoque, é admitido que a quantificação do *WIP* será efetivada à luz das características propostas por esta dissertação, para um ambiente produtivo no qual eventuais alterações necessárias no *layout* industrial foram concretizadas previamente;
- ✓ proposição do desenvolvimento de programas de treinamento.

Considerando as abordagens estruturais do método para determinar o nível de *WIP*, destacam-se as seguintes condições limitantes: (i) em pesquisas que abordam a Simulação Computacional, é significativo o uso de um método gerencial para auxiliar no planejamento e controle de todo o experimento (LAW; KELTON, 2000; PRITSKER; SIGAL; HAMMESFAHR, 1990). Neste sentido, será selecionado e utilizado um método único para condução do estudo de simulação, não sendo preconizado o uso de métodos distintos de forma sinérgica e convergente, bem como, a realização de análises comparativas; (ii) é utilizado exclusivamente o *Conwip* como abordagem para gerenciar o fluxo de materiais e sequenciar a produção; (iii) farão parte do conjunto de indicadores somente aqueles que possuem características específicas voltadas à gestão do fluxo de materiais e estoques; (iv) referente aos Métodos de Apoio Multicritério à Decisão, será escolhido um método voltado para a resolução de apenas um tipo de problemática. Isto porque cada técnica Multicritério tem por finalidade o tratamento de um tipo de problemática (conforme será apresentado na Seção 4.2) à luz de um conjunto de premissas e elementos operacionais que são divergentes entre si; (v) não são providas informações que assessorem a escolha de pacotes computacionais utilizados na aplicação do método. Neste sentido, é considerado que as

diferentes organizações: (a) possuem distintas licenças de software; (b) apresentam equipes com níveis desiguais de aprendizado e experiência em modelagem computacional; e (c) diverjam entre as preferências, no que concerne o tipo de software a ser utilizado; e (vi) exclusivamente para esta pesquisa, a determinação dos custos do estoque de produtos prontos e *WIP* serão obtidas com base na Teoria das Restrições (*TOC*), não sendo o foco deste estudo, promover análises comparativas entre os diferentes princípios de determinação de passivos com estoques. A opção por utilizar as premissas da *TOC*, é fundamentada pela eliminação de distorções e decisões contraproducentes, causadas pelos lucros e perdas de inventário, geradas pela contabilidade (GOLDRATT, 1992). No entanto, compete advertir que o valor referente ao custo do estoque de produtos prontos e *WIP* pode ainda ser obtido, através do princípio de custeio praticado pela organização que fará uso de método proposto por esta pesquisa. Em adição às delimitações apresentadas anteriormente, na Seção 6.2, serão descritas as premissas de utilização do **método de determinação do *WIP*** proposto nesta dissertação.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa é constituída por 8 capítulos a seguir sucintamente descritos.

O Capítulo 1 inicia pela apresentação do tema central de pesquisa com vistas à explanação da definição do problema. Em seguida, aborda os objetivos (geral e específico), a relevância do estudo, destacado na seção intitulada justificativa e finaliza, apresentando os tópicos que não são alvo de estudo nesta dissertação.

No Capítulo 2 é descrita a metodologia empregada para responder a questão de pesquisa. Em adição ao método de pesquisa, é apresentado o método de trabalho, que esquematiza as etapas a serem cumpridas para efetivar os objetivos propostos no Capítulo 1.

O referencial teórico desta dissertação está dividido em três capítulos: o Capítulo 3 apresenta uma revisão focada na ‘gestão de operações e do *WIP*’, considerando os tópicos: (i) Sistema Toyota de Produção, delimitado pelo sistema *Kanban*; (ii) Teoria das Restrições, com foco no *Drum-Buffer-Rope – DBR*; (iii) *Workload Control (WLC)*; (iv) *Constant Work-In-Process – Conwip*; (v) Lei de Little; e (vi) Indicadores de Desempenho. No Capítulo 4 é delineada uma revisão na literatura concernente à disciplina ‘suporte a decisão’, destacando os seguintes temas: Simulação por Eventos Discretos; e Métodos de Apoio Multicritério à



Decisão. O referencial teórico é abordado no Capítulo 5, o qual esquematiza os conceitos apresentados nos Capítulos 3 e 4, de modo que possibilite o desenvolvimento de um método para quantificar o *WIP*, com base no escopo sugerido por esta pesquisa.

O Capítulo 6 apresenta o método proposto de determinação do nível de *WIP*, sendo descritas as premissas de aplicação e as recomendações dos pesquisadores, feitas com base no questionário qualitativo. Compete observar que o método é efetivado à luz dos temas tratados pelo referencial teórico e também, pelas opiniões de pesquisadores nas seguintes linhas de pesquisa: Simulação por Eventos Discretos; Gestão de Sistemas Produtivos; e Métodos de Apoio Multicritério à Decisão, sendo os pareceres, reivindicados por meio de uma pesquisa qualitativa, que objetiva analisar a aplicabilidade prática, robustez e capacidade de solução do problema proposto nesta dissertação.

No Capítulo 7 é descrita a aplicação do método apresentado no Capítulo 4 em um contexto real. Este capítulo encerra promovendo uma discussão sobre os resultados obtidos na etapa de aplicação.

Por fim, o Capítulo 8 apresenta as considerações finais, limitações da pesquisa e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 MÉTODO DE PESQUISA

Método de Pesquisa é caracterizado pela escolha de procedimentos sistemáticos que visam descrever e explicar fenômenos no ambiente estudado (RICHARDSON, 1999). Conforme Gewandsznajder (1989), uma das particularidades do método científico é a tentativa de resolver problemas por meio de hipóteses que possam ser testadas através de observações ou experiências. Para Gil (2002), método científico é um procedimento que visa proporcionar respostas aos problemas propostos.

Fundamentado na proposta que será desenvolvida nesta dissertação, o Método de Pesquisa pode ser caracterizado da seguinte maneira: (i) Pesquisa Quantitativa, caracterizada pelo emprego da quantificação, na coleta ou no tratamento de informações, através do uso de técnicas estatísticas (RICHARDSON, 1999); e (ii) Simulação Computacional, que possibilita a construção de modelos que representam uma fração da realidade do ambiente central de estudo, visando analisar cenários alternativos, que contribuam para minimizar os riscos de tomada de decisão. Para Pidd (1998), a Simulação Computacional é a aplicação de um modelo como base para exploração e experimentação da realidade tendo como foco, tornar o modelo computacional, um veículo para interferir em questões do tipo ‘o que aconteceria se...?’.

À luz das teorias descritas no parágrafo anterior, o presente trabalho é caracterizado, quanto aos procedimentos técnicos, pelo uso da Simulação Computacional, pois permite uma interação com um fragmento da realidade do ambiente estudado, por meio de um modelo computacional, sem a necessidade de experimentações na prática, o que poderia ocasionar a inviabilidade do projeto. Por fim, quando a natureza dos dados, destaca-se o da abordagem essencialmente quantitativa, ou Pesquisa Quantitativa, por causa da manipulação de informações essencialmente numéricas, derivadas de estudos estatísticos, visando à quantificação do *WIP*.

## 2.2 MÉTODO DE TRABALHO

Considerando o tema proposto por esta dissertação, o Método de Trabalho empregado é apresentado na Figura 1.

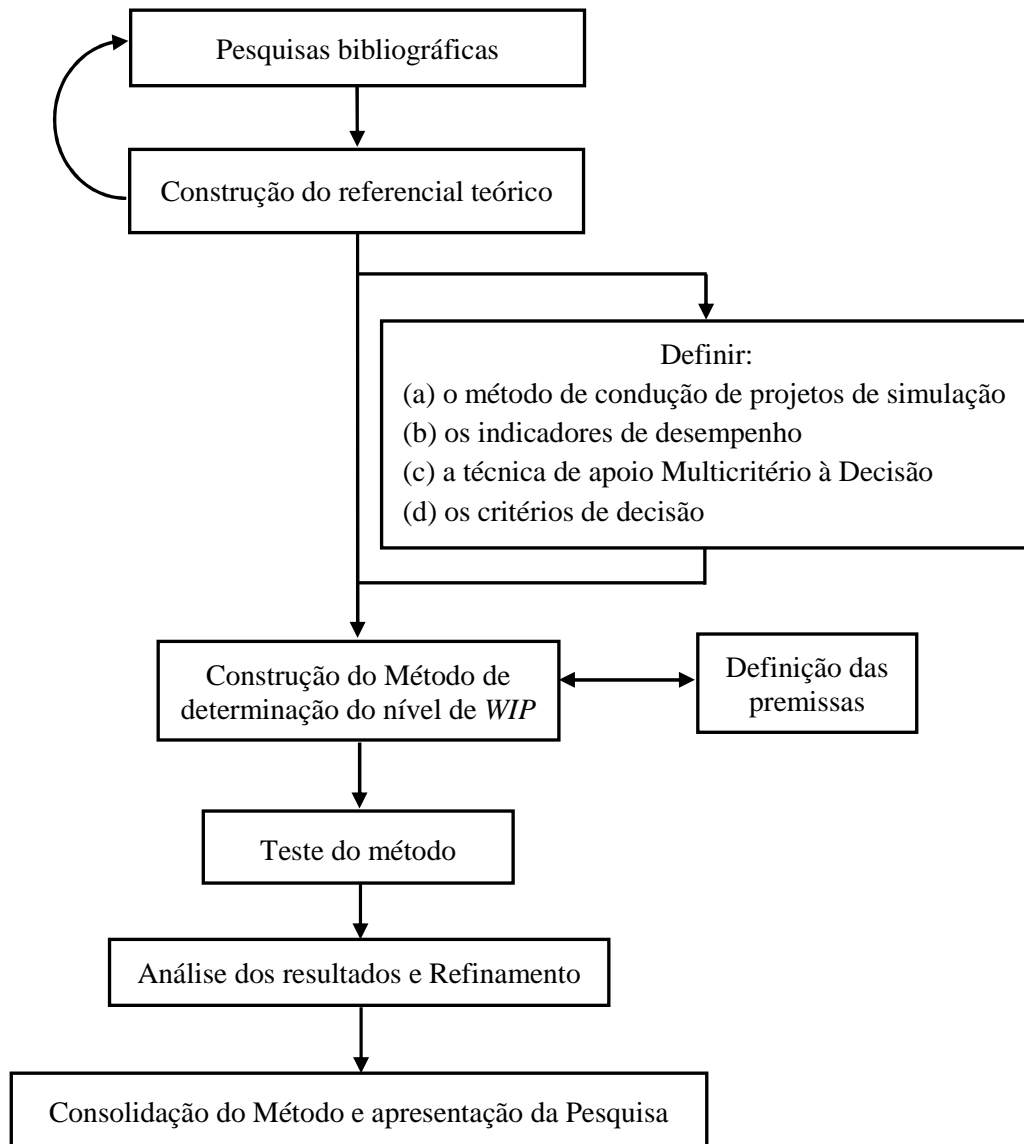


Figura 1 – Método de trabalho.  
Fonte: o autor (2010).

A primeira etapa do **Método de Trabalho** diz respeito à realização de **Pesquisas bibliográficas**, tendo por objetivo, efetivar uma coletânea de informações que alude aos principais conceitos, premissas, pontos positivos e negativos, concernentes aos seguintes temas: Simulação por Eventos Discretos, Métodos de Apoio Multicritério à Decisão, *Conwip*, Lei de Little, Indicadores de Desempenho, *Workload Control (WLC)*, Sistema Toyota de

Produção e Teoria das Restrições. Para tanto, foram realizadas pesquisas nas seguintes bases de conhecimento: livros, dissertações, testes, anais de congressos e, nos periódicos apresentados pelo Quadro 1. A etapa subsequente foi caracterizada pela **Construção do referencial teórico**, a qual delinea as teorias obtidas na etapa inicial em seções distintas, apontadas segundo os temas pesquisados. Compete observar, que o desígnio principal da etapa 2, é prover elementos que contribuam para a estruturação do método à luz do escopo preconizado pelo Capítulo 1. Ressalta-se, além disso, que durante o desenvolvimento do referencial ocorreu a necessidade de executar pesquisas complementares, as quais foram realizadas visando reforçar os conceitos abordados.

A partir dos conceitos delineados pelo referencial teórico (etapa 2), a terceira etapa consistiu em definir os elementos estruturais do método a ser desenvolvido, sendo: (i) **o método de condução de projetos de simulação**; (ii) **os indicadores de desempenho**; (iii) **a técnica de Apoio Multicritério à Decisão**; e (iv) **os critérios de decisão**. Consideraram-se os seguintes pontos para determinar o método de condução de projetos de simulação: (a) adequação da teoria exposta pelo método ao escopo deste estudo; e (b) utilização em pesquisas concernentes à simulação em ambientes produtivos, observados na literatura. Na definição dos indicadores de desempenho, analisaram-se características como: (i) capacidade para atuar de maneira sinérgica e complementar à Lei de Little e ao *takt-time do mix* de venda, convergindo para o objetivo geral desta pesquisa; e (ii) foco global para agregar informação, permitindo concentrar em poucos medidores, a análise relativa ao desempenho do modelo de simulação, frente aos distintos cenários. Para selecionar a técnica de Apoio Multicritério à Decisão, optou-se por um procedimento, que possibilitasse a análise em cada um dos cenários testados no modelo de simulação, considerando uma referência desejada para o comportamento dos indicadores de desempenho, visto que o resultado obtido em cada cenário não é ‘otimizado’. Por fim, os critérios de decisão referem-se a um conjunto de regras que é agregado aos atributos (que, nesta dissertação, são representados pelos indicadores de desempenho), visando a expressar as preferências do decisor frente a um conjunto de cenários à escolha. Neste estudo, a família de critérios de decisão foi estabelecida com base nos axiomas de (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2002): (i) representatividade dos atributos relevantes ao estudo; (ii) ausência de redundância; e (iii) independência. Referente à quantidade de critérios, Gomes, Araya e Carignano (2004) sugerem a limitação em sete critérios, sendo considerada esta recomendação na proposição do método.

Na etapa de **Construção do Método de determinação do nível de *WIP*** (etapa 4) foram utilizadas as informações geradas nas etapas 2 e 3, para estabelecer os mecanismos de operação de um método que possibilitasse quantificar o *WIP*, considerando o escopo da pesquisa tratado no Capítulo 1. Em paralelo à realização da etapa 4, ocorreu a **Definição das premissas**, que consistiu na determinação dos requisitos a serem acatados quanto à aplicabilidade do método proposto.

A etapa 6 prevê o **Teste do método**, o qual foi efetivado por meio dos seguintes procedimentos: (i) submeter o método à avaliação de pesquisadores nas disciplinas de: (a) Simulação por Eventos Discretos; (b) Gestão de Sistemas Produtivos; e (c) Métodos de Apoio Multicritério à Decisão, tendo por desígnio, obter opiniões referentes a robustez e aplicabilidade do método à luz de um questionário qualitativo; e (ii) aplicar as etapas do método proposto para quantificar o *WIP*, utilizando parâmetros procedentes de um sistema produtivo real. Compete, além disso, destacar que a finalidade principal da etapa 6, é gerar subsídios referentes à necessidade de ajustar a estrutura do método, que foi desenvolvida na etapa 4.

No que tange ao procedimento de submeter o método à avaliação de pesquisadores, foi necessário determinar quais pesquisadores seriam consultados e ao mesmo tempo, formular um questionário qualitativo, caracterizado por possibilitar respostas abertas, mas alinhadas aos propósitos da presente pesquisa. Neste sentido, para selecionar os pesquisadores, foi verificado o currículo *lattes* em diferentes universidades do Brasil e Portugal, sendo analisados os seguintes critérios, descritos a seguir por ordem de preferência do autor desta dissertação: (a) aderência a uma das seguintes linhas de pesquisa: **Simulação por Eventos Discretos; Gestão de Sistemas Produtivos; e Métodos de Apoio Multicritério à Decisão**; (b) quantidade de publicações na área de atuação em periódicos nacionais e internacionais; (c) tempo de atuação como pesquisado na linha em questão; (d) autoria ou participação em capítulos de livros; e (e) anuência em participar da coleta de informações. Com base nesses critérios, o Quadro 2 apresenta o grupo de pesquisadores especialistas selecionados para o qual, enviou-se o questionário de avaliação do método.

Para desenvolver o questionário qualitativo, foram formuladas perguntas que abrangem os seguintes pontos: (a) elementos estruturais utilizados; (b) clareza da apresentação de cada uma das etapas do método; (c) indicadores propostos; e (d) pontos fortes e fracos do método. Após a composição do questionário, este foi enviado para o e-mail de cada um dos pesquisadores escolhidos, sendo considerado um horizonte de 15 dias para o

retorno dos respondentes. Em especial, para os pesquisadores que não responderam o questionário no primeiro instante, um e-mail solicitando o obséquio na colaboração com a pesquisa foi novamente enviado, dando-se prazo de retorno, aos pesquisadores faltantes, de 7 dias. Em havendo situações de abstenção, por algum pesquisador, em responder o questionário no segundo instante, foi realizada a seleção de novos pesquisadores à luz dos critérios especificados no parágrafo anterior, sendo replicado o procedimento relatado neste último parágrafo, tantas vezes quanto necessário para obter, a opinião de pelo menos 1 doutor por linha de pesquisa.

<b>Pesquisador</b>	<b>Formação</b>	<b>Qualificação</b>	<b>Respondeu</b>
E1	Possui pós-doutorado pelo Conservatoire National des Arts et Metiers em 2006.	Atua principalmente nos seguintes temas: controle multivariado de processo, otimização experimental, análise de confiabilidade, customização em massa e métodos quantitativos para gestão da produção. Recebeu o best paper award da IIE Transactions em 2002 e o Best Conference Paper na IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management em 2008. Recebeu menção honrosa por orientação de doutorado pela Capes em 2009.	Não
E2	Doutor em Engenharia Industrial e Sistemas pela University of Southern California em 1974.	Tem diversos artigos publicados em periódicos internacionais e nacionais, possuindo mais de 40 trabalhos apresentados em Congressos e Seminários. Publicou 12 capítulos de livro e 3 livros. Atualmente coordena projetos de Pesquisa na Área de Avaliação de Desempenho e Apoio à Decisão.	Sim
E3	PhD em Management Engineering pela University of Birmingham em 1994.	Possui várias publicações nacionais e internacionais em eventos, livros, e periódicos científicos, dentre os quais se destacam: Annals of Operations Research, European Journal of Operational Research, Computers and Operations Research, IEEE Transactions on Reliability, Reliability Engineering & Systems Safety, IMA Journal of Management Mathematics, Journal of Decision Systems, International Journal of Hydrogen Energy, Water SA, Water Resources Management, e Resources, Conservation and Recycling. Desenvolve pesquisas principalmente nos seguintes temas: apoio multicritério a decisão, teoria da decisão, decisão em grupo, gestão da informação, gestão de projetos, modelagem estratégica, gerenciamento de riscos, engenharia de confiabilidade, manutenção e qualidade.	Sim

(continua...)

E4	Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 2005.	Atua nas áreas de Gerência de Produção e Estratégia e Organizações, principalmente em: logística e gestão da cadeia de suprimentos, sistemas de produção, estratégia de produção e operação, produção enxuta, complexidade, medição de desempenho, confiabilidade de equipamentos e sistemas e gestão da manutenção industrial e assistência técnica. É membro do conselho editorial das revistas Produção, Produção Online e da Editora Entremeios.	Sim
E5	PhD pela University of California, EUA em 1976.	Tem atuado nas áreas de Administração, Engenharia de Produção e Transportes, notadamente em modelagem matemática e no Apoio Multicritério à Decisão. É autor de vários artigos científicos e de livros, no Brasil e no exterior. É Membro Titular da Academia Nacional de Engenharia desde 1991 e Oficial da Ordem do Mérito Cartográfico desde 2005. Foi agraciado, em 1999, com o título de Amigo da Marinha do Brasil.	Sim
E6	Doutorado pela Université Paris V (Rene Descartes) em 1989.	É autor e organizador de vários artigos científicos e livros, entre estes o Análise e Modelagem de Processos de Negócio - Foco na notação BPMN (Business Process Modeling Notation), Editora Atlas, 2010.	Não

**Quadro 2 – Pesquisadores consultados.**  
**Fonte: o autor (2010).**

Ainda na etapa 6, no que diz respeito à aplicação do método em um caso prático, ressalta-se que o ambiente produtivo que subsidia este procedimento foi selecionado considerando o critério disponibilidade das informações, por parte da organização. O acesso às informações é o fator determinante para escolher a empresa que serve de base para explorar as etapas do método para quantificar o *WIP*, a qual proporcionará como benefício principal, a identificação de pontos fracos, que serão tratados na etapa seguinte.

A etapa de **Análise dos resultados** propõe que sejam listadas as fragilidades encontradas, considerando os resultados obtidos na etapa 6, referentes à aplicação prática da estrutura construída na etapa 4 e também, da opinião dos pesquisadores que responderam o questionário. Sob este enfoque, foi executado o **Refinamento**, que consiste em ajustar a estrutura do método (desenvolvida na etapa 4), a partir dos aspectos listados inicialmente na análise dos resultados.

Na **Consolidação do método e apresentação da pesquisa**, verbalizaram-se os pressupostos e princípios de funcionamento do método proposto por esta pesquisa. Também serão expostos, detalhes referentes à aplicação prática, descrevendo as particularidades do sistema estudado e, apresentados os resultados obtidos com o emprego do método.

### 2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 2

Neste capítulo, foi apresentado inicialmente o método de pesquisa, o qual caracteriza a proposta da dissertação em Pesquisa Quantitativa (natureza dos dados) e Simulação Computacional no que concerne aos procedimentos técnicos. Após, delineou-se o método de trabalho que será empregado para direcionar o desenvolvimento deste estudo.

Em seguida, será apresentado o referencial teórico, o qual está dividido em três capítulos: Gestão de operações e do *WIP*, Suporte a decisão e Referencial teórico. O Capítulo 3 a seguir delineado tratará da Gestão de operações e do *WIP*, apresentando conceitos e premissas referentes ao: (i) Sistema Toyota de Produção, delimitado pelo sistema *Kanban*; (ii) Teoria das Restrições, com foco no *Drum-Buffer-Rope – DBR*; (iii) *Workload Control (WLC)*; (iv) *Constant Work-In-Process – Conwip*; (v) Lei de Little; e (vi) Indicadores de Desempenho.



### 3 GESTÃO DE OPERAÇÕES E DO *WORK IN PROCESS*

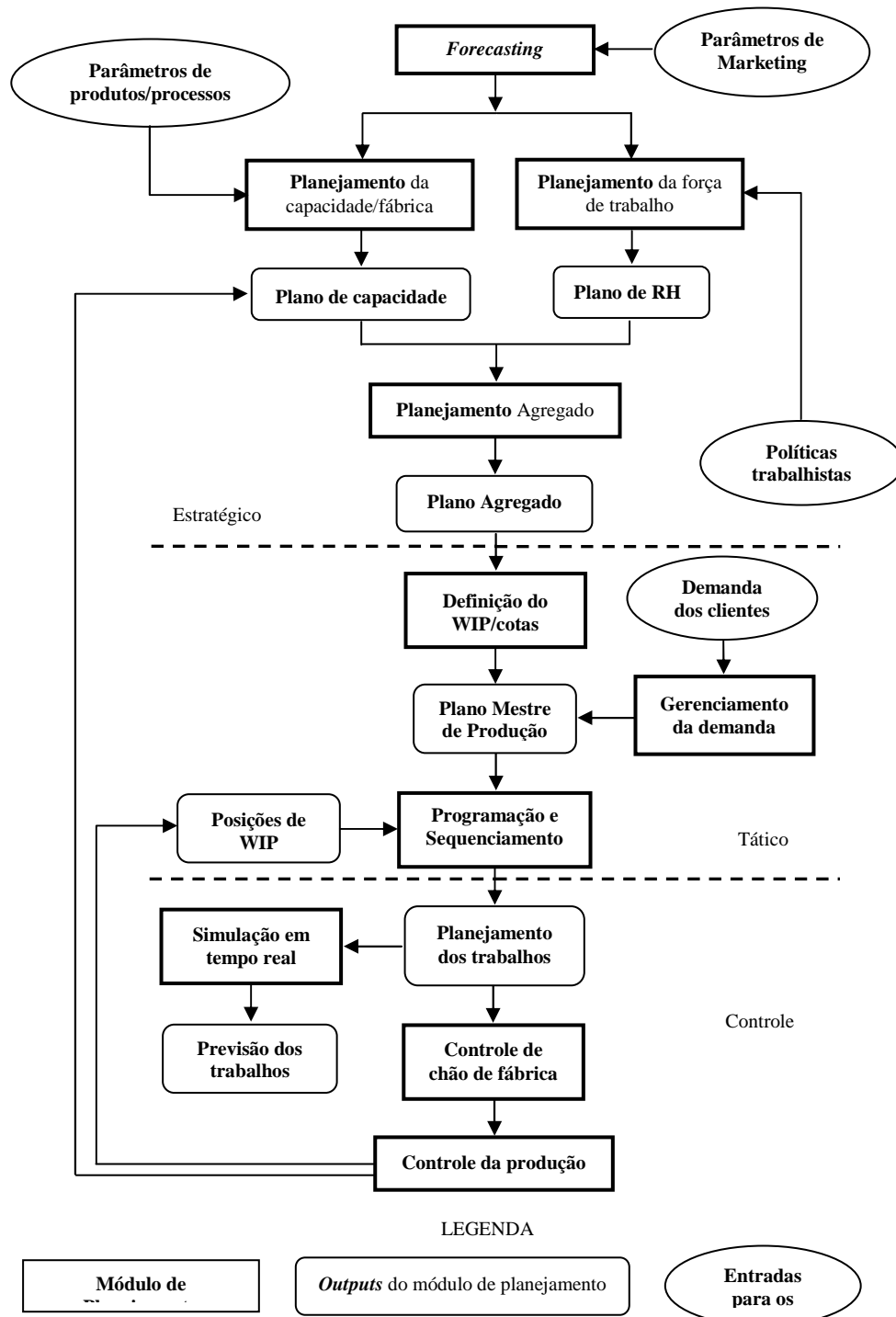
#### 3.1 GESTÃO DO *WORK IN PROCESS* FRENTE AO PLANEJAMENTO HIERÁRQUICO DE PRODUÇÃO

Hopp e Spearman (2000) apresentam uma estrutura hierárquica de Planejamento de Controle de Produção (PPC), que é ilustrada na Figura 2. Nesta estrutura, os módulos que compõem o Planejamento Estratégico (longo prazo) têm por objetivo auxiliar no estabelecimento de um ambiente produtivo capaz de atingir os objetivos gerais da organização (HOPP; SPEARMAN, 2000). Em particular, a versão ora apresentada é mais apropriada a sistemas que possuem orientação de vendas puxada pelo mercado, o qual se apresenta adequado para a discussão proposta de sistemas que adotam a abordagem *Conwip* (HOPP; SPEARMAN, 2000), como proposto na delimitação da presente pesquisa. A estrutura é aqui apresentada para fins de contextualização do método e da discussão propostas em um sistema mais amplo de produção.

Conforme a Figura 2, o *Forecasting* (o qual utiliza informações provenientes do *Marketing*) é estabelecido na forma de uma previsão para a demanda futura, que, juntamente com outras informações, possibilitará o planejamento da capacidade (carga máquina) e da mão-de-obra necessária, feitos nos módulos de **Planejamento da capacidade da fábrica** e **Planejamento da força de trabalho** respectivamente. O plano agregado de produção é o *output* do módulo de **Planejamento agregado**, o qual faz previsões brutas sobre o *mix* e volume de produção futura, utilizando a previsão da demanda e os planos de capacidade e mão-de-obra.

O Planejamento Tático (médio prazo), segundo Hopp e Spearman (2000), utiliza o plano agregado de produção para gerar um plano de ação que visa auxiliar na preparação da planta fabril, referente à compra de materiais e máquinas, e contratações, entre outros. Nesta etapa do PPC, o módulo de **Definição do WIP/cotas** converte o plano agregado de produção em parâmetros usados em sistemas de produção puxada, que são (HOPP; SPEARMAN, 2000): (a) nível de *WIP* da linha ou contagens de cartões – que é um dos controles mais importantes em sistemas de produção puxada. Compete observar que alteração nas quantidades dos cartões em um esforço para aumentar a produção e preencher as demandas

não funcionará adequadamente, isto porque, o sistema não responderá com a rapidez adequada (HOPP; SPEARMAN, 2000).



**Figura 2 – Hierarquia do Planejamento e Controle de Produção Puxada.**  
 Fonte: adaptado de Hopp e Spearman (2000, p. 433).

Deste modo, a definição dos níveis de *WIP* deve ser reavaliada em bases não muito freqüentes, podendo ser mensal, ou trimestralmente; e (b) cota de produção – a quantia que

deve ser produzida em um determinado período, visando estabelecer um *link* entre a produção e a data de entrega dos pedidos. Por meio da definição da cota de produção e utilizando reservas de capacidade (*buffers*), busca-se construir um ambiente produtivo, similar ao de uma ‘correia transportadora’, mantendo constante a taxa de *output*. As cotas de produção formam parte do **Plano mestre de produção**, que contém pedidos firmes dos clientes, os quais são ajustados para uso em um sistema puxado de produção, através do módulo de **Gerenciamento da demanda**. O módulo de **Programação e sequenciamento** transforma o plano mestre de produção em um Plano de Trabalho que ordena a realização das atividades em curto prazo.

Os módulos a seguir apresentados fazem parte da etapa de Planejamento de Controle (curto prazo). O **Controle do chão de fábrica** monitora, em tempo real, o fluxo de materiais por toda a planta fabril de acordo com o plano de trabalho, que foi definido no módulo de programação e sequenciamento. A mensuração do progresso do plano de trabalho e a atualização das informações usadas em outros módulos são atividades desempenhadas pelo módulo de **Controle da produção**. Por fim, a hierarquia inclui um módulo de **Simulação em tempo real**, que consiste em um modelo que permite avaliar o comportamento da fábrica em curtos espaços de tempo, no que concerne a priorização de trabalhos e também, o impacto de ações gerenciais. Sob este enfoque, é possível utilizar o modelo aproveitado na etapa **Definição do WIP/cotas**, considerando o comportamento de centros de processamento, os níveis de *WIP* da fábrica e, um conjunto de dados sobre a capacidade dos recursos físicos e humanos.

Compete observar que um detalhamento mais aprofundado sobre esta seção é encontrado no livro *Factory Physics* (HOPP; SPEARMAN, 2000).

### 3.2 PRINCIPAIS ABORDAGENS DE GESTÃO DO FLUXO PRODUTIVO ASSOCIADAS AO *CONWIP*

É apresentada nesta seção, uma revisão dos conceitos e premissas relativas ao *Kanban*, *Drum-Buffer-Rope* e ao *WLC* tendo por finalidade, complementar a compreensão da abordagem *Conwip*, que será descrita na seção seguinte.

### 3.2.1 O Sistema Toyota de Produção e o Sistema *Kanban* de Abastecimento

Uma das metodologias disseminadas no contexto industrial, que busca de forma intensa a eliminação das atividades que geram custo e não adicionam valor algum ao produto é o Sistema Toyota de Produção (STP). Segundo Pereira, Dal Forno e Tubino (2008), o STP visa à produção em lotes unitários e à multifuncionalidade no chão de fábrica, conquistada especialmente pelo exercício da flexibilidade e da eliminação de desperdícios. Para que um ambiente produtivo opere sob a ótica do STP, Ohno (1997) relata a existência de dois pilares fundamentais, sendo eles o *Just-in-Time* (JIT) e Automação, ou automação com toque humano.

O JIT significa que, em um processo de fluxo adequado, as partes corretas necessárias na manufatura chegam no momento e na quantidade certa. Isto proporciona a redução dos estoques em diversas fases da função processo. Ao reduzir os estoques, ocorre também a redução ou eliminação de perdas como, por exemplo, a ‘perda de superprodução’ (SHINGO, 1996). No pilar JIT, o *Kanban* é uma ferramenta voltada para a administração do fluxo de materiais e da produção em um sistema puxado, tendo como finalidade, enviar as informações necessárias para a operacionalização de todo o sistema produtivo, (OHNO, 1997; LIKER, 2005). Conforme Antunes *et al.* (2008), o STP emprega o *Kanban* para operar um sistema logístico entre as distintas etapas de produção, que utiliza o conceito *takt-time*, para determinar o ritmo pelo qual a produção deve operar, visando atender a uma demanda específica.

Goldratt (2009) relata que o *Kanban* foi originado com base na característica da demanda no Japão (pequena quantidade e grande variedade), a qual não comportava uma linha de produção exclusiva para cada produto. No sentido de evitar a ‘superprodução’ de itens, Taiichi Ohno realizava ensaios em linhas de manufatura não-dedicadas, objetivando produzir os componentes necessários para abastecer a montagem. Contudo, o principal problema era a indisponibilidade dos itens, no instante em que eram requisitados pelo processo subsequente. A resposta para este problema foi encontrada durante sua visita aos Estados Unidos, observando a sistemática de abastecimento de mercadorias em um supermercado em 1956, originando desta forma o *Kanban*.

Conforme Slack, Chambers e Johnston (2009), o *Kanban* é descrito como um método de operacionalizar o sistema de planejamento e controle puxado, o qual gerencia a transferência de materiais entre as fases do processo, por meio de cartões. Em sua forma mais

simples de funcionamento, um cartão é utilizado pelo estágio “cliente” para avisar o estágio “fornecedor” que mais material deve ser enviado. Segundo Antunes *et al.* (2008), o *Kanban* é uma ferramenta de programação e controle da produção, que simplifica os sistemas tradicionais de controle da produção (ordens de fabricação, montagem e compras) na medida em que, adotando um controle visual do material que circula na fábrica, elimina toda a circulação de papéis na estrutura de fabricação.

O termo ‘puxado’, utilizado na caracterização do *Kanban*, refere-se ao modo pelo qual os materiais e as informações (ordens de trabalho) fluem no sistema de produção. Conforme Hopp e Spearman (2000), na programação puxada, a liberação de ‘ordens de trabalho’, enviadas para o processo precedente, é feita com base no *status* do processo requisitante, não seguindo nenhum calendário fixo de liberação pré-estabelecido. Algumas das características da programação puxada são: (a) o sentido do fluxo da informação é contrário ao fluxo de materiais; e (b) o gerenciamento do fluxo da informação é feito pelas etapas de produção de forma conjunta. Devido a estes atributos, o *Kanban* é conceituado como sistema de gestão descentralizada da informação de produção e pode ser distinguido em três formas distintas (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009):

- ✓ de produção – tem a função de informar o instante que deve ser iniciada a produção do item descrito no cartão;
- ✓ de fornecedor (externo) – informa a empresa fornecedora ou terceirizada, referente à necessidade de envio de materiais para um estágio específico, da empresa consumidora.

Para Slack, Chambers e Johnston (2009), independente do tipo de *Kanban* utilizado, o princípio funcional é o mesmo, ou seja, o recebimento de um *Kanban* pode disparar o transporte, a produção ou o fornecimento de uma unidade ou de um contenedor-padrão de unidades.

Para melhor compreender o sistema *Kanban*, Ohno (1997) propôs um conjunto de seis regras básicas, a seguir abordadas:

- ✓ Regra 1 – o processo subsequente retira do processo precedente, a quantidade do item descrito no cartão *Kanban*.

Esta regra coloca em prática a idéia de “puxar” a produção, ou seja, enquanto o fluxo de informação que define “o que”, “quando” e “quanto” produzir ocorre na direção do mercado para as matérias-primas, o fluxo físico ocorre das matérias-primas para o mercado (ANTUNES *et al.*, 2008).

- ✓ Regra 2 – o processo precedente produz itens na quantidade e na sequência indicada pelo *Kanban*.

Para executar esta regra, a força de trabalho e os equipamentos devem estar preparados, em todos os aspectos, para produzir as quantidades necessárias no momento necessário.

- ✓ Regra 3 – nenhum item deve ser produzido ou transportado sem o cartão *Kanban*. A regra destaca a importância de evitar a produção e o transporte de itens, sem o uso do cartão *Kanban*. Essa prática contribui para evitar a ocorrência da perda por superprodução.

- ✓ Regra 4 – serve para afixar um *Kanban* às mercadorias.

O *Kanban* deve conter as informações necessárias para que seja feita a fabricação do item (ANTUNES *et al.*, 2008).

- ✓ Regra 5 – Produtos defeituosos não devem ser enviados para o processo seguinte, resultando em itens 100% livres de defeitos.

Para evitar colapsos no processo produtivo, os itens enviados ao processo subsequente devem ser livres de defeitos. Essa regra ilustra a necessidade utilizar abordagens como a autonomia ou dispositivos *Poka-yoke*, visando eliminar a produção de itens com problemas de qualidade.

- ✓ Regra 6 – reduzir o número de cartões *Kanban* aumenta a sensibilidade do processo, aos problemas existentes.

A proposta desta regra é a busca contínua pela redução dos estoques nas diferentes etapas produtivas. Tal fato é motivado por entre outras questões, pela ocultação de potenciais problemas existentes no processo.

Para operacionalizar o sistema produtivo via *Kanban*, deve-se ter cautela em ambientes que apresentem as seguintes condições desfavoráveis (LAGE JUNIOR; GODINHO FILHO, 2008): (i) produção desnivelada; (ii) instabilidade dos tempos de processamento; (iii) não padronização das operações; (iv) elevados tempos de *setup*, ou lote mínimo de produção com muitas peças; (v) grande variedade de itens; (vi) demanda instável:

e (vii) incertezas no abastecimento de matérias-primas. Outro elemento essencial a ser considerado durante a fase de pré-implantação do *Kanban* é a determinação do número de cartões *Kanban*. Logo, a suscetibilidade desse sistema de puxar a produção à variabilidade pode ser observada no procedimento integralmente determinístico, para cálculo do número de cartões *Kanban* proposto por Shingo (1996). Neste aspecto, o impacto causado pelos parâmetros do sistema produtivo, utilizado para determinar o número de *Kanbans*, tais como: tempos do processo, variabilidade da demanda, taxas de chegada e saídas de materiais e nível de *WIP*, não são apresentados de forma que clara, na literatura do tema, que também ilustra métodos determinísticos para o dimensionamento de cartões, que diante das incertezas e da dinâmica de um sistema real se tornam inviáveis (KRISHNAMURTHY; SURI, 2006).

Para Sanches *et al.* (2007), as inúmeras incertezas (ocasionadas pela variação dos tempos, oscilações da demanda, ou falta de padronização) desconsideradas no dimensionamento determinístico de *Kanbans*, podem induzir o sistema a condições muito distantes da ótima. A variabilidade no processo pode provocar filas, atrasos e aumentar o nível de *WIP* (BONVIK; GERSHWIN; TROXEL, 1995). Contudo, *Kanban* pode operar com baixo nível de estoque, quando as condições de variabilidade são pequenas (SUWANRUJI; ENNS, 2006).

### **3.2.2 A Teoria das Restrições (TOC) e o Drum-Buffer-Rope (DBR)**

A Teoria das Restrições (*Theory of Constraints*) é uma metodologia composta por um sistema de avaliação de desempenho, um conjunto de ferramentas que auxiliam na análise e resolução de problemas e por um método voltado à programação e controle da produção balizado no recurso gargalo (SPENCER; COX, 1995), visando subsidiar o desenvolvimento de ações gerenciais, que direcionem a organização, rumo à meta global.

A premissa fundamental da *TOC* considera que todo sistema tangível deve possuir pelo menos uma restrição, caso contrário, a capacidade produtiva e o ganho obtido com este sistema, seriam infinitos (NOREEN; SMITH; MACKEY, 1996). O termo ‘restrição’ representa os elementos internos ou externos que impedem a organização de alcançar a sua meta, que é ganhar dinheiro hoje e no futuro (GOLDRATT, 1991). Segundo Kendall (2007), a restrição, também conhecida na literatura pela nomenclatura ‘gargalo’, é responsável pelo ganho gerado no sistema. Na *TOC*, o termo gargalo é reservado à restrição que sempre limita

a capacidade de ganho do sistema, enquanto o termo recurso com capacidade restrita é usado para referir o recurso que limita o ganho do sistema devido a restrições de políticas ou balanceamento de demanda (GOLDRATT, 1991).

Sob este enfoque, o sucesso empresarial em termos de alcance à meta, é dado: (i) por um conjunto de indicadores de desempenho definidos como: locais e globais, que tem o intuito de avaliar o impacto das ações gerenciais (KENDALL, 2007), no sentido de nortear a organização rumo à meta; e (ii) pelo gerenciamento adequado da(s) restrição(ões), conduzido através do Processo de Focalização (GOLDRATT, 1991), o qual é composto por cinco passos que possibilitam concentrar as ações gerenciais na restrições, bem como, permitir o aprimoramento contínuo da performance do sistema. Ainda neste sentido, é possível destacar a manufatura sincronizada, obtida por meio da abordagem *DBR*, que visa entre outros elementos, compassar ao ritmo de produção de todos os recursos produtivos do sistema, conforme a cadência do gargalo.

Para expor a técnica *DBR*, Eliyahu Goldratt narra uma situação no livro *A Meta* (1992) considerando um grupo de escoteiros que caminham por uma trilha, visando simular um sistema produtivo. Nesta condição, o trecho que deve ser percorrido pelo grupo, representa o trabalho a ser feito, sendo o objetivo, completar o trajeto (concluir o lote de produção) em um tempo determinado. Os escoteiros são alinhados em fila e inicia-se a caminhada. A capacidade de andar dos escoteiros difere-se conforme a resistência física e o passo de cada um, podendo ocorrer situação análoga nos sistemas produtivos, quando, centros de produção distintos possuem capacidade superior a outros. Durante a jornada, a diferença existente entre as capacidades de caminhar dos escoteiros, origina a dispersão do grupo, aumentando gradativamente o espaço entre os escoteiros (o espaço entre escoteiros representa o *WIP* no processo). Analisando a capacidade de caminhada do grupo, o escoteiro que apresentar um passo menor em relação aos outros, será caracterizado como gargalo.

O problema central é reduzir a dispersão do grupo de escoteiros durante a caminhada, provocada por diferenças entre as capacidades individuais de caminhar, sem aumentar o tempo total para finalizar a caminhada. Conforme Noreen, Smith e Mackey (1996), uma solução possível seria organizar o grupo de acordo com suas capacidades, colocando o escoteiro gargalo (o mais lento) na frente do grupo. Contudo, essa proposta seria onerosa e provavelmente inexecutável em um real sistema produtivo. Segundo os mesmos autores, outra solução seria amarrar uma corda na cintura de cada escoteiro, forçando o grupo inteiro a



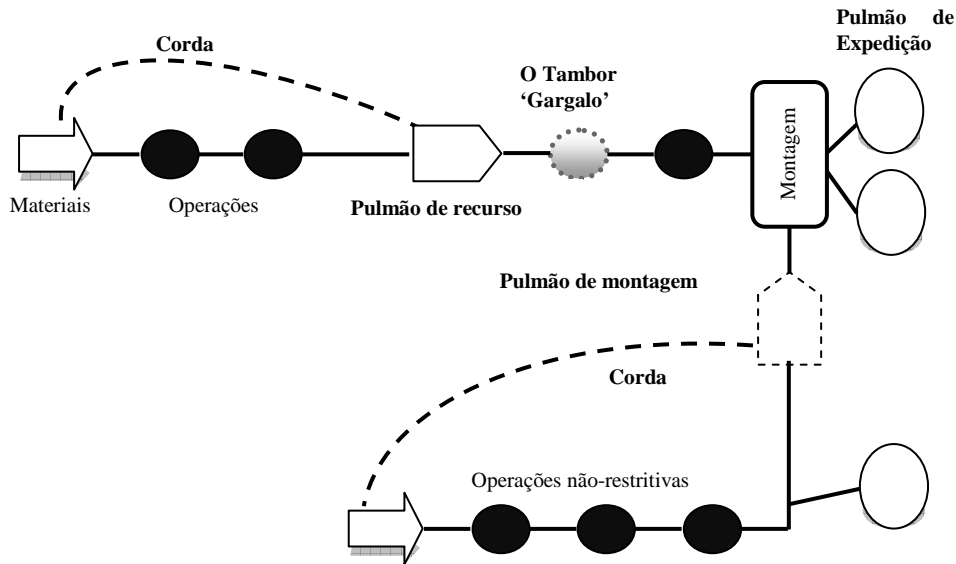
caminhar conforme a cadência do escoteiro gargalo, que é considerado na técnica *DBR* como ‘tambor’, pois determina o ritmo com que o grupo caminha pela trilha.

A velocidade com que os escoteiros andam pela trilha é passível de interrupções e variações, como por exemplo, um escoteiro parado removendo uma pedra do tênis (no sistema produtivo, poderia ser a quebra de um recurso produtivo). Neste sentido, para evitar a parada total do grupo, por causa de problemas em um único escoteiro, o líder poderia determinar um comprimento de corda, que possibilite ao escoteiro com maior capacidade de caminhar, distanciar-se do escoteiro gargalo, criando desta forma um espaço, caracterizado no *DBR* como ‘pulmão’. Este espaço possibilita ao escoteiro com capacidade superior de caminhada realizar suas necessidades, enquanto o escoteiro gargalo consome este pulmão, evitando assim a parada do escoteiro gargalo. Conforme Goldratt e Cox (2002), uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida em todo o sistema.

Como implementação dos princípios apresentados nos parágrafos anteriores, o *DBR* compreende, basicamente: (i) programar o recurso crítico ou gargalo – ‘tambor’; (ii) dimensionar o estoque intermediário para proteção do recurso crítico – ‘pulmão’; (iii) puxar a produção a partir do recurso gargalo – ‘corda’. Desta forma, o *DBR* caracteriza-se pelo uso de técnicas de programação finita e um mecanismo de produção puxada (MESQUITA; CASTRO, 2008). Segundo Csillag e Corbett (1998), o *DBR* é uma aplicação da *TOC* para a programação e o controle da produção, criado a partir do Processo de Focalização. Neste sentido, uma vez identificada a restrição (Passo 1), deve-se explorar a restrição (Passo 2), por meio da programação da fabricação de itens, que subsidiem o alcance à meta, evitando o excesso de *WIP*, aumento no *lead time* e ociosidade no recurso gargalo. O *DBR* emprega a abordagem híbrida referente ao sentido de programação, ou seja, as operações realizadas nos recursos que antecedem o gargalo (tambor) seguem a característica de programação *backward* e para os recursos posteriores ao gargalo, aplica-se a programação *forward*. Com este enfoque, o *DBR* busca auxiliar na sincronização da produção dos itens demandados.

A seguir, é apresentada na Figura 3 a lógica de funcionamento do *DBR*, considerando um sistema produtivo simplificado. Ao observar a Figura 3, o recurso gargalo é denominado ‘tambor’ e, segundo Kendall (2007), determina a cadência com que o sistema produtivo gera Ganho. Quando a ordem de produção é liberada (segundo a programação da produção), os materiais processados nos recursos que antecedam o gargalo são puxados de tal modo que proporcionem a formação de um estoque em frente ao ‘tambor’, o qual é denominado ‘pulmão’. A finalidade do ‘pulmão’ é proteger o ‘tambor’ contra a ociosidade, provocada por

discrepâncias ocorridas nos recursos que o antecedem, ocasionando a falta de abastecimento (KENDALL, 2007; SOUZA, 2005).



**Figura 3 – Representação do DBR no sistema produtivo.**  
**Fonte: Adaptado de Rodrigues (1990).**

O ‘pulmão’ é expresso em unidades de tempo e não em quantidades (KENDALL, 2007), podendo ser originado pela liberação da ordem de produção do item, algum tempo antes de seu uso no ‘tambor’ (CSILLAG; CORBETT, 1998). Neste sentido, o dimensionamento do pulmão deve considerar os custos de retenção de *WIP*, a proteção do ‘tambor’ e a frequência dos atrasos ao cumprimento dos prazos de entrega, que podem ocorrer devido às flutuações e interrupções estatísticas nos recursos antecessores ao ‘tambor’ (NOREEN; SMITH; MACKEY, 1996).

Conforme a função do ‘pulmão’ descrita nos parágrafos anteriores, é possível caracterizá-lo em três diferentes maneiras (CSILLAG; CORBETT, 1998): (a) ‘pulmão’ de recurso; (b) ‘pulmão’ de montagem; e (c) ‘pulmão’ de expedição. Considerando o sistema produtivo ilustrado na Figura 3, o ‘pulmão de recurso’ protege o gargalo contra a inatividade, caso ocorram interrupções no fluxo de materiais, causadas por problemas nos recursos precedentes. Sendo o item processado no gargalo parte de um conjunto a ser montado, a proteção desta operação é feita por meio da antecipação da fabricação de todos os itens que não passam pelo recurso gargalo, os quais compõem a lista de materiais do produto requerido. Neste contexto, o ‘pulmão de montagem’ é caracterizado pelo intervalo de tempo que os itens já processados pelos recursos não-restritivos, esperam pela chegada dos itens que estão sendo

processados pelo gargalo. Assim, as dispersões ocorridas nas operações que antecedem o pulmão de montagem não afetam a data programada para iniciar a montagem. Por fim, para amortecer as flutuações existentes na operação de montagem e garantir os prazos de entrega prometidos, ocorre o emprego do ‘pulmão de expedição’.

Tendo como objetivo uniformizar o fluxo de materiais entre os recursos não-restritivos e o ‘tambor’, evitando que o nível de *WIP* aumente de maneira descontrolada, a ‘corda’, segundo Souza (2005), impede o aumento de *WIP*, liberando material para a linha, no ritmo análogo ao seu consumo pelo recurso gargalo, considerando uma defasagem no tempo equivalente ao pulmão de recurso estabelecido. Em outras palavras, a ‘corda’ refere-se ao ‘puxar’ material para a recomposição do nível pré-determinado do ‘pulmão’, de modo simétrico ao consumo desse material pelo recurso gargalo, ou seja, se o nível do pulmão está abaixo do limite calculado, é admitida a entrada de matéria-prima na primeira operação, na quantidade necessária para estabelecer o nível. Já um nível acima do limite interrompe a entrada de materiais.

### **3.2.3 WORKLOAD CONTROL (WLC)**

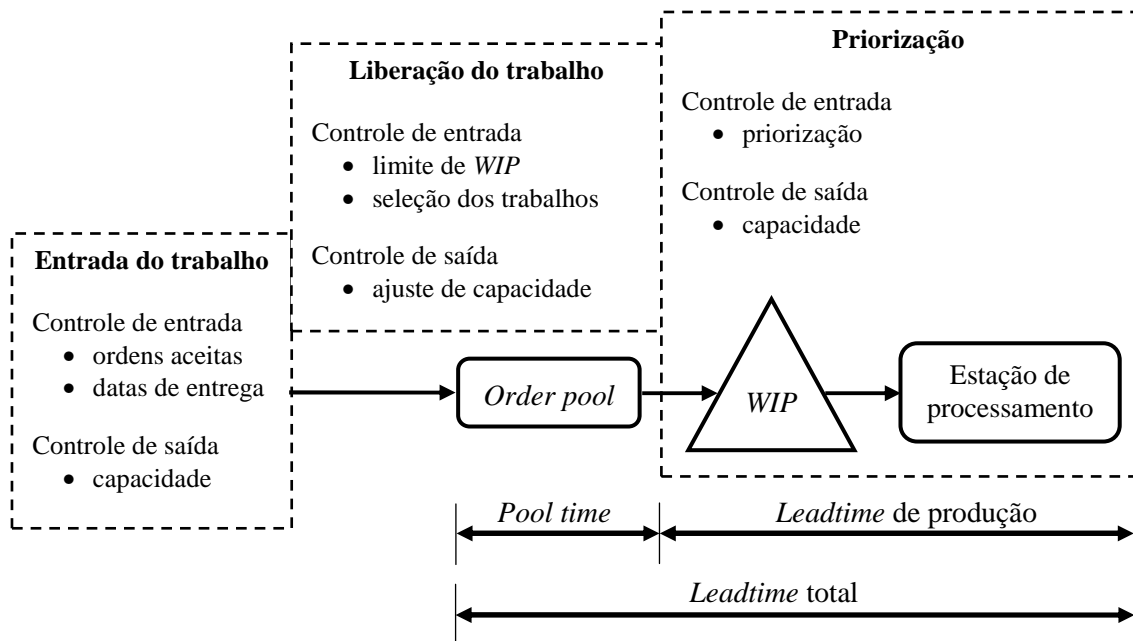
Conforme Fredendall, Ojha e Patterson (2010), a abordagem *WLC* propõe-se a assegurar que as ordens de produção (*jobs*) são finalizadas nos períodos planejados, utilizando a totalidade da capacidade produtiva disponível. No conceito *WLC* ocorrem decisões em três níveis: (i) entrada – controla a quantidade total de trabalhos aceitos; (ii) liberação – gerencia a quantidade de trabalho no ambiente de produção; e (iii) priorização – focaliza o progresso dos trabalhos ao longo do fluxo produtivo (LAND, 2006).

Segundo Land e Gaalman (1996), o *WLC* considera um ambiente de produção como um sistema de filas, devido à possibilidade de existir acúmulos de materiais nas distintas estações de processamento, ocasionada pelos trabalhos que chegam (oriundos das operações precedentes) e, por aqueles que aguardam para serem processados. Neste enfoque, segundo os mesmos autores, o princípio fundamental do *WLC* é gerenciar cada uma das filas existentes no processo de produção em estudo.

Em um ambiente *WLC*, é necessário determinar o instante de liberação do trabalho para o setor de produção. Uma vez ocorrida a liberação, o trabalho avança ao longo do fluxo de produção, conforme a priorização feita em cada estação de processamento. Compete

observar que o *WLC* não recomenda a liberação de trabalhos que não são necessários para o ambiente de produção, tendo como objetivo, evitar o aumento no tamanho e no tempo de espera na fila (LAND; GAALMAN, 1996).

Na Figura 4 é apresentada a estrutura clássica do *WLC*, a qual é constituída por 3 níveis distintos, denominados ‘entrada do trabalho’, ‘liberação do trabalho’ e ‘priorização’. Em cada nível, empregam-se duas medidas de controle, sendo essas: controle de entrada e de saída.



**Figura 4 – Estrutura típica do *WLC*.**  
 Fonte: Fredendall, Ojha e Patterson (2010).

No primeiro nível da estrutura *WLC*, o controle de entrada tem por finalidade: (i) aceitar ou rejeitar ordens (ou pedidos); e (ii) definir as datas de entrega. Já o controle de saída visa adequar a capacidade dos centros de processamento (LAND; GAALMAN, 1996; BERGAMASCHI *et al.*, 1997). Segundo Kingsman e Hendry (2002), o primeiro nível da estrutura (entrada de trabalho), mais especificamente o controle de entrada, é responsável por reduzir o volume de materiais no chão de fábrica e melhorar o desempenho das entregas de ordens, enquanto o controle de saída, foca na diminuição do *leadtime* total pelo ajuste de capacidade de produção.

Conforme Fredendall, Ojha e Patterson (2010) o segundo nível gerencia as ordens que foram aceitas para a produção. As decisões de controle de entrada neste nível intermediário referem-se à: quando liberar os trabalhos que estão no *order pool* aguardando a permissão para entrar em produção; quantos trabalhos serão liberados; e quais os tipos de trabalhos. O

controle de saída neste nível consiste em reajustar a capacidade caso seja necessário (LAND; GAALMAN, 1996). Ainda neste nível, a nomenclatura ‘*time pool*’ usada pela literatura deste tema, refere-se ao tempo que uma ordem (que foi aceita no primeiro nível) permanece aguardando sua liberação para entrar em produção.

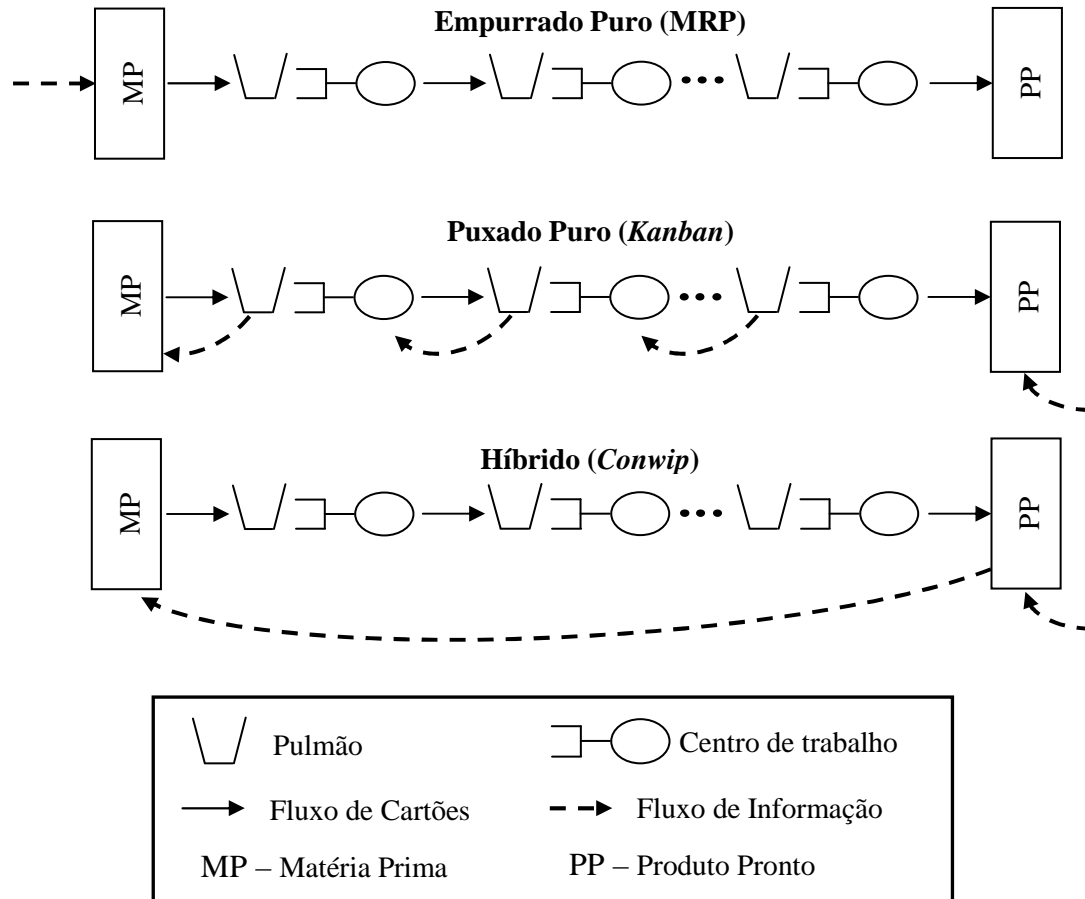
Por fim o terceiro nível da estrutura *WLC* faz referência à priorização dos trabalhos no ambiente de produção. As decisões concernentes ao controle de entrada, dizem respeito ao uso de regras de prioridade, aplicadas para selecionar um trabalho na fila das diferentes estações de processamento (WEIN; CHEVALIER, 1992; RAGATZ, MABERT, 1988). Cabe observar que a importância da priorização torna-se reduzida, em sistemas que buscam manter um volume baixo de trabalhos na fila (LAND; GAALMAN, 1996). No controle de saída são feitos ajustes na capacidade diária, focando na realocação de trabalhadores, uso de horas extras, entre outros.

### 3.3 *CONSTANT WORK IN PROCESS (CONWIP)*

Na estrutura de Planejamento Puxado apresentada na Figura 2, Hopp e Spearman (2000) sugerem o uso do *Conwip* nos módulos de Controle de chão de fábrica e Programação e Sequenciamento. Conforme Souza, Rentes e Agostinho (2002), o *Conwip* busca limitar o nível máximo de *WIP* em toda a linha de produção.

Para um melhor entendimento do *Conwip*, ilustra-se, na Figura 5, uma representação sucinta de seu funcionamento, em relação ao *Kanban* (puxado) e *MRP* (empurrado). Nahmias (2001) relata que o *MRP* é um sistema de gestão centralizado de informação ‘empurrada’, tendo como principal atributo informar todo o sistema produtivo instantaneamente, diante de mudanças inesperadas no padrão da demanda ou falhas nos equipamentos principais. Uma das principais vantagens do *MRP* é sua natureza dinâmica, sendo um sistema bastante útil no atual ambiente corporativo, cada vez mais competitivo (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2001). No entanto, questões como a determinação do *lead time* e do lote de compra podem se tornar complexas. O dimensionamento inadequado do parâmetro de entrada *lead time* pode provocar ociosidades, perdas por espera, comprometimento ao prazo de entrega e aumento dos custos. Para o tamanho do lote, a definição inadequada pode acarretar em perdas por estoque, redução da flexibilidade, aumento dos custos e no tempo de atendimento à demanda do cliente (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2001). Vale ressaltar que o *MRP* considera um valor fixo para

o *lead time*, independente do tamanho do lote (NAHMIAS, 2001) e da variabilidade que pode ocorrer, na média do *lead time*.



**Figura 5 – Conwip, empurrado puro e Kanban.**  
**Fonte: Adaptado de Hopp e Spearman (2000).**

Conforme Hopp e Spearman (2000), a produção empurrada (*MRP*), tem um comportamento similar a uma rede aberta de filas, que libera os ‘trabalhos’ para a rede, conforme o planejamento das necessidades de materiais. Desta forma, a quantidade de ‘trabalhos’ na rede pode variar conforme o horizonte de tempo (HOPP; SPEARMAN, 2000). Adverso ao *Conwip*, o *MRP* libera os ‘trabalhos’, sem considerar o *status* do sistema produtivo, em nível de capacidade ou de *WIP*, não ocorrendo nenhum tipo de vinculação no fluxo de materiais em termos de entradas e saídas de ‘trabalho’, tendo como ‘gatilho liberador de trabalho’ o planejamento dos materiais. Os mesmos autores relatam os seguintes pontos de divergência entre a produção puxada e o *MRP*: (i) dependendo dos eventos ocorridos no sistema de produção, em ambientes que empregam o *MRP*, pode ocorrer à variação do nível de *WIP*, contudo, em ambientes que utilizam o sistema puxado, é provável a ocorrência de

variação na taxa de produção; (ii) visando otimizar os indicadores de resultados da organização, pode ser mais acessível gerenciar o nível de *WIP* (parâmetro do sistema puxado) do que otimizar as taxas de liberação de ordens de produção (parâmetro do sistema empurrado); e (iii) o *MRP* apresenta maior dispersão no indicador de *lead time*. Esta afirmação é atribuída à falta de correlação no fluxo de *WIP* em cada um dos recursos de processamento, ou seja, não é analisada de forma conjunta e dependente, a entrada e saída de materiais no fluxo de produção.

O sistema *Kanban* (com um cartão) é caracterizado como uma rede fechada de filas com bloqueio, (HOPP; SPEARMAN, 2000) que limita o número de ‘trabalhos’ em cada centro produtivo, através de cartões, que tem o intuito de estabelecer o nível admitido de *WIP*. Cada cartão de produção atua exatamente como um espaço de um estoque finito em frente a cada centro. Se este estoque ficar cheio, o centro precedente é bloqueado (HOPP; SPEARMAN, 2000).

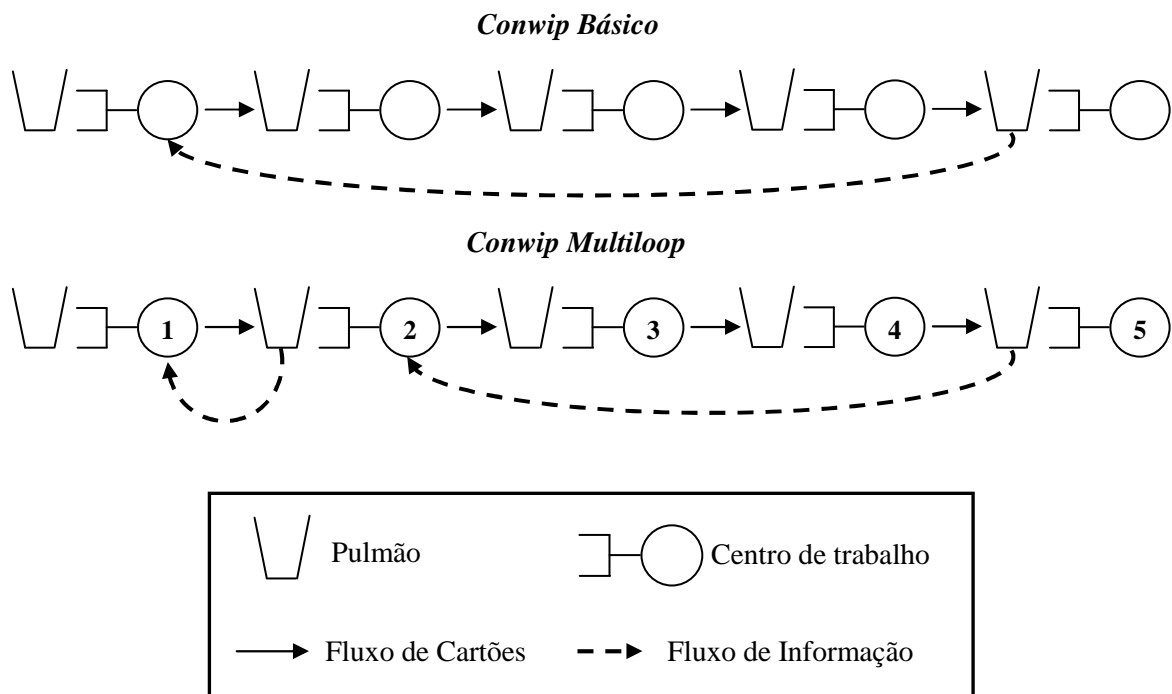
Já o *Conwip* assemelha-se a uma rede fechada de filas considerando a premissa que todos os ‘trabalhos’ que circulam na rede são idênticos, tendo como resultado, uma taxa de saída de produtos prontos, igual à taxa de entrada de matéria-prima na rede (HOPP; SPEARMAN, 2000). Em outras palavras, o *Conwip* utiliza de forma conjunta a abordagem de ‘puxar’ e ‘empurrar’ a produção, ou seja, quando um ‘trabalho’ sai do fluxo, a informação derivada desta saída puxa a entrada de um novo ‘trabalho’, sendo este, empurrado ao longo dos diferentes níveis operacionais pertencentes ao fluxo produtivo, até sua saída, gerando novamente a informação que puxará a entrada de um novo ‘trabalho’. A comunicação desta informação pode ser feita por meio de cartões, que diferentemente do *Kanban*, trazem informações referentes à carga de *WIP* do sistema.

Segundo Hopp e Spearman (2000), em ambientes produtivos que empregam o *Conwip* (ou *Kanban*) para gerir o fluxo de materiais, dois problemas podem ser destacados: (i) ociosidade no gargalo, gerada por paradas não planejadas nos recursos subsequentes ao gargalo, tendo como resultado principal, o bloqueio da entrada de materiais para o sistema; e (ii) liberação prematura das ordens de produção, visando manter constante o *WIP*, podendo esta prática, ocasionar redução da flexibilidade no atendimento a ordens de produção inesperadas.

Ao focar exclusivamente na prevenção da ociosidade no gargalo (que é um dos pontos tratados pelo método proposto por esta pesquisa), Hopp e Spearman (2000) sugerem a alteração da configuração original do *Conwip* (apresentada no parágrafo anterior), puxando a

entrada de materiais na linha, segundo o ritmo de processamento do recurso gargalo, sendo este mecanismo, denominado *pull-from-bottleneck (PFB)*, o qual é análogo a abordagem *DBR* (GOLDRATT; COX, 2002). Compete ainda observar segundo os mesmos autores, que a configuração *PFB* controla apenas o nível de *WIP* nas estações produtivas precedentes a restrição, deste modo, frente a paradas não planejadas nos recursos subsequentes ao gargalo poderá ocorrer um aumento no volume de *WIP* total da linha.

Com base nos princípios funcionais do *Conwip*, são descritas, a seguir, as possíveis maneiras de configurar a gestão do fluxo, segundo as características do sistema produtivo. Conforme Hopp e Spearman (2000), em ambientes de manufatura, que possuam: (i) único roteiro de produção, ou seja, todos os ‘trabalhos’ passam pela mesma sequência de máquinas; (ii) tempo de processamento similar para todos os ‘trabalhos’, consumindo a mesma quantidade de tempo em cada centro de processamento; (iii) gargalo estável; (iv) tempos de *setup* não elevados a ponto de comprometer o fluxo de ‘trabalho’ na linha; e (v) ausência da operação de montagem, possibilitando ver a progressão do ‘trabalho’ linearmente, é possível operar com o *Conwip* em sua forma básica, apresentado na Figura 6.



**Figura 6 – Configurações do *Conwip*.**  
Fonte: Adaptado de Hopp e Spearman (2000).

Em sistemas produtivos que não atendem os pressupostos anteriormente descritos, Hopp e Spearman (2000) sugerem uma derivação do *Conwip* Básico, denominado *Conwip*



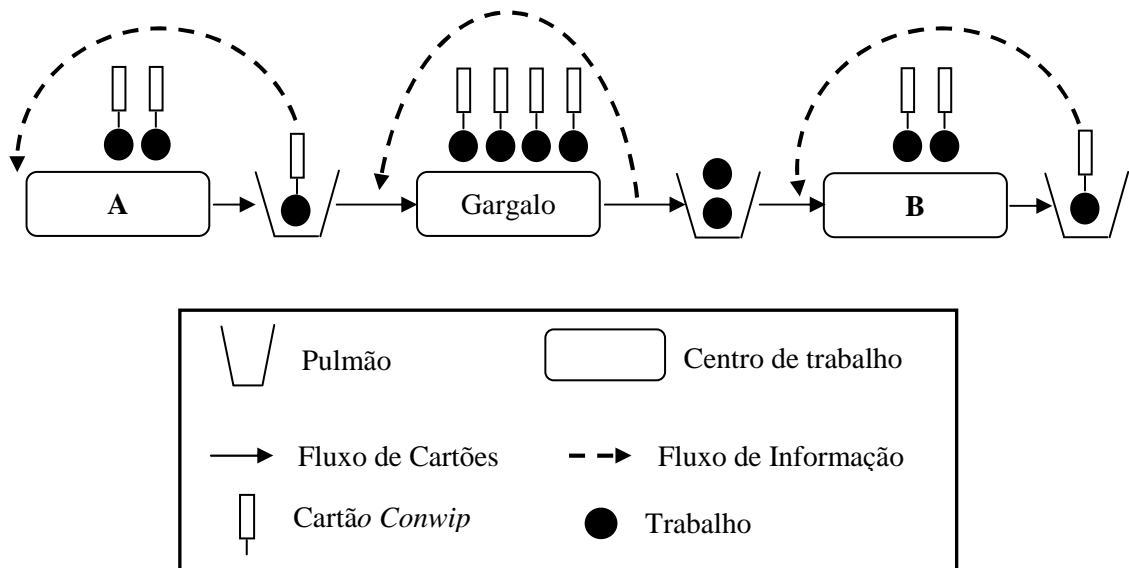
*Multiloop*, que promove a divisão da linha produtiva em segmentos gerenciáveis, separados por *buffers*. No entanto, os mesmos autores relatam que, quanto maior for o número de segmentos gerenciáveis estabelecidos, mais o comportamento do *Conwip* tende a aproximar-se do *Kanban*. Conforme Hopp e Spearman (2000), o *Conwip Multiloop* controla o *WIP* individualmente em cada segmento da linha de produção, permitindo que cada *buffer* da linha de produção, possua uma velocidade de restabelecimento individual.

A operabilidade do *Conwip Multiloop* é ilustrada na Figura 6, que apresenta uma linha constituída por cinco centros produtivos, divididos em dois segmentos gerenciáveis: o primeiro é formado pelos centros 1 e 2; e o segundo segmento, constituído pelos centros 2 e 5. Na configuração *Conwip Multiloop*, é permitida a entrada de ‘trabalho’ no centro 1 (ou iniciar o processamento no centro 1), somente quando for retirada uma unidade de ‘trabalho’ no *buffer* do centro 2. Outra relação, formada pelos centros 2 e 5, permite a entrada de ‘trabalho’ no centro 2 (ou iniciar o processamento no centro 2), somente quando for retirada uma unidade de ‘trabalho’ no *buffer* do centro 5. No entanto, Hopp e Spearman (2000), descrevem a ocorrência de um *trade-off* referente à perda de eficiência no sistema, causado pelo aumento do *WIP* e *lead time*, por causa da inserção dos *buffers* em cada segmento gerenciável. Compete ainda observar, que o *Conwip Multiloop* pode ser configurado, de modo que represente um comportamento de puxar a entrada de materiais na linha de produção, similar ao *DBR*.

No *Conwip*, independente da configuração utilizada, os cartões não fornecem informações referentes aos produtos, a ponto de possibilitar o sequenciamento dos tipos de ‘trabalhos’ a serem liberados para linha de produção. Frente a essa questão, o *Sequencing and scheduling*, que é um dos elementos que compõem estrutura de planejamento hierárquico da produção puxada, tem como objetivo, fornecer uma programação que gerencie a liberação dos ‘trabalhos’ e requisições de materiais (HOPP; SPEARMAN, 2000), visando atender os prazos de entrega dos ‘trabalhos’.

Outra questão que aumenta o controle de uma linha que opera sob a ótica do *Conwip*, diz respeito à liberação dos cartões. Existem duas opções de liberar os cartões (HOPP; SPEARMAN, 2000): (i) quando os ‘trabalhos’ deixam o *buffer* da operação subsequente; e (ii) antes que os ‘trabalhos’ entrem no *buffer* da operação subsequente. Considerando a Figura 7, ao iniciar a operação nos recursos produtivos A e B, um cartão *Conwip* é fixado no componente. No instante que a operação é concluída, o componente é enviado para o *buffer* do recurso subsequente. Na alternativa de liberar os cartões quando os trabalhos deixam o

*buffer*, o cartão *Conwip* será destacado e enviado para o processo precedente, somente no momento em que o processo subsequente requisitar o componente estocado. Conforme Hopp e Spearman (2000), este procedimento é significativo quando aplicado em linhas não-gargalo, pois é rápido o suficiente para manter o ritmo em todo o sistema produtivo.



**Figura 7 – Mecanismos de liberação de cartões.**  
**Fonte: Adaptado de Hopp e Spearman (2000).**

Contudo, para recurso gargalo, Hopp e Spearman (2000) propõem destacar o cartão *Conwip* do componente já processado, antes da entrada no *buffer* do recurso subsequente (no mesmo instante em que o ‘trabalho’ deixa o recurso gargalo, o cartão *Conwip* é retirado e enviado para o recurso precedente). Este tipo de mecanismo deve ser usado em linhas gargalo, pois proporciona maior disponibilidade de *WIP*, devido à rápida disposição da informação ao recurso precedente.

Considerando a sucinta proposição teórica do *Conwip* feita nos parágrafos anteriores, ressalta-se que outros exemplos de *layouts* produtivos e possibilidades de configurações são encontrados no livro *Factory Physics* (HOPP; SPEARMAN, 2000).

### 3.4 LEI DE LITTLE

Segundo Little (1961), para um processo de fila em equilíbrio (o número de chegadas é igual ao número de saídas), o número esperado de ‘unidades’ no sistema ( $L$ ) é dado pela

multiplicação do tempo gasto por uma ‘unidade’ no sistema ( $W$ ), com o valor de tempo entre duas chegadas consecutivas ( $\lambda$ ) no sistema. Sendo essas três médias finitas e correspondentes a um processo estocástico estacionário (a distribuição de probabilidade não muda com o tempo), com processo de chegadas transitivo com média diferente de zero, torna-se possível escrevê-lo segundo a Lei de Little. Focalizando em ambientes de manufatura, Hopp e Spearman (2000) descrevem esta lei por meio da Equação 1:

$$WIP = TH \times CT \quad (1)$$

Sendo:  $WIP$  – estoques de materiais em processo;  $TH$  – taxa de produção efetiva ou *throughput*, média de saída de ‘trabalhos’ (que atendem os requisitos de qualidade) da linha de produção por unidade de tempo; e  $CT$  – *lead time* efetivo ou *lead time* da produção, tempo médio que um ‘trabalho’ consome para percorrer seu o roteiro de produção, considerando os procedimentos de liberação (HOPP; SPEARMAN, 2000). Conforme Rust (2008), a aplicação da Lei de Little pode auxiliar: (i) a prever o comportamento de um sistema produtivo; (ii) a validar melhorias operacionais; e (iii) na obtenção de métricas que proporcionam estabilidade ao sistema produtivo.

Para calcular as métricas  $WIP$ ,  $TH$  e  $CT$ , bem como analisar suas inter-relações, Hopp e Spearman (2000) fazem uma proposição das seguintes leis, a partir de um nível ‘ $w$ ’ de  $WIP$ :

**Lei do caso de melhor desempenho** – esta lei faz referência ao resultado ‘ótimo’ que poderia ser formalizado nas métricas  $CT$  e  $TH$ , considerando um nível ‘ $w$ ’ de  $WIP$ , para uma linha de produção isenta de variabilidade. Deste modo, o mínimo  $CT$  é obtido através da Equação 2.

$$CT_{best} \begin{cases} T_0 & \text{Se } w \leq W_0 \\ \frac{w}{r_b} & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

O máximo  $TH$  é dado pela Equação 3.

$$TH_{best} \begin{cases} \frac{w}{T_0} & \text{Se } w \leq W_0 \\ r_b & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

Para: ( $r_b$ ) Taxa de gargalo da linha de produção – é a taxa com que os ‘trabalhos’ são processados no recurso com maior utilização à longo prazo, medido em ‘trabalhos’ por unidade de tempo. Caber ressaltar que devem ser excluídas do horizonte de cálculo desta métrica as paradas não-planejadas e os problemas de qualidade; ( $T_0$ ) Tempo bruto de processo – é o tempo médio que um ‘trabalho’ leva para atravessar uma linha de produção vazia (de maneira que ele não tenha que aguardar outros trabalhos à sua frente); e ( $W_0$ ) – é o nível crítico de *WIP* para uma linha de produção não afetada pela ação da variabilidade, o qual fornecer valores ‘ótimos’ para  $r_b$  e  $T_0$ .

**Lei do caso de pior desempenho** – é estimado nesta lei, o pior resultado possível para uma linha de produção, com um alto grau de variabilidade e operando em lotes. Assim, o máximo de *CT* é obtido pela Equação 4.

$$CT_{worst} = w \times T_0 \quad (4)$$

O máximo *TH* para um nível ‘ $w$ ’ de *WIP* é obtido pela Equação 5:

$$TH_{worst} = \frac{1}{T_0} \quad (5)$$

As leis referentes aos casos de melhor e pior desempenho formam os extremos analíticos admissíveis de possíveis resultados que podem ser alcançados em um ambiente produtivo. No entanto, Hopp e Spearman (2000) afirmam que o comportamento de uma linha de produção em ambiente real, não é exatamente igual aos princípios ou premissas preconizados por essas duas leis. Desta forma, os mesmos autores apresentam uma lei intermediária denominada **Lei do caso de pior desempenho prático**, a qual considera um ambiente com um nível elevado de variabilidade, afirmando que qualquer ambiente produtivo com um desempenho pior do que o proposto por esta lei poderá ser melhorado. Neste sentido, o cálculo da métrica *CT* segundo Lei do caso de pior desempenho prático é obtido pela Equação 6:

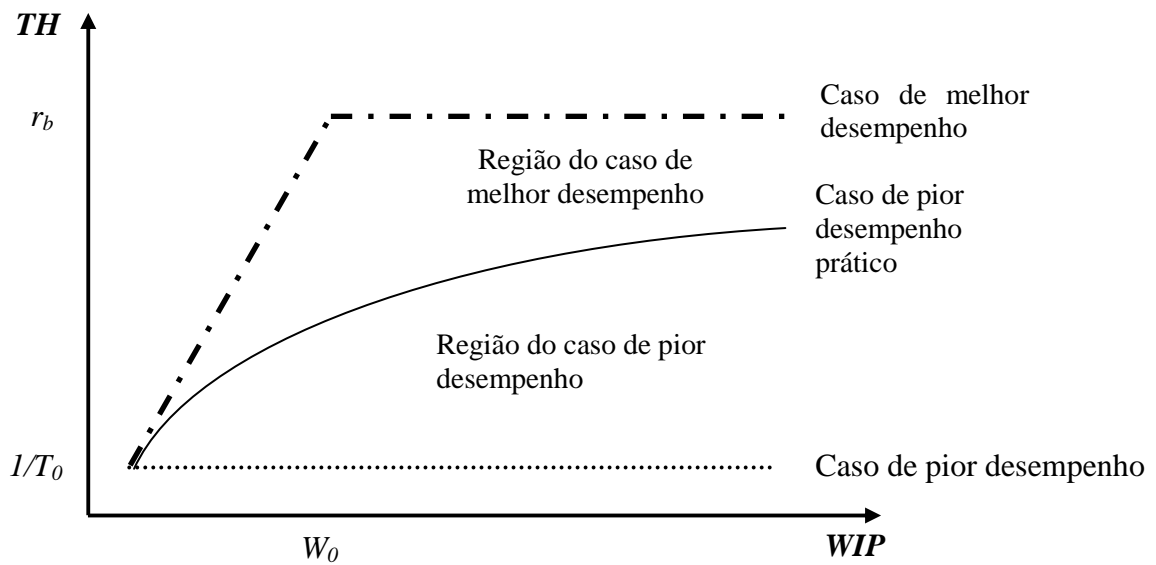
$$CT_{pwc} = T_0 + \frac{w-1}{r_b} \quad (6)$$

O  $TH$  para um nível ‘ $w$ ’ de  $WIP$  é dado através da Equação 7:

$$TH_{pwc} = \frac{w}{W_0 + w - 1} r_b \quad (7)$$

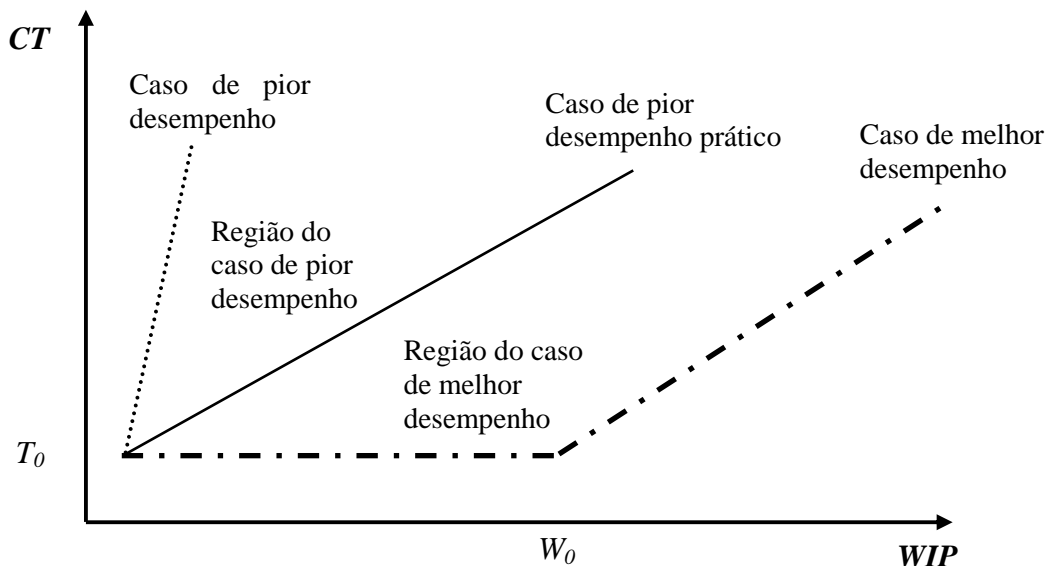
Hopp e Spearman (2000) descrevem que o **caso de pior desempenho prático** considera um ambiente produtivo com um alto índice de variabilidade, caracterizado pelo *status* do sistema, que é uma descrição completa da situação dos ‘trabalhos’ em todos os recursos produtivos: quantos existem e qual o tempo de processamento da cada um. Desta forma, o cenário com variabilidade máxima é aquele em que podem ocorrer com uma frequência igual, todos os *status* possíveis. Para que todos os *status* tenham as mesmas possibilidades de ocorrência, são necessárias três condições: (i) a linha de produção deve estar balanceada; (ii) todos os centros produtivos devem possuir máquinas individuais; e (iii) os tempos de processo devem ocorrer de acordo com uma distribuição de probabilidades exponencial. Segundo os mesmos autores, essas condições foram escolhidas para maximizar a aleatoriedade no sistema, de modo que, um procedimento de melhoria executado em qualquer uma das três condições afetará desempenho da linha de produção.

Visando ilustrar o comportamento de cada lei na determinação do  $CT$ ,  $TH$  e  $WIP$ , Hopp e Spearman (2000) apresentam as seguintes curvas, ilustradas pelas Figuras 8 e 9. Na Figura 8, os resultados obtidos para o ‘caso de melhor desempenho’ foram extraídos de uma linha de produção balanceada, constituída por quatro recursos produtivos com gargalo fixo, com tempos operacionais determinísticos, operando em modo constante (entra um novo ‘trabalho’ na linha produção, no mesmo instante que sai um ‘trabalho’ da linha). Com este foco, observa-se a ascendência no valor de  $TH$ , à medida que o  $WIP$  da linha de produção é aumentado, até atingir sua capacidade total de produção, quando o nível de  $WIP$  da linha é igual a  $W_0$ . Contudo, para um nível de  $WIP$  superior a  $W_0$ , o valor de  $TH$  permanece constante, em sua máxima capacidade de operação. Na Figura 9, o valor de  $CT$  permanece constante até alcançar o valor de  $W_0$ , pois neste caso, a linha de produção opera em modo constante, evitando a formação de filas. No entanto, o nível de  $WIP$  superior a  $W_0$  provoca o aumento no  $CT$ , por causa da formação de filas na linha de produção.



**Figura 8 – TH versus WIP.**  
**Fonte: Adaptado de Hopp e Spearman (2000).**

Os resultados do ‘caso de pior desempenho’ fazem referência a uma linha de produção balanceada, composta por quatro recursos produtivos com gargalo fixo, com tempos operacionais determinísticos, operando em lotes de ‘trabalho’ de modo constante (entra um novo lote de ‘trabalho’ na linha produção, no mesmo instante que sai um lote da linha).



**Figura 9 – CT versus WIP.**  
**Fonte: Adaptado de Hopp e Spearman (2000).**

Neste cenário, não ocorre a transferência unitária de ‘trabalhos’ entre os recursos produtivos da linha, gerando perdas por espera. Frente a essa conjectura, o valor de  $TH$  (Figura 8) é fixo,

pois o aumento do tamanho do lote (que neste caso é o *WIP*) provocará um aumento proporcional no valor de *CT*, gerada pela ausência de fluxo unitário de ‘trabalho’ na linha de produção e, pelo aumento do lote de produção.

O ‘caso de pior desempenho prático’ possibilita uma análise visual das métricas *CT*, *WIP* e *TH*, indicando a localização em duas possíveis regiões: (i) a região do ‘caso de pior desempenho’, sinaliza a necessidade de ações de melhoria; e (ii) a região do ‘caso de melhor desempenho’, indica potencialidades da linha de produção estudada.

Com base na Lei de Little e das leis propostas por Hopp e Spearman (2000), é possível examinar o comportamento de um sistema produtivo e julgar a necessidade de aplicar ações de melhoria. No entanto, considerando esses procedimentos, podem ser observados os seguintes vínculos:

- ✓ em uma linha de produção que opera em modo constante (com fluxo unitário de ‘trabalhos’), o nível de *WIP* possui papel fundamental no desempenho da métrica *TH*. No entanto, o excesso de *WIP* pode gerar aumento na métrica *CT*;
- ✓ o valor de *TH* pode ser comprometido pela ociosidade, em ambientes produtivos que não operam de modo constante, com fluxo unitário de ‘trabalhos’;
- ✓ ambientes de produção que não operam de modo constante, com fluxo unitário de ‘trabalhos’, podem apresentar um valor de *CT* elevado;
- ✓ o grau de variabilidade da linha de produção e sua forma de gerenciamento do fluxo de trabalho, são alguns dos fatores determinantes, para obter um cenário similar ao proposto pelo melhor caso de desempenho.

Hopp e Spearman (2000) relatam que, para evitar flutuações no valor de *TH*, é necessário manter um valor constante de *WIP* na linha de produção, o qual pode ser obtido através do *Conwip*. No entanto, na fase preliminar de implantação desta abordagem no sistema de produção, é necessário determinar o número de cartões, que segundo os mesmos autores, pode ser feito por meio da aplicação da Lei de Little. Contudo, dependendo do grau da variabilidade existente nos tempos de processamento, é necessário manter um valor de *WIP* maior do  $W_0$  para suavizar essas variações. Entretanto, o ponto negativo desta prática é a possibilidade de aumento nos custos, redução de flexibilidade, ocultar problemas de qualidade/produção, não agregar valor ao produto final, aumento no *CT*, entre outros.

### 3.5 INDICADORES DE DESEMPENHO

Davis, Aquilano e Chase (2001) declaram que para o sucesso das organizações é fundamental a medição do seu desempenho. Essa informação gera uma base sustentável para controle, em termos de alcance a metas ou padrões esperados, bem como, auxiliar o processo decisório. Neste contexto, os indicadores de desempenho provêm informações referentes às entradas (recursos ou insumos), saídas (produtos) e o desempenho dos processos, abrangendo setores como: financeira, recursos humanos, de mercado, de produção e qualidade (POPADIUK *et al.*, 2006).

Ao focar no uso de indicadores para subsidiar a gestão do fluxo de materiais e estoques, podem ser observados na literatura, os seguintes conceitos: (i) índice de rendimento operacional global – IROG (ANTUNES *et al.*, 2008); (ii) giro de estoque (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009); (iii) taxa de atendimento (HOPP; SPEARMAN, 2000); (iv) ganho \$ dias em atraso (KENDALL, 2007); (v) utilização dos recursos produtivos (HOPP; SPEARMAN, 2000); (vi) estoque \$ dias (KENDALL, 2007); (vii) nível de pedidos pendentes (HOPP; SPEARMAN, 2000); (viii) investimentos em estoques; (ix) taxa de vendas perdidas (HOPP; SPEARMAN, 2000); e (x) período médio de estocagem (GROPPELLI; NIKBAKHT, 1998).

Com base nos procedimentos de seleção apresentados na Seção 2.2, os seguintes indicadores foram escolhidos para incorporar o modelo de simulação, em conjunto com a Lei de Little: (i) taxa de atendimento da demanda; (ii) investimento em *WIP*; (iii) ganho \$ dias em atraso; (iv) estoque \$ dias; e (v) giro do estoque (foco no *WIP* e produto pronto).

A **taxa de atendimento** é uma métrica para os sistemas *MTS*, sendo definida pela porção da demanda atendida através dos estoques, sem a demora dos pedidos em carteira (HOPP; SPEARMAN, 2000).

O medidor **investimento em *WIP*** tem o intuito de informar o valor concernente ao estoque em processo, determinado por meio das premissas originárias da *TOC*, que propõe a exclusão do valor adicionado de mão-de-obra e despesas gerais (GOLDRATT, 1992), sendo atribuído ao estoque em processo, o valor igual ao seu custo totalmente variável (CORBETT, 1997). A finalidade deste indicador na pesquisa é auxiliar no equilíbrio entre os benefícios provenientes do volume de *WIP*, em função do investimento que este representa.

No desígnio de analisar o comportamento do estoque de produtos prontos durante o experimento de simulação, optou-se pelo emprego de indicadores voltados a auxiliar na



gestão da cadeia de suprimentos, que são: **ganho \$ dias em atraso** e **estoque \$ dias**. O conceito relativo a cada uma dessas métricas será a seguir apresentado (KENDALL, 2007):

- ✓ ganho \$ dias em atraso – este medidor multiplica o valor do ganho avaliado no pronto de venda, pelo intervalo temporal concernente ao atraso no atendimento da demanda. A quantificação do ganho avaliado no pronto de venda é obtida, por meio da multiplicação entre o ganho unitário do produto final, pela quantidade vendida deste produto. Compete ressaltar que, diante da falta de um item no pedido, o medidor ganho \$ dias em atraso é calculado com base no valor do pedido total, reconhecendo a irritação do cliente;
- ✓ estoque \$ dias – para calcular este índice, multiplica-se o valor atribuído ao estoque de produtos (ao custo da matéria-prima), pelo tempo de permanência (em dias) no estoque.

O emprego dessas duas métricas no escopo desta pesquisa é fundamentado nos seguintes pontos: (a) na estratégia *MTS*, o rápido atendimento à demanda pode ser obtido através da possibilidade de expedir os itens exigidos pelo consumidor, diretamente do estoque de produtos prontos (GAITHER; FRAZIER, 2001). Cabe ainda observar que uma das cinco prioridades competitivas refere-se à velocidade de entrega (em termos de fornecer produtos rapidamente), com uma variação mínima entre os tempos de entrega (DAVIS; AQUILANO; CHASE, 2001), sendo a falta de mercadorias, um fator significativo ao risco de perder não somente a venda atual, mas também futuros negócios (KENDALL, 2007). Deste modo, o medidor ‘ganho \$ dias em atraso’ fornece informações relativas ao prejuízo causado pelo não atendimento da demanda no prazo, podendo ser utilizado de modo complementar, em planos táticos que objetivam promover uma melhor taxa de atendimento; e (b) uma das desvantagens da estratégia *MTS*, refere-se ao elevado custo de estocagem (PIRES, 2004). Neste sentido, o indicador ‘estoque \$ dias’ pode fornecer subsídios que assessorem o dimensionamento do estoque de produtos prontos, sendo o objetivo (KENDALL, 2007), reduzir esta métrica sem afetar negativamente o ganho \$ dias em atraso. Por fim, a utilização de forma sinérgica dessas métricas pode auxiliar no equilíbrio entre o custo com estoques de produtos prontos e o prejuízo gerado por pendências no atendimento a demanda.

Considerando os conceitos referentes aos medidores ‘Investimento em *WIP*’ e ‘estoque \$ dias’ descritos nos parágrafos anteriores, vale lembrar conforme descrito na Seção

1.4, que nesta pesquisa, a determinação dos custos é feita, com base nas premissas da Teoria das Restrições. Entretanto, é advertido que os custos relativos ao (i) estoque de produtos prontos (aproveitado no medidor ‘estoque \$ dias’) e (ii) estoque em processo (análogo ao indicador ‘Investimento em *WIP*’) podem ser obtidos à luz do princípio de custeio praticado pela organização, que fará uso de método proposto por esta pesquisa.

Conforme Slack, Chambers e Johnston (2009), o **giro de estoque** informa a frequência na qual, o estoque é completamente usado em um determinado período. Conforme Hopp e Spearman (2000), o giro do estoque é um indicador que pode ser utilizado para medir a eficiência da utilização do inventário, sendo definido pela razão entre a Taxa de Produção (*throughput* – *TH*) e o Inventário Médio. Segundo os mesmos autores, este conceito pode ser adaptado conforme o tipo de estoque que se deseja medir, deste modo, o Quadro 3 apresenta as equações que podem ser utilizadas para determinar o giro do estoque de produtos prontos e *WIP*.

	Expressões para Estimação
Giro do estoque de produtos prontos ( <i>FGI</i> )	$TH / FGI$
Giro do <i>WIP</i>	$TH / WIP$

**Quadro 3 – Modos de determinar o Giro de estoques.**  
 Fonte: Adaptado de Hopp e Spearman (2000).

Segundo Groppelli e Nikbakht (1998), o giro dos estoques é importante para uma organização, pois os estoques podem ser considerados como ativos menos líquidos. Ao ocorrer a formação de estoques, este evento provoca a imobilização de recursos financeiros, sendo vantajoso para a organização, vendê-los o mais rápido possível, visando liberar caixa para outros fins. Um alto índice dessa métrica pode representar o uso eficaz desses ativos.

### 3.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 3

Este capítulo apresentou uma sucinta revisão concernente à Gestão de operações e do *WIP* à luz dos tópicos: (i) Sistema Toyota de Produção, delimitado pelo sistema *Kanban*; (ii) Teoria das Restrições, com foco no *Drum-Buffer-Rope* – *DBR*; (iii) *Workload Control* (*WLC*); (iv) *Constant Work-In-Process* – *Conwip*; (v) Lei de Little; e (vi) Indicadores de Desempenho, sendo ainda apontados, os medidores que serão incorporados ao modelo de simulação computacional, para gerar informações referentes ao comportamento do modelo,

com base na proposta de cada um dos diferentes cenários a serem testados. Observa-se que, dada uma perspectiva hierárquica de gestão das operações, o dimensionamento de *WIP* requer o estabelecimento de políticas de gestão de produção, indicadores e regras operacionais para ser efetivado.

No Capítulo 4, é apresentada uma revisão na literatura focada na disciplina ‘suporte a decisão’, limitada aos temas: Simulação por Eventos Discretos e Métodos de Apoio Multicritério à Decisão. Vale ressaltar que os conceitos apresentados nos Capítulos 3 e 4 serão empregados na construção do Capítulo 5 (referencial teórico), o qual subsidiará a efetivação do método para quantificar o *WIP*.

## 4 SUPORTE À DECISÃO

### 4.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Segundo Lachtermacher (2007), ao utilizar processos de modelagem para auxílio na tomada de decisão, se obtêm as seguintes vantagens: (i) os modelos forçam os decisores a tornar explícitos os objetivos; (ii) forçam a identificação, o armazenamento e a análise de relacionamento das diferentes decisões que influenciam os objetivos; (iii) forçam o reconhecimento de limitações; e (iv) permitem a comunicação de idéias para facilitar o entendimento entre grupos de trabalho. Conforme Pidd (1998), a Simulação Computacional é a aplicação de um modelo como base para exploração e experimentação da realidade. Assim como em outras metodologias de modelagem, a simulação é utilizada em função do seu baixo custo, maior segurança e rapidez em comparação com a realização de experimentações na realidade.

A simulação pode ser utilizada tanto para projeto e avaliação de novos sistemas como para reconfiguração física de *layout* ou ainda para analisar mudanças no controle ou em regras de operação de sistemas existentes. As suas aplicações têm crescido em todas as áreas, auxiliando os gestores na tomada de decisão em problemas complexos e possibilitando um melhor conhecimento dos processos nas organizações (SAKURADA; MIYAKE, 2009). Segundo Vaccaro (1999), a simulação pode ser aplicável em um grande número de situações, principalmente em sistemas em que o grau de complexidade ou até mesmo o número de alternativas de solução torna proibitiva a realização de análises exaustivas. Corroborando as afirmações referentes à aplicabilidade da simulação, apresentam-se alguns exemplos: (i) Ebert, Silva e Vilas Boas (2009) relatam o desenvolvimento de um modelo utilizado para simular a dinâmica operacional de linhas industriais de abate de frangos, contribuindo na previsão de variáveis como: tempo de processamento, peso vivo total, peso vivo aproveitado, peso de subproduto, peso da produção total, peso do frango inteiro, e peso total de cortes; (ii) Elleuch *et al.* (2007) construíram um modelo para estudar e validar propostas de melhorias no que tange ao problema de “quebra de máquina” em um processo de manufatura com *layout* celular; (iii) Pergher, Deus e Rossi Filho (2009) aplicaram a simulação para avaliar os possíveis impactos de uma demanda futura de produção, em um processo de medição por

coordenadas tridimensionais; (iv) Hachicha, Masmoudi e Haddar (2007) relatam a aplicação da simulação para validar possíveis estratégias a serem utilizadas, com o intuito de fornecer um melhor resultado em termos produtivos e financeiros, em um contexto que envolve o desenvolvimento da melhor configuração de máquinas e equipamentos para a célula de manufatura em função do *mix* de produtos; e (v) Pergher e Vaccaro (2009) fizeram uso de um modelo de simulação para dimensionar a capacidade produtiva de uma empresa panificadora.

#### 4.1.1 Simulação por Eventos Discretos

Law e Kelton (2000) descrevem que a Simulação por Eventos Discretos refere-se à modelagem do sistema que evolui ao longo do tempo por uma representação em que o estado das variáveis sofre alterações, apenas em função do tempo. Os intervalos de tempo são aqueles em que um evento ocorre e quando é definido para ser uma ocorrência instantânea que pode mudar o estado de um sistema.

Pidd (1998) relata que os sistemas simulados através desta abordagem apresentam entidades discretas que se encontram em estados discretos e variam ao longo do tempo. Desta forma, a essência da modelagem por eventos discretos está em capturar as características mais importantes do sistema em termos de estados e entidades. A principal etapa na construção de um modelo de Simulação por Eventos Discretos consiste na formulação de regras lógicas, expressas em alguma linguagem computacional, que irá descrever como as entidades do sistema devem mudar de estado.

Referente ao uso deste tipo de modelagem, Law e Kelton (2000) relatam as seguintes vantagens:

- ✓ sistemas com elementos estocásticos, não podem ser precisamente descritos por um modelos matemáticos, que podem ser avaliados analiticamente;
- ✓ permite estimar o desempenho de um sistema já estruturado, sob um conjunto de condições de operabilidade;
- ✓ propostas alternativas de modelos para um determinado sistema, podem ser comparadas através da simulação, permitindo observar qual das possibilidades existentes, atende a uma exigência específica da melhor forma possível;

- ✓ na simulação, é possível manter um melhor controle sobre as condições experimentais, que geralmente se tornaria complexo, quando aplicado ao próprio sistema na prática;
- ✓ com a simulação, é possível estudar o comportamento de um sistema ao longo de uma ampla faixa temporal, o que poderia ser inviável em caso prático, a realização deste tipo de experimento.

Conforme Law e Kelton (2000); Banks (1998); Centeno e Carrillo (2001); e Carson II (2004), a Simulação por Eventos Discretos apresenta algumas desvantagens:

- ✓ a simulação na maioria das vezes apresenta um alto custo e necessita de grande quantidade de tempo para serem desenvolvidas;
- ✓ em cada rodada de um modelo de simulação estocástica, produz-se apenas estimativas de um modelo verdadeiro que são fundamentadas com as características de um determinado conjunto de parâmetros de entrada;
- ✓ o grande volume de informações produzidas por um estudo simulação, muitas vezes, cria uma tendência de colocar uma maior confiança no resultado de um estudo, o que não se justifica. Se um modelo não valida a representação de um sistema em estudo, os resultados não importam, independentemente de quão impressionantes eles possam parecer;
- ✓ há necessidade de treinamento especial para desenvolver modelos;
- ✓ os resultados obtidos podem ser mal interpretados ou até mesmo difíceis de serem analisados;
- ✓ pode ser usada inadequadamente, por exemplo, quando uma solução analítica é factível;
- ✓ a programação de um modelo de simulação pode se tornar altamente dispendiosa e desgastante se os recursos computacionais não forem apropriados.

#### **4.1.2 Os Efeitos da Estocasticidade dos Sistemas**

A variação temporal aleatória ocorrida em uma atividade em particular é conhecida como variação estocástica, sendo esta, uma característica de muitos sistemas simulados

através de métodos de simulação por eventos discretos. Pidd (1998) descreve que o tempo de uma entidade permanecer em um determinado estado, pode ser determinístico ou variável. Assim, essa variação pode ser representada por uma distribuição estatística qualquer.

Após a definição do efeito estocasticidade, analisa-se agora a variação estocástica. Sabe-se que o tempo de uma entidade permanecer em determinado estado poder ser determinístico ou variável. Se for variável o tempo, este pode ser representado obedecendo a um modelo de distribuição probabilística que seja significativa a sua característica. Essa variação de tempo é mais bem percebida quando o modelo é rodado múltiplas vezes. Pidd (1998) relata que, quanto maior o número de rodadas do modelo, maior o grau de confiança dos resultados e mais a sua representatividade. Pidd (1998) descreve alguns aspectos importantes para a Simulação Estocástica:

- ✓ considerada como experimentos amostrais. Os resultados de cada experimento dependem da semente de números aleatórios utilizada para produzir a requerida amostra. Diferentes sementes aleatórias produzem diferentes amostras e conseqüentemente, a simulação apresentará resultados diferentes;
- ✓ caso seja utilizada para comparar duas ou mais políticas, todas as opções devem ser rodadas com as mesmas sementes aleatórias. Isto deve ocorrer para garantir que a comparação realizada seja precisa, sendo que a semente aleatória utilizada irá afetar os resultados;
- ✓ todos os experimentos envolvidos na simulação devem ser planejados.

#### **4.1.3 Métodos de Condução de Projetos de Simulação Computacional**

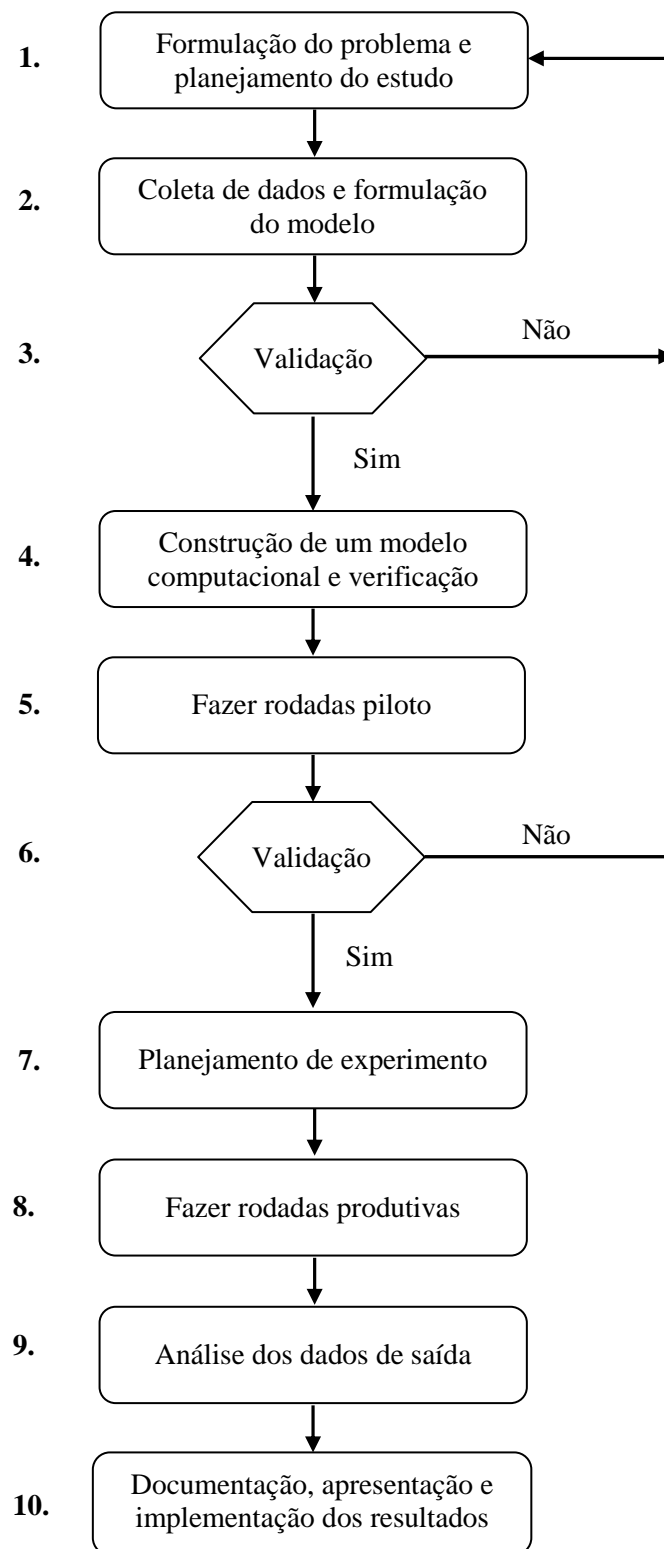
O sucesso de um projeto subsidiado pela Simulação Computacional pode ser obtido, por meio do emprego de um método que gerencie todas as atividades envolvidas no estudo. Este procedimento deve conectar todas as etapas, de forma ordenada e sistemática, partindo da concepção do problema até a avaliação e apresentação dos resultados obtidos. Alguns exemplos de métodos de condução de projetos de simulação, que podem ser observados na literatura são: Pritsker, Sigal e Hammesfahr (1990); Gogg e Mott (1992); Law e Kelton (2000); Cassel (1996); Balci (1998); e Banks (1998).

Para conduzir o experimento de simulação no **Método para determinar o *WIP***, optou-se pelo uso da abordagem proposta por Law e Kelton (2000), por ser um método difundido na literatura e apresentar uma estrutura que se adapta ao escopo desta pesquisa. Exemplos de pesquisas que utilizaram este método em ambientes produtivos são: Braghirolli (2009); Boeira (2008); Pergher e Vaccaro (2009); Pergher, Deus e Rossi Filho (2009); e Souto Junior, Loch e Moita (2009).

O método de Law e Kelton (2000) é formado por uma sequência de 10 etapas, estruturadas conforme a Figura 10. A seguir é apresentado o conceito de cada uma das etapas deste método.

1. Formulação do problema e planejamento do estudo: a primeira etapa refere-se à definição dos objetivos do estudo, especificando as questões que devem ser respondidas pelo modelo de simulação. É ainda importante nesta etapa, determinar o escopo do modelo, as medidas de desempenho que serão adotadas para avaliar a eficiência e eficácia dos diferentes cenários, o software que será utilizado e o planejamento do projeto, definindo o tempo necessário para a realização de cada atividade, as pessoas envolvidas e o recurso financeiro necessário.
2. Coleta de dados e formulação do modelo conceitual: é efetivado o modelo conceitual e também, uma coletânea de dados referentes ao ambiente de produção em estudo, que formam o conjunto das informações necessárias, para parametrizar as variáveis do modelo de simulação computacional. Conforme Szymankiewicz, McDonald e Turner (1988), para compreender os fatores envolvidos no problema e, observar prováveis soluções é necessário incorporar ao modelo de simulação, somente as características principais derivadas do ambiente real, que contribuam com o escopo do estudo. Frente a essa condição, previamente ao desenvolvimento do modelo computacional, é executada a atividade de modelagem conceitual, a qual gera como principal saída, um modelo conceitual. Pidd (1998) relata que um modelo conceitual é compreendido por descrições mínimas de subsistemas ou componentes, visando representar características de um sistema (entende-se por ambiente real em estudo), que podem ser úteis à luz do problema em estudo. Para Pritsker (1998), a caracterização do problema é o elemento primário que, dirige e controla toda a composição do modelo conceitual. Sob este enfoque, cabe ressaltar





**Figura 10 – Passos em um modelo de simulação.**  
 Fonte: adaptado de Law e Kelton (2000).

a inviabilidade (LAW; KELTON, 2000) de um modelo computacional rico em detalhes, quando não atende o escopo do problema.

Segundo Pritsker (1998), um projeto de simulação é, normalmente, uma atividade interdisciplinar. Deste modo, a construção de um modelo de simulação não é executada de maneira isolada, não havendo uma única pessoa ou relatório, que possua toda a informação necessária para efetivar o modelo (LAW; KELTON, 2000). Neste sentido, durante a modelagem conceitual, é necessário que os analistas, interajam com especialistas (pessoas que conhecem as particularidades do ambiente real em estudo, como: gerentes, técnicos de processo, operadores, entre outros). Isto porque, o conhecimento proveniente dos especialistas pode oferecer subsídios, que auxiliem na concepção e na validação o modelo (LAW; KELTON, 2000), podendo ainda, assessorar a formulação dos pressupostos, o que eleva a credibilidade do modelo, já que os especialistas entendem e aceitam os pressupostos desenvolvidos (LAW; KELTON, 2000).

Para que os analistas possam conduzir a geração de informações junto aos especialistas e posteriormente, arquitetar o modelo conceitual pode ser possível a utilização da técnica de mapeamento do estado atual, proveniente da metodologia denominada Mapeamento do Fluxo de Valor, que segundo Rother e Shook (1999): (i) possibilita o entendimento relativo ao fluxo de produção, desde a matéria-prima até a entrega do produto final, por meio de uma representação visual, que ilustra cada uma das etapas envolvidas na fabricação, pontos de estocagem, tamanho de lote, número de operários, ocorrência de filas, entre outros; (ii) ajuda a identificar as fontes de desperdícios; e (iii) ilustra o fluxo de material, relacionando-o ao fluxo de informações. A partir do uso desta ferramenta, é possível visualizar e entender o fluxo do material e da informação, passando-se por todos os processos envolvidos, enquanto o produto segue o fluxo de valor.

Durante o desenvolvimento do modelo conceitual, por meio do mapeamento do estado atual, faz-se importante, considerar os seguintes pontos: (i) um modelo de simulação deve convergir para os objetivos do estudo (LAW; KELTON, 2000); (ii) empregar o ‘Princípio da Parcimônia’, que conforme Pidd (1998) propõe a idéia de que os modelos devem ser desenvolvidos inicialmente, a partir de considerações simples e somente após acrescentar complexidade. A intenção é evoluir o aprendizado com um modelo simples e posteriormente refiná-lo; (iii) os analistas devem ser habilidosos para obter uma informação completa e acurada, ausente de ambiguidades (LAW; KELTON, 2000) e ainda, buscar o consenso entre

as partes (especialistas), diante de possíveis divergências nas opiniões. Andrade *et al.* (2006) destacam como qualidades cruciais para um analista, a habilidade de compreender o conteúdo da realidade e ter autoconsciência das limitações das ferramentas que serão utilizadas; (iv) quanto à definição de pressupostos, para Musselman (1998), admitir que ‘alguma coisa se comporta de tal maneira’ não significa que esse pressuposto deve ser mantido ao longo de todo o estudo. Portanto, a equipe pode reavaliar os pressupostos iniciais, conforme o grau de refinamento do modelo conceitual; (v) delimitar o horizonte temporal a ser representado pelo modelo de simulação, isto porque, o procedimento de coleta dos dados é submisso a esta delimitação; (vi) conforme Law e Kelton (2000), os analistas devem apontar de forma precisa, quais são os tipos de dados (informações) que serão requisitados, observando durante a modelagem conceitual (PIDD, 1998), que o modelo deve conduzir aos dados e ‘não o contrário’; (vii) definir o quadro de indicadores de desempenho a ser utilizado para gerar informações referentes a cada configuração de cenário simulada; e (viii) considerar os fatores: restrições computacionais, tempo e recursos financeiros disponíveis para a execução do projeto, isto porque, a magnitude do modelo conceitual pode tornar-se dependente destes fatores.

Por fim, ainda nesta etapa, é efetivada a coleta dos dados necessários para parametrizar as variáveis especificadas no modelo conceitual à luz de uma metodologia que estrutura o procedimento de coleta.

3. Validação: nesta fase, deve-se validar o modelo conceitual, considerando os pressupostos que sustentam o modelo de simulação.
4. Construção de um modelo computacional e verificação: após definir o software para implementar o modelo de simulação na etapa 1, são empregados esforços na etapa 4 para desenvolver a modelo de simulação, considerando as informações coletadas na etapa 2 e verificando possíveis *debugs*.
5. Fazer rodadas piloto: Corridas piloto com o modelo são feitas para gerar dados que serão utilizados no passo 6, objetivando validar o desenvolvimento do modelo computacional de simulação.
6. Validação: a aferição do modelo computacional de simulação pode ser feita comparando os *outputs* obtidos na etapa 5, com os dados de desempenho do sistema real. É importante também aplicar a análise de sensibilidade, para

determinar quais fatores causam impactos significantes nas medidas de desempenho do modelo.

7. Planejamento do experimento: são definidas nesta fase o número de replicações de cada cenário, a duração da simulação e número de simulações independentes, utilizando diferentes números aleatórios.
8. Fazer rodadas produtivas: são feitas para gerar informações referentes ao desempenho do modelo de simulação, frente a diferentes cenários.
9. Análise dos dados de saída: o emprego de técnicas estatísticas nesta etapa, auxiliam na análise dos dados gerados na etapa 8.
10. Documentação, apresentação, e implementação dos resultados: na última fase, documenta-se todo o processo (desde a concepção do problema até os resultados obtidos com o modelo de simulação), a fim de que as informações nele contidas possam ser utilizadas em estudos futuros.

Segundo Pidd (1998), a maioria dos sistemas existentes pode ser simulada, apesar de uma afirmação como tal requerer considerações sobre custo, conhecimento e poder computacional necessários para este intento. Contudo, para o êxito de um projeto de simulação, além de um método abrangente para conduzir o trabalho, Law e McComas (1991) relatam os seguintes elementos, divididos em três classes (RODRIGUES, 1994), significantes para o sucesso do estudo de simulação: (i) *Técnicos* – conhecimento sobre o método de simulação, modelos estocásticos de Pesquisa Operacional, teoria de probabilidade e estatística, modelar a aleatoriedade do sistema de maneira razoável, escolher o software de simulação apropriado e utilizá-lo corretamente e usar procedimentos estatísticos apropriados para interpretar os dados de saída da simulação; (ii) *Gerenciais* – formular corretamente o problema e empregar boas técnicas de gerenciamento de projetos; e (iii) *Precisão dos dados* – obter boa informação nos procedimentos de operação do sistema e lógica de controle e estabelecer a validade e a credibilidade do modelo. Um quarto aspecto é referenciado por Vaccaro e Rodrigues (2005), relativo à capacidade de transformar resultados em informações, por meio da adequada análise estatística, uni e multivariada, das saídas da simulação em elementos de suporte à decisão.

#### 4.2 MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO (MCDA)

Nesta seção, será apresentado um resumo conveniente aos propósitos deste trabalho, sobre Métodos de Apoio Multicritério à Decisão. Ressalta-se que, durante a construção deste Referencial Teórico, foram preservadas as definições de ‘cenários’ e ‘alternativas’, utilizadas pelos autores da área de Simulação Computacional e Teoria da Decisão respectivamente. Com base no desígnio desta pesquisa, esses dois conceitos podem ser interpretados de forma análoga. Contudo, na descrição do método para quantificar o *WIP* será utilizado o conceito ‘cenários’.

No cotidiano corporativo, a tomada de decisão coesa é elemento significativo para a lucratividade e sustentabilidade da organização. No entanto, devido à complexidade deste tipo de ambiente, podem existir situações que exijam a análise simultânea de vários critérios, tornando intrincado o processo decisório, no sentido de ordenação e escolha de alternativas viáveis. Frente a essa condição, o emprego de Métodos de Apoio Multicritério à Decisão pode auxiliar neste processo, ao considerar as seguintes afirmativas: (i) procuram desenvolver um processo mais neutro, objetivo, válido e transparente possível, sem pretender indicar ao decisor, uma solução única e verdadeira (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004); (ii) o objetivo principal de uma ferramenta de apoio à decisão é aprimorar sua racionalidade, ou seja, aumentar a perspectiva de que uma escolha conduza a um resultado satisfatório. Escolha racional pode ser definida como sendo aquela que se baseia em tudo que o decisor sabe, julga e sente, satisfazendo suas preferências de forma eficaz e lógica (MEIRELLES; GOMES, 2009); (iii) em um problema de Apoio Multicritério à Decisão, o conjunto de alternativas viáveis é avaliado por um conjunto de critérios definidos pelos avaliadores, com a finalidade de analisar as características das alternativas (RANGEL; GOMES, 2009); e (iv) o auxílio Multicritério à Decisão é um ramo da Pesquisa Operacional que objetiva fornecer ao decisor algumas ferramentas que permitam auxiliá-lo no tratamento de um problema decisório em que vários critérios e pontos de vista devem ser considerados (FREITAS, 2006).

Gomes, Araya e Carignano (2004) descrevem que os MCDA podem ser divididos em dois segmentos: (i) **contínuo** – quando as alternativas podem adquirir um número infinito de valores; e (ii) **discreto** – analisa problemas nos quais o conjunto de alternativas de decisão é formado por um conjunto finito de valores. Ao restringir o foco de estudo no ramo discreto, os mesmos autores relatam que a escolha de uma técnica de Apoio Multicritério à Decisão, depende do tipo de problemática em estudo, podendo ser distinguidas da seguinte maneira: (i)

*Problemática de Seleção*, ou tipo  $\alpha$  (P  $\alpha$ ) – escolher a ‘melhor’ alternativa ou as melhores alternativas; (ii) *Problemática de Classificação*, ou tipo  $\beta$  (P  $\beta$ ) – aceitar as alternativas que parecem ‘boas’ e descartar as que parecem ‘ruins’ (classificação das alternativas); (iii) *Problemática de Ranqueamento*, ou tipo  $\gamma$  (P  $\gamma$ ) – gerar uma ordenação (*ranking*) entre as alternativas disponíveis; e (iv) *Problemática de Descrição*, ou tipo  $\delta$  (P  $\delta$ ) – realizar uma descrição das alternativas. A estas problemáticas, Belton e Stewart (2002) acrescentam duas outras: (i) *Problemática de Design* – tem por objetivo procurar, identificar ou criar novas alternativas de decisão de acordo com as metas e aspirações definidas pelo processo de análise multicritério; e (ii) *Problemática de Portfólio* – refere-se à escolha de um subconjunto de alternativas de um grande conjunto de possibilidades, levando em consideração não somente as características de cada alternativa individual, mas também o modo pelo qual elas interagem.

No Quadro 4 são apresentados alguns dos métodos mais abordados na literatura, relacionando-os com o tipo de problemática tratada.

<b>Métodos</b>	<b>Tipos de problemática</b>	<b>Fonte</b>
Electre I	$\alpha$ (P $\alpha$ )	Gomes, Araya e Carignano (2004)
Electre II	$\gamma$ (P $\gamma$ )	
Electre III		
Electre IV	$\delta$ (P $\delta$ )	
Electre IS	$\alpha$ (P $\alpha$ )	
Electre TRI	$\beta$ (P $\beta$ )	Gomes, Araya e Carignano (2004); Gomes, Gomes, Almeida (2002); Szajubok, Alencar e Almeida (2006)
Prométhée I	$\gamma$ (P $\gamma$ )	Gomes, Araya e Carignano (2004)
Prométhée II		
Prométhée III		
Prométhée IV		
Prométhée V	<i>Portfolio</i>	Almeida (2011)
TODIN	$\gamma$ (P $\gamma$ )	Gomes, Araya e Carignano (2004)
Teoria da Utilidade Multiatributo	$\gamma$ (P $\gamma$ )	Miranda e Almeida (2004)
Análise Hierárquica (AHP)	Objetiva a seleção/escolha de alternativas, em um processo que considera diferentes critérios de avaliação.	Freitas, Trevizano e Costa (2008)
Borda	Gera um <i>ranking</i> das alternativas de escolha.	Costa (2005)
Condorcet	Gera um <i>ranking</i> das alternativas. No entanto, em vez de se atribuir uma pontuação a cada alternativa, o método estabelece relações de superação.	Gomes e Bezerra Neto (2008)

**Quadro 4 – Métodos de Apoio Multicritério à Decisão.**  
Fonte: o autor (2010).

Em paralelo às informações descritas no Quadro 4, existem algumas terminologias que são fundamentais ao procedimento de tomada de decisão (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004):

- ✓ **decisor, tomador de decisão, ou sujeito de decisão** – é o indivíduo ou grupo de indivíduos que direta ou indiretamente proporciona o juízo de valor final, que poderá ser usado no momento de avaliar as alternativas disponíveis, com o objetivo de identificar a melhor escolha;
- ✓ **analista** – é a pessoa (ou equipe de pessoas) encarregada de modelar o problema (considerando as opiniões do decisor) e, eventualmente, fazer as recomendações relativas ao processo de escolha. As funções desempenhadas pelo decisor e pelo analista são complementares, contudo, o decisor é o responsável pela decisão escolhida;
- ✓ **conjunto de escolha ou conjunto de alternativas** – pode ser definido como uma lista de alternativas que serão julgadas pelo processo de tomada de decisão. Considera-se que as alternativas deste conjunto sejam diferentes, exaustivas (ao introduzir uma nova alternativa, é necessário reformular o modelo de decisão, concebendo a nova informação) e excludentes (não permite a escolha de uma solução formada por duas ou mais alternativas);
- ✓ **atributos** – representam as propriedades ou capacidades das alternativas em satisfazer as expectativas do decisor. Por exemplo, na compra de um automóvel, os possíveis atributos a serem julgados seriam: custo, potência, consumo, ano, segurança, conforto, *design*, entre outros;
- ✓ **pesos ou ponderação** – são valores que demonstram as preferências do decisor a cada um dos atributos que formam a matriz de desempenho das alternativas. Desta forma, alguns atributos terão maior importância no processo decisório do que outros;
- ✓ **critérios** – um critério é uma função que reflete as preferências do decisor quanto a um atributo, podendo indicar por intermédio de um conjunto de regras, se um par de alternativas pertence ao conjunto dos pares indiferentes ou não comparáveis, ou então, ao conjunto em que a primeira alternativa é preferível a segunda, fazendo uma ordenação. Considerando o exemplo anterior, se o objetivo do decisor é que o preço do automóvel seja o menor possível, a partir desta informação em conjunto com a informação dos preços das alternativas consideradas, institui-se um critério

que permite perante qualquer par de alternativas de compra, determinar o carro preferido em relação ao atributo preço.

No que diz respeito à definição da família de critérios de decisão a serem empregadas no estudo, Roy (1989, 1993, 1995 e 1996) *apud* Gomes, Gomes e Almeida (2002) apresentam os seguintes axiomas a serem verificados:

- a) a quantidade de critérios deve ser completa e exaustiva, devendo conter todos os critérios julgados relevantes para a decisão final (exaustividade);
- b) a classificação das alternativas nestes critérios deve permitir o manuseio por algoritmos (exaustividade);
- c) os critérios de decisão devem estar de acordo com o objetivo do estudo (coesão);
- d) apresentar de maneira lúcida e correta, o juízo de valor(es) do(s) decisor(es);
- e) ausentes de redundância, ou seja, um aspecto abordado por um critério não poderá aparecer em outro critérios.

Em paralelo aos axiomas abordados anteriormente, Gomes, Gomes e Almeida (2002) relatam a importância de estabelecer uma família de critérios com características independentes, a qual está relacionada aos seguintes aspectos: (a) **independência no sentido de dispersão** – a comparação entre duas alternativas ( $a$  e  $b$ ) segundo o critério  $g_j$ , deve ocorrer considerando apenas os respectivos desempenhos de  $g_j(a)$  e  $g_j(b)$ , ou seja, nenhum outro fator que não tenha sido incluído na definição de  $g_j$  deve influenciar o resultado desta comparação; (b) **independência no sentido de preferência** – seja  $f$  uma família de critérios,  $m$  um subconjunto de  $f$  e  $m'$  o subconjunto complementar. O subconjunto  $m$  é preferencialmente independente em  $f$ , se as preferências entre as ações que não diferem, a não ser pelo seu desempenho, segundo os critérios de  $m$ , independem dos desempenhos segundo os critérios de  $m'$ ; e (c) **independência de ordem estrutural** – em uma família de critérios, dois ou mais critérios formam uma subfamília  $j$  tal que os critérios de  $j$  apresentam uma ligação de ordem estrutural. Essa ligação pode ser devida à presença de fatores (explícitos e/ou implícitos) suscetíveis de influenciar conjuntamente o desempenho dos critérios  $j$ , ocasionando certa redundância. Entretanto, em muitas situações reais, nenhum dos critérios de  $j$  pode ser eliminado, já que cada um deles vincula algumas informações adicionais indispensáveis para a obtenção das relações de preferências globais. Caso esse tipo de



interdependência ocorra, alguns aspectos poderão ser considerados supervalorizados (ou computados mais de uma vez) no modelo de preferência global estabelecido a partir da família de critérios  $f$ . Neste caso, é necessária uma análise de adequabilidade do modelo utilizado à situação real que ele pretende representar.

Considerando os elementos apresentados nos parágrafos anteriores, define-se que o tipo de problemática a ser tratada no **Método para determinar o WIP**, fará referência à classificação ordenada das alternativas  $\beta$  ( $P \beta$ ), sendo utilizado deste modo, o método ELECTRE TRI. A preferência por abordar este tipo de problemática pode ser atribuída: (i) a possibilidade de qualificar cada uma das alternativas (cenários) testadas no modelo de simulação, segundo um grupo de classes ordenadas, limitadas por padrões de desempenho; e (ii) a ausência do problema de reversão de ordem, o qual ocorre nos métodos de comparação par a par como no método ELECTRE I, que trata da problemática  $\alpha$  ( $P \alpha$ ). Cabe ressaltar, segundo Gomes e Costa (2008), que o ELECTRE TRI é fundamentado em procedimentos matemáticos que: (a) permitem tratar de problemas que envolvam a subjetividade; (b) identificam as incomparabilidades ou inconsistências entre as alternativas analisadas; e (c) avaliam o grau de credibilidade de cada classificação obtida.

#### 4.3 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO ELECTRE TRI

O método ELECTRE TRI, preconizado por Wei Yu, tem por objetivo, conforme Costa *et al.* (2007), resolver problemas de classificação ordenada, ou seja, busca classificar alternativas presentes no conjunto de alternativas viáveis em classes que mantêm uma relação de preferência entre si. Para Gomes, Araya e Carignano (2004), o ELECTRE TRI classifica as diversas alternativas para a solução de um problema por meio da comparação de cada alternativa potencial com uma alternativa de referência. Ou seja, a partir do conjunto de índices de critérios  $\{g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_m\}$  e, dos perfis  $\{b_1, b_2, \dots, b_h, \dots, b_p\}$ , definem-se  $(p+1)$  categorias, em que  $b_h$  representa o limite superior da categoria  $C_h$  e o limite inferior da categoria  $C_{h+1}$ , ( $h=1,2,\dots, p$ ) conforme ilustrado na Figura 11, desenvolvida por Miranda e Almeida (2003).

É possível encontrar nos estudos de: (a) Costa, Soares e Oliveira (2004); (b) Szajubok, Alencar e Almeida (2006); (c) Costa *et al.* (2007); (d) Freitas e Costa (2000); (e) Neves e Costa (2006); (f) Freitas e Costa (2003); (g) Gomes e Costa (2008); (h) Dias e Mousseau

(2002); (i) Miranda e Almeida (2003); (j) Costa, Santafé Júnior e Haddad (2007); e (k) Neves e Costa (2010), o emprego da abordagem ELECTRE TRI em diferentes ambientes, bem como, seu relacionamento com outras abordagens.

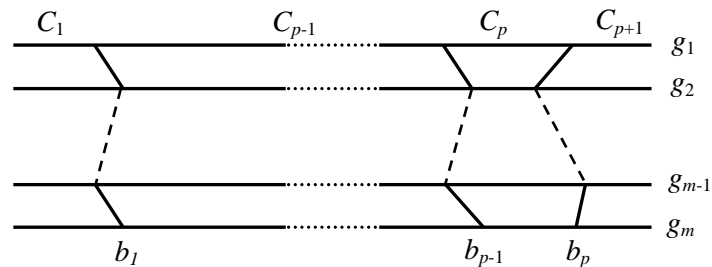


Figura 11 – Definição das categorias do ELECTRE TRI.  
Fonte: Adaptado de Miranda e Almeida (2003).

O ELECTRE TRI aplica o conceito de pseudocritérios para estabelecer as relações de subordinação (COSTA *et al.*, 2007). Conforme Gomes, Araya e Carignano (2004), este conceito visa delimitar com maior precisão, situações de preferência, estabelecendo parâmetros que funcionam como limitadores de tolerância para a transição de uma situação de preferência a outra, quando duas alternativas são comparáveis. A Figura 12 apresenta uma estrutura de preferências, utilizando pseudocritérios.

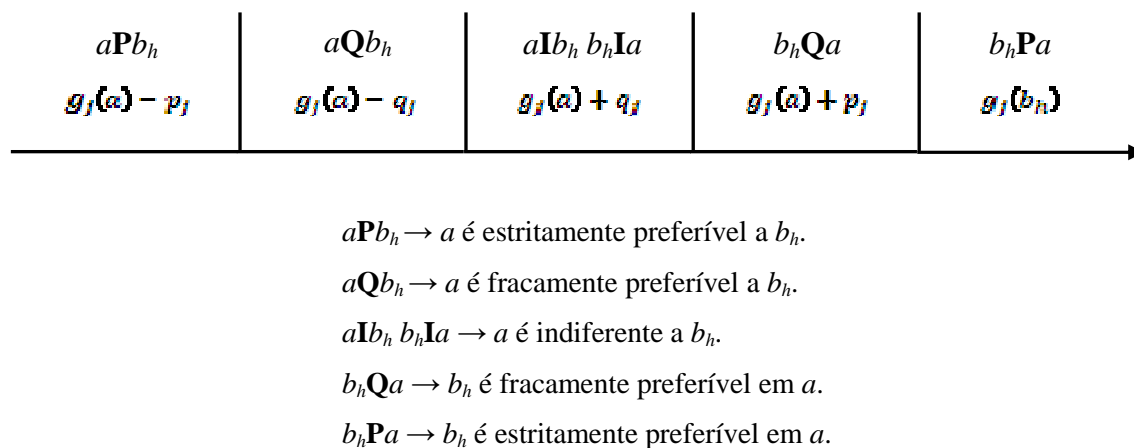


Figura 12 – Exemplo de estrutura de preferências por meio de pseudocritérios.  
Fonte: Adaptado de Gomes, Araya e Carignano (2004).

Ao observar a Figura 12, cada critério  $g_j$  é associado a limiares de indiferença  $q_j$  e de preferência  $p_j$ , que determinarão as diferenças a serem alcançadas para classificar a relação

entre duas alternativas, em uma das relações fundamentais a seguir abordadas (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004):

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| ✓ limiar de preferência $p_j$   | $aPb_h \rightarrow g_j(a) - g_j(b_h) > p_j$        |
| ✓ limiar de indiferença $q_j$   | $aIb_h \rightarrow -q_j = g_j(a) - g_j(b_h) = q_j$ |
| ✓ situação de preferência fraca | $aQb_h \rightarrow q_j < g_j(a) - g_j(b_h) < p_j$  |

Conforme Miranda e Almeida (2003), a estrutura de preferência com pseudocritérios evita a passagem repentina entre a indiferença e a preferência estrita. Desta forma, as preferências por cada critério são definidas mediante um pseudocritério, no qual os limiares de preferência e indiferença  $p_j[g_j(b_h)]$  e  $q_j[g_j(b_h)]$  constituem as informações intracritérios. Assim,  $q_j[g_j(b_h)]$  especifica a maior diferença  $[g_j(a) - g_j(b_h)]$ , que preserva a indiferença entre  $a$  e  $b_h$  no critério  $g_j$  e  $p_j[g_j(b_h)]$  representa a menor diferença  $[g_j(a) - g_j(b_h)]$ , compatível com uma preferência de  $a$  no critério  $g_j$ . Contudo, em situações nas quais são utilizados valores iguais a zero para os limiares de preferência e indiferença, este procedimento faz referência à utilização do conceito ‘critérios verdade’ ao invés de pseudocritérios.

Segundo Costa *et al.* (2007), o ELECTRE TRI integra funções específicas que dão suporte ao decisor, no processo de preferência e reduzem o esforço cognitivo requerido na fase de construção do modelo. Esta técnica executa a classificação das alternativas seguindo dois passos (COSTA *et al.*, 2007): (i) construção de uma relação de subordinação  $S$ , que caracteriza como as alternativas são comparadas aos limites das classes; e (ii) exploração (através de procedimentos de classificação) da relação  $S$ . Para Costa, Soares e Oliveira (2004), a relação de subordinação  $S$  é construída para tornar possível a comparação de uma alternativa ‘ $a$ ’ com um limite padrão (alternativa de referência)  $b_h$ . A afirmação de que  $aSb_h$  significa que ‘ $a$  é ao menos tão boa quanto  $b_h$ ’. Segundo Miranda e Almeida (2003), na validação da afirmação  $aSb_h$  (ou  $b_hSa$ ), devem-se examinar duas condições:

- ✓ Concordância: para que  $aSb_h$  (ou  $b_hSa$ ) seja aceita, a maioria dos critérios deve estar a favor desta afirmação;
- ✓ Não-discordância: quando a condição de concordância não for atendida, nenhum dos critérios deve opor-se à afirmação  $aSb_h$  (ou  $b_hSa$ ).

Dois tipos de parâmetros associados aos de critérios intervêm na construção da relação de subordinação  $S$  (COSTA; SOARES; OLIVEIRA, 2004; MIRANDA; ALMEIDA, 2003): (i) o conjunto de coeficientes dos pesos ou importância ( $k_1, k_2, \dots, k_j$ ), usado no teste de concordância, quando se computa a importância relativa da união dos critérios que são a favor da afirmação  $aSb_h$ ; e (ii) o conjunto de limiares de veto ( $v_1(b_h), v_2(b_h), \dots, v_j(b_h)$ ), usado no teste de discordância, o qual representa a menor diferença  $g_j(b_h) - g_j(a)$  incompatível com a afirmação  $aSb_h$ .

Para construir a relação de subordinação  $aSb_h$  e  $b_hSa$ , as seguintes etapas devem ser executadas (COSTA; SANTAFÉ JÚNIOR; HADDAD, 2007; GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004):

- ✓ computar o índice de concordância parcial  $c_j(a, b_h)$  e  $c_j(b_h, a)$ ;
- ✓ computar o índice de concordância global  $c(a, b_h)$ ;
- ✓ computar o índice de discordância parcial  $d_j(a, b_h)$  e  $d_j(b_h, a)$ ;
- ✓ computar o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$ ;
- ✓ determinar um plano de corte  $\lambda$ , referente ao índice de credibilidade para obter uma relação de subordinação. Isto é, se  $\sigma(a, b_h) \geq \lambda \rightarrow aSb_h$ , sendo  $\lambda$  denominado nível de corte.

Os procedimentos empregados para construir a relação  $S$ , são a seguir apresentados (COSTA; SOARES; OLIVEIRA, 2004; GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004):

O **índice de concordância parcial**  $c_j(a, b_h)$  e  $c_j(b_h, a)$ : expressa até que ponto é válida a afirmação: ‘ $a$  é ao menos tão boa quanto  $b_h$  considerando o critério  $g_j$ ’. Este índice pode ser computado por meio da Equação 8, quando  $g_j$  tem uma direção de preferência crescente.

- Se  $g_j(a) \leq g_j(b_h) - p_j(b_h)$ , então  $c_j(a, b_h) = 0$
- Se  $g_j(b_h) - p_j(b_h) < g_j(a) \leq g_j(b_h) - q_j(b_h)$ ,  
então  $c_j(a, b_h) = \left[ \frac{g_j(a) - g_j(b_h) + p_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} \right]$  (8)
- Se  $g_j(b_h) - q_j(b_h) < g_j(a)$ , então  $c_j(a, b_h) = 1$

Quando  $g_j$  tem uma direção de preferência decrescente,  $c_j(a, b_h)$  é determinado por meio da Equação 9.

- Se  $g_j(a) \geq g_j(b_h) + p_j(b_h)$ , então  $c_j(a, b_h) = 0$
- Se  $g_j(b_h) + q_j(b_h) \leq g_j(a) \leq g_j(b_h) + p_j(b_h)$ ,  
então  $c_j(a, b_h) = \left[ \frac{g_j(b_h) - g_j(a) + p_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} \right]$  (9)
- Se  $g_j(b_h) + q_j(b_h) > g_j(a)$ , então  $c_j(a, b_h) = 1$

O **índice de concordância global**  $c(a, b_h)$ : expressa até que ponto as avaliações de  $a$  e  $b_h$  em todos os critérios, estão de acordo com a afirmação ‘ $a$  subordina  $b_h$ ’. Este índice pode ser determinado pela Equação 10.

$$c(a, b_h) = \left[ \frac{\sum_{j \in F} k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} k_j} \right] \quad (10)$$

O **índice de discordância parcial**  $d_j(a, b_h)$  e  $d_j(b_h, a)$ : expressa até que ponto o critério  $g_j$  se opõe à afirmação ‘ $a$  é ao menos tão boa quanto  $b_h$ ’, isto é, ‘ $a$  subordina  $b_h$ ’. Um critério  $g_j$  é considerado discordante com a afirmação ‘ $a$  subordina  $b_h$ ’ se, neste critério,  $b_h$  é preferida à  $a$ . No caso de preferência crescente, o critério  $g_j$  se opõe a um veto quando a diferença  $[g_j(b_h) - g_j(a)]$  excede ao limiar de veto  $v_j(b_h)$ . A Equação 11 mostra o procedimento de cálculo deste índice, quando  $g_j$  tem uma direção de preferência crescente.

- Se  $g_j(a) > g_j(b_h) - p_j(b_h)$ , então  $d_j(a, b_h) = 0$
- Se  $g_j(b_h) - v_j(b_h) < g_j(a) \leq g_j(b_h) - p_j(b_h)$ ,  
então  $d_j(a, b_h) = \left[ \frac{g_j(b_h) - g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)} \right]$  (11)
- Se  $g_j(b_h) - v_j(b_h) \geq g_j(a)$ , então  $d_j(a, b_h) = 1$

A Equação 12 é utilizada quando  $g_j$  tem uma direção de preferência decrescente.

- Se  $g_j(a) \leq g_j(b_h) + p_j(b_h)$ , então  $d_j(a, b_h) = 0$
- Se  $g_j(b_h) + p_j(b_h) < g_j(a) \leq g_j(b_h) + v_j(b_h)$ ,  
então  $d_j(a, b_h) = \left[ \frac{g_j(a) - g_j(b_h) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)} \right]$  (12)
- Se  $g_j(b_h) + v_j(b_h) < g_j(a)$ , então  $d_j(a, b_h) = 1$

O **índice de credibilidade**  $\sigma(a, b_h)$ : expressa até que ponto ‘ $a$  subordina  $b_h$ ’ de acordo com o índice de concordância global  $c(a, b_h)$  e com o índice de discordância  $d_j(a, b_h)$ ,  $\forall j \in F$ . Calcula-se o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  e  $\sigma(b_h, a)$  somando-se os valores estabelecidos na relação de subordinação. O cálculo do índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  é de acordo com os seguintes princípios:

- a) quando nenhum critério for discordante, a credibilidade da relação de subordinação  $\sigma(a, b_h)$  é igual ao índice de concordância  $c(a, b_h)$ ;
- b) quando um critério discordante se opõe ao veto para a afirmação ‘ $a$  subordina  $b_h$ ’ (i. é,  $d_j(a, b_h) = 1$ ), então o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  torna-se nulo (a afirmação ‘ $a$  subordina  $b_h$ ’ não é totalmente acreditável);
- c) quando um critério discordante é tal como  $c_j(a, b_h) < d_j(a, b_h) < 1$ , o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  torna-se mais baixo do que o índice de concordância  $c(a, b_h)$ , sendo justo o efeito de oposição deste critério.

Por meio da Equação 13, é possível obter o valor de  $\sigma(a, b_h)$ , sendo  $\sigma(b_h, a)$  calculado similarmente.

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \prod_{j \in F} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c(a, b_h)}, \text{ onde } F = \{j \in F / d_j(a, b_h) > c(a, b_h)\} \quad (13)$$

A etapa seguinte é **determinar um plano de corte  $\lambda$ , referente ao índice de credibilidade para obter uma relação de subordinação**. Para Costa *et al.* (2007), o nível de corte é definido como o menor valor do índice de credibilidade compatível com a afirmação  $aSb_h$ . Miranda e Almeida (2003) relatam que a afirmação  $aSb_h$  ( $a$  subordina  $b_h$ ) é considerada válida, quando  $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ , para  $\lambda \in [0,5;1]$ . Os índices  $\sigma(a, b_h)$ ,  $\sigma(b_h, a)$  e  $\lambda$  determinam as

situações de preferência entre as alternativas  $a$  e  $b_h$ , distinguidas como (MIRANDA; ALMEIDA, 2003):

- ✓  $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \rightarrow aSb_h$  e  $b_hSa \rightarrow a$  é indiferente a  $b_h$
- ✓  $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) < \lambda \rightarrow aSb_h$  e não  $b_hSa \rightarrow a$  é preferível a  $b_h$
- ✓  $\sigma(a, b_h) < \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \rightarrow$  não  $aSb_h$  e  $b_hSa \rightarrow b_h$  é preferível a
- ✓  $\sigma(a, b_h) < \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) < \lambda \rightarrow$  não  $aSb_h$  e não  $b_hSa \rightarrow a$  é incomparável  $b_h$

No que tange o intervalo do plano de corte  $\lambda \in [0,5;1]$ , valores próximos ao limite superior caracterizam decisões que visam minimizar as diferentes incertezas, contudo, a ocorrência da relação de incomparabilidade entre as alternativas pode tornar-se frequente (mantendo-se inalteradas todas as outras condições do problema). Do mesmo modo, a preferência por valores reduzidos pode favorecer a ocorrência das relações de indiferença.

Por fim, após construir a relação de subordinação  $S$ , efetua-se o processo de exploração, que consiste na alocação da alternativa  $a$  em uma das categorias de referência  $C_n$ . No ELECTRE TRI, dois procedimentos de classificação são avaliados (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004):

- ✓ **pessimista:** neste, a comparação da alternativa  $a$  é iniciada com a melhor alternativa de referência  $b_h$  e prossegue para a alternativa inferior, até identificar a primeira alternativa de referência, em que  $aSb_h$ . Assim, a alternativa  $a$  deve ser disposta na categoria limitada inferiormente pela alternativa de referência  $b_h$ ;
- ✓ **otimista:** a comparação da alternativa  $a$  é iniciada pela pior alternativa de referência  $b_h$ , seguida da alternativa imediatamente superior, até identificar a primeira alternativa  $b_h$ , tal que  $b_hSa$ . Desta forma, a alternativa  $a$  será alocada na categoria limitada superiormente pela alternativa de referência  $b_h$ .

O Quadro 5, a seguir apresenta uma sugestão de método que visa a orientar a execução deste procedimento. Cabe destacar que a utilização deste método pode ser observada em: Costa, Soares e Oliveira (2004); Gomes e Costa (2008); Zago (2006); e Moreira (2006). Considerando o método descrito no Quadro 5, compete advertir que não serão aproveitadas nesta pesquisa, as seguintes atividades: (i) especificar a escala de julgamento para o desempenho das alternativas à luz de cada critério – Etapa 5; e (ii) emitir julgamento de valor,

avaliando o desempenho das alternativas à luz dos critérios – Etapa 8. Isso porque, o desempenho de cada alternativa não é fundamentado pelas opiniões de especialistas, mas através de informações geradas no experimento de simulação.

<b>Etapa</b>	<b>Atividades</b>
<b>1</b>	Caracterizar o problema
<b>2</b>	Definir os critérios de decisão
<b>3</b>	Especificar a escala de importância (pesos) para os critérios
<b>4</b>	Atribuir pesos em cada critério
<b>5</b>	Especificar a escala de julgamento para o desempenho das alternativas à luz de cada critério
<b>6</b>	Delimitar as classes de equivalência (padrões de desempenho)
<b>7</b>	Estabelecer os limiares de preferência $p$ , indiferença $q$ e veto $v$ para os critérios
<b>8</b>	Emitir julgamento de valor, avaliando o desempenho das alternativas à luz dos critérios
<b>9</b>	Executar o algoritmo de classificação do ELECTRE TRI
<b>10</b>	Analisar os resultados obtidos

**Quadro 5 – Metodologia de execução do ELECTRE TRI.**  
 Fonte: Adaptado de Costa, Soares e Oliveira (2004).

O método de execução do ELECTRE TRI, descrito anteriormente, será adaptado ao contexto de estudo proposto por esta dissertação, formando um dos pilares estruturais do **Método de determinação do *WIP***, sendo este, apresentado no Capítulo 6.

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 4

O Capítulo 4 apresentou uma revisão conceitual focalizada nos temas: Simulação por Eventos Discretos e Métodos de Apoio Multicritério à Decisão. Ainda, foram apontadas algumas das abordagens que serão empregadas na estrutura do método para quantificar o *WIP*, sendo: (i) o método preconizado por Law e Kelton (2000) para condução de projetos de simulação computacional; (ii) o método ELECTRE TRI; e (iii) a metodologia de execução do ELECTRE TRI, proposta por Costa, Soares e Oliveira (2004).

Com base na teoria apresentada pelos Capítulos 3 e 4, será efetivado o Capítulo 5, que trata de como esses elementos podem trabalhar em conjunto, gerando um método que possibilite quantificar o *WIP* à luz do escopo proposto por esta dissertação.



## 5 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem por finalidade, apresentar tópicos que serão utilizados no capítulo subsequente para desenvolver o método para determinar o *WIP* à luz do escopo abordado no Capítulo 1.

Inicialmente, serão descritas pesquisas que abordam o *Conwip* em distintos ambientes produtivos, com o objetivo de identificar elementos que contribuam com a estruturação do método proposto. Em seguida, será delineada uma proposta que integra os temas tratados nos Capítulos 3 e 4, de modo que possibilite responder a questão de pesquisa desta dissertação, por meio da proposição de um método estruturado para quantificar o nível de *WIP* do sistema produtivo, a partir das abordagens de Simulação por Eventos Discretos e Métodos de Apoio Multicritério à Decisão.

### 5.1 SIMULAÇÃO, *CONWIP* E DIMENSIONAMENTO DE *WIP*

No que diz respeito à utilização do *Conwip*, são apresentados nesta seção estudos encontrados na fase de revisão da literatura e que tratam de abordagens correlatadas à proposta no tema da presente pesquisa.

Mejía, Martínez e Torres (2008) fizeram um estudo comparativo entre as abordagens de Simulação por Eventos Discretos e Redes de Petri, considerando o ambiente produtivo de uma empresa de cosméticos, composto por cinco centros de trabalho que utiliza o *Conwip*. Os autores descrevem que um dos elementos significativos para a competitividade desta empresa, é a busca pela redução do *lead time*, que pode ser obtido através da adição de equipamentos ou ‘técnicas’ no sistema produtivo. Neste sentido, foi utilizada a Lei de Little para avaliar a situação atual dos indicadores e também a efetividade das propostas de cada cenário. Por fim, os critérios comparativos entre as duas abordagens foram: (i) diferenças entre os resultados obtidos em cada abordagem e tempo para rodar o modelo; (ii) número de linhas de código de programação; (iii) desenvolvimento dos cenários; (iv) modelagem a ser usada *hard* ou *soft*; e (v) o tempo gasto na modelagem.

Gunn e Nahavandi (2002) desenvolveram um modelo de Simulação por Eventos Discretos para analisar o pressuposto que relata a não ocorrência de discrepâncias nos resultados finais, quando a rodada do modelo de simulação é iniciada em estado ‘vazio’. O ambiente produtivo estudado é uma manufatura que trabalha em lotes, formada por 600 centros de trabalho, divididos em diversos sites, sendo o protocolo *Conwip* utilizado para manter constante no nível de *WIP*. O experimento que possibilitou a análise iniciou com uma quantidade pré-determinada de *WIP* no sistema, sendo essa quantidade reduzida a cada rodada. Os indicadores desenvolvidos que subsidiaram o estudo foram: *lead time* e *throughput*. Referente aos resultados obtidos, os autores relatam que os níveis iniciais de *WIP* afetaram significativamente o sistema de indicadores, considerando as limitações do estudo.

Grimard, Marvel e Standridge (2005) empregaram a Simulação Computacional para validar o ‘*redesign*’ de uma célula de montagem e calibração, que usa o *Conwip* para gerenciar o fluxo de *WIP*. O modelo foi utilizado para determinar o nível de *WIP* e *throughput*, bem como analisar a movimentação dos operadores.

Cao e Chen (2005) desenvolveram um modelo utilizando a programação não-linear, direcionado a um sistema de produção denominado *Two line Conwip-based fabrication-assembly system*, formada por duas linhas de manufatura dispostas em paralelo que alimentam uma única linha de montagem. Nesta configuração, quando o produto finalizado deixa a montagem, um sinal via cartão é enviado para cada uma das linhas, solicitando o início de produção dos componentes necessários para a fabricação do produto pronto que saiu da montagem. Esses componentes são ‘empurrados’ ao longo dos centros de processamento até chegarem à montagem. A partir destas características, o modelo define a sequência ótima de produção e o tamanho do lote a ser produzido em cada linha de manufatura, buscando a otimização dos indicadores de: número total de *setup* e balanceamento da carga de trabalho nas linhas. Para tanto, os seguintes pressupostos são considerados: (i) tempos operacionais e de *setup* determinísticos; (ii) a operação de montagem não é gargalo; (iii) qualquer componente pode ser processado em qualquer linha; e (iv) os custos de *WIP* e produtos finalizados não são considerados.

Huang *et al.* (2007) apresentam um estudo que emprega o *Conwip*, voltado ao controle do inventário na cadeia de suprimentos, de uma empresa produtora de lâmpadas. Neste estudo, os autores desenvolveram um modelo de Simulação Dinâmica, empregando o software *I Think* para determinar o número desejável de cartões, visando controlar os níveis de estoques nos diferentes elos da cadeia.

Duri, Frein e Lee (2000) construíram um modelo utilizando a Teoria das Filas, fundamentado em um sistema produtivo de três estágios em série. Neste contexto, o produto consumido pela demanda do mercado, ‘puxa’ a entrada da matéria-prima para a o primeiro recurso produtivo, através do cartão *Kanban*, sendo ‘empurrado’ para os recursos subsequentes. No estudo desenvolvido por Duri, Frein e Lee (2000), a meta é avaliar: (i) o número de *WIP* em cada uma das três fases; (ii) a taxa de inspeção feita no final de cada estágio; (iii) número máximo de entrega de produtos defeituosos; (iv) proporção da demanda não atendida; e (v) índice médio da demanda não atendida, considerando dois casos distintos: (a) *saturated case* – demanda é infinita; e (b) *non-saturated case* – taxa de chegada da demanda ocorre segunda uma distribuição de Poisson.

Huang, Wang e Ip (1998) desenvolveram um modelo de simulação subsidiado pela linguagem de programação *C*, para determinar o número necessário de cartões para o protocolo *Conwip*, utilizados em um sistema semi-contínuo de produção (*cold rolling plant*) com gargalo. Neste ambiente, os autores consideram quatro cenários e, utilizaram os seguintes indicadores na avaliação: (i) total de *WIP*; (ii) taxa de entrada de matéria-prima na linha; (iii) *throughput rate*; (iv) média de utilização; (v) média de inventário; e (vi) custo de inventário. Cabe ressaltar que para o cálculo do número de cartões, o modelo considera a disponibilidade dos equipamentos e a abastecimento das matérias-primas em uma única variável, denominada *coefficient of low efficiency*.

Ovalle e Marquez (2003) estudaram a possibilidade de utilização do *Conwip* no gerenciamento de uma cadeia de suprimentos, através do desenvolvimento de um modelo de simulação. A avaliação das vantagens e desvantagens do uso desta abordagem foi feita por meio da análise de desempenho de duas diferentes políticas: (a) controle centralizado assistida pelo *Conwip*; e (b) controle descentralizado (*Fully Supply Chain*).

Enns e Rogers (2008) examinaram o desempenho das abordagens *Conwip* e produção empurrada, por meio de um modelo de Simulação por Eventos Discretos que representa uma linha de produção, com características similares ao modelo proposto por Marek *et al.* (2001). São destacados os seguintes resultados do estudo comparativo: (i) a variabilidade dos tempos de processamento reduziu o *throughput* em ambas as técnicas; (ii) no sistema empurrado, quando o grau de variabilidade dos tempos entre chegadas for elevado (ou seja, quando a taxa de chegada de um novo ‘trabalho’ seguir uma Poisson com coeficiente de variação entre chegadas  $C_a = 1$ ), o *Conwip* apresenta melhor desempenho; e (iii) para um baixo valor de  $C_a$ , o sistema empurrado apresenta melhor desempenho que o *Conwip*.

Pettersen e Segerstedt (2009) realizaram um estudo, a partir de um problema descrito por Silver *et al.* (1998), visando analisar o nível de *WIP* de pulmões específicos, localizados entre as operações pertencentes a um modelo de Simulação por Eventos Discretos, o qual representa uma pequena cadeia de suprimentos. Alguns dos resultados obtidos nesta análise são: (i) níveis de *WIP* além do necessário provocam aumento no coeficiente de variação do *lead time*; (ii) *Kanban* e *Conwip* são afetados a medida que ocorre o aumento da variabilidade do sistema produtivo; (iii) para um nível de *WIP* pré-determinado, o *Conwip* apresentou menor tempo entre saídas de peças da linha, maior taxa de *throughput*, mas em média, os ‘trabalhos’ permaneceram mais tempo dentro do sistema produtivo; (iv) o *Kanban* necessitou de um nível de *WIP* maior, sendo também, sensível as variações de demanda; e (v) ocorre a falta de bibliografias específicas voltadas ao emprego do *Conwip* em sistemas produtivos, o que acontece de forma contrária com o *Kanban*. Cabe ressaltar que no estudo apresentado por Pettersen e Segerstedt (2009), não foram considerados parâmetros relativos à disponibilidade dos equipamentos, bem como questões relativas ao *mix* de venda.

Ghamari (2009) realizou um estudo comparativo entre; (i) duas políticas de liberação de cartões *Conwip*; e (ii) as abordagens *Kanban* e *Conwip*. Para isso, foi utilizado um modelo de simulação, que representava um sistema produtivo composto por três estágios (fabricação, submontagem e montagem final). Considerando um *layout* em ‘Y’ (duas linhas de fabricação paralelas e independentes, alimentam uma única linha de submontagem) as políticas de liberação de cartões *Conwip* analisadas foram: (a) *Shared card buffer policy* (SCB) – quando o produto finalizado ‘sai’ da montagem, um único cartão é enviado para o início do processo, podendo ser utilizado em qualquer uma das linhas de fabricação; e (b) *Discrete card buffer policy* (DCB) – dois cartões são enviados para o início do processo, quando ocorre à saída do produto da montagem. Considerando os pressupostos do estudo, a política de liberação de cartões *Conwip* que apresentou melhor desempenho foi a DCB. No que tange à comparação entre das abordagens de gestão de materiais, o *Kanban* apresentou um melhor resultado, em termos de nível de *WIP* médio usado para alcançar um nível fixo de *throughput*. Vale ressaltar que no estudo comparativo apresentado por Ghamari (2009), não são consideradas questões relativas ao *mix* de produção e a disponibilidade de equipamentos.

Lavoie, Gharbi e Kenné (2010) realizaram uma pesquisa utilizando Simulação por Eventos Discretos em combinação com Simulação Contínua, Planejamento de Experimentos e Metodologia de Análise de Superfície de Resposta, tendo como objetivo minimizar o custo total de inventário, custo de estocagem e espaço de estocagem, considerando três técnicas de

controle: *Conwip*, *Kanban* e Híbrido (unificação do *Conwip* e *Kanban*). A política de controle Híbrido (unificação do *Conwip* e *Kanban*) apresentou melhor desempenho em relação às outras duas, considerando os objetivos do estudo.

Koh e Bulfin (2004) apresentam um estudo comparativo entre as abordagens *Conwip* e *DBR*, considerando um sistema de produção não balanceado, formado por três centros produtivos em série, utilizando a modelagem contínua de Markov. Neste contexto, ressaltam-se os seguintes resultados: (i) o *DBR* proporcionou um maior valor de *throughput* (0.05% – 2.81%), considerando um nível médio de *WIP*; e (ii) o *DBR* apresentou um valor de lucro líquido superior ao *Conwip*. Vale ressaltar que em ambientes *Job Shop*, os mesmos autores relatam que não é possível empregar a técnica *Conwip*.

Por fim, é apresentado no Quadro 6, com base no escopo proposto por esta dissertação, uma síntese dos aspectos que não são considerados nos estudos que empregam *Conwip*.

Autores	Principais Aspectos
Cao e Chen (2005)	O modelo considera os tempos operacionais e tempos de <i>setup</i> de forma determinística. Por causa disso, um pressuposto a ser assumido neste modelo é a implantação de técnicas oriundas do STP como a Troca rápida de ferramentas e a padronização das operações, visando reduzir a variabilidade temporal que não é considerada no modelo. Além disso, não são considerados na modelagem: (a) disponibilidade de equipamentos; e (b) custos de <i>WIP</i> e de produtos finalizados.
Pettersen e Segerstedt (2009)	A disponibilidade de equipamentos não foi considerada na análise, bem como questões relativas ao <i>mix</i> de venda.
Duri, Frein e Lee (2000)	
Ghamari (2009)	
Enns e Rogers (2008)	
Koh e Bulfin (2004)	Os autores empregam a abordagem de ‘Sistemas Dinâmicos’ para determinar o número desejável de cartões, os quais têm a finalidade de controlar os níveis de estoque nos diferentes elos da cadeia (fornecimento, montagem final e abastecimento). Este artigo possui objetivos semelhantes aos tratados por esta dissertação, contudo, o ambiente foco de pesquisa e as abordagens utilizadas divergem da proposta desta dissertação.
Huang <i>et al.</i> (2007)	
Lavoie, Gharbi e Kenné (2010)	Não utiliza Métodos Multicriteriais para auxiliar na análise dos resultados.

Ovalle e Marquez (2003)	Não possui objetivos que convergem para a proposta da dissertação.
Mejía, Martínez e Torres (2008)	
(continua...)	
Gunn e Nahavandi (2002)	Não possui objetivos que convergem para a proposta da dissertação
Huang, Wang e Ip (1998)	Questões relativas à disponibilidade dos equipamentos e abastecimento de matérias-primas foram consideradas em uma única variável, denominada <i>coefficient of low efficiency</i> de forma conjunta.
Grimard, Marvel e Standridge (2005)	Validar o ‘ <i>redesign</i> ’ de uma célula de montagem e calibração, que usa o <i>Conwip</i> . O modelo de simulação foi utilizado para determinar o nível de <i>WIP</i> e <i>throughput</i> , bem como, analisar a movimentação dos operadores. Compete lembrar que a disponibilidade dos equipamentos e os custos com <i>WIP</i> não são tratados no estudo.

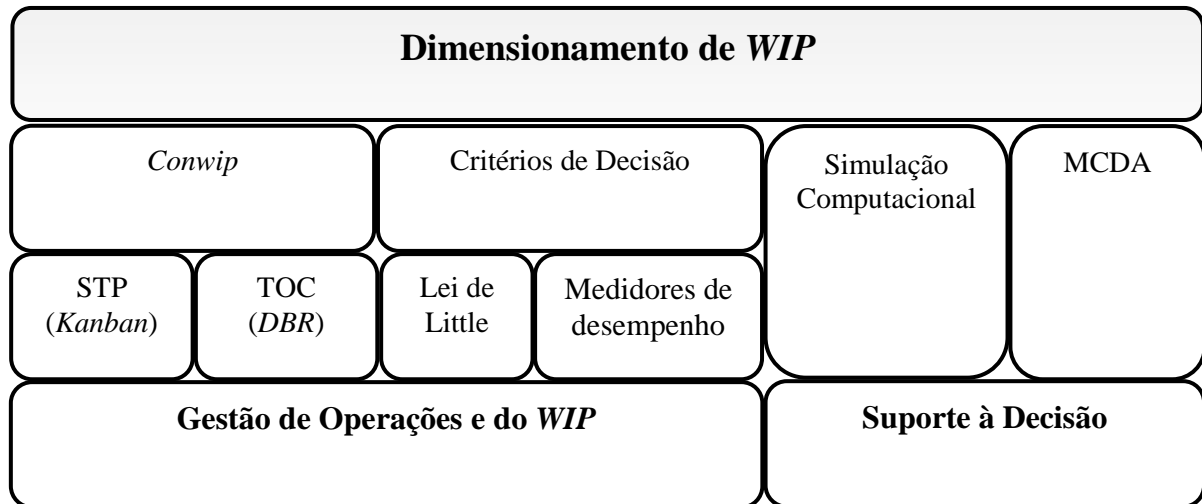
**Quadro 6 – Quadro síntese dos trabalhos encontrados relacionando Simulação, *Conwip* e Dimensionamento de *WIP*.  
Fonte: o autor (2010).**

Vale ainda ressaltar que nenhum dos estudos delineados pelo Quadro 6 fez uso de abordagens Multicriteriais para assistir a análise dos resultados obtidos nos experimentos. Deste modo, é possível ressaltar que esta pesquisa se destaca em relação aos estudos encontrados nos periódicos descritos pelo Quadro 1, que abordam o *Conwip* associado a técnicas procedentes da disciplina Pesquisa Operacional, por utilizar uma abordagem Multicritério para conduzir o processo de tomada de decisão, principalmente no que se refere a comparação do desempenho obtido com base na proposta dos distintos cenários simulados, com uma alternativa de referência à luz de um quadro de critérios que expressam as preferências do grupo de decisores.

## 5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DA LITERATURA

Com base nos temas delineados pelos Capítulos 3 e 4, são esquematizados na Figura 13, os principais conceitos que serão empregados no desenvolvimento do método. Ao focar no dimensionamento do *WIP* em um ambiente produtivo *MTS* com fluxo convergente, o uso do *Conwip* como abordagem para gerir o fluxo de materiais provocou a necessidade de realizar pesquisas suplementares em abordagens como o *Kanban*, *WLC* e o *DBR*, haja vistas

as distintas possibilidades de configurar o fluxo de informação (que gerencia as entradas e saídas de materiais na linha) no ambiente *Conwip*.



**Figura 13 – Temas utilizados na efetivação do método proposto pela dissertação.**  
Fonte: o autor (2010).

Sob este enfoque, compete lembrar, segundo Hopp e Spearman (2000), que: (i) quanto maior for o número de segmentos gerenciáveis estabelecidos (conforme apresentado na Figura 6), mais o comportamento do *Conwip* tende a aproximar-se do *Kanban*; e (ii) visando prevenir a ociosidade no gargalo, provocada pela quebra dos recursos produtivos que precedem o gargalo, os mesmos autores sugerem a alteração da configuração original do *Conwip*, puxando a entrada de materiais na linha, segundo o ritmo de processamento do recurso gargalo, sendo este mecanismo, denominado *pull-from-bottleneck (PFB)*, o qual é análogo a abordagem *DBR* (GOLDRATT; COX, 2002). Vale salientar que a teoria concernente ao *WLC* fornece subsídios que auxiliam na determinação o número de segmentos gerenciáveis a serem estabelecidos, visto que o *WLC* gerencia cada uma das filas existentes no processo de produção (LAND; GAALMAN, 1996), enquanto o *Conwip* foca na totalidade do *WIP*, sem fazer distinção para os recursos geradores de fila. Outro ponto divergente das abordagens *Conwip* e *WLC* é o modo pelo qual os trabalhos avançam pelo fluxo de produção, ou seja, na abordagem *WLC* os trabalhos avançam pelo fluxo de produção, conforme a priorização feita em cada estação de processamento. Já o *Conwip* clássico os trabalhos avançar pelo fluxo, mantendo a mesma sequência de entrada no processo, não ocorrendo ajustes referentes à priorização.

Para quantificar o *WIP* no ambiente que utiliza o *Conwip*, Hopp e Spearman (2000) sugerem a aplicação da Lei de Little (LITTLE, 1961), que permite determinar o nível de *WIP*,

considerando as métricas *TH* e o *CT*. Fundamentado nesse conceito, é possível observar que o nível de *WIP* tem influência na capacidade do gargalo e, ainda, o protege contra a ociosidade que pode ser gerada pela falta de fluxo de materiais. Entretanto, o excesso de *WIP* pode ocasionar problemas, conforme apontado por Davis, Aquilano e Chase (2001); Shingo (1996); Gaither e Frazier (2001); e Oishi (1995). Com base no *trade-off* formado pelos benefícios e perdas derivados do nível de *WIP*, a busca pelo equilíbrio desses elementos em sistemas intermitentes *MTS* do tipo A, pode exigir em conjunto à Lei de Little, o emprego de informações adicionais, que podem ser provenientes dos parâmetros: (a) *takt-time* do *mix* de venda; (b) capacidade dos recursos produtivos; (c) *TTF* e *TTR* que fazem menção à disponibilidade dos equipamentos; e (d) volume do estoque de produtos prontos, sendo estes parâmetros, detalhados no capítulo que trata da definição do problema de pesquisa. Neste contexto, é proposto o seguinte quadro de medidores de desempenho: taxa de atendimento da demanda, investimento em *WIP*, ganho \$ dias em atraso, estoque \$ dias, giro do *WIP* e giro do estoque de produtos prontos, visando atuar de maneira complementar a Lei de Little (LITTLE, 1961), no processo de quantificação do nível de *WIP*.

Concernente a utilização de abordagens que dão suporte à tomada de decisão, é observado na Seção 5.1 que diversas pesquisas utilizaram técnicas derivadas da área ‘Pesquisa Operacional’, a exemplo, destacam-se a Simulação Computacional e Teoria das Filas. Neste sentido, cabe ressaltar que nesta dissertação, a Simulação por Eventos Discretos é empregada para subsidiar a construção de simulação que possibilite: (i) representar o sistema produtivo alvo do estudo; (ii) contemplar as variáveis: *TTF* e *TTR* dos recursos produtivos, estoque de produtos prontos e capacidade dos recursos produtivos; (iii) gerir o fluxo de materiais à luz do *Conwip*; e (iv) utilizar a Lei de Little em conjunto ao quadro de indicadores de desempenho preconizado pela dissertação. Uma vez efetivado o modelo computacional de simulação, torna-se possível testar cenários alternativos que poderiam representar mudanças: (a) no nível de *WIP* da linha; (b) no volume de estoque de produtos prontos; (c) na capacidade produtiva; (d) na demanda do *mix* de venda, entre outros. No que concerne à configuração dos cenários, vale destacar com base no escopo desta pesquisa, que os cenários a serem testados precisam considerar ao menos, uma quantia de *WIP* e ainda, o volume de estoque de produto pronto, para cada item do *mix* de venda em análise.

A partir da proposta de cada cenário, o modelo computacional fornece dados de saída que servem de base para o processo de tomada de decisão, com foco na determinação do *WIP*. No entanto, devido à complexidade existente durante o desenvolvimento de um modelo



computacional, será utilizado nesta dissertação, o método preconizado por Law e Kelton (2000) para gerenciar as atividades envolvidas em um estudo que utiliza a Simulação Computacional. Este método conecta todas as etapas, de forma ordenada e sistemática, partindo da concepção do problema até a avaliação e apresentação dos resultados obtidos.

Posterior à geração dos dados de saída, é necessário analisar os resultados obtidos e apontar um cenário factível para ser empregado na linha de produção. Neste sentido, para assessorar o processo de tomada de decisão, emprega-se neste trabalho a técnica multicritério ELECTRE TRI. No entanto, a utilização do ELECTRE TRI no âmbito de pesquisa exige a especificação dos seguintes parâmetros:

- 1) conjunto de critérios de decisão;
  - 2) coeficientes de pesos dos critérios;
  - 3) classes de equivalência ou perfis de referência. Nessa pesquisa, é recomendado o aproveitamento de informações oriundas do *takt-time* do *mix* de venda, para delimitar as classes de equivalência, especificamente para o critério taxa de produção efetiva ou *throughput*;
  - 4) limiares de preferência  $p$ , indiferença  $q$  e veto  $v$  para os critérios;
  - 5) método para gerenciar a execução das etapas da aplicação do ELECTRE TRI.
- Neste contexto, optou-se pela utilização do método preconizado por Costa, Soares e Oliveira (2004).

No que diz respeito à escolha dos critérios de decisão a serem utilizados pelo ELECTRE TRI, ressalta-se que neste trabalho, os critérios são baseados dos indicadores de desempenho e definidos com base nos axiomas apresentados na Seção 4.2 e propostos por Gomes, Gomes e Almeida (2002). Deste modo, é sugerido o seguinte quadro de critérios: (i) giro do estoque de produtos prontos; (ii) ganho \$ dias em atraso; (iii) estoque \$ dias; (iv) investimento em *WIP*; e (v) taxa de produção efetiva ou *throughput* (*TH*).

Após a parametrização e execução do método ELECTRE TRI, tem-se como resultados, a classificação dos distintos cenários testados em classes (ou categorias) que aludem padrões desejáveis para o desempenho. A partir destas classificações, é realizada a tomada de decisão, tendo por objetivo, definir a configuração de cenário a ser empregada no ambiente produtivo. Para tanto, cabe ressaltar que nesta pesquisa, a tomada de decisão utiliza as saídas geradas pela técnica ELECTRE TRI e também, informações procedentes dos medidores: (i) *CT* para de cada tipo de produto; (ii) giro do *WIP*; e (iii) taxa de atendimento

da demanda, os quais não foram considerados no procedimento de classificação à luz do ELECTRE TRI.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 5

Neste capítulo foram descritos os temas que servem de base para desenvolver o método para determinar o *WIP*, sendo destacado: (i) o método Law e Kelton (2000) para conduzir experimentos de Simulação Computacional; (ii) o quadro de medidores de desempenho: taxa de atendimento da demanda, investimento em *WIP*, ganho \$ dias em atraso, estoque \$ dias, giro do *WIP* e giro do estoque de produtos prontos; (iii) o método ELECTRE TRI; (iv) a metodologia de execução do ELECTRE TRI, proposta por Costa, Soares e Oliveira (2004); e (v) o conjunto de critérios de decisão: giro do estoque de produtos prontos, ganho \$ dias em atraso, estoque \$ dias, investimento em *WIP* e taxa de produção efetiva ou *throughput (TH)*. Esses elementos constituem a base da proposta que é cerne da presente dissertação.

No capítulo a seguir, será apresentado o detalhamento de cada uma das etapas do método proposto pela pesquisa à luz dos elementos abordados no Capítulo 5.

## 6 O MÉTODO PROPOSTO PARA QUANTIFICAR O *WIP*

Este capítulo tem por objetivo apresentar o método de determinação do nível de *WIP*, sendo também descritas, as premissas concernentes a sua aplicabilidade e as recomendações dos pesquisadores feitas a partir do questionário qualitativo.

### 6.1 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO

O método preconizado por esta dissertação é composto pelas etapas descritas no Quadro 7, o qual ilustra ainda, as principais ‘entradas’ e ‘saídas’ de cada etapa, visando proporcionar um melhor entendimento no que diz respeito ao fluxo de informações requerido para sua aplicação.

Etapa	Descrição	Entradas	Saídas
1	Acordo inicial do método	Apresentação e compreensão do contexto e do método proposto	Apresenta os componentes inflexíveis do método
2	Utilizar critérios extras, intrínsecos ao ambiente sob estudo		Propõe que os decisores e analistas estudem a necessidade de utilizar critérios extras
3	Modelagem conceitual e coleta de dados	(i) dados do contexto (ii) conjunto de parâmetros que auxilia na delimitação das características a serem incorporadas ao modelo conceitual (iii) definição de técnicas para coleta dos dados	(i) modelo conceitual (ii) modelagem dos: (a) dados da demanda do <i>mix</i> de produtos; (b) dados específicos do processo produtivo; e (c) dados para validar o modelo computacional (iii) relatório que descreve as condições operacionais ocorridas durante a coleta dos dados
4	Tratamento dos dados	Dados coletados na etapa 3 que apresentam variabilidade	Ajuste de distribuições probabilísticas e de parâmetros estatísticos
5	Validação	(i) modelo conceitual (etapa 3) (ii) requisitos para aderência (Quadro 8)	Modelo conceitual validado
6	Construção do modelo computacional e verificação	(i) modelo conceitual validado (ii) dados coletados na etapa 3 (iii) distribuições e parâmetros	Modelo computacional de simulação

		estatísticos (etapa 4)	
(continua...)			
7	Fazer rodadas piloto	(i) modelo computacional (ii) relatório que descreve as condições operacionais ocorridas durante a coleta dos dados	Dados da saída utilizados para validar a construção do modelo
8	Validação	(i) dados da saída (etapa 7) (ii) dados para validar o modelo (etapas 3 e 4)	Modelo computacional de simulação validado
9	Planejamento dos cenários	Variáveis independentes que norteiam a efetivação dos cenários: (i) nível de <i>WIP</i> do processo; e (ii) quantidade de estoque de produtos prontos	Plano de cenários
10	Fazer rodadas produtivas	(i) modelo computacional validado (ii) plano de cenários	Dados de saída de cada um dos indicadores de desempenho à luz da proposta do cenário simulado
11	Análise dos dados de saída	Dados de Saída (etapa 10)	Análise Univariada de Variância (ou equivalente) das saídas geradas na etapa 10
12	Estruturar a matriz de desempenho dos cenários	(i) dados de saída (etapa 10) (ii) resultado da análise efetivada na etapa 11	Matriz de desempenho dos cenários
13	Atribuir pesos para cada critério	(i) critérios de decisão utilizados (ii) preferência dos decisores	Importância de cada critério na tomada de decisão
14	Compor as classes de equivalência	(i) classes propostas pelo método (ii) informações procedentes de padrões de desempenho	Limiares das classes
15	Definir os limiares de preferência, indiferença e veto	Limiares das classes	Demarcação desses limiares
16	Executar o ELECTRE TRI	Saídas das etapas 12, 13, 14 e 15	Classificações dos cenários simulados
17	Análise de sensibilidade dos resultados	(i) classificações geradas pela etapa 16 (ii) alteração proposital dos parâmetros das etapas 13, 14 e 15	Nova configuração a ser testada na etapa 16, gerando o plano de resultados
18	Tomada de Decisão	Plano de resultados (etapa 17)	Configuração de cenários a ser empregada no ambiente de produção

**Quadro 7 – Fluxo de informações do método para quantificar o *WIP*.**  
**Fonte: o autor (2010).**

Posterior à identificação das 18 etapas, a Figura 14 apresenta a estrutura que esquematiza cada etapa, de modo que possibilite atender o escopo tratado nesta pesquisa. A seguir, cada etapa é mais detalhadamente apresentada.

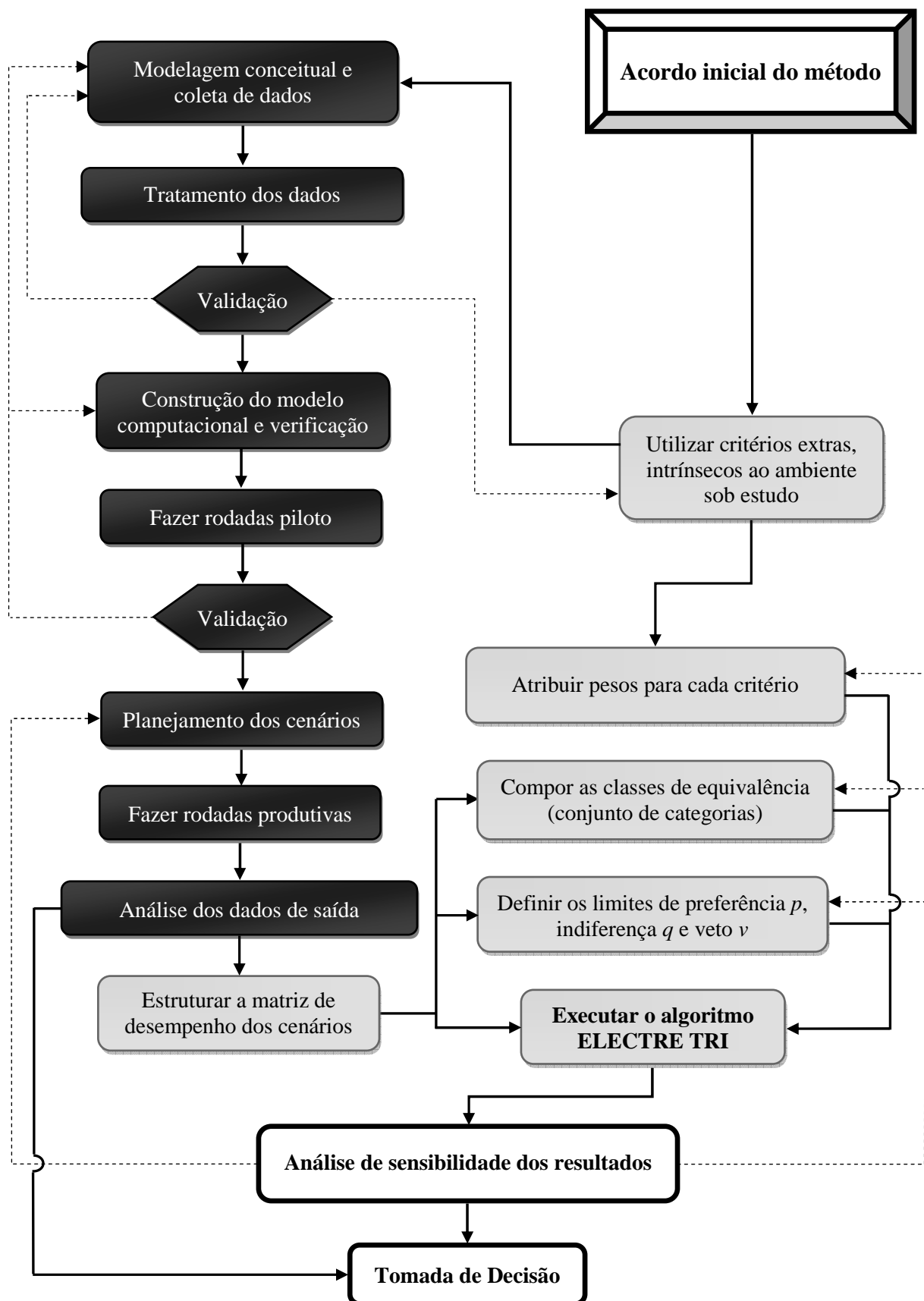


Figura 14 – Estrutura do Método de determinação do WIP.  
Fonte: o autor (2010).

## 1. Acordo inicial do método

A primeira etapa consiste em descrever os elementos inflexíveis que constituem o método de quantificação do *WIP*, enfatizando a utilização das abordagens delineadas pela Figura 14. É importante observar que uma prática não prevista pela estrutura do método faz referência à substituição ou exclusão, dos elementos descritos anteriormente. Sob este enfoque, destacam-se dois aspectos: (i) a proposta permite, agregar critérios específicos ao processo produtivo em estudo ao quadro de critérios sugerido pelo método, sendo esta condição discutida na etapa 2; e (ii) conforme descrito na Seção 1.4, a determinação dos custos nesta pesquisa é norteada, pelas premissas da Teoria das Restrições. No entanto, é advertido que os custos relativos ao: (i) estoque de produtos prontos (aproveitado no medidor ‘estoque \$ dias’); e (ii) estoque em processo (análogo ao indicador ‘Investimento em *WIP*’) podem ser determinados, com base no princípio de custeio praticado pela organização, que fará uso de método proposto por esta pesquisa.

## 2. Utilizar critérios extras, intrínsecos ao ambiente sob estudo

Nesta etapa recomenda-se que os decisores (grupo de pessoas que proporcionam o juízo de valor final) e os analistas (responsáveis por efetivar o modelo de simulação computacional e fazer recomendações relativas ao processo de decisão) ponderem a seguinte questão: é necessário, incrementar o conjunto de critérios preconizado pelo método, utilizando critérios específicos ao ambiente produtivo em estudo? A importância desta análise pode ser justificável, diante de situações em que os decisores desejam considerar no processo decisório, critérios particulares ao sistema de produção. No entanto, durante a seleção dos novos critérios, que serão vinculados aos critérios propostos pelo método, é necessário acatar aos axiomas preconizados por Gomes, Gomes e Almeida (2002), descritos na Seção 4.2.

No âmbito desta pesquisa, os critérios de decisão referem-se ao conjunto de regras que são atribuídas aos indicadores de desempenho, visando elucidar as preferências e ou importâncias para o decisor, diante de um grupo de cenários à escolha. Em síntese, para cada critério de decisão estabelecido, existe um indicador de desempenho relativo, que precisa ser incorporado ao modelo de simulação. Dessa forma, é necessário concluir a análise concernente ao uso ou não de critérios complementares antes de iniciar a execução das etapas

subsequentes. Isto porque alterações não planejadas neste conjunto poderão ocasionar retrabalhos, bem como aumento no tempo de aplicação do método.

Conforme ilustrado na Figura 14, ao finalizar a análise sugerida na etapa 2, é recomendado pelo método, determinar os coeficientes de importância (pesos) para os critérios  $k_j$  (etapa 13), enquanto são executadas, as atividades de: (a) desenvolvimento do modelo de simulação computacional; (b) planejamento dos cenários; (c) análise dos dados de saída; e (d) estruturação da matriz de desempenho dos cenários, as quais são esclarecidas nas etapas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

### 3. Modelagem conceitual e coleta de dados

É recomendado nesta etapa: (a) arquitetar o modelo conceitual, definindo as características inerentes ao ambiente real, que serão representadas no modelo de simulação (a ser desenvolvido na etapa 6); e (b) realizar a coleta dos dados. Conforme relatado por Pritsker, (1998) e Law e Kelton (2000), a caracterização do problema alvo de estudo é o elemento que, dirige e controla toda a composição do modelo conceitual, tornando-se inválido um modelo rico em detalhes, quando não atende o escopo do problema. Embasado nessas afirmativas, é destacado primeiramente, que o problema alvo de estudo, diz respeito à determinação do nível de *WIP*, sendo este, o propósito que deverá conduzir a modelagem conceitual.

Mantendo esse enfoque, o método recomenda um conjunto de parâmetros, que visam auxiliar na delimitação das principais características do sistema real, a serem consideradas no modelo conceitual. Neste sentido, as características abordadas no modelo conceitual devem:

- ✓ possibilitar o uso dos seguintes medidores de desempenho: (i) Lei de Little (LITTLE, 1961); (ii) taxa de atendimento da demanda (HOPP; SPEARMAN, 2000); (iii) investimento em *WIP*; (iv) ganho \$ dias em atraso (KENDALL, 2007); (v) estoque \$ dias (KENDALL, 2007); (vi) giro do estoque de produtos pronto (HOPP; SPEARMAN, 2000); e (vii) giro do *WIP* (HOPP; SPEARMAN, 2000). Contudo, ao optar pelo uso de critérios específicos ao ambiente em estudo (conforme etapa 2), vale advertir que devem ser caracterizados, neste ponto, os medidores relativos aos novos critérios;



- ✓ considerar as variáveis: (i) disponibilidade dos equipamentos (especificamente as distribuições de *TTF* e *TTR*); (ii) capacidade dos recursos produtivos; e (iii) volume do estoque de produtos prontos;
- ✓ sequenciar as ordens de produção sob a condição *first-come, first-served* (HOPP; SPEARMAN, 2000) ou outra mais adequada ao contexto;
- ✓ utilizar o *Conwip*, como abordagem para gerenciar o fluxo de materiais, considerando a teoria exposta na Seção 3.3, a qual faz referência as possíveis formas de configurar o *Conwip* e ainda, expõe as duas maneiras distintas de liberar os cartões à luz das características do sistema produtivo;
- ✓ respeitar o prazo de execução do estudo, bem como o orçamento previsto. Isto porque, o nível de detalhamento das características pode provocar aumento no tempo de modelagem, bem como, requisitar mão-de-obra especializada, podendo assim, acrescer o orçamento inicial.

Cabe ainda ressaltar que a definição das características a serem modeladas é balizada por restrições computacionais, sendo uma das condições limitantes do método a discussão deste tópico.

Fundamentado pelos parâmetros relatados anteriormente, efetiva-se a modelagem conceitual, visando delinear as características necessárias provenientes do ambiente real, que permitam quantificar o *WIP*. Uma vez efetivado o modelo conceitual, o próximo ponto a ser tratado nesta etapa, diz respeito à coleta dos dados, que formam o conjunto das informações necessárias, para parametrizar as variáveis do modelo de simulação, bem como, validá-lo (etapa 8) em termos de representatividade da parcela do ambiente real considerado no estudo à luz das características modeladas. Neste contexto, o método recomenda que sejam coletados: (i) **dados da demanda do *mix* de produtos**, obtidos através do plano agregado de produção; (ii) **dados específicos do processo produtivo**; e (iii) **dados para validar o modelo computacional**.

Para definir os dados referentes à demanda do *mix* de produtos, é sugerida a utilização das informações contidas no plano agregado de produção. Segundo Davis, Aquilano e Chase (2001), o planejamento agregado especifica a taxa de produção (quantidade de produtos acabados por unidade de tempo) para um grupo de produtos, considerando um prazo intermediário, compreendido entre 6 a 8 meses, ou outro mais apropriado. Hopp e Spearman (2000) relatam que o plano agregado de produção é um *output* do planejamento agregado, o

qual utiliza os planos de: capacidade da fábrica, demanda e recursos humanos, em conjunto com parâmetros econômicos (custo de materiais, salários, terceirização, etc), para determinar os volumes de produção para *mix* de produtos, em cada período. Apoiado nas teorias apresentadas por Davis, Aquilano e Chase (2001) e Hopp e Spearman (2000), o método sugere que as informações referentes à demanda do *mix* de produtos, para o período temporal considerado no estudo de simulação sejam provenientes do plano agregado de produção.

Por conseguinte, a coleta dos dados relativos ao processo produtivo fornece elementos que auxiliam na parametrização das variáveis determinísticas e aleatórias, tais como: tempo de *setup*; tempo de processamento ou (tempo de ciclo); número de operadores; duração do turno de trabalho; distribuição de *TTF*, distribuição de *TTR* (entre outras, dependendo das particularidades delineadas no modelo conceitual). Deste modo, para conduzir o procedimento de coleta dos dados é indicado o uso das técnicas descritas no estudo de ‘Tempos e Métodos’ conforme Barnes (1995).

Por fim, é recomendada a composição de uma base de dados, que será aproveitada unicamente para validar o modelo computacional na etapa 8 e que pode ser efetivada por meio da construção de intervalos de confiança (LAW; KELTON, 2000) ou através de uma análise qualitativa, comparando as saídas do modelo computacional, com dados coletados no ambiente real. Compete ressaltar que o método proposto por esta pesquisa não recomenda uma técnica específica para a validação do modelo computacional.

Focalizando na coleta dos grupos: (a) **dados específicos do processo produtivo**; e (b) **dados para validar o modelo computacional**, ressalta-se conforme Balci (1998), que a comparação entre o sistema real e os resultados da simulação somente é possível em circunstâncias em que os dados de entrada do modelo computacional (que no contexto desta pesquisa, faz referência aos dados específicos do processo produtivo) e as observações no ambiente real (refere-se aos dados usados para validar o modelo computacional) foram coletadas sob condições operacionais similares. Frente a essa circunstância, é sugerida a confecção de um documento que delinieie as condições operacionais ocorridas durante a coleta dos dados para ambos os grupos, de modo que este documento possa ser utilizado na etapa 7, visando a assessorar a estruturação do cenário base.

#### **4. Tratamento dos dados**

Em modelos de simulação, comumente utilizam-se distribuições de probabilidade, no intuito de representar, o grau de variabilidade intrínseco ao ambiente real. Frente a essa

condição, é efetivado nesta etapa, somente para as variáveis aleatórias, o ajuste das distribuições de probabilidade, com os respectivos parâmetros estatísticos. Para as variáveis determinísticas, as informações concernentes podem ser incorporadas diretamente no modelo computacional, durante a efetivação da etapa 6.

Segundo Pollatschek (1995), uma das condições necessárias para transcrever em modelos de simulação, situações que envolvam eventos aleatórios provenientes da realidade, diz respeito à correta definição das distribuições de probabilidade. Conforme Law, McComas e Vincent (1994), para que os dados de saída do modelo de simulação sejam factíveis e contribuam para o processo decisório, um dos elementos que deve ser observado em estudos que empregam a simulação computacional, diz respeito à seleção das distribuições de probabilidade adequadas aos dados coletados. Com este enfoque, os mesmos autores sugerem o uso de testes estatísticos, como o Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov, para assistir no processo de definição das curvas. Outro teste comumente referido é o de Anderson-Darling.

## **5. Validação**

O primeiro ponto de validação tem por objetivo, aferir o modelo conceitual, em termos de representatividade das características do ambiente real, baseado no objetivo do estudo. Assim, Law e Kelton (2000) preconizam a revisão estruturada e detalhada do modelo conceitual, com o objetivo de assegurar que os pressupostos estejam corretos e completos. Sob este enfoque, o método propõe a efetivação da análise de aderência, visando confrontar o modelo conceitual, ao conjunto de requisitos apresentado pelo Quadro 8, estruturados à luz dos conceitos delineados nas etapas 1, 2 e 3. Compete ressaltar a importância de considerar na análise a opinião dos especialistas, visto que são conhecedores do ambiente em estudo e podem contribuir de maneira significativa, com o processo de validação (LAW; KELTON, 2000).

A partir do modelo conceitual efetivado e, dos pré-requisitos descritos no Quadro 8, executa-se o julgamento à luz das opiniões dos especialistas, cabendo aos analistas: (i) conduzir a apresentação do modelo conceitual, em contraponto aos pré-requisitos descritos no Quadro 8; (ii) buscar a consonância entre as partes (especialistas), diante de possíveis desacordos; (iii) obter uma informação completa e acurada, ausente de ambiguidades (LAW; KELTON, 2000); e (iv) converter a informação gerada na análise, em elementos que possam

enriquecer o modelo conceitual à luz do escopo de estudo e da teoria relatada por Pidd (1998), relativa à representação simplificada da realidade.

<b>Pergunta guia: o modelo conceitual, <math>\forall \delta=[1;10]</math></b>	
$\delta$	<b>Requisitos para conduzir a análise de aderência</b>
1	contribui para o objetivo do estudo (determinação do <i>WIP</i> )?
2	considera as variáveis: (i) disponibilidade dos equipamentos; (ii) capacidade dos recursos produtivos; e (iii) volume do estoque de produtos prontos?
3	possibilita o uso dos medidores: (i) Lei de Little (LITTLE, 1961); (ii) taxa de atendimento (HOPP; SPEARMAN, 2000); (iii) investimento em <i>WIP</i> ; (iv) ganho \$ dias em atraso (KENDALL, 2007); (v) estoque \$ dias (KENDALL, 2007); (vi) giro do estoque de produtos pronto (HOPP; SPEARMAN, 2000); e (vii) giro do <i>WIP</i> (HOPP; SPEARMAN, 2000)?
4	utiliza o <i>Conwip</i> para gerenciar o fluxo de materiais?
5	configura o <i>Conwip</i> e a liberação de cartões, segundo a teoria abordada na Seção 3.3?
6	conduz o sequenciamento das ordens de produção, na regra <i>first-come, first-served</i> ?
7	comporta a vinculação dos medidores referentes aos critérios complementares, frente a opção por utilizá-los (etapa 2)?
8	possui um período temporal delimitado (concernente ao horizonte que será representado pelo modelo de simulação).?
9	descreve a função de cada variável determinística e aleatória?
10	expõe detalhadamente, as especificações dos dados que devem ser coletados?

**Quadro 8 – Requisitos para aderência do modelo conceitual.**  
**Fonte: o autor (2010).**

Dependendo do resultado obtido com a análise de aderência, três possíveis caminhos podem ser apontados, conforme a Figura 14: (i) inicia-se a construção do modelo de simulação, recomendado pela etapa 6, quando as informações relativas ao modelo conceitual, bem como, a coleta de dados de entrada, estão consistentes com as proposições sugeridas nas etapas anteriores; (ii) retorna-se para a etapa 2, frente a necessidade de reavaliar ou modificar, o quadro de critérios complementares (quando utilizados), no entanto, cabe observar que esta prática influenciará a definição dos pesos para os critérios  $k_j$ . Por conseguinte, durante o período de reavaliação do quadro de critérios complementares, o método recomenda a paralisação do procedimento indicado na etapa 13; e (iii) sendo necessário executar qualquer

tipo de alteração no modelo conceitual e ou realizar novos procedimentos de coleta de dados, deve-ser retroceder para a etapa 3.

## **6. Construção do modelo computacional e verificação**

Esta etapa tem por finalidade, transcrever as características delineadas no modelo conceitual, em um modelo computacional. Para tanto, também são utilizadas as seguintes entradas: (i) dados da demanda do *mix* de produtos; (ii) dados específicos do processo de produção; e (iii) para as variáveis aleatórias, parâmetros estatísticos que foram determinados na etapa 4.

Segundo Law e Kelton (2000), o modelo computacional pode ser desenvolvido em uma linguagem de programação genérica ou ainda, por meio de softwares específicos. No entanto, independente da técnica utilizada para construir o modelo computacional, ressalta-se a importância de verificar possíveis *bugs* e solucioná-los antes de avançar na execução do método.

## **7. Fazer rodadas piloto**

São realizadas corridas piloto com o modelo computacional, no intuito de gerar dados de saídas, que serão aproveitados na etapa 8 para validar modelo. No entanto, precedente a execução das rodadas de teste, são ainda necessários: (i) estruturar um ‘cenário base’, que represente as mesmas condições ocorridas no ambiente real, durante a coleta dos: (a) dados específicos do processo produtivo; e (b) dados para validar o modelo computacional. Para assessorar o desenvolvimento do cenário base, os analistas devem fazer uso do relatório efetivado na etapa 3, o qual descreve as condições operacionais ocorridas durante a coleta dos dados; e (ii) definir o tempo de *warm up* a ser utilizado, caso necessário, de modo que os dados de saída não apresentem distorções causadas pelo estado inicial do modelo de simulação.

## **8. Validação**

Para Law (2005), a validação de um modelo computacional pode ser obtida através da comparação entre as observações no ambiente real com os resultados da simulação, podendo

ser assistida por técnicas estatísticas. Para tanto, cabe lembrar que as replicações com o modelo computacional devem ser executadas (etapa 7), considerando um cenário base, que simule as mesmas condições ocorridas no ambiente real, durante a coleta dos: (i) **dados específicos do processo produtivo**; e (ii) **dados para validar o modelo computacional**. Sob este enfoque, a construção de intervalos de confiança é um dos procedimentos estatísticos que pode ser aplicado, conforme apontado por Balci (1998); Law e Kelton, (2000); Sargent (2009). Neste sentido, vale ressaltar que são apresentadas em Chung (2003), outras técnicas estatísticas que também visam subsidiar o processo de validação do modelo computacional.

Com base nos resultados obtidos nesta etapa, três possíveis caminhos são apontados, conforme a Figura 14: (i) frente a problemas de programação ou *bugs*, é necessário retroceder até a etapa 6 e corrigir as inconsistências. Posteriormente, deve-se realizar procedimento de aferição; (ii) sendo validado o modelo computacional, é iniciada a etapa de planejamento de cenários; e (iii) recua-se para a etapa 3, diante de situações que envolvam modificações mais expressivas, que iniciam a partir da modelagem conceitual.

## 9. Planejamento dos cenários

Esta etapa consiste em definir as especificações dos cenários que serão testados no modelo de simulação, originando nesta etapa, o plano de cenários. Para tanto, Law e Kelton (2000) sugerem o uso da abordagem Projetos de Experimentos, como elemento assessor no processo de estruturação dos cenários. Segundo Montgomery (2004), essa abordagem permite observar e identificar mudanças na variável de saída, a partir de alterações propositalmente feitas nas variáveis de entrada. Conforme Law e Kelton (2000), em estudos de Simulação Computacional, a abordagem Projetos de Experimentos fornece meios para decidir, quais configurações devem ser simuladas, de modo a obter uma informação desejável, com um número reduzido de cenários, bem como, apontar quais variáveis são importantes e, como estas podem afetar a variável resposta.

No que tange à estruturação dos distintos cenários à luz do planejamento de experimentos, o método proposto não se posiciona quanto ao uso desta abordagem, cabendo essa escolha, unicamente aos analistas. Contudo, ressalta-se com base no contexto de pesquisa, que as seguintes variáveis independentes devem nortear a efetivação dos cenários: (i) nível de *WIP* do processo; e (ii) quantidade de estoque de produtos prontos, considerando o *mix* de produto estudado. Entretanto, compete ainda observar a possibilidade de aproveitar as

variáveis: disponibilidade dos equipamentos, demanda do *mix* de venda e capacidade produtiva, para incrementar a configuração dos cenários, caso seja factível ao escopo em estudo.

Por fim, devem ser definidos os seguintes parâmetros para cada um dos cenários simulados (LAW; KELTON, 2000): número de replicações de cada cenário, número de cenários, condições de início e número de simulações independentes, utilizando diferentes números aleatórios e nível de significância para a convergência de estatísticas.

### **10. Fazer rodadas produtivas**

Consiste na execução do plano de cenários, instituído na etapa 9. Deste modo, para cada um dos diferentes cenários que foram instituídos, é necessário ajustar os parâmetros do modelo de simulação, conforme as particularidades propostas e após, realizar as rodadas produtivas. Ao finalizar as replicações, coletam-se os dados de saída de cada um dos indicadores de desempenho à luz da proposta do cenário simulado, sendo estes, analisadas na etapa seguinte.

Ressalta-se que os resultados gerados nesta etapa devem ser organizados em planilhas eletrônicas, identificando-os por meio do título do indicador de desempenho, em função do cenário simulado.

### **11. Análise dos dados de saída**

Em estudos de simulação comumente são testadas múltiplas configurações de cenários, sendo posteriormente identificada a opção factível, por meio da análise dos dados de saída. Deste modo, a etapa 11 faz referência ao emprego de técnicas estatísticas que visam assessorar a análise dos dados de saída do modelo, gerados na etapa 10, possibilitando (LAW; KELTON, 2000): (i) determinar o desempenho das configurações propostas pelos distintos cenários; e (ii) comparar as diferentes configurações dos cenários. Para analisar os dados, os mesmos autores recomendam que sejam utilizados, intervalos de confiança para determinar precisão estatística dos resultados, bem como, histogramas e gráficos de barras. Também podem ser utilizados, os diagramas de dispersão, *box-plot* e métricas derivadas da estatística descritiva.

Com base no escopo desta dissertação, o método sugere que a análise dos dados de saída seja limitada a verificar a ocorrência de diferenças significativas nas médias dos dados

de saída, que foram geradas pelos seguintes medidores (variáveis dependentes): (i) *lead time* de produção (*CT*) (LITTLE, 1961); (ii) taxa de produção efetiva ou *throughput* (LITTLE, 1961); (iii) investimento em *WIP*; (iv) taxa de atendimento da demanda (HOPP; SPEARMAN, 2000); (v) ganho \$ dias em atraso (KENDALL, 2007); (vi) estoque \$ dias (KENDALL, 2007); (vii) giro do estoque de produtos pronto (HOPP; SPEARMAN, 2000); (viii) giro do *WIP* (HOPP; SPEARMAN, 2000); e (ix) indicadores que representam os critérios complementares (conforme etapa 2), considerando os diferentes cenários simulados, como variável independente.

Neste aspecto, é recomendado o uso da Análise Univariada de Variância (ANOVA), que tem por finalidade, comparar as médias dos indicadores de diferentes tratamentos (cenários de simulação) de modo a avaliar se existem, ou não, diferenças significativas estatisticamente. Como requisitos, é necessário respeitar a normalidade dos dados e assegurar que as matrizes de variância-covariância sejam similares entre os diferentes tratamentos. Maiores esclarecimentos sobre este teste podem ser obtidos em Hair *et al.* (2009).

Frente a situações em que, não são acatados os pressupostos do teste ANOVA, é indicado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, como possível substituto. Para Bisquerra Alzina, Sarriera e Martinez (2004) este teste pode ser utilizado, para verificar a ocorrência de diferenças significativas entre as médias de  $k$  amostras independentes. Segundo Siegel (1975), o teste de Kruskal-Wallis tem como hipótese nula, que  $k$  amostras provenham da mesma população ou de populações idênticas com relação média, assumindo como pressuposto principal, que a variável em estudo tenha distribuição inerente contínua (SIEGEL, 1975).

Conforme a Figura 14, ao final da análise dos dados de saída, dois caminhos distintos podem ser seguidos: (i) diante da falta de evidências para afirmar que as médias de todos os cenários simulados apresentam diferenças significativas (para todos os indicadores de desempenho), o próximo procedimento que deverá a ser efetivado, diz respeito à tomada de decisão (etapa 18); e (ii) sendo possível afirmar que as médias dos diferentes cenários são significativamente diferentes (ao menos para dois indicadores de desempenho), unicamente sob este resultado, executam-se as etapas concernentes a tomada de decisão, assistida pelo método ELECTRE TRI.

## **12. Estruturar a matriz de desempenho dos cenários**

Para classificar o conjunto de alternativas em categorias de preferência à luz de múltiplos critérios de decisão, um dos componentes utilizados pelo método ELECTRE TRI,



diz respeito à tabela de desempenho das alternativas (também caracterizada, como conjunto de alternativas ou conjunto de escolha), a qual apresenta os índices de desempenho imputados em cada uma das alternativas avaliadas, segundo o conjunto de critérios de decisão considerados no estudo. Conforme descrito na Seção 4.2, nesta pesquisa os termos ‘cenários’ e ‘alternativas’ podem ser interpretadas de forma análoga.

A partir das informações delineadas no parágrafo anterior, a etapa 12 foca na composição da matriz de desempenho dos cenários, que consiste em uma tabela que descreve o resultado (desempenho) de cada cenário simulado, em termos de medidas de tendência central (oriundas da Estatística Descritiva), apuradas com base nos dados de saída gerados na etapa 10 à luz do seguinte quadro de indicadores: (i) taxa de produção efetiva ou *throughput*; (ii) investimento em *WIP*; (iii) giro do estoque de produtos prontos; (iv) ganho \$ dias em atraso; (v) estoque \$ dias; e (vi) indicadores referentes aos critérios complementares (etapa 2).

No Quadro 9 é apresentada a estrutura da matriz de desempenho dos cenários que deve ser resultado da etapa 12.

Matriz de desempenho dos cenários						
Cenários simulados	Indicadores de desempenho					
	Taxa de produção efetiva	Investimento em <i>WIP</i>	Giro do estoque de produtos prontos	Ganho \$ dias em atraso	Estoque \$ dias	Indicadores complementares (etapa 2)
$a_1$	$g_{11}$	$g_{21}$	$g_{31}$	$g_{41}$	$g_{51}$	$g_{j1}$
$a_2$	$g_{12}$	$g_{22}$	$g_{32}$	$g_{42}$	$g_{52}$	$g_{j2}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$a_t$	$g_{1t}$	$g_{2t}$	$g_{3t}$	$g_{4t}$	$g_{5t}$	$g_{ja_t}$

Quadro 9 – Matriz de desempenho dos cenários.  
Fonte: o autor (2010).

Para construir a matriz ilustrada no Quadro 9, é calculado inicialmente o coeficiente de variação  $C_v$ , dos dados de saída que aludem a cada um dos indicadores de desempenho  $g_j$  (sendo  $g=1, \dots, j$  indicadores de desempenho), distinguindo o tratamento, conforme o fator cenário  $a_t$  (para  $a=1, \dots, t$  cenários testados). Em seguida, com base nos índices de  $C_v$  obtidos em cada vetor  $g_j a_t$ , são nomeadas as medidas de tendência central, observado a condição seguinte: (a) para um valor de  $C_v > 0,3$  sugere-se utilizar a mediana para representar cada grupo de dados de saída, gerados no experimento de simulação; e (b) em caso contrário,

sugere-se empregar a média. Posteriormente, são calculadas as medidas estatísticas (média ou mediana) selecionadas para cada  $g_j a_t$  à luz de  $C_v$  obtido. Por fim, os resultados obtidos são esquematizados na matriz de desempenho, considerando os eixos de alocação: (a) indicadores de desempenho  $g_j$ ; e (b) cenários testados  $a_t$ .

As próximas etapas tratam exclusivamente da parametrização do método ELECTRE TRI. Deste modo, cabe ressaltar que o termo ‘critério de decisão’ abordado em seguida, fará referência aos indicadores de desempenho, que agregam informações (coeficientes de importância ou pesos) referentes à preferência dos decisores, quanto ao conjunto de critérios.

### 13. Atribuir pesos para cada critério

Nesta etapa, é estabelecido à luz das preferências do grupo de decisores, o coeficiente de importância (peso) para cada um dos seguintes critérios de decisão: (i) giro do estoque de produtos prontos; (ii) ganho \$ dias em atraso; (iii) estoque \$ dias; (iv) investimento em *WIP*; (v) taxa de produção efetiva ou *throughput (TH)*; e (vi) indicadores referentes aos critérios complementares (etapa 2).

Sob este enfoque, cabe advertir que os pesos do conjunto de critérios ( $k_1, k_2, \dots, k_j$  para  $j$  critérios) deve atender à condição  $k_j > 0$  (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004) e o somatório dos pesos de todos os critérios utilizados no processo decisório deve ser igual a 1 (DIAS; MOUSSEAU, 2002).

### 14. Compor as classes de equivalência (ou conjunto de categorias)

Recomenda a definição dos limiares das classes de equivalência (ou conjunto de categorias), que servem de indicativo para classificar os cenários à luz de múltiplos critérios. Sob este enfoque, é sugerida a construção de três classes denominadas 1, 2 e 3 ordenadas preferencialmente, de modo que a classe 1 aluda aos cenários que possuem os piores resultados (desempenho) à luz dos critérios mais importantes.

Para estabelecer as três classes de equivalência, é necessário, apontar os limites superiores e inferiores a cada classe, para todos os critérios de decisão. Neste sentido, ao observar o Quadro 10, a classe 1 é limitada inferiormente por  $b_1$ , o qual também representa o limite superior da classe 2. Em paralelo,  $b_2$  denota o limite inferior da classe 2 e, para a classe 3, o limite superior. O ponto de intersecção entre, as coordenadas de cada critério de decisão

$g_j$  (sendo  $g=1, \dots, j$  critérios) e os limiares  $b_1$  e  $b_2$ , correspondem ao índice de desempenho que deve ser atribuído para cada perfil de referência  $g_j(b_1)$  e  $g_j(b_2)$ , considerando a ordem de importância das classes. Em síntese, os perfis de referência delimitam cada uma das três classes consideradas nesta pesquisa, sendo também utilizados, para estabelecer a relação de subordinação  $S$  (apresentada na Seção 4.3).

Limites das classes	Critérios de decisão					
	Taxa de produção efetiva	Investimento em <i>WIP</i>	Giro do estoque de produtos prontos	Ganho \$ dias em atraso	Estoque \$ dias	Indicadores complementares (etapa 2)
$b_1$	$g_1(b_1)$	$g_2(b_1)$	$g_3(b_1)$	$g_4(b_1)$	$g_5(b_1)$	$g_j(b_1)$
$b_2$	$g_1(b_2)$	$g_2(b_2)$	$g_3(b_2)$	$g_4(b_2)$	$g_5(b_2)$	$g_j(b_2)$

Quadro 10 – Limiares das classes de referência à luz dos critérios de decisão.  
Fonte: o autor (2010).

Fundamentado em Dias e Mousseau (2002), Gomes, Araya e Carignano (2004), Gomes e Costa (2008), Neves e Costa (2010) e Hora *et al.* (2008), é observado a ausência de uma metodologia estruturada que conduza à determinação dos limiares dos perfis de referência. Neste sentido, para definir cada perfil de referência  $g_j(b_1)$  e  $g_j(b_2)$  descritos no Quadro 10, os analistas podem ajustar os índices de modo empírico, considerando os resultados delineados na matriz de desempenho dos cenários (efetivada na etapa 12) à luz de informações provenientes de: (a) **padrões históricos** – mencionam resultados alcançados no passado; (b) **padrões alvos** – representa níveis de desempenho que é visto com adequado ou admissível; e (c) **padrões de desempenho da concorrência** – que consistem em parâmetros de desempenho praticados pelos concorrentes da organização. Cabe ressaltar que a parametrização de  $g_j(b_1)$  e  $g_j(b_2)$  deverá ser validada, pelo grupo de decisores.

Em especial, para determinar os perfis de referência concernentes à taxa de produção  $g_1(b_1)$  e  $g_1(b_2)$ , o método sugere o uso de informações provenientes do *takt-time* do *mix* de venda. Deste modo, o perfil de referência  $g_1(b_2)$  pode ser definido, com base no desempenho praticado pelos concorrentes, entretanto, diante da indisponibilidade destas informações, é indicado o uso de padrões históricos. Por fim, o perfil  $g_1(b_1)$  pode ser determinado, a partir de previsões descritas no plano agregado de produção ou então, por meio de índices de desempenho que foram estabelecidos no plano estratégico de longo prazo, os quais são caracterizados pelos gestores, como requisitos que permitem alcançar uma posição de

destaque da concorrência e, aumentar a participação no mercado consumidor, à luz da estratégia *make-to-stock*.

Outra opção que pode ser analisada para delimitar os perfis de referência  $g_j(b_1)$  e  $g_j(b_2)$  diz respeito à geração de distribuições de probabilidade, visando tornar simétrica a distribuição do número de cenários em cada classes, ou seja: um número menor de cenários alocados nas classes 1 e 3; e, um número intermediário de cenários alocados na classe 2. Informações adicionais a este tópico podem ser encontradas em Gomes e Costa (2008).

### 15. Definir os limiares de preferência ( $p$ ), indiferença ( $q$ ) e veto ( $v$ )

Esta etapa propõe a determinação dos valores referentes aos limiares de preferência ( $p$ ), indiferença ( $q$ ) e veto ( $v$ ), para cada perfil de referência  $g_j(b_1)$  e  $g_j(b_2)$  delineados na etapa 14, conforme apresentado no Quadro 11.

Parâmetros Fixos	Critérios de decisão					
	Taxa de produção efetiva	Investimento em <i>WIP</i>	Giro do estoque de produtos prontos	Ganho \$ dias em atraso	Estoque \$ dias	Indicadores complementares (etapa 2)
<b>Limiares das classes 1 e 2</b> $b_1$	$g_1(b_1)$	$g_2(b_1)$	$g_3(b_1)$	$g_4(b_1)$	$g_5(b_1)$	$g_j(b_1)$
Preferência $p$	$p_1[g_1(b_1)]$	$p_2[g_2(b_1)]$	$p_3[g_3(b_1)]$	$p_4[g_4(b_1)]$	$p_5[g_5(b_1)]$	$p_j[g_j(b_1)]$
Indiferença $q$	$q_1[g_1(b_1)]$	$q_2[g_2(b_1)]$	$q_3[g_3(b_1)]$	$q_4[g_4(b_1)]$	$q_5[g_5(b_1)]$	$q_j[g_j(b_1)]$
Veto $v$	$v_1(b_1)$	$v_2(b_1)$	$v_3(b_1)$	$v_4(b_1)$	$v_5(b_1)$	$v_j(b_1)$
<b>Limiares das classes 2 e 3</b> $b_2$	$g_1(b_2)$	$g_2(b_2)$	$g_3(b_2)$	$g_4(b_2)$	$g_5(b_2)$	$g_j(b_2)$
Preferência $p$	$p_1[g_1(b_2)]$	$p_2[g_2(b_2)]$	$p_3[g_3(b_2)]$	$p_4[g_4(b_2)]$	$p_5[g_5(b_2)]$	$p_j[g_j(b_2)]$
Indiferença $q$	$q_1[g_1(b_2)]$	$q_2[g_2(b_2)]$	$q_3[g_3(b_2)]$	$q_4[g_4(b_2)]$	$q_5[g_5(b_2)]$	$q_j[g_j(b_2)]$
Veto $v$	$v_1(b_2)$	$v_2(b_2)$	$v_3(b_2)$	$v_4(b_2)$	$v_5(b_2)$	$v_j(b_2)$

Quadro 11 – Parâmetros fixos à luz de múltiplos critérios.  
Fonte: o autor (2010).

Com base em Dias e Mousseau (2002), Gomes, Araya e Carignano (2004), Gomes e Costa (2008), Neves e Costa (2010) e Hora *et al.* (2008), é possível observar que esses autores não apresentam uma metodologia estruturada que norteie a determinação dos limiares de  $p$ ,  $q$

e  $v$ . Sob este enfoque, o método sugere que os resultados iniciais sejam gerados por meio do uso de critérios verdade. Posteriormente, esses limiares podem ser refinados de modo subjetivo, considerando: (i) o embasamento teórico descrito na Seção 4.3; (ii) a matriz de desempenho dos cenários (etapa 12); (iii) os limiares das classes de equivalência (definidos na etapa 14); e (iv) o impacto causado no comportamento do modelo à decisão (em termos de alterações nas classificações), o qual poderá ser ponderado através de uma análise de sensibilidade, recomendada na etapa 17.

## 16. Executar o algoritmo ELECTRE TRI

Nesta etapa, é executada a classificação dos diferentes cenários simulados à luz dos parâmetros apontados nas etapas 13, 14 e 15 e, da matriz de desempenho dos cenários efetivada na etapa 12, conforme esquematizado na Figura 14. No entanto, é sugerido que os resultados iniciais sejam obtidos, considerando um nível de corte  $\lambda$  igual a 0,5 sendo este, posteriormente incrementado à luz da análise de sensibilidade (etapa 17).

## 17. Análise de sensibilidade dos resultados

Com base nas classificações obtidas na etapa anterior, é recomendada na etapa 17 a efetivação de uma análise de sensibilidade, tendo por objetivos: (a) verificar a robustez do modelo quanto às alterações impostas; e (b) prover elementos que subsidiem o ajuste dos parâmetros apresentados nas etapas 13, 14 e 15. Deste modo, a análise de sensibilidade propõe que os decisores, avaliem os resultados providos pelo modelo à decisão, frente a mudanças propositais, nos valores dos seguintes parâmetros: (i) nível de corte  $\lambda$ , para  $\lambda \in [0,5;1]$ ; (ii) limites das classes  $g_j(b_1)$  e  $g_j(b_2)$ ; (iii) pesos dos critérios  $k_j$ ; e (iv) limiares  $p$ ,  $q$  e  $v$ . Neste contexto, destacam-se os seguintes exemplos: (MIRANDA; ALMEIDA, 2003): (a) alterar o nível de corte  $\lambda$  de 0,5 para 0,6; (b) aumentar os limites das classes  $g_j(b_1)$  e  $g_j(b_2)$  em 5%; e (c) variar em 20% o peso de cada critério utilizado no estudo.

Mantendo este foco, é possível observar na Figura 14, que a etapa 17, possui uma conexão com a etapa 13 (atribuir pesos aos critérios), etapa 14 (compor as classes de equivalência) e etapa 15 (definir os limiares  $p$ ,  $q$  e  $v$ ). Essa característica tem por finalidade, possibilitar alterações nos valores dos parâmetros citados no parágrafo anterior, de maneira individual e controlada à luz das classificações apontadas pelo modelo à decisão, feitas na

replicação  $n$ . Neste sentido, uma nova replicação poderá ser executada (etapa 16), sob novos parâmetros, os quais são deliberados de modo subjetivo, a partir das classificações obtidas e dos parâmetros utilizados na replicação  $n$ , sendo, por conseguinte, os novos resultados ajuizados pelos decisores. Cabe observar que esse procedimento pode ser replicado, tantas vezes quanto os analistas e os decisores o entenderem como necessário.

Durante a efetivação da análise de sensibilidade, é possível refinar o modelo de decisão, determinando os valores dos parâmetros descritos no parágrafo inicial. Para tanto, são destacados os seguintes pontos: (i) foco na minimização da ocorrência de resultados que expressem indiferenças e incomparabilidades. Segundo Costa, Soares e Oliveira (2004), para resolver essa situação, é necessário executar uma revisão em todos os parâmetros do modelo à decisão; (ii) quando uma alternativa (que nesta pesquisa alude a um cenário) possui uma classificação idêntica para os procedimentos pessimista e otimista, significa que o modelo à decisão foi capaz de restabelecer as comparações das alternativas aos perfis, mas, no entanto, a divergência entre as classificações, é um indicativo de incapacidade do modelo em comparar a alternativa em questão, a pelo menos um dos limiares de classe (COSTA; SOARES, OLIVEIRA, 2004).

Ainda, conforme apresentado na Figura 14, a etapa 17 tem uma ligação com a etapa 9 (planejamento dos cenários) que é uma das etapas específicas ao estudo de simulação computacional. Essa condição é indicada, frente à existência de incomparabilidades, nas quais, a solução por meio de alterações nos parâmetros abordados nas etapas 13, 14 e 15 proveriam um nível  $\lambda$ , que não atende as expectativas dos decisores. Deste modo, torna-se possível retroceder para a etapa 9 e estabelecer configurações alternativas de cenários, visando a solucionar as incomparabilidades ocorridas.

Ao finalizar a análise de sensibilidade, tem-se como principal saída, um plano de resultados que caracteriza os distintos cenários simulados à luz das classes de equivalência 1, 2 e 3, sendo este, utilizado na etapa 18 para nortear a tomada de decisão.

## **18. Tomada de decisão**

Nesta etapa final, é determinada a configuração do cenário que será empregada no ambiente de produção, considerando unicamente dois subsídios: (i) o plano de resultados gerado na etapa 17 em conjunto com as informações provenientes dos indicadores *CT* para de cada tipo de produto, giro do *WIP* e taxa de atendimento da demanda; e (ii) os resultados obtidos na etapa 11 (referentes à falta de evidências que afirmam diferenças significativas

para todos os indicadores de desempenho, em todos os cenários). Em especial nessa última situação, os decisores podem escolher a configuração de cenário a ser implantada no sistema, considerando o custo do *WIP*.

Compete observar nesta última etapa, segundo Gomes, Araya e Carignano (2004), que a metodologia de Apoio Multicritério à Decisão (que neste estudo foi empregado o ELECTRE TRI) procura fazer com que o processo de decisão seja neutro, objetivo e o mais transparente possível, sem pretender indicar ao decisor, uma única e verdadeira solução e, que é praticamente impossível existir uma alternativa ou solução para a qual todas as funções objetivo atinjam ao mesmo tempo, seu valor ótimo. Nesses casos, o decisor escolherá a melhor alternativa dentre um conjunto das que considera satisfatória.

Posterior à apresentação do método desenvolvido nesta pesquisa, para auxiliar na determinação do nível de *WIP*, a próxima seção delinea as premissas consideradas.

## 6.2 PREMISSAS DO MÉTODO

São delineadas nesta seção, as premissas do método proposto pela dissertação (abordado na seção anterior), as quais estabelecem os requisitos a serem acatados, no que diz respeito à aplicabilidade em sistemas produtivos intermitentes, com fluxo convergente do tipo A, operando sob a ótica *make-to-stock*, focados estrategicamente na rápida entrega de produtos padronizados.

### 1. Considerações iniciais

Fundamentalmente, é assumido que o sistema produtivo foco de estudo proverá todas as informações necessárias para efetivar as recomendações abordadas nas etapas estruturais do método proposto por esta dissertação. Vale destacar que não faz parte da proposta do método, sugerir o uso de distribuições de probabilidade que contemplem a falta de dados que representam a variabilidade no tempo de processamento ou (tempo de ciclo) do sistema produtivo real.

No que tange ao procedimento de validação do modelo computacional (etapa 8), supõe-se que os dados específicos do processo produtivo e os dados usados para validar o modelo computacional foram coletados sob condições operacionais similares. Em especial, que as corridas piloto com o modelo computacional (etapa 7) foram realizadas à luz do

cenário base que representa as mesmas condições ocorridas no ambiente real, durante a coleta dos: (i) dados específicos do processo produtivo; e (ii) dados usados para validar o modelo computacional.

## **2. Plano agregado de produção**

Conforme descrito na etapa 3 (Seção 6.1), o plano agregado de produção é o elemento provedor das informações referentes à demanda do *mix* de produtos, para o período temporal considerado no modelo de simulação. Neste sentido, a organização que fará uso do método proposto deve possuir, em seu contexto organizacional, uma estrutura que permita desenvolver o plano agregado de produção, considerando ao menos, uma previsão de demanda para o *mix* de produtos à luz do horizonte considerado no modelo de simulação.

## **3. Disponibilidade dos equipamentos**

É assumido que são conhecidos, os parâmetros de disponibilidade: distribuição de *TTF*, distribuição de *TTR* e as respectivas distribuições de probabilidades para os equipamentos inseridos no modelo de simulação computacional. Neste enfoque, o método admite que as informações delineadas nos parâmetros de disponibilidade, foram determinadas à luz dos elementos contidos na literatura deste tema, bem como, validada pelos especialistas responsáveis na disponibilidade dos recursos produtivos.

## **4. Conhecimentos e habilidades da equipe de execução**

O método pressupõe que a equipe envolvida na efetivação do método, consinta os requisitos apontados por Law e McComas (1991) e Vaccaro e Rodrigues (2005), no que tange às habilidades e conhecimentos necessários para obter êxito em projetos que aproveitam a Simulação Computacional. Ainda, é considerado que pelo menos um membro da equipe possua ciência na disciplina Decisão Multicritério, em especial, no método ELECTRE TRI.

## **5. Configuração do *Conwip* e liberação de cartões**

No que tange à configuração do *Conwip* (básico ou *multiloop*), o método admite que configuração utilizada no modelo de simulação computacional, foi determinada com base na



teoria descrita na Seção 3.3, a qual é adequada para as características do sistema produtivo. Outro aspecto a ser tratado na linha que opera sob a ótica do *Conwip*, diz respeito à liberação dos cartões. Como visto no referencial, existem duas opções para liberar os cartões (HOPP; SPEARMAN, 2000): (i) quando os ‘trabalhos’ deixam o *buffer* da operação subsequente; e (ii) antes que os ‘trabalhos’ entrem no *buffer* da operação subsequente. Neste sentido, é assumido que são respeitados, durante a implantação do cenário escolhido, os procedimentos referentes à liberação de cartões, que são detalhados na Seção 3.3.

### 6.3 RECOMENDAÇÕES DOS ESPECIALISTAS CONSULTADOS

Conforme apresentado no Método de Trabalho (Seção 2.2), um dos procedimentos utilizados nesta dissertação para testar o método sugerido, diz respeito à avaliação de pesquisadores especialistas nos temas que compõem diferentes elementos do método ora proposto. Para tanto, foi construído um questionário composto por 7 questões descritivas (o qual é apresentado no Apêndice A), tendo por objetivo, nortear o processo de avaliação junto aos pesquisadores.

Fundamentado nas avaliações dos pesquisadores respondentes, destacam-se as seguintes observações: (i) é plausível o emprego do ELECTRE TRI para uma classificação multicritério no âmbito de pesquisa, no entanto, uma abordagem alternativa seria utilizar a Classificação ABC Multicritério; (ii) o problema tratado se presta muito bem para uma clássica aplicação de simulação. O método proposto torna-se sofisticado visto à inserção de uma abordagem multicriterial mais robusta; (iii) poderia ser inserido no quadro de indicadores de desempenho, o custo da guarda e manuseio de *WIP*, custo do *setup* e custo da falta de *WIP* (custo da venda perdida ou da máquina parada); (iv) este estudo deveria contemplar a taxa de entrada de suprimento de matérias-primas no quadro de variáveis; e (v) na opinião de um dos pesquisadores, o critério investimento em *WIP* e estoque dólar dias são redundantes.

Considerando exclusivamente as recomendações descritas no parágrafo anterior, é possível ressaltar que o problema tratado nesta dissertação permite a aplicação da Simulação por Eventos Discretos, bem como, o emprego da técnica Multicritério ELECTRE TRI. Ainda, foi considerado como um elemento de destaque no método proposto, a inserção de uma abordagem multicriterial em sua estrutura. No entanto, será avaliada somente em pesquisas futuras a inclusão da taxa de entrada de suprimento de matérias-primas no escopo de estudo,

bem como, a inserção dos indicadores: o custo da guarda e manuseio de *WIP*, custo do *setup* e custo da falta de *WIP* (custo da venda perdida ou da máquina parada) no quadro de medidores de desempenho. Ao analisar a opinião de um dos pesquisadores concernente à ocorrência de redundância entre os critérios ‘investimento em *WIP*’ e ‘estoque \$ dias’, ressalta-se segundo Bouyssou (1996) *apud* Gomes, Gomes e Almeida (2002), que a redundância acontece quando um aspecto abordado em um critério é também tratado por outro critério. No contexto desta pesquisa, o critério ‘investimento em *WIP*’ alude o nível de estoque em processo (*WIP*) e, o critério ‘estoque \$ dias’, referencia o volume de estoque de produtos prontos. Desta maneira, visto que cada um dos critérios aborda aspectos que divergem entre si, é possível observar que não ocorre redundância.

Entende-se, assim, que, na visão dos especialistas consultados, a proposta, ainda que não totalmente completa do ponto de vista de exploração de elementos suplementares que podem ser incorporados a estrutura do método proposto, é robusta o suficiente para ser utilizada em ambientes de produção norteados a produzir para estoque com fluxo convergente do tipo A (UMBLE; UMBLE, 1999).

#### 6.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 6

O Capítulo 6 teve por desígnio: (a) detalhar as etapas do método; (b) apresentar as premissas de utilização; e (c) descrever as recomendações dos pesquisadores feitas a partir do questionário qualitativo. O método desenvolvido por esta dissertação apresenta em sua estrutura: (i) um método de condução de estudos de simulação computacional (LAW; KELTON, 2000); (ii) a abordagem *Conwip* (HOPP; SPEARMAN, 2000) para gerenciar o fluxo de materiais; (iii) um quadro de indicadores de desempenho, que tem a finalidade gerar informações referentes ao comportamento do modelo de simulação, frente aos cenários testados, os quais representam diferentes combinações de volumes para o estoque de produtos prontos e de *WIP*; (iv) um conjunto de critérios de decisão, que nesta pesquisa são efetivados a partir dos indicadores de desempenho; e (v) o Método Multicritério ELECTRE TRI, que é aproveitado para classificar cada um dos cenários testados, em classes de equivalência denominadas 1, 2 e 3 ordenadas preferencialmente.

No capítulo subsequente será descrita uma aplicação prática do método proposto, atendendo deste modo, a um dos objetivos específicos desta dissertação.

## 7 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Este capítulo descreve uma aplicação prática do método proposto para quantificar o *WIP*, acatando desta forma, a um dos objetivos específicos da dissertação. O caso prático apresentado em seguida ilustrará o aproveitamento das etapas esquematizadas na Figura 14, respeitando as premissas de utilização (Seção 6.2). Ressalta-se que a discussão relativa aos resultados obtidos, faz referência a escolha de uma configuração de cenário, considerando as classificações obtidas por meio da técnica Multicritério ELECTRE TRI.

### 7.1 AMBIENTE PRODUTIVO

O ambiente produtivo explorado nesta pesquisa foi selecionado, segundo o critério disponibilidade das informações, sendo este, o fator determinante para escolher a empresa que subsidia a aplicação do método. A empresa analisada é distinguida como indústria metal-mecânica, que possui atualmente 2.200 funcionários e um *mix* de venda composto por 2.000 produtos, quando se consideram os itens produzidos pela empresa, produtos importados e também, materiais que são adquiridos grandes quantidades no mercado nacional como, por exemplo, ferro chato, tarugos, blocos, cantoneiras, chapas planas, entre outros, que são posteriormente vendidos em quantidades menores.

Para aplicação do método, escolheu-se uma linha de produção, que é dedicada à fabricação de 4 produtos e constituída essencialmente por 6 operações. A preferência por estudar essa linha é fundamentada no aumento de 22% na demanda total dos produtos, quando comparado com o ano anterior. Ao focalizar no processo em estudo, é possível destacar as seguintes particularidades:

- ✓ a empresa desenvolve um plano agregado semestral que especifica para um total de 23 produtos (incluindo os 4 produtos analisados neste trabalho) a demanda mensal de cada tipo de produto. Vale observar que as informações contidas neste plano assessoram o planejamento de produção e a compra de matéria-prima;

- ✓ com base no plano semestral, o setor de Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP) executa a programação semanal da linha, priorizando os itens à produzir com base: (a) na data de entrega dos pedidos em carteira; (b) no tipo de produto que o recurso gargalo está preparado para produzir; e (c) no nível de estoque de produtos prontos;
- ✓ os itens são produzidos e estocados em lotes com quantidade padrão, que fluem ao longo das etapas do processo para o estoque final por meio de contenedores, os quais comportam quantidades específicas para cada produto;
- ✓ conforme a quantidade exigida, os produtos prontos são retirados dos contenedores, tratados superficialmente (galvânica ou polimento), embalados e enviados para o consumidor;
- ✓ a unidade de medida empregada para gerenciar e programar a linha é ‘quantidade de contenedores por tipo de produto’.

No que diz respeito às atividades precedentes a aplicação do método, visto que o autor desta dissertação não trabalha na empresa que subsidia o estudo, para obter conhecimento sobre o processo produtivo foram efetuadas 2 reuniões com gestores (1 supervisor de produção e 1 supervisor de PPCP), tendo por objetivo, apresentar o método desenvolvido nesta pesquisa e conhecer potenciais dificuldades (não liberadas para publicação). Também foram realizadas 3 reuniões com especialistas (sendo 1 pessoa de métodos e processo, 1 regulador de máquina e 1 líder de setor), no intuito de compreender elementos referentes ao(s): ao fluxo de materiais e informações; layout da linha; recursos produtivos utilizados; e documentos empregados no gerenciamento do processo.

Referente ao atendimento das premissas de aplicação do método descritas no Capítulo 6 (Seção 6.2) cabe ressaltar que a linha de produção alvo de estudo é limitada nas premissas concernentes a: (i) **disponibilidade de equipamentos**, pois as distribuições de *TTF* e *TTR* dos equipamentos OP12 e OP23 inseridos no modelo de simulação foram determinados a partir de uma amostra formada por 6 e 11 dados respectivamente, isto porque, não está ainda inserida no contexto da organização, a composição de um banco de dados de falha dos recursos produtivos; e (ii) **conhecimentos e habilidades da equipe de execução**. O método pressupõe que a equipe envolvida na efetivação do método, consinta os requisitos apontados por Law e McComas (1991) e Vaccaro e Rodrigues (2005), bem como, ciência na disciplina Decisão Multicritério, em especial, no método ELECTRE TRI. Nessa última premissa, cabe observar

que a única pessoa que atende esses requisitos é o autor desta dissertação. O restante da equipe, em especial os gestores da produção, nunca fizeram uso das abordagens de Simulação por Eventos Discretos e Métodos Multicritério (em especial o ELECTRE TRI) como ferramentas para assessorar a tomada de decisão.

Serão descritas na próxima seção, as atividades executadas durante a aplicação do método, concernentes às etapas 3 a 18 (conforme abordado no Capítulo 6).

## 7.2 EFETIVAÇÃO DAS ETAPAS DO MÉTODO

### ETAPA 3: Modelagem conceitual e coleta de dados

Para construir o modelo conceitual, utilizou-se a técnica de mapeamento do estado atual, proveniente da metodologia denominada Mapeamento do Fluxo de Valor (ROTHER; SHOOK, 1999), o qual foi construído em conjunto com os técnicos da linha de produção à luz do conjunto de parâmetros sugerido pelo método, para auxiliar na delimitação das principais características do sistema produtivo real, a serem consideradas no modelo conceitual.

Com base no modelo conceitual, o próximo ponto tratado durante a aplicação prática do método, diz respeito à coleta dos: (i) **dados da demanda do *mix* de produtos**, obtidos através do plano agregado de produção; (ii) **dados específicos do processo produtivo**; e (iii) **dados para validar o modelo computacional**. Para determinar os dados referentes à demanda do *mix* de produtos, o setor de PPCP estabeleceu com base em informações procedentes do: (i) plano agregado de produção referente ao primeiro semestre de 2010; e (ii) previsões de demanda feitas com base no ano de 2009 (visto o aumento da demanda), um plano de produção que corresponde a 1 mês trabalho na linha, sendo este período, considerado no modelo de simulação (a linha de produção trabalha em tempo normal 528 minutos por dia, 5 dias por semana). Este plano é constituído por 10 pedidos, que possuem datas específicas para a chegada na linha de produção e, para a entrega ao mercado consumidor.

Posterior à quantificação da demanda dos produtos, procedeu-se a coleta dos dados relativos ao processo produtivo, focalizando nas seguintes variáveis aleatórias: (i) tempo de processamento (ou tempo de ciclo) para as operações realizadas na linha à luz dos produtos em estudo; (ii) tempo de *setup*; (iii) tempo entre falhas; e (vi) tempo de reparo. Cabe observar que também foi apontado o número de operadores com suas respectivas atividades e a

duração da jornada de trabalho. Nesta fase, foi realizada primeiramente uma pesquisa no banco de dados do PPCP, no intuito encontrar dados históricos relativos aos tempos operacionais. Contudo, as informações disponíveis eram determinísticas e não possibilitavam efetuar o ajuste das curvas de probabilidade. Frente a este contexto, se iniciou a coleta dos dados relativos ao processo produtivo, por meio da técnica de cronometragem dos tempos operacionais das atividades, sendo coletadas inicialmente, 30 amostras de cada uma das atividades (variáveis aleatórias) consideradas no modelo conceitual. Posteriormente, foi efetivado o dimensionamento do campo amostral, com base: (i) no valor do desvio padrão obtido através das coletas preliminares de cada atividade; (ii) em um nível de significância igual a 5%; (iii) no erro absoluto aceitável igual a 4 minutos.

Uma vez quantificado o campo amostral, concluiu-se a coleta dos dados, os quais eram transferidos para planilhas eletrônicas (software Excel), formando uma base de dados composta pela caracterização de cada operação e pelo tempo, em minutos, ocupados para realizar as atividades necessárias para a produção. Ainda durante a coleta dos dados do processo produtivo foram também apuradas, informações concernentes aos seguintes índices: (i) **custo da matéria-prima**, que subsidia a determinação dos medidores de investimento em *WIP* e estoque \$ dia; (ii) **ganho avaliado no pronto de venda**, que é utilizado para determinar o ganho \$ dias em atraso. Ressalta-se que nesta pesquisa, o ganho avaliado no pronto de venda é definido, utilizando os índices praticados pela empresa.

No que se refere à composição de uma base de dados específica para validar o modelo computacional, foram coletados no ambiente real, dados relativos ao medidor ‘quantidade produzida por produto/dia’. Para tanto, posteriormente à coleta dos dados específicos do processo produtivo, foi elaborado um documento que descreve as condições operacionais ocorridas no sistema em estudo, tais como: (i) sequenciamento dos pedidos; (ii) quantidade de operadores; e (iii) eventualidades ocorridas (a exemplo, destaca-se a falta de matéria-prima, mudança no sequenciamento das ordens, entre outros), considerando um período de 5 dias de trabalho, sendo este documento, aproveitado na etapa 7 para subsidiar a construção do cenários base.

#### **ETAPA 4: Tratamento dos dados**

Após concluir a coleta dos dados, foi executado somente para os dados intrínsecos às variáveis: (i) tempo de processamento (ou tempo de ciclo); (ii) tempo de *setup*; (iii) tempo

entre falhas; (vi) tempo de reparo; e (vii) tempo de retrabalho por tipo de produto e problema, o ajuste das curvas estatísticas dos dados, utilizando um nível de significância igual a 5%. Para tanto, é empregada a técnica de Kolmogorov-Smirnov, sendo aplicada por meio do software SPSS versão 18, disponível no laboratório de estudos da UNISINOS. A partir dos resultados obtidos, optou-se pelas distribuições estatísticas que apresentaram características mais adequadas com as informações coletadas, para serem incorporadas ao modelo de simulação. Cabe ressaltar que as variáveis determinísticas: número de funcionários, demanda de cada pedido, custo de matéria-prima, ganho avaliado no ponto de venda, duração da jornada de trabalho, taxa de retrabalho por tipo de produto, tempo chegada do pedido e tempo de entrega do pedido foram incorporadas diretamente no modelo computacional (etapa 6), não exigindo tratamento estatístico.

### **ETAPA 5: Validação**

Neste primeiro ponto de validação, foi efetivada pelo autor da dissertação em conjunto com os especialistas e gestores do processo, a análise de aderência sugerida pelo método, a qual visa confrontar o detalhamento contido no modelo conceitual, ao conjunto de requisitos apresentado pelo Quadro 8. Em paralelo foram ainda revisados nesta etapa, os parâmetros obtidos com o tratamento proposto pela etapa 4, para as variáveis aleatórias, bem como, os valores quantificados para as variáveis determinísticas. Compete ressaltar que devido à configuração do processo produtivo alvo de estudo e, da experiência dos especialistas no que tange ao conhecimento relativo aos eventos ocorridos na linha de produção, a estruturação e validação do modelo conceitual não apresentaram grau de complexidade elevado.

Sob este enfoque, conforme ilustrado na Figura 14, foi iniciada a construção do modelo de simulação computacional, preconizado pela etapa 6.

### **ETAPA 6: Construção do modelo computacional e verificação**

Nesta etapa, emprega-se o software Micro Saint versão 3.2 para subsidiar o desenvolvimento da rede de atividades do modelo ilustrada na Figura 15, sendo esta, estruturada de maneira que permita incorporar as variáveis: (i) volume do estoque de produtos prontos; (ii) capacidade dos recursos produtivos; e (iii) disponibilidade dos equipamentos (*TTF* e *TTR*), bem como, os indicadores de desempenho selecionados. Ressalta-se que a rede

de atividades foi desenvolvida a partir das seguintes informações: (i) dados da demanda do *mix* de produtos; (ii) dados específicos do processo de produção; e (iii) para as variáveis aleatórias, parâmetros estatísticos que foram determinados na etapa 4.

Ao analisar a Figura 15, é observado que a rede é formada por um conjunto de atividades que têm a função de representar as etapas que o processo de produção realiza na prática e também, as regras lógicas desenvolvidas. Para identificar cada atividade, o software possibilita que o analista insira o nome da operação que esta representa. Além do nome, há um número que é fornecido pelo software automaticamente, durante a construção da rede. Este número possibilita a criação de regras para modificar e controlar o comportamento das entidades durante a simulação. Os retângulos verticais com linhas horizontais, colocados em frente de cada retângulo representam o comportamento das filas no processo.

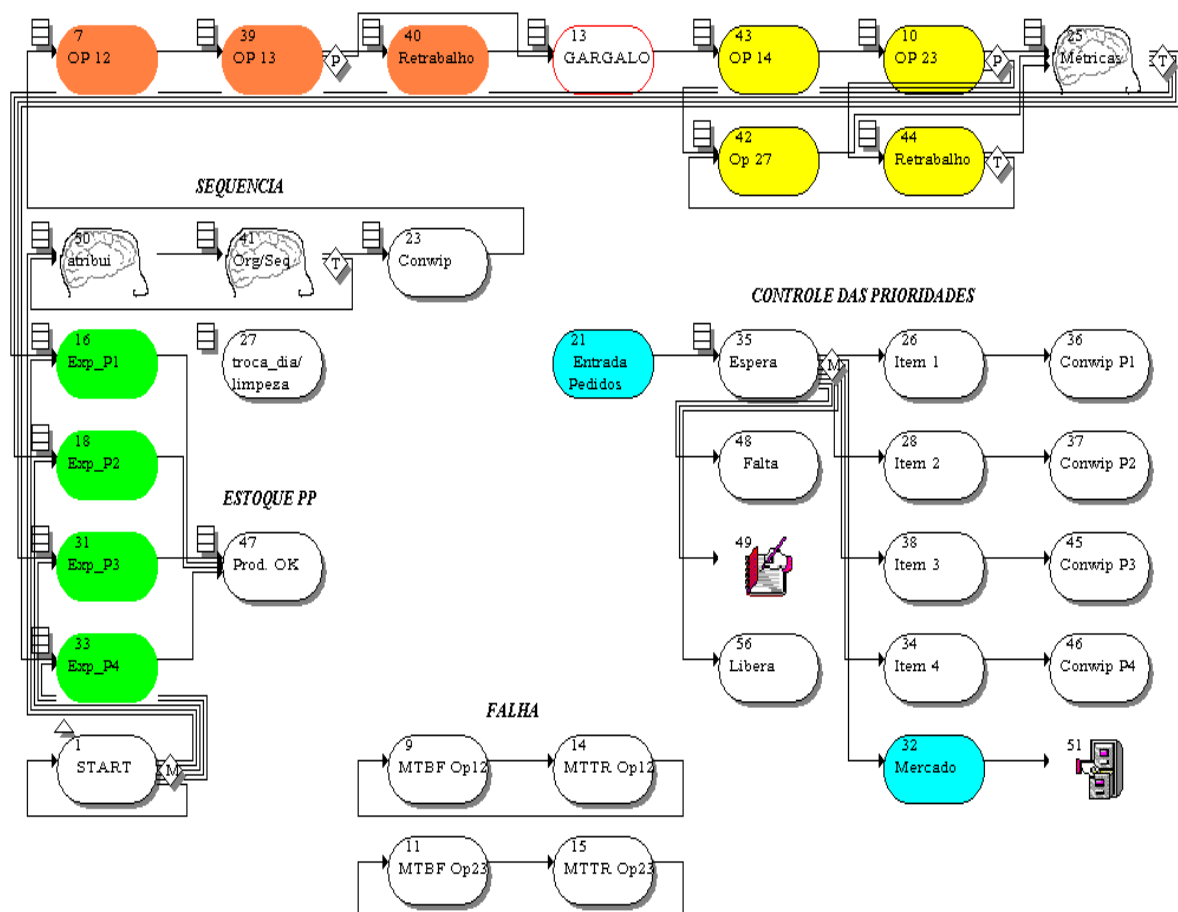


Figura 15 – Rede de atividades do modelo de simulação computacional.  
Fonte: o autor (2010).

No modelo computacional, a variável **estoque de produtos prontos**, faz referência à quantidade (em unidades de contenedores) de cada tipo de produto finalizado e disponível



para comercialização, conforme ilustrado na Figura 16 – destaque 1, sendo estes, utilizados prioritariamente mediante a chegada de um pedido (demanda do mercado consumidor), representado na Figura 16 – destaque 2, que informa a quantidade demandada para cada um dos 4 produtos considerados na modelagem. Cabe salientar que a quantidade de cada tipo de produto finalizado na expedição, é um dos elementos considerados durante a definição dos cenários (etapa 9). A variável **capacidade dos recursos produtivos** é utilizada para desenvolver lógicas de alocação de atividades dos empregados, bem como, de utilização de equipamentos. Por fim, a variável **disponibilidade dos equipamentos** tem o intuito de controlar o tempo até a falha e de reparo dos recursos OP12 e OP23.

No que diz respeito às entidades que percorrem o modelo de simulação, ressalta-se a representatividade de dois contextos: (i) os pedidos de compra, que são representados pelas entidades que percorrem a rede ilustrada na Figura 16 – destaque 2; e (ii) o contenedor de um tipo de produto, para as entidades que circulam no restante do modelo computacional.

A rede ilustrada na Figura 16 – destaque 2 tem por finalidade informar para as lógicas controladoras do modelo, a quantidade de cada tipo de produto que deve ser fabricada (uma vez que a quantidade disponível para a comercialização já foi contabilizada), visando atender a demanda requisitada em cada um dos pedidos.

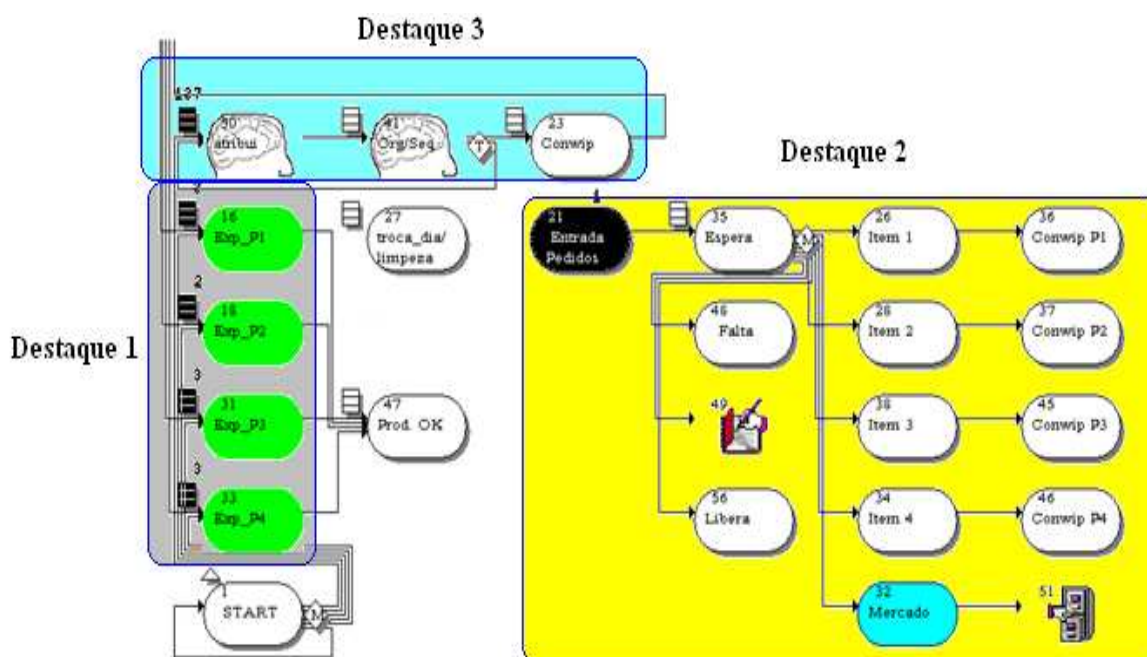
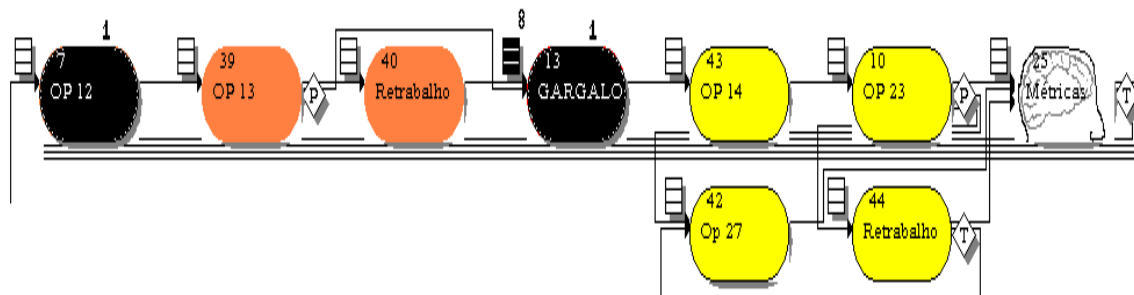


Figura 16 – Funcionamento do modelo de simulação.  
Fonte: o autor (2010).

Em síntese, a rede do modelo de simulação apresentada na Figura 16 – destaque 2 funciona da seguinte maneira: cada um dos 10 pedidos considerados no horizonte de estudo possui um tempo de chegada fixo na simulação (o qual foi apurado pelo PPCP). Quando um pedido chega à rede, é analisada a quantidade disponível para comercialização, de cada tipo de produto e também, a quantidade de produtos que já entraram no processo de produção (Figura 17), a qual seria designada para a comercialização (itens que serão estocados). Posteriormente, é executado o cálculo do saldo (se houver) de cada item que precisa ser produzido para concluir o pedido.

A informação referente à quantia que deve ser produzida é enviada para a lógica apresentada na Figura 16 – destaque 3, a qual controla o nível admitido de *WIP* no processo, segundo a abordagem *Conwip* e realiza o sequenciamento das entradas de cada tipo de produto no processo de produção. Relativo ao sequenciamento, o modelo analisa duas condições para determinar qual entidade (que representa um tipo de produto) deve entrar no sistema: (i) permitir a entrada do tipo de produto no qual o recurso gargalo está preparado, visando reduzir o número de *setup*; e (ii) respeitar a ordem de prioridades por tipo de produto A, B, C e D.

Após definir qual tipo de produto deve entrar no sistema, a entidade selecionada percorre a rede de atividades ilustrada na Figura 17, a qual representa as etapas do processo de produção existentes no ambiente real. Compete observar que durante a modelagem da rede apresentada na Figura 17 foram utilizadas as seguintes informações: (i) tempo de processamento (ou tempo de ciclo); (ii) tempo de *setup*; (iii) distribuições de probabilidade determinadas na etapa 4; (iv) alocação das atividades de cada um dos operadores; (v) duração da jornada de trabalho; (vi) capacidade dos recursos; (vii) taxa de retrabalho por tipo de produto; e (viii) tempo de retrabalho por tipo de produto e problema.



**Figura 17 – Rede que ilustra o processo de produção.**  
Fonte: o autor (2010).

No que se refere aos indicadores de desempenho, na rede de atividades delineada na Figura 16 – destaque 1, foram modelados os seguintes medidores: giro do estoque de produtos prontos; estoque \$ dia; e giro do *WIP*. Já os medidores: taxa de atendimento da demanda no prazo; e ganho \$ dia em atraso foram incorporados a rede ilustrada na Figura 16 – destaque 2. Por fim, na rede de atividades ilustrada na Figura 17 são calculados os seguintes medidores: leadtime (*CT*); taxa de produção efetiva (*TH*); investimento em *WIP*; e produção/dia/tipo de produto, que informa a quantidade produzida de cada tipo de produto por dia, sendo essa informação, utilizada para validar o modelo computacional na etapa 8.

### **ETAPA 7: Fazer rodadas piloto**

Foram realizadas nesta etapa, 30 replicações piloto com o modelo computacional, considerando um cenário base, que é fundamentado nas características abordadas no documento (que descreve as condições operacionais do processo) instituído na etapa 3. Cabe lembrar que a etapa 7 tem por designo, gerar dados de saída que são utilizados na etapa subsequente.

### **ETAPA 8: Validação**

Para validar o modelo computacional, neste trabalho, foi realizada uma análise qualitativa que consiste na comparação dos dados obtidos por observações no sistema real (coletados na etapa 3), com as saídas geradas pelo modelo na etapa 7. Como resultados deste procedimento, ao confrontar a quantidade média produzida de cada produto, em cada um dos 5 dias analisados, com a informação obtida com o modelo de simulação (média produzida de cada produto por dia), obteve-se uma diferença entre os dados do modelo e do ambiente real igual a 6,2% (valor de máximo). Posteriormente a análise comparativa, o modelo foi verificado junto ao grupo formado por especialistas e gestores do processo, havendo um consenso entre os integrantes do projeto, quanto à capacidade do modelo em representar as características necessárias do ambiente produtivo.

### **ETAPA 9: Planejamento dos cenários**

É apresentada no Quadro 12, a configuração proposta por cada um dos 15 cenários que são simulados. A definição dos cenários ocorreu com base nas sugestões dos especialistas do

processo, considerando essencialmente uma faixa de possíveis alternativas que poderiam ser implantadas sem contratempos.

Cenários Testados	Produto A	Produto B	Produto C	Produto D	Nível de <i>WIP</i> admitido
1	8	10	8	8	10
2	8	10	8	8	6
3	7	9	7	7	10
4	7	9	7	7	6
5	6	8	6	6	10
6	6	8	6	6	6
7	5	7	5	5	10
8	5	7	5	5	5
9	4	6	4	4	10
10	4	6	4	4	5
11	3	5	3	3	10
12	3	5	3	3	5
13	2	4	2	2	10
14	2	4	2	2	5
15	1	1	1	1	5

**Quadro 12 – Configurações dos cenários testados.**  
Fonte: o autor (2010).

Compete lembrar que nesta pesquisa, as configurações aludem exclusivamente diferentes níveis de *WIP* e de estoque de produtos prontos (em quantidade de contenedores), conforme descrito nas delimitações desta dissertação.

Posterior à definição das configurações de cada cenário, determinou-se, por meio da Equação 14 (LAW; KELTON, 2000), o número de replicações com o modelo computacional.

$$n = \left( \frac{t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \times S}{\varepsilon \bar{X}} \right)^2 \quad (14)$$

$\varepsilon \bar{X}$  – erro absoluto admissível na estimação da média;

$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$  – valor da distribuição *t* de Student, com parâmetros (*n*-1) e ( $\alpha/2$ ), sendo *n* o número de replicações da amostra inicial;

*S* – desvio padrão da amostra, que nesta pesquisa, refere-se ao valor do investimento em *WIP*.

*n* – número sugerido de replicações.

No Quadro 13 é apresentado o total de replicações feitas com o modelo, para cada um dos cenários analisados.

Cenários	Significância.	Erro absoluto aceitável	Número de replicações iniciais	S	n
1	5%	4	30	12,7	<b>43</b>
2				7,4	<b>15</b>
3				6,6	<b>12</b>
4				11,7	<b>36</b>
5				7,67	<b>16</b>
6				7,32	<b>15</b>
7				4,97	<b>7</b>
8				2,3	<b>2</b>
9				5,85	<b>9</b>
10				1,87	<b>1</b>
11				9,43	<b>24</b>
12				3,92	<b>5</b>
13				5,03	<b>7</b>
14				4,2	<b>5</b>
15				3,24	<b>3</b>

**Quadro 13 – Número de replicações feitas para cada cenário.**  
Fonte: o autor (2010).

Conforme apresentado no Quadro 13, neste trabalho foi utilizado um valor de Erro absoluto aceitável igual a 4 para a média dos resultados fornecidos pelo medidor investimento em *WIP*. Deste modo, é dado tratamento igualitário para a faixa de valores compreendido pela média obtida em cada um dos cenários testados mais ou menos R\$ 4,00 que é o erro absoluto aceitável.

#### **ETAPA 10: Fazer rodadas produtivas**

Foram executados na etapa 10, os procedimentos apresentados no Capítulo 6, referentes à execução do plano de cenários constituído na etapa 9.

#### **ETAPA 11: Análise dos dados de saída**

Na etapa 11, é verificada a ocorrência de diferenças significativas entre as médias dos dados de saída gerados na etapa anterior. Para tanto foram aplicadas por meio do software SPSS versão 18, as técnicas ANOVA e Kruskal-Wallis. Ressalta-se que o teste de Kruskal-

Wallis foi utilizado, em situações nas quais o pressuposto relativo à homogeneidade da variância (exigido pelo teste ANOVA) não é acatado.

Os resultados obtidos com a aplicação das técnicas de Análise de Variância relatam a ocorrência de diferenças significativas estatisticamente entre as médias dos distintos cenários testados à luz dos indicadores de desempenho incorporados ao modelo computacional.

Considerando as diferenças significativas nos indicadores que fazem parte da matriz de decisão (etapa 12), foi possível executar as etapas subsequentes do método, que fazem referência à tomada de decisão assistida pelo método ELECTRE TRI.

### ETAPA 12: Estruturar a matriz de desempenho dos cenários

A matriz de desempenho dos cenários consiste em uma tabela que descreve o resultado (desempenho) de cada cenário simulado, em termos de medidas de tendência central (oriundas da Estatística Descritiva), apuradas com base nos dados de saída gerados na etapa 10 à luz do seguinte quadro de indicadores: (i) taxa de produção efetiva ou *throughput*; (ii) investimento em *WIP*; (iii) giro do estoque de produtos prontos; (iv) ganho \$ dias em atraso; e (v) estoque \$ dias. Com base no procedimento apresentado no Capítulo 6 (na etapa 12), é apresentada no Quadro 14 a matriz de desempenho dos cenários.

Cenários	Taxa de produção efetiva	Investimento em <i>WIP</i>	Giro do estoque de produtos prontos	Ganho \$ dia em atraso	Estoque \$ dia
1	0,595	\$ 2.670,96	0,018	\$ 8.026,22	\$ 22.285,74
2	0,596	\$ 1.630,47	0,018	\$ 4.762,22	\$ 22.181,28
3	0,589	\$ 2.663,37	0,020	\$ 5.855,02	\$ 18.244,97
4	0,592	\$ 1.629,01	0,020	\$ 5.506,62	\$ 17.996,57
5	0,583	\$ 2.688,96	0,022	\$ 7.844,76	\$ 14.332,19
6	0,592	\$ 1.626,63	0,023	\$ 6.299,39	\$ 13.748,34
7	0,589	\$ 2.677,99	0,027	\$ 6.443,70	\$ 9.896,01
8	0,590	\$ 1.343,06	0,027	\$ 5.633,05	\$ 10.162,75
9	0,586	\$ 2.659,83	0,033	\$ 7.693,03	\$ 7.053,80
10	0,586	\$ 1.341,54	0,033	\$ 7.440,77	\$ 6.777,63
11	0,582	\$ 2.634,09	0,042	\$ 9.699,99	\$ 3.142,82
12	0,584	\$ 1.329,48	0,042	\$ 9.320,61	\$ 3.331,59
13	0,581	\$ 2.658,75	0,058	\$ 14.125,73	\$ 1.052,09
14	0,575	\$ 1.326,17	0,058	\$ 14.288,55	\$ 949,39

15	0,570	\$ 1.338,98	0,143	\$ 22.882,19	\$ 69,60
----	-------	-------------	-------	--------------	----------

**Quadro 14 – Matriz de desempenho dos cenários.**

Fonte: o autor (2010).

Cabe observar que os valores descritos no Quadro 14, referentes ao: investimento em *WIP*, ganho \$ dia em atraso; e estoque \$ dia não refletem os índices reais praticados pela empresa. Uma alteração foi realizada sobre os dados obtidos, mantendo a proporcionalidade entre as alternativas, visando a preservar as informações do processo, sendo esta, uma das condições para a execução deste estudo.

No que diz respeito às medidas de tendência central (procedentes da Estatística Descritiva) utilizadas na construção da matriz de decisão (Quadro 14), é ilustrado pelo Quadro 15, o tipo de medida estatística usada para representar o desempenho de cada cenário, considerando os indicadores de desempenho analisados.

Cenários	Taxa de produção efetiva	Investimento em <i>WIP</i>	Giro do estoque de produtos prontos	Ganho \$ dia em atraso	Estoque \$ dia
1	Média			Mediana	
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

**Quadro 15 – Matriz de desempenho dos cenários.**

Fonte: o autor (2010).

Compete lembrar que para efetivar a matriz ilustrada no Quadro 14, calcula-se primeiramente o  $C_v$ , dos dados de saída de cada indicador de desempenho, distinguindo o tratamento, conforme o fator cenário. Após, com base nos índices de  $C_v$  obtidos, são nomeadas as medidas de tendência central, observado a condição seguinte: (a) para um valor

de  $C_v > 0,3$  sugere-se utilizar a mediana para representar cada grupo de dados de saída, gerados no experimento de simulação; e (b) em caso contrário, sugere-se empregar a média.

### ETAPA 13: Atribuir pesos para cada critério

O Quadro 16 apresenta os coeficientes de pesos dos critérios, estabelecidos pelos gestores do processo considerando essencialmente, a importância de prover um rápido atendimento à demanda (em função disso o Ganho \$ dia em atraso é o critério mais expressivo) e redução do volume de estoques dos produtos prontos.

	Taxa de produção efetiva	Investimento em <i>WIP</i>	Giro do estoque de produtos prontos	Ganho \$ dia em atraso	Estoque \$ dia
Pesos $k_j$	0,20	0,15	0,10	0,35	0,20

Quadro 16 – Coeficiente de importância de cada critério.  
Fonte: o autor (2010).

Para determinar os valores dos pesos de cada um dos critérios abordados pelo Quadro 16, inicialmente foram coletadas as preferências dos decisores de modo individual e posteriormente, calculou-se a média dos índices obtidos. Por fim, foi realizada uma reunião para ajustar os pesos do conjunto de critérios de modo que ( $k_1, k_2, \dots, k_j$  para  $j$  critérios) atendam à condição  $k_j > 0$  (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004) e o somatório dos pesos de todos os critérios utilizados sejam iguais a 1 (DIAS; MOUSSEAU, 2002).

### ETAPA 14: Compor as classes de equivalência (ou conjunto de categorias)

Para determinar os limites superiores e inferiores das classes 1, 2 e 3 foram utilizadas informações procedentes de padrões históricos e metas de desempenho estabelecidas pela empresa. Sob este enfoque, os limites estabelecidos nesta etapa são descritos no Quadro 17. Vale lembrar que a classe 1 é limitada inferiormente por  $b_1$ , que também representa o limite superior da classe 2. O coeficiente  $b_2$  denota o limite inferior da classe 2 e, para a classe 3, o limite superior.

Limite das classes	Taxa de produção efetiva	Investimento em <i>WIP</i>	Giro do estoque de produtos prontos	Ganho \$ dias em atraso	Estoque \$ dias



$b_1$	0,5833	\$ 2.640	0,0235	\$ 7.900	\$ 14.000
$b_2$	0,5897	\$ 1.400	0,0410	\$ 6.300	\$ 3.400

**Quadro 17 – Limiares das classes de referência à luz dos critérios de decisão.**

Fonte: o autor (2010).

Em especial, para determinar os perfis de referência concernentes à taxa de produção ( $TH$ ) foram utilizadas informações provenientes do plano agregado de produção, para calcular o *takt-time* do *mix* de venda.

### **ETAPA 15: Definir os limiares de preferência ( $p$ ), indiferença ( $q$ ) e veto ( $v$ )**

Esta etapa propõe a definição dos limiares de preferência ( $p$ ), indiferença ( $q$ ) e veto ( $v$ ), para cada perfil de referência  $b_1$  e  $b_2$  delineados na etapa 14. No entanto, durante a aplicação do método proposto, optou-se pela utilização de ‘critérios verdade’, fundamentado por dois fatores: (i) ausência de um procedimento que norteie a determinação; e (ii) falta de experiência por parte da equipe envolvida no projeto, no que diz respeito à delimitação de  $p$ ,  $q$  e  $v$ .

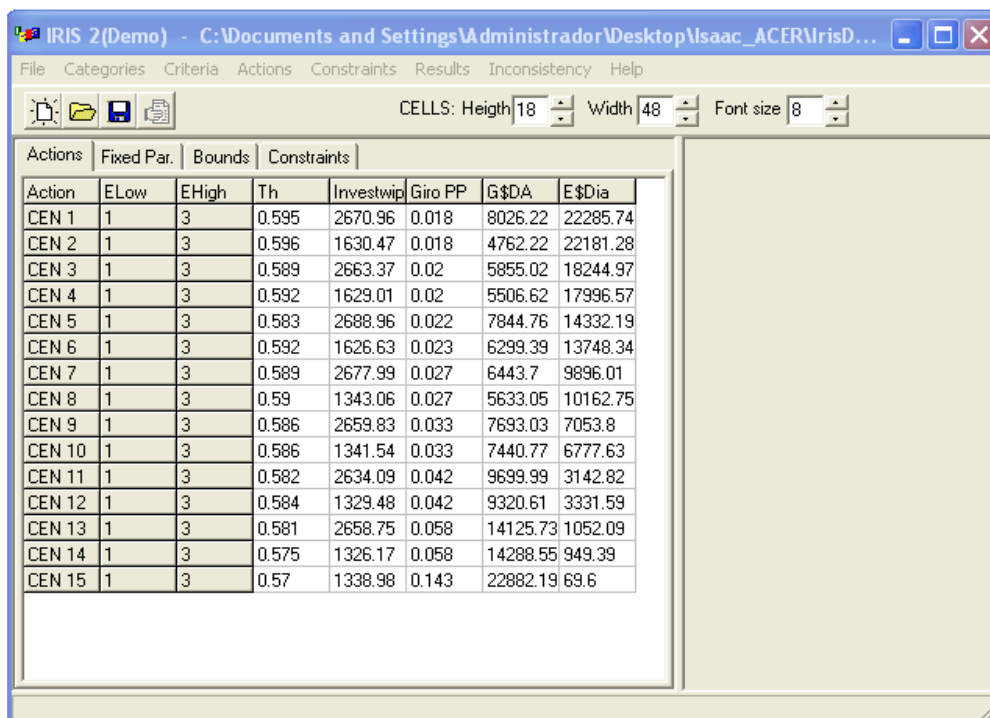
### **ETAPA 16: Executar o algoritmo ELECTRE TRI**

Na etapa 16 é efetivada a classificação dos diferentes cenários simulados à luz dos parâmetros apontados nas etapas 13, 14 e 15 e, da matriz de desempenho dos cenários. Para aplicar o procedimento de classificação proposto pelo ELECTRE TRI, utilizou-se o software IRIS (*Interactive Robustnes Analysis and Parameters Inference for Multicriteria Sorting Problems*) na versão 2, apresentado por Dias e Mousseau (2002).

Conforme Dias e Mousseau (2002), o IRIS atende a variante pessimista do ELECTRE TRI, não exigindo valores precisos para os coeficientes de importância dos critérios nem para o limiar de corte do método. Neste enfoque, o IRIS possibilita a modelagem de restrições (ou intervalos) que devem ser respeitados pelos parâmetros: coeficientes de importância dos critérios e limiar de corte, durante o procedimento de classificação. A interface gráfica do IRIS 2.0 é apresentada com a matriz de desempenho já inserida na Figura 18.

Com base na matriz de decisão (etapa 12) e nos parâmetros estabelecidos nas etapas 13, 14 e 15 a primeira replicação com o modelo foi gerada considerando um nível de corte  $\lambda$  igual a 0,50 sendo as classificações obtidas ilustradas na Figura 19. Compete advertir que o IRIS 2.0 identifica a por meio da cor ‘verde escuro’, a classificação sugerida para cada um

dos 15 cenários. Ao observar a Figura 19, o IRIS 2.0 classificou na categoria 3 (que alude os melhores resultados) os cenários 2, 4, 6 e 8; na categoria 2 (intermediária) os cenários 3, 7, 9, 10 e 12; e na categoria que representa os piores desempenhos, os cenários 1, 5, 11, 13, 14 e 15 foram alocados.

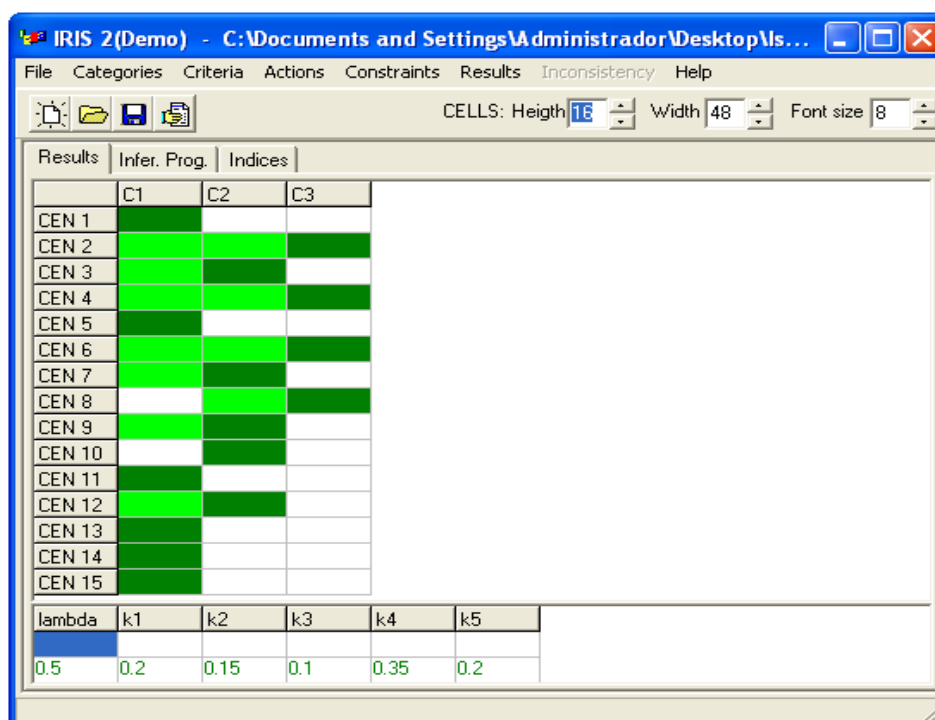


The screenshot shows the IRIS 2.0 software interface. The window title is "IRIS 2(Demo) - C:\Documents and Settings\Administrador\Desktop\Isaac\_ACER\IrisD...". The menu bar includes File, Categories, Criteria, Actions, Constraints, Results, Inconsistency, and Help. Below the menu bar, there are icons for home, folder, save, and print, along with settings for "CELLS: Height 18", "Width 48", and "Font size 8". The main area is divided into tabs: "Actions", "Fixed Par.", "Bounds", and "Constraints". The "Actions" tab is active, displaying a table with 15 rows (CEN 1 to CEN 15) and 8 columns: Action, ELow, EHigh, Th, Investwip, Giro PP, G\$DA, and E\$Dia.

Action	ELow	EHigh	Th	Investwip	Giro PP	G\$DA	E\$Dia
CEN 1	1	3	0.595	2670.96	0.018	8026.22	22285.74
CEN 2	1	3	0.596	1630.47	0.018	4762.22	22181.28
CEN 3	1	3	0.589	2663.37	0.02	5855.02	18244.97
CEN 4	1	3	0.592	1629.01	0.02	5506.62	17996.57
CEN 5	1	3	0.583	2688.96	0.022	7844.76	14332.19
CEN 6	1	3	0.592	1626.63	0.023	6299.39	13748.34
CEN 7	1	3	0.589	2677.99	0.027	6443.7	9896.01
CEN 8	1	3	0.59	1343.06	0.027	5633.05	10162.75
CEN 9	1	3	0.586	2659.83	0.033	7693.03	7053.8
CEN 10	1	3	0.586	1341.54	0.033	7440.77	6777.63
CEN 11	1	3	0.582	2634.09	0.042	9699.99	3142.82
CEN 12	1	3	0.584	1329.48	0.042	9320.61	3331.59
CEN 13	1	3	0.581	2658.75	0.058	14125.73	1052.09
CEN 14	1	3	0.575	1326.17	0.058	14288.55	949.39
CEN 15	1	3	0.57	1338.98	0.143	22882.19	69.6

**Figura 18 – Interface gráfica do IRIS 2.0.**  
Fonte: o autor (2010).

A partir dos resultados obtidos na replicação inicial (Figura 19), é possível observar que o número de possíveis cenários à escolha foi reduzido, visto que dos 15 cenários simulados, 6 deles foram classificados na categoria de pior desempenho.



	C1	C2	C3
CEN 1	Dark Green	Green	Green
CEN 2	Dark Green	Green	Green
CEN 3	Dark Green	Green	Green
CEN 4	Dark Green	Green	Green
CEN 5	Dark Green	Green	Green
CEN 6	Dark Green	Green	Green
CEN 7	Dark Green	Green	Green
CEN 8	Dark Green	Green	Green
CEN 9	Dark Green	Green	Green
CEN 10	Dark Green	Green	Green
CEN 11	Dark Green	Green	Green
CEN 12	Dark Green	Green	Green
CEN 13	Dark Green	Green	Green
CEN 14	Dark Green	Green	Green
CEN 15	Dark Green	Green	Green

lambda	k1	k2	k3	k4	k5
0.5	0.2	0.15	0.1	0.35	0.2

**Figura 19 – Classificações obtidas na replicação inicial.**

Fonte: o autor (2010).

Visando examinar a robustez do modelo de decisão foi realizada posteriormente a classificação apresentada na Figura 19, uma análise de sensibilidade, a qual será descrita a seguir.

### **ETAPA 17: Análise de sensibilidade dos resultados**

A análise de sensibilidade realizada nesta pesquisa foi limitada na alteração proposital dos seguintes parâmetros: (i) nível de corte  $\lambda$ , para  $\lambda \in [0,5;1]$ ; e (ii) pesos dos critérios  $k_j$ , resultando nas seguintes simulações:

#### **Simulação 1 – variação nos pesos dos critérios e alteração do $\lambda$ para 0,65**

Para verificar a influência dos critérios na classificação de cada cenário foi atribuída com base na sugestão dos gestores do processo, a importância de 35% para o critério ‘estoque \$ dias’ e 20% para o ‘ganho \$ dias em atraso’, considerando um valor de 0,65 para o nível de corte. As classificações obtidas são apresentadas na Figura 20.

	C1	C2	C3
CEN 1	Class 1		
CEN 2	Class 1		
CEN 3	Class 1		
CEN 4	Class 1		
CEN 5	Class 1		
CEN 6	Class 2	Class 2	
CEN 7	Class 2	Class 2	
CEN 8	Class 2	Class 2	
CEN 9	Class 2	Class 2	
CEN 10	Class 2	Class 2	
CEN 11	Class 1		
CEN 12	Class 2	Class 2	
CEN 13	Class 3		
CEN 14	Class 3		
CEN 15	Class 3		

lambda	k1	k2	k3	k4	k5
0.65	0.2	0.15	0.1	0.2	0.35

**Figura 20 – Classificações obtidas na simulação 1.**  
**Fonte: o autor (2010).**

Cabe observar que o aumento do peso no critério ‘estoque \$ dia’ é baseado na obsolescência do produto pronto em estoque e ainda, quando um produto permanece em estoque, recursos financeiros são despendidos com a produção desses itens. Dependendo do intervalo temporal existente entre a data da utilização dos recursos da conta Investimento e o faturamento, onde sucede à geração de Lucro Líquido, podem ocorrer problemas de Fluxo de caixa, diminuição da eficiência na rentabilidade do Investimento e também, exigir um aumento no volume de Investimentos, para sustentar essa prática.

Fundamentado na proposta desta simulação, nenhum dos cenários simulados foi alocado na classe 3, tendo por resultados, 9 cenários alocados a classe 1 e 6 na classe 2. Vale advertir que nesta simulação não foram alteradas os limiares das classes de equivalência. Considerando unicamente as classificações apresentadas na Figura 20, os gestores do processo possuem 6 possibilidades de cenários à escolha, sendo os cenários 6, 7, 8, 9, 10 e 12.

### **Simulação 2 – variação nível de corte de 0,5 para 0,65**

Nesta simulação são mantidos os parâmetros determinados nas etapas 12, 13, 14 e 15. Contudo, é aumentada por meio do nível de corte, a exigência que permite afirmar que ‘a supera b’. Os resultados obtidos nesta simulação são apresentados na Figura 21.

Results	C1	C2	C3
CEN 1			
CEN 2			
CEN 3			
CEN 4			
CEN 5			
CEN 6			
CEN 7			
CEN 8			
CEN 9			
CEN 10			
CEN 11			
CEN 12			
CEN 13			
CEN 14			
CEN 15			

lambda	k1	k2	k3	k4	k5
0.65	0.2	0.15	0.1	0.35	0.2

**Figura 21 – Classificações obtidas na simulação 2.**  
**Fonte: o autor (2010).**

Ao confrontar os resultados ilustrados na Figura 20, com as classificações realizadas à luz da proposta da simulação 2 (Figura 21), as divergências encontradas nos resultados são ocasionadas basicamente pela alteração nas preferências dos decisores, em atribuir maior importância ao critério estoque \$ dia. Sob este enfoque, o modelo de decisão foi capaz de perceber as alterações nas preferências dos decisores, visto que os critérios ‘ganho \$ dia em atraso’ e ‘estoque \$ dia’ tem uma importância significativa no resultado do modelo de decisão, pois representam mais de 50% (soma dos coeficientes de pesos) da preferência no processo de decisão.

Ao analisar as classificações obtidas para um nível de corte igual a 0,65 (Figura 21) apenas o cenário 8 foi alocado na classe 3, sendo esta, a classe que alude aos melhores desempenhos. No entanto, ao considerar um  $\lambda = 0,5$  (replicação inicial efetivada na etapa 16) tem-se os cenários 2, 4, 6 e 8 atribuídos na classe 3, conforme ilustrado na Figura 19.

**Simulação 3 – variação nível de corte de 0,65 para 0,75**

Nesta simulação é utilizado um valor de  $\lambda$  igual a 0,75 para gerar as classificações ilustradas na Figura 22. Com base nos resultados obtidos, nenhum dos cenários analisados nesta pesquisa foi classificado na classe 3, sendo 5 classificados na classe 2.

Results	Infer. Prog.	Indices	
	C1	C2	C3
CEN 1	Green		
CEN 2	Green		
CEN 3	Green		
CEN 4	Green		
CEN 5	Green		
CEN 6	Light Green	Green	
CEN 7	Light Green	Green	
CEN 8		Green	
CEN 9	Light Green	Green	
CEN 10		Green	
CEN 11	Green		
CEN 12	Green		
CEN 13	Green		
CEN 14	Green		
CEN 15	Green		

lambda	k1	k2	k3	k4	k5
0.75	0.2	0.15	0.1	0.35	0.2

Figura 22 – Classificações obtidas na simulação 3.

Fonte: o autor (2010).

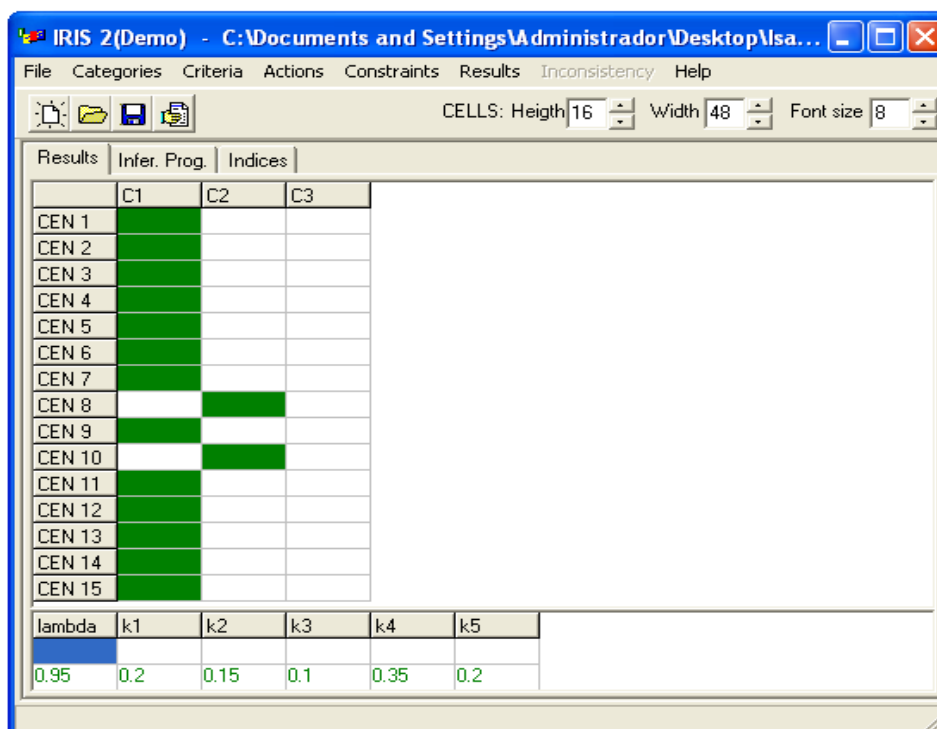
Conforme ilustrado na Figura 22, do total de cenários analisados nesta dissertação, 10 cenários são alocados na classe 1 (piores desempenhos). Neste enfoque, é possível ressaltar que ao comparar os resultados obtidos nesta simulação ( $\lambda = 0,75$ ), com as classificações propostas a partir um nível de corte igual a 0,50 (etapa 16), é observada a redução no número de cenários que são alocados nas classes 2 e 3 a medida que o valor de  $\lambda$  é incrementado, ou seja, aumentando a exigência para declarar a afirmação  $aSb_h$ .

#### Simulação 4 – variação nível de corte de 0,75 para 0,85

Considerando a alteração proposta pela simulação 4 foram obtidos resultados análogos aos conseguidos na simulação anterior.

#### Simulação 5 – variação nível de corte de 0,85 para 0,95

Na simulação 5, é utilizado o maior valor para o nível de corte avaliado nesta pesquisa, sendo as classificações propostas pelo IRIS 2.0 apresentadas na Figura 23. Compete ressaltar que não foram encontradas incomparabilidades durante a replicação com o modelo de decisão, considerando o valor proposto para  $\lambda$ .



Results	C1	C2	C3
CEN 1	█		
CEN 2	█		
CEN 3	█		
CEN 4	█		
CEN 5	█		
CEN 6	█		
CEN 7	█		
CEN 8		█	
CEN 9	█		
CEN 10		█	
CEN 11	█		
CEN 12	█		
CEN 13	█		
CEN 14	█		
CEN 15	█		

lambda	k1	k2	k3	k4	k5
0.95	0.2	0.15	0.1	0.35	0.2

Figura 23 – Classificações obtidas na simulação 5.

Fonte: o autor (2010).

Com base nas classificações apresentadas na Figura 23, ressalta-se que foram considerados na etapa 18 (tomada de decisão) unicamente os cenários 8 e 10, visto a alocação proposta pelo IRIS 2.0 em uma classe mediana obtida à luz do nível de corte e do nível de robustez relativamente à análise de sensibilidade realizada.

### ETAPA 18: Tomada de decisão

Na etapa 18 é determinada a configuração do cenário a ser empregada no ambiente de produção, considerando: (i) o plano de resultados apresentado na Figura 23; e (ii) unicamente para os cenários que tiveram as melhores classificações (baseado na Figura 23), são utilizadas as informações referentes aos medidores: *CT* (*lead time*), giro do *WIP* e taxa de atendimento da demanda, para subsidiar o processo decisório. Neste enfoque, é apresentada no Quadro 18, uma síntese de informações sobre os cenários 8 e 10 a serem utilizadas na tomada de decisão.

	<b>Cenários</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
Configuração de cada cenário	Nível de estoque em processo ( <i>WIP</i> )	5	5
	Estoque produto A	5	4
	Estoque produto B	7	6
	Estoque produto C	5	4
	Estoque produto D	5	4
Medidores de Desempenho	Taxa de produção efetiva (contenedor/hora)	0,590	0,586
	Investimento em <i>WIP</i>	\$ 1.343,06	\$ 1.341,54
	Giro do estoque de produtos prontos	0,027	0,033
	Ganho \$ dia em atraso	\$ 5.633,05	\$ 7.440,77
	Estoque \$ dia	\$ 10.162,75	\$ 6.777,63
	<i>CT</i> Produto A (horas)	8,065	8,136
	<i>CT</i> Produto B (horas)	8,423	8,586
	<i>CT</i> Produto C (horas)	7,825	7,881
	<i>CT</i> Produto D (horas)	8,749	8,762
	Giro <i>WIP</i>	0,118	0,117
	Taxa de atendimento da demanda (%)	0,42	0,25

**Quadro 18 – Síntese de informações dos cenários à escolha.**

**Fonte: o autor (2010).**

A partir das informações apresentadas no Quadro 18, os decisores optaram por empregar no ambiente produtivo em estudo o cenário 8, considerando os seguintes aspectos:

- ✓ o *CT* de cada tipo de produto é menor neste cenário;
- ✓ é um pouco superior o desempenho dos medidores ‘taxa de produção efetiva (*TH*)’ e ‘giro do *WIP*’, quando confrontados ao cenário 10;
- ✓ sendo um ambiente produtivo que opera sob a ótica *MTS*, o desempenho superior do cenário 8 para os medidores ‘taxa de atendimento da demanda’ e o ‘ganho \$ dia em atraso’ foi o fator decisivo no processo de tomada de decisão, que optou pelo cenário 8.

Entretanto, compete ressaltar que o cenário 10 apresenta um melhor resultado no que diz respeito aos medidores ‘estoque \$ dia’ e ‘giro do estoque de produtos prontos’. Neste sentido, pode-se perceber, com base na simulação realizada, que a opção por utilizar a configuração proposta pelo cenário 8 gera um adicional de \$ 3.385,45 referente ao ‘estoque \$



dia'. Observa-se assim, a despeito do esforço considerável de modelagem de simulação e aplicação da técnica de decisão multicritério, a vantagem em termos de potencial de geração de informações do método proposto para suportar o posicionamento dos decisores.

No Quadro 18, ainda é possível observar que a taxa de atendimento da demanda para o cenário 8 é igual a 42%. Neste sentido, cabe destacar que a taxa de atendimento da demanda em 2009 foi igual a 59% (média do ano), sendo este desempenho, considerado insuficiente para os gestores. Frente à permanência da mesma capacidade instalada para o comportamento da demanda analisado nesta pesquisa, a linha de produção fornecerá um desempenho menor do que aquela obtida no ano de 2009, desta maneira, será necessário reavaliar a capacidade instalada visando aumentar a taxa de atendimento da demanda. Sob este enfoque, entende-se que o método proposto pode auxiliar no planejamento da capacidade, visto a possibilidade de testar cenários que aludam em paralelo ao nível de *WIP* e volume de produtos prontos em estoque, configurações alternativas de capacidade de recursos físicos e humanos.

### 7.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO 7

O Capítulo 7 teve o intuito de descrever uma aplicação prática do método para quantificar o *WIP*, atendendo desta maneira, a um dos objetivos específicos preconizados nesta dissertação.

No capítulo seguinte serão apresentadas as conclusões finais, as limitações e recomendações para pesquisas futuras, considerando o escopo tratado nesta dissertação.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A possibilidade de constituir estoques em processo (*WIP*), de produtos prontos, ou matérias-prima em ambientes produtivos intermitentes que operam sob a ótica *MTS*, com fluxo convergente (tipo A), pode aumentar o grau de complexidade da gestão dos estoques, por causa da necessidade de utilizar procedimentos de controle distintos, para gerenciar cada um dos diferentes tipos de estoque (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003). Ainda neste contexto, outro aspecto que pode se tornar significativo à complexidade da gestão de estoques é a abordagem utilizada para gerir o fluxo de materiais, por causa das diferentes premissas e pressupostos de operação, intrínsecas em cada proposta.

Ao focar no alinhamento da gestão dos estoques aos planos de demanda e capacidade, considerando um ambiente produtivo que emprega a abordagem *Conwip* para gerir o fluxo de materiais, a presente pesquisa teve por objetivo, propor um método estruturado que possibilite quantificar o nível de *WIP* do sistema produtivo, a partir da Simulação por Eventos Discretos e de técnicas de Apoio Multicritério à Decisão. Neste sentido, o método proposto está fundamentado por quatro abordagens: (i) Simulação por Eventos Discretos; (ii) *Conwip*; (iii) seleção adequada de Indicadores de Desempenho; e (iv) Métodos de Apoio Multicritério à Decisão. Com a simulação, foi possível representar o sistema produtivo alvo de estudo, considerando as variáveis: disponibilidade dos recursos produtivos (em específico, são empregados os conceitos *TTF* e *TTR*), estoque de produtos prontos e capacidade dos recursos produtivos e ainda, analisar o efeito da configuração de cada um dos 15 cenários testados, sem a necessidade de experimentação em ambiente real, o que poderia gerar custos que inviabilizariam a realização do estudo.

O conjunto de indicadores de desempenho selecionado teve por finalidade gerar informações referentes ao comportamento do modelo de simulação, com base na configuração de cada um dos diferentes cenários, as quais são efetivadas alterando unicamente o volume de estoque de produtos prontos e de *WIP*. Cabe lembrar que nesta pesquisa, foram utilizados os seguintes medidores: (i) Lei de Little (LITTLE, 1961); (ii) taxa de atendimento da demanda (HOPP; SPEARMAN, 2000); (iii) investimento em *WIP*; (iv) ganho \$ dias em atraso (KENDALL, 2007); (v) estoque \$ dias (KENDALL, 2007); (vi) giro do estoque de produtos pronto (HOPP; SPEARMAN, 2000); e (vii) giro do *WIP* (HOPP; SPEARMAN, 2000).

A informação procedente dos indicadores de desempenho representou os atributos inerentes a cada cenário, no que tange à capacidade de atingir determinados resultados. Esses atributos, juntamente com o *takt-time* do *mix* de venda, tiveram por desígnio, subsidiar o processo decisório, o qual foi assistido pela técnica ELECTRE TRI. Para tanto, foram utilizados os seguintes critérios de decisão, baseados nos indicadores de: (i) giro do estoque de produtos prontos; (ii) ganho \$ dias em atraso; (iii) estoque \$ dias; (iv) investimento em *WIP*; e (v) taxa de produção efetiva ou *throughput* (*TH*), sendo estes, utilizados para construir a matriz de desempenho dos cenários. Com base nas classificações sugeridas pelo ELECTRE TRI (ilustradas na Figura 23) à luz dos critérios de decisão propostos e, das informações geradas pelos indicadores remanescentes: (i) *CT* para de cada tipo de produto; (ii) giro do *WIP*; e (iii) taxa de atendimento da demanda, foi efetuada a tomada de decisão, que teve o intuito de escolher a configuração de cenário a ser efetivado no ambiente produtivo em estudo.

Referente à aplicação do método proposto, abordada no Capítulo 7, o esforço e tempo gastos para construir os modelos de simulação e de decisão não foram necessariamente perdidos, pois ainda é possível avaliar o *WIP* e o estoque de produtos prontos, a partir da composição de novos cenários, analisando características como: aumento da demanda, entrada de novos itens no *mix* de produtos, modificações nas distribuições de *TTF* e *TTR* dos recursos produtivos, alterações na capacidade produtiva, priorização de ordens, entre outros. Neste sentido, há possibilidade de testar cenários alternativos, poderia ser um meio de auxiliar nas decisões táticas da empresa a médio e longo prazos, o que contribui para uma tomada de decisão com maior foco no objetivo.

## 8.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Concernente as limitações desta pesquisa, ressalta-se que o método proposto não pode ser considerado validado, visto que a realização de uma aplicação única em caso prático e a análise de especialistas não são suficientes para atribuir tal condição à proposta ora apresentada. No entanto, além da possibilidade de continuidade de estudos, a aplicação realizada possibilitou a geração de resultados práticos, que além de úteis para o ambiente que subsidiou o estudo, serviram de base para o refinamento do método. Entretanto, compete

destacar que ainda não há elementos suficientes para garantir resultados satisfatórios, com a aplicação do método em outros processos de produção.

Referente às limitações quanto às sugestões dos especialistas, cabe observar que não foram acatadas integralmente as recomendações por eles preconizadas (especificamente a que sugere à inserção da taxa de entrada de matérias-primas no escopo), em parte, por causa da limitação de prazo para entrega de uma dissertação de mestrado. De outra parte, essa opção foi necessária de modo a não complexificar demasiadamente os modelos de simulação gerados, haja vista a necessidade de uma coleta de dados muito mais extensiva e que poderia reverter-se em uma situação de não aplicabilidade prática da proposta em ambientes reais. Assim, pode-se dizer que se optou por obter um conjunto de informações ‘aproximadamente corretas’ (do ponto de vista dessas recomendações) para suporte à decisão, em troca de uma versão aplicável de proposta de método. No entanto, entende-se que, para continuidade dos estudos sobre a proposta, essas recomendações deveriam ser exploradas mais aprofundadamente.

No contexto de submissão do método à avaliação de especialistas, é enfatizado que as recomendações abordadas na Seção 6.3 foram feitas com base na opinião de apenas 4 especialistas, ainda que alguns tenham respondido ao questionário qualitativo parcialmente. Deste modo, para uma maior solidez da proposta apresentada seria recomendável aumentar o número de especialistas consultados, a fim de obter indicações suplementares que possibilitem melhorar a estrutura do método proposta por esta dissertação.

## 8.2 TRABALHOS FUTUROS

Para tornar o método apresentado nesta dissertação mais robusto em termos de aplicação é necessário efetuar aprimoramentos. Neste sentido, é sugerida a utilização de abordagens que aperfeiçoem o sequenciamento das ordens de produção, que atualmente opera sob a condição *first-come, first-served* (HOPP; SPEARMAN, 2000). Além disso, outro aspecto que pode ser analisado em trabalhos futuros, diz respeito ao sequenciamento das ordens de produção, não somente quando ocorre à entrada de materiais na linha de produção, mas também, quando acontece à entrada dos materiais no recurso intitulado gargalo.

Mantendo o foco na aplicação do método, ressalta-se ainda a possibilidade de: (a) incrementar o quadro de indicadores de desempenho através dos medidores: custo da guarda e

manuseio de *WIP*, custo do *setup* e custo da falta de *WIP* (custo da venda perdida ou da máquina parada); e ainda, (b) aprimorar o conjunto de variáveis, considerando a taxa de entrada de suprimento de matérias-primas.

Por fim, tendo por finalidade aperfeiçoar o processo de tomada de decisão, pode ser plausível a substituição do ELECTRE TRI por um Método Multicritério que aborde a problemática de ordenação das alternativas à escolha, como por exemplo, a Teoria Utilidade Multiatributo.

**BIBLIOGRAFIA**

ANDRADE, Aurélio L.; SELEME, Acyr; RODRIGUES, Luís H.; SOUTO, Rodrigo. **Pensamento sistêmico: caderno de campo. O desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade.** Porto Alegre: Bookman, 2006

ABIMAQ – **Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos.** Disponível em < <http://www.abimaq.org.br>> Acessado em: dezembro de 2010.

ABINEE – **Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica.** Disponível em <<http://www.abinee.org.br>> Acessado em: dezembro de 2010.

ANFAVEA – **Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.** Disponível em <<http://www.anfavea.com.br>>. Acessado em: março de 2010.

ANFIR – **Associação Nacional dos Fabricantes de Implementos Rodoviários.** Disponível em <http://www.anfir.org.br/>. Acessado em: outubro de 2010.

ALMEIDA, A. T. O conhecimento e o Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão. 2ª Ed. Recife: Editora UFPE, 2011.

ALVAREZ, Roberto R.; ANTUNES JÚNIOR, José A. V. **Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção.** Gestão e Produção, v.8, n.1, p. 1-18, 2001.

ANTUNES, José A. V. A. J. **Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero.** 1998. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1998.

ANTUNES, Junico; ALVAREZ, Roberto; KLIPPEL, Marcelo; BORTOLOTTI, Pedro; PELLEGRIN, Ivan De. **Sistemas de Produção: Conceitos e Práticas para Projeto e Gestão da Produção Enxuta.** 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ARAÚJO, Sidnei A.; LIBRANTZ, André, F. H.; ALVES, Wonder A. L. **Algoritmos genéticos na estimação de parâmetros em gestão de estoques.** Exacta. v.7, n.1, p.21-29, 2009.

ARAÚJO, Afrânio Galdino; ALMEIDA, Adiel Teixeira. **Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE.** Gestão e Produção, v.16, n.4, pp. 534-543, 2009.

BALCI, Osman. Verification, validation and testing. In: BANKS, Jerry (org). **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice.** New York: John Wiley and Sons, 1998.

BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis.** Kluwer Academic Publishers, 2002.

BERGAMASCHI, D. R.; CIGOLINI, M. P.; PORTIOLI, A. **Order review and release strategies in a job shop environment: A review and a classification.** International Journal of Production Research, v. 35, n.2, p. 399–420, 1997.

BISQUERRA ALZINA, Rafael; CASTELLÁ SARRIERA, Jorge; MARTÍNEZ, Francesc. **Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS.** Porto Alegre: Artmed, 2004.

BOEIRA, Leandro do Amaral; **Introdução à utilização da Simulação Computacional em uma empresa fabricante de câmaras de ar pneumáticas.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Transportes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008.

BORNIA, Antonio C. **Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas.** Porto Alegre: Bookman, 2002.

BONVIK, Asbjorn M.; GERSHWIN, Stanley B.; TROXEL, Donald E. **Operating high variability manufacturing systems.** Operational Research Center, n. 2, p. 57-62, 1995.

BRAGHIROLI, Lynceo F; **Estudo da linearidade da produção em células de manufatura através de Simulação por eventos discretos.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Transportes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

CAO, Dong; CHEN, Mingyuan. **A mixed integer programming model for a two line CONWIP-based production and assembly system.** International Journal of Production Economics, v. 95, n. 3, p. 317-326, 2005.

CARSON II, J. S. **Introduction to modeling and simulation.** In: Winter Simulation Conference, 2004. In: XXXVI PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 36., 2004. Anais do Winter Simulation.

CASSEL, Guilherme Luiz. **A Aplicação das Leis de Factory Physics em sistemas de produção: proposição de um método via Design Research.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2009.

CENTENO, M. A.; CARRILLO, M. **Challenges of introducing simulation as a decision making tool.** In: XXXIII PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 33., 2001. Anais do Winter Simulation.

CHUNG, Christopher A. **Simulation modeling handbook: a practical approach.** Seabrook: CRC Press LLC, 2003.

CORBETT NETO, Thomas. **Contabilidade de ganhos: a nova contabilidade gerencial de acordo com a teoria das restrições.** São Paulo: Nobel, 1997.

CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu; G.N.; CAON, Mauro. **Planejamento, programação e controle da produção.** São Paulo: Atlas, 2001.

COSTA, Helder G.; MANSUR, André F. U.; FREITAS, André L. P.; CARVALHO, Rogério A. **ELECTRE TRI aplicado a avaliação da satisfação de consumidores**. Produção, v. 17, n. 2, p. 230-245, 2007.

COSTA, Helder G.; SOARES, Adriana C.; OLIVEIRA, Patrícia F. **Avaliação de transportadoras de materiais perigosos utilizando o método ELECTRE TRI**. Gestão e Produção v.11, n.2, p.221-229, 2004.

COSTA, Helder G.; SANTAFÉ JÚNIOR, Hélvio P. G.; HADDAD, Assed N. **Uma contribuição do método ELECTRE TRI à obtenção da classificação de riscos industriais**. Investigação Operacional, vol.27, no.2, p.179-197, 2007.

COSTA, Helder G. **Estruturas de suporte à decisão**. Niterói, RJ: H. G. Costa, 2005. 83p.

CSILLAG, João Mário; CORBETT, Thomas Neto. **Utilização da TOC no ambiente de manufatura em empresas no Brasil**. Relatório de Pesquisa nº 17/ NPP-EAESP, pág. 1-93, 1998.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B.; **Fundamentos da Administração da Produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DIAS, L. C.; MOUSSEAU, V. **IRIS: um SAD para problemas de classificação baseado em agregação multicritério**. Anais da III Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação, Coimbra, 20-22, 2002.

DURI, Christelle; FREIN, Yannick; LEE, Hyo-Seong. **Performance evaluation and design of a CONWIP system with inspections**. International Journal of Production Economics, vol. 64, n. 1-3, p. 219-229, 2000.

EBERT, Douglas C.; SILVA, Luís C.; VILAS BOAS, Marcio A. **Simulação da dinâmica operacional de um processo industrial de abate de aves**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 29, n.2, p. 305-309, 2009.

ELLEUCH, M.; MASMOUDI, F.; BEN BACHA, H.; MAALEJ, A.Y. **Simulation Manufacturing Cells with unreliable machines**. International Journal of Simulation, v.6, n.1, p.5-12, 2007.

ENNS, S. T.; ROGERS, Paul. **Clarifying Conwip versus push system behavior using Simulation**. In: XL PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 40., 2008. Anais do Winter Simulation.

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

FREITAS, André Luís Policani. **Uma abordagem Multicritério para a classificação de hotéis**. RAUSP- Revista de Administração, vol. 42, n.3, p. 338-348, 2007.

FREITAS, André L. P.; COSTA, Helder G. **Uma análise multicritério para a classificação da qualidade de serviços utilizando o método ELECTRE TRI**. In: XXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto (MG). **Anais Enegep 2003**. Ouro Preto (MG): 2003.



FREITAS, André Luís P.; COSTA, Helder G. **Ordenação e classificação de alternativas: uma análise multicritério**. In: ENEGEP, 2000. In: XX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 20., 2000. **Anais Enegep 2000**.

FREITAS, André L. P.; TREVIZANO, Waldir A.; COSTA, Helder G. **Uma abordagem multicritério para problemas decisórios com múltiplos grupos de avaliadores**. Associação Portuguesa de Investigação Operacional, v.28, p. 133-149, 2008.

GERHARDT, Melissa Petry; FOGLIATTO, Flávio Sanson; CORTIMIGLIA, Marcelo Nogueira. **Metodologia para o balanceamento de linhas de montagem multi-modelo em ambientes de customização em massa**. Gestão e Produção, v.14, n.2, p. 267-279, 2007.

GEWANDSZNAJDER, Fernando. **O que é método científico**. São Paulo: Pioneira, 1989.

GHAMARI, Yaghoub K. **A performance comparison between Kanban and CONWIP controlled assembly systems**. Journal of Intelligent Manufacturing, v. 20, n. 6, p. 751-760, 2009.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDRATT, Eliyahu M. **Standing on the shoulders of giants: production concepts versus production applications. The Hitachi Tool Engineering example**. Gestão e Produção, v.16, n.3, p. 333-343, 2009.

GOLDRATT, Eliyahu M.; COX, Jeff. **A Meta: um processo de melhoria contínua**. São Paulo: Nobel, 2002.

GOLDRATT, Eliyahu M. **A síndrome do Palheiro: Garimpendo informações num oceano de dados**. São Paulo: C. Fulmann. 1991.

GOLDRATT, Eliyahu M. **A corrida pela Vantagem Competitiva**. São Paulo: C. Fulmann. 1992.

GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; GOMES, Carlos Francisco Simões; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; GONZÁLEZ ARAYA, Marcela Cecília; CARIGNANO, Claudia. **Tomada de decisões em cenários complexos: Introdução aos Métodos Discretos do apoio Multicritério à Decisão**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, André R.; COSTA, Helder G. **Potencial de consumo municipal: uma abordagem Multicritério**. Sistemas & Gestão, v.3, n. 3, p.233-249, 2008.

GOMES, Eliane Gonçalves; BEZERRA NETO, Francisco. **Métodos de apoio à decisão em experimentação agrícola: o caso de sistemas consorciados**. In: XI SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 11., 2008, Rio de Janeiro (RJ). **Anais SPOLM 2008**. Rio de Janeiro (RJ): 2008.

GRAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

GRIMARD, Carrie; MARVEL, Jon H.; STANDRIDGE, Charles R. **Validation of the re-design of a manufacturing work cell using simulation.** In: XXXVII PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 37., 2005. Anais do Winter Simulation.

GROPPELLI, A. A; NIKBAKHT, Ehsan. **Administracao Financeira.** 1. ed. São Paulo: Saraiva, 1998.

GUNN, Bruce; NAHAVANDI, Saeid. **Why initial conditions are important.** In: XXXIV PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 34., 2002. Anais do Winter Simulation.

HACHICHA, W.; MASMOUDI, F.; HADDAR, M. **An improvement of a cellular manufacturing system design using simulation analysis.** International Journal of Simulation, v.6, n.4, p.193-205, 2007.

HAIR JUNIOR, Joseph F.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L.; BLACK, William C. **Análise multivariada de dados.** 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAYES, Robert H.; PISANO, Gary P.; UPTON, David M.; WHEELWRIGHT, Steven C. **Produção, estratégia e tecnologia: em busca da vantagem competitiva.** Porto Alegre: Bookman, 2008.

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. **Factory Physics: foundations of manufacturing management.** 2. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. **To pull or not to pull: what is the question?** Manufacturing and Service Operations Management, v.6, n.2, p.133-148, 2004.

HORA, Henrique R. M. et al. **Uma abordagem multicritério para classificação de softwares de matemática.** In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro (RJ). **Anais Enegep 2008.** Rio de Janeiro (RJ): 2008.

HUANG, Min; IP, W. H.; YUNG, K. L.; WANG, Xingwei; WANG, Dingwei. **Simulation study using system dynamics for a CONWIP-controlled lamp supply chain.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 32, n. 1-2, p. 184-193, 2007.

HUANG, Min; WANG, Dingwei; IP, W.H. **Simulation study of CONWIP for a cold rolling plant.** International Journal of Production Economics, v. 54, n. 3, p. 257-266, 1998.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **A estratégia em ação: balanced scorecard.** 8. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

KENDAL, Gerald, I. **Visão Viável – Transformando Faturamento em Lucro Líquido.** 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

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

KLIPPEL, Marcelo; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle; VACCARO, Guilherme Luís Roehe. **Matriz de posicionamento estratégico de materiais: conceito, método e estudo de caso.** Gestão e Produção, v. 14, n. 1, p. 181-192, 2007.

KREVER, M.; WUNDERINK, S.; DEKKER, R.; SCHORR, B. **Inventory control based on advanced probability theory, an application.** European Journal of Operational Research, v. 162, n. 2, p. 342-358, 2003.

KRISHNAMURTHY, Ananth; SURI, Rajan. **Performance analysis of single stage Kanban controlled production systems using parametric decomposition.** Queueing Systems: Theory and Applications, v.54, n.2, p. 141-162, 2006.

KOH, S.G.; BULFIN, R. L. **Comparison of DBR with CONWIP in an unbalanced production line with three stations.** International Journal of Production Research, v. 42, n. 2, p. 391-404, 2004.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na tomada de decisão.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LAGE JUNIOR, Muris; GODINHO FILHO, Moacir. **Adaptações ao sistema Kanban: revisão, classificação, análise e avaliação.** Gestão e Produção, v.15, n.1, p. 173-188, 2008.

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

LAND, M. **Parameters and sensitivity in workload control.** International Journal Production Economics, v. 104, p. 625–638, 2006.

LAVOIE, P.; GHARBI, A.; KENNÉ, J.P. **A comparative study of pull control mechanisms for unreliable homogenous transfer lines.** International Journal of Production Economics, v. 124, n.1, p. 241-251, 2010.

LAW, Averill M.; MCCOMAS, Michael G.; VINCENT, Stephen G. **The crucial role of input modeling in successful simulation studies -** Industrial Engineering, v. 26, n.7, p. 55-59, 1994.

LAW, Averill M.; KELTON, W. David. **Simulation modeling and analysis.** 3. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

LAW, Averill M.; McCOMAS, Michael G. **Secrets Of Successful Simulation Studies.** In: XXIII PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 23., 1991. Anais do Winter Simulation.

LAW, Averill M.; McCOMAS, Michael G. **How to build valid and credible simulations models.** In: XXXVII PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 37., 2005. Anais do Winter Simulation.

LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIMA, Jorge E. F. W.; NEVES, Carolina de L.; SANTOS, Ronaldo M. dos; VERGARA, Fernán E.; SOUZA Marco A. A.; CORDEIRO NETO, Oscar de M. **Desenvolvimento de aplicativo para uso do método multicritério ELECTRE-TRI**. In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE CUIABÁ, 1., 2007, Cuiabá (MT). **Anais do ABRH**. Cuiabá (MT): 2007.

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

MEIRELLES, Carmen Lúcia de Almeida; GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro. **O apoio Multicritério à Decisão como instrumento de gestão do conhecimento: uma aplicação à indústria de refino de petróleo**. *Pesquisa Operacional*, v. 29, n.2, p. 451-470, 2009.

MEJÍA, Gonzalo; MARTÍNEZ, Diego; TORRES, Fidel. **Modeling and development of an ARENA interface for Petri Nets. A case study in a Colombian cosmetics company**. In: XL PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 40., 2008. *Anais do Winter Simulation*.

MELLO, João Carlos Correia Baptista Soares de; GOMES, Eliane Gonçalves; GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro; BIONDI NETO, Luiz; MEZA, Lidia Angulo. **Avaliação do tamanho de aeroportos portugueses com relações multicritério de superação**. *Pesquisa Operacional*, v.25, n.3, p. 313-330, 2005.

MESQUITA, Marco Aurélio de; CASTRO, Roberto Lopes de. **Análise das práticas de planejamento e controle da produção em fornecedores da cadeia automotiva brasileira**. *Gestão e Produção*, v.15, n.1, p. 33-42, 2008.

MIRANDA, Caroline M. G.; ALMEIDA, Adiel T. **Avaliação de pós-graduação com método ELECTRE TRI – o caso de Engenharias III da CAPES**. *Produção*, v.13, n.3, p. 101-112, 2003.

MIRANDA, Caroline M. G.; ALMEIDA, Adiel T. **Visão multicritério da avaliação de programas de pós-graduação pela CAPES: o caso da área engenharia III baseado no ELECTRE II e MAUT**. *Gestão e Produção*, vol.11, n.1, pp. 51-64, 2004.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Introdução à administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 1998.

MOREIRA, William de Freitas. **Utilização de método de auxílio multicritério à decisão na escolha de fornecedores de componentes estratégicos**. 2006. Dissertação (Mestrado profissional de sistemas de gestão) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2006.

MUSSELMAN, Kenneth. **Guidelines for Success**. In: BANKS, Jerry (org). **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice**. New York: John Wiley and Sons, 1998.

NAHMIA, Steven. **Production and operations analysis**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

NEVES, Roberta B.; COSTA, Helder G. **Swot, ELECTRE TRI e sistema de avaliação da CAPES**. In: XXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza, (CE). **Anais Enegep 2006**. Fortaleza (CE): 2006.

NEVES, Roberta B.; COSTA, Helder G. **Avaliação do desempenho de gerenciamento de projetos utilizando o método ELECTRE TRI**. In: XIII SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 13., 2010, Rio de Janeiro (RJ). **Anais SPOLM 2010**. Rio de Janeiro (RJ): 2010.

NOREEN, Eric. **A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial: Um relatório independente**. 1. ed. São Paulo: Educator, 1996.

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

OISHI, Michitoshi. **TIPS: técnicas integradas na produção e serviços: como planejar, treinar, integrar e produzir para ser competitivo: teoria e prática**. São Paulo: Pioneira, 1995.

OVALLE, Oscar Rubiano; MARQUEZ, Adolfo Crespo. **Exploring the utilization of a CONWIP system for supply chain management. A comparison with fully integrated supply chains**. International Journal of Production Economics, vol. 83, n. 2, p.195-215, 2003.

PEIXOTO, Eduardo C.; PINTO, Luiz Ricardo. **Gerenciamento de estoques via previsão de vendas agregadas utilizando simulação**. Produção. v.16, n.3, p. 569-581, 2006.

PEREIRA, F. A.; DAL FORNO, A. J. e TUBINO, D. F. **A flexibilidade no contexto do desenvolvimento de fábricas inteligentes**. Produção online, v.8, n.2, 2008.

PERGHER, Isaac; DEUS, André Diehl de; ROSSI FILHO, Tito Armando. **Aplicação da Simulação Computacional em um processo de medição de produtos em máquinas por coordenadas: Estudo de Caso**. In: XVI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16., 2009, Bauru (SP). **Anais Simpep 2009**. Bauru (SP): 2009.

PERGHER, Isaac; VACCARO, Guilherme L. R. **Determinação da capacidade produtiva de uma empresa de alimentos por meio da aplicação da Simulação Computacional**. In: XII SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 11., 2009, Rio de Janeiro (RJ). **Anais SPOLM 2009**. Rio de Janeiro (RJ): 2009.

PETTERSEN, Jan-Arne; SEGERSTEDT, Anders. **Restricted work-in-process: A study of differences between Kanban and CONWIP**. International Journal of Production Economics, v. 118, n. 1, p. 199-207, 2009.

PIDD, Michael. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1998.

PINHEIRO, Plácido Rogério; SOUZA, Gilberto George Conrado de; CASTRO, Ana Karoline Araújo de. **Estruturação do problema multicritério para produção de jornal**. Pesquisa. Operacional, v.28, n.2, p. 203-216, 2008.

PIRES, S. **Gestão da Cadeia de Suprimentos**, São Paulo: Atlas, 2004.

POPADIUK, Silvio; PEREIRA, Luis Fernando Pacheco; FRANKLIN, Marcos Antonio; GARDESANI, Roberto; MIYABARA, Walter. **Arquitetura da informação e mensuração do desempenho: um estudo na indústria de artefatos e utensílios de plásticos no Estado de São Paulo**. Gestão e Produção, v.13, n.1, p.151-165, 2006.

POLLATSCHEK, Moshe A. **Programming discrete simulations: tools for modeling the real world**. Lawrence: R&d Books, 1995.

PRITSKER, A. Alan B. Principles of Simulation Modeling. In: BANKS, Jerry (org). **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice**. New York: John Wiley and Sons, 1998.

RANGEL, Luís Alberto Duncan; GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro. **Emprego dos métodos Utilité Additive e Utilité Additive - Criteria na avaliação de imóveis: um estudo de caso**. Gestão e Produção, v.16, n.2, p. 222-231, 2009.

RAGATZ, G.L.; MABERT, V.A. **An evaluation of order release mechanisms in a jobshop environment**. Decision Sciences, v. 19, p. 167–189, 1988.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pearson, 2004.

RODRIGUES, L. H. **Apresentação e Análise Crítica da Tecnologia da Produção Otimizada (Optimized Production Technology - OPT) e da Teoria das Restrições (Theory of Constraints – TOC)**. In: XIV ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, 1990, Florianópolis (SC). **Anais do Encontro da Associação Nacional de Programas de pós-graduação em Administração**. Florianópolis (SC): 1990.

RODRIGUES, Luis Henrique. **Developing an approach to help companies synchronize manufacturing**. 1994. Tese (Doutorado em Administração). Lancaster University. Lancaster, UK, 1994. Tese de Doutorado.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

RUST, Kristin. **Using Little's Law to estimate Cycle Time and Cost**. In: XL PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 40., 2008. Anais do Winter Simulation.

SAKURADA, Nelson; MIYAKE, Dario I. **Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços**. *Gestão e Produção*, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.

SANCHES, Alexandre L.; MARINS, Fernando A. S.; MONTEVECHI, José A. B.; RIBEIRO, Douglas A. **Dimensionamento de Kanban Estatístico por Simulação de Monte Carlo Utilizando o Software Crystal Ball**. In: XXV SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2007, Resende (RJ). *Anais SEGeT 2007*. Resende (RJ): 2007.

SARGENT, Robert G. **Verification and validation of simulation models**. In: XLI PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON WINTER SIMULATION, 41., 2009. *Anais do Winter Simulation*.

SELLITTO, Miguel A.; BORCHARDT, Miriam; PEREIRA, Giancarlo M. **Estratégia de Aquisição para a cadeia de suprimentos**. In: MACAGNAN, Clea Beatriz (Org.). **Compras: elementos para o jogo da negociação de produtos e serviços**. Viamão: Entremeios, 2009.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de produção: do ponto de vista de engenharia de produção**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SIEGEL, Sidney. **Estatística não-paramétrica (para as Ciências do comportamento)**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

SILVA, Ermes Medeiros *et al.* **Pesquisa operacional**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

SILVA, Fábio Molina da; FERNANDES, Flávio C. F. **Proposta de um sistema de controle da produção para fabricantes de calçados que operam sob encomenda**. *Gestão e Produção*, v. 15, n. 3, p. 523-538, 2008.

SIMCHI-LEVI, Davi; KAMINSKY, Philip; SIMCHI-LEVI, Edith. **Cadeia de Suprimentos: projeto e gestão**. Porto Alegre: Bookman, 2003.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; HARLAND, Christine; HARRISON, Alan; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção – Edição Compacta**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

SOUTO JUNIOR, Antonio K. D.; LOCH, Gustavo V; MOITA, Marcia H. V; **Simulação computacional para o auxílio à tomada de decisão: um estudo de caso na indústria de aparelhos eletrônicos no Pólo Industrial de Manaus**. *Revista INGEPRO*, v. 1, n. 9, p. 48-55, 2009.

SOUZA, Fernando Bernardi de. **Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e mitos**. *Produção*, v.15, n.2, p. 184-197, 2005.

SOUZA, Fernando Bernardi de; RENTES, Antonio Freitas ; AGOSTINHO, Oswaldo Luiz. **A interdependência entre sistemas de controle de produção e critérios de alocação de capacidades.** Gestão e Produção, v.9, n.2, p. 215-234, 2002.

SPENCER, M. S.; COX, J. F. **Optimum production technology (OPT) and the theory of constraints (TOC): analysis and genealogy.** International Journal of Production Research, v. 33, n.6, p. 1495-1504, 1995.

SUWANRUJI, P.; ENNS, S. T. **Evaluating the effects of capacity constraints and demand patterns on supply chain replenishment strategies.** International Journal of Production Research, v.44, n.21, p.4607-4629, 2006.

SZAJUBOK, Nadia K.; ALENCAR, Luciana H. ALMEIDA, Adiel T. **Modelo de gerenciamento de materiais na construção civil utilizando avaliação multicritério.** Produção, v. 16, n. 2, p. 303-318, 2006.

SZYMANKIEWICZ, Jan; MCDONALD, James; TURNER, Keith. **Solving Business Problems by Simulation.** 2. ed. United Kingdom: McGraw-Hill, 1988.

UMBLE, Michael M.; UMBLE, Elisabeth J. **Drum-Buffer-Rope for Lower Inventory.** Industrial Management, p.24-33, 1999.

VACCARO, Guilherme L. R.. **Modelagem e Análise de Dados em Simulação.** Exame de qualificação PPGC – UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1999.

VACCARO, Guilherme L. R.; RODRIGUES, L. H. **Características desejadas em Softwares de Análise de Resultados de Simulação.** In: XXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre (RS). **Anais Enegep 2005.** Porto Alegre (RS): 2005.

WEIN, L.M.; CHEVALIER, P.B. **A broader view of the job-shop scheduling problem.** Management Science, v. 38, n.7, p. 1018–1033, 1992.

ZAGO, José Sebastião. **Fabricação de carroçaria bruta de automóveis: definição do grau de automação a partir de análise multicritério.** 2006. Dissertação (Mestrado profissional de sistemas de gestão) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2006.



APÊNDICE A – Questionário qualitativo utilizado para avaliar o método proposto.



**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS**  
Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas

---

**MÉTODO PARA QUANTIFICAR O ESTOQUE EM PROCESSO À LUZ DA SIMULAÇÃO  
COMPUTACIONAL E DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

### QUESTÕES PARA AVALIAÇÃO

Considerando o objetivo desta pesquisa e também, o foco de atuação do método descrito anteriormente, solicitamos seu parecer referente aos seguintes temas:

- 1) Com relação às variáveis recomendadas para incorporar o modelo de Simulação por Eventos Discretos, que são: (i) disponibilidade dos equipamentos; (ii) estoque de produtos prontos; e (iii) capacidade dos recursos produtivos, apresentadas nas páginas 2 e 3, em sua opinião como especialista, estas variáveis são significativas para a quantificação do *WIP*? Em sua análise, ocorre a falta de alguma variável expressiva que não esta sendo contemplada?
- 2) Em sua visão, é adequada a opção pelo método ELECTRE TRI para a classificação dos cenários testados no modelo de simulação, no que tange a contribuição para a tomada de decisão referente ao nível de *WIP*? Se possível, comente sobre cuidados ou elementos correlatos.
- 3) Considerando o quadro de indicadores de desempenho que é sugerido para gerar informações referentes ao comportamento do modelo de simulação (apresentado na página 9), com base nas distintas configurações de cenários testados, na sua análise como especialista, ocorre falta de algum indicador de desempenho que é representativo para o contexto ou o objetivo da pesquisa?

- 4) Em sua percepção, o conjunto de critérios de decisão apresentados na página 9 reflete as preferências do decisor, no que concerne à tomada de decisão referente à quantificação do *WIP*? Em sua opinião, ocorre a falta de algum critério que é significativo para o objetivo tratado na dissertação?
- 5) Em sua percepção, os critérios propostos atendem os axiomas de redundância; e independência? Por gentileza, informe potenciais discrepâncias.
- 6) Na qualidade de especialista, qual sua avaliação sobre o método proposto para quantificar o *WIP*, quanto a sua aplicabilidade prática e capacidade de solução do problema proposto?
- 7) Por favor, indique quaisquer outras contribuições que julgue necessárias para a melhoria do método apresentado, no contexto proposto.