

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Eguinaldo Firmiano de Souza

**GESTÃO DE ESTOQUES DE PRODUTOS
SIDERÚRGICOS SEMI-ACABADOS UTILIZANDO
UMA ABORDAGEM HÍBRIDA DE OTIMIZAÇÃO E
SIMULAÇÃO**

**BELO HORIZONTE - MG
Março de 2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**GESTÃO DE ESTOQUES DE PRODUTOS
SIDERÚRGICOS SEMI-ACABADOS UTILIZANDO
UMA ABORDAGEM HÍBRIDA DE OTIMIZAÇÃO E
SIMULAÇÃO**

Eguinaldo Firmiano de Souza

**Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de
Produção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Produção.**

**Área de Concentração: Produção e Logística
Orientador: Prof. Doutor Samuel Vieira Conceição**

**BELO HORIZONTE - MG
Março de 2009**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Walmir e Geraldina,
pela nada simples condição de estudar.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas da ArcelorMittal Inox Brasil pelo apoio e troca de conhecimento e experiências.

Ao colega Cláudio pelo auxílio e troca de conhecimentos.

Ao time gerencial da ArcelorMittal Inox Brasil pelo apoio no desenvolvimento deste Mestrado.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Produção da UFMG, por contribuírem e instigarem a busca pelo aprimoramento do conhecimento nos mais diversos temas.

Ao professor Samuel Vieira Conceição, orientador deste trabalho, por ter diversas vezes indicado o melhor caminho e apontado pontos de melhoria.

A minha família e amigos que souberam compreender a repetida ausência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Em especial, ao Sr. Francisco Paulo Moraes de Jesus que incentivou o início desta trajetória.

RESUMO

A gestão de estoques é um assunto vital e frequentemente absorve parte substancial do orçamento de uma organização. Como eles não agregam valor ao produto, quanto menor o nível de estoques com que um sistema produtivo consegue trabalhar, mas eficiente ele será. Entretanto o ambiente competitivo atual com a forte presença de concorrentes globais exige das organizações a redução dos custos operacionais, aqui representados pelos estoques, e o desenvolvimento de mecanismos de fidelização e defesa ou ampliação do market-share. Dentro deste contexto uma vertente eminente da indústria é conhecer as necessidades de fornecimento de seus clientes e desenvolver propostas para atendimento dessas necessidades com o menor custo operacional possível.

O conceito aplicado é de que estoques semi-acabados estrategicamente posicionados na quantidade e mix corretos podem garantir *lead times* curtos e alto nível de confiabilidade nas entregas ao cliente e ao mesmo tempo preservar a eficiência de produção, crucial para as indústrias de capital intensivo.

O conceito de ponto de penetração do pedido e suas outras denominações é amplamente discutido através da avaliação da sua importância e dos diversos fatores que influem em seu posicionamento. A hoje tímida aplicação destes conceitos na indústria siderúrgica também é analisada em comparação com os modelos já desenvolvidos.

O objetivo deste trabalho é propor uma sistemática de atendimento a três clientes através do posicionamento de estoques semi-acabados para dois destes clientes e manter um atendimento *Make-to-order* para um deles. Foi também desenvolvido um modelo funcional que prevê a utilização de uma abordagem mista de simulação e otimização para avaliar a *performance* desta proposta de gestão de estoques semi-acabados.

O modelo consiste em dois módulos de simulação e um módulo de otimização. Os módulos de simulação são responsáveis pela geração da demanda e simulação do processamento dos lotes de produção. Já o módulo de otimização funciona como um *lot sizing* para preparação do plano de produção do primeiro equipamento do fluxo produtivo.

Diversos parâmetros operacionais (nível de ocupação, reserva de capacidade) e diferentes padrões de demanda são variados gerando vários cenários de análise.

Palavras-Chave

Estoques semi-acabados, simulação, ponto de penetração da ordem, siderurgia.

ABSTRACT

The inventory management is a vital subject which frequently absorbs substantial part of the budget of an organization. As they do not add value to the product, as less inventories a productive system use more efficient it will be. However the current competitive environment, with the strong presence of global players, forces the operational costs reduction, represented here for the inventories, and the development of attract mechanisms and defense or increasing of market-share. On this context eminent trend is get in touch with supply requirements of the customers and develop manufacturing strategies to fill these necessities with the less possible operational cost.

The concept which drives this project is that strategically placed inventories of the right semi-finished products in the right quantities and mix can be used to achieve shorter, reliable deliveries while at the same time preserving production efficiencies, which is crucial for the capital intensive industries – such as steelmaking.

The concept of *OPP - order penetration point* and its variations is widely discussed through the evaluation of its importance and the various factors that influence on its positioning. The few practical application of these concepts in the steel industry nowadays is analyzed in comparison with the models already developed.

This paper proposes three different manufacturing approaches to three customers. These approaches complies the position of semi-finished inventories for two customers and maintain a pure Make-to-order system for one. We also develop a mixed optimization-simulation model to evaluate the performance of this proposal in the management of semi-finished stocks.

The model consists of two simulation modules and optimization module. The simulation modules are responsible for demand generation and “shop-floor” simulation. The optimization module works as a lot sizing which solve the production plan for the first equipment on the production flow.

Several operational parameters (utilization level, reserve capacity, etc.) and demand patterns are changed to create several different scenarios for analysis.

Key Words

Semi finished inventories, simulation, order penetration point, steelmaking.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	10
LISTA DE ANEXOS.....	11
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Definição do problema em Estudo.....	13
1.2 Objetivo Geral.....	13
1.3 Objetivos Específicos	13
1.4 Escopo.....	14
2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 O ponto de diferenciação.....	15
2.2 Os modelos de análise do postponement.....	26
2.3 Gestão de estoques.....	30
2.4 Dimensionamento de lotes.....	33
2.5 Simulação computacional.....	37
3 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	47
3.1 Desenho da pesquisa.....	48
3.2 Descrição do sistema analisado.....	52
3.3 Desenvolvimento do modelo.....	57
3.3.1 Protocolo de coleta de dados.....	57
3.3.2 Dados coletados.....	58
3.3.3 Desenho do modelo.....	62
3.3.4 Horizonte de planejamento.....	62
3.3.5 Desenho do modelo de simulação – Módulo I.....	63
3.3.6 Desenho do modelo de otimização – Módulo II.....	65
3.3.7 Desenho do modelo de simulação – Módulo III.....	68
3.3.8 Execução do modelo.....	71
4 RESULTADOS.....	74
5 CONCLUSÕES.....	86
6 REFERÊNCIAS.....	90
7 ANEXOS.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conceito básico do posicionamento de estoques semi-acabados.....	13
Figura 2 - Postergação da diferenciação na indústria de processo.....	24
Figura 3 - Desenho esquemático do fluxo produtivo da ArcelorMittal Inox Brasil.....	53
Figura 4 - Grupo de clientes e suas diferentes modalidades de atendimento.....	56
Figura 5 - Aderência da distribuição Normal(314, 12.6) para o SKU A.....	60
Figura 6 - Aderência da distribuição Triangular(276, 282, 295) para o SKU B.....	60
Figura 7 - Aderência da distribuição Triangular(295, 306, 312) para o SKU C.....	61
Figura 8 – Diagrama conceitual do modelo híbrido	62
Figura 9 – Horizonte de planejamento do modelo.....	63
Figura 10 – Análise dos dados de saída do modelo – Validação do gerador de demanda	64
Figura 11 – DCA da simulação do processamento dos lotes – Módulo III do modelo.....	68
Figura 12 – Diagrama conceitual – nível de ocupação e reserva de capacidade.....	73
Figura 13 – Resultados para ocupação igual a 40% e capacidade planejada no RB igual a 40%.....	75
Figura 14 – Resultados para ocupação igual a 40% e capacidade planejada no RB igual a 60%	75
Figura 15 – Resultados para ocupação igual a 40% e capacidade planejada no RB igual a 80%	76
Figura 16 – Resultados para ocupação igual a 60% e capacidade planejada no RB igual a 60%	77
Figura 17 – Resultados para ocupação igual a 60% e capacidade planejada no RB igual a 80%	78
Figura 18 – Resultados para ocupação igual a 80% e capacidade planejada no RB igual a 60%	79
Figura 19 – Resultados para ocupação igual a 80% e capacidade planejada no RB igual a 80%	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – As etapas da pesquisa.....	48
Tabela 2 – Definição do SKU A	58
Tabela 3 – Definição do SKU B.	58
Tabela 4 – Definição do SKU C.	58
Tabela 5 – Distribuição de demanda dos três SKU's em análise.	62
Tabela 6 – SKU x Modalidade de atendimento.	63
Tabela 7 – Exemplo de demandas geradas.....	64
Tabela 8 – Exemplo de plano de produção gerado.....	68
Tabela 9 – Cenários de simulação.	71
Tabela 10 – Dados a serem analisados no modelo.	72
Tabela 11 – Resultados para a redução da capacidade com o cenário 1	81
Tabela 12 – Resultados para a redução da capacidade com o cenário 2	81
Tabela 13 – Resultados para a redução da capacidade com o cenário 3	82
Tabela 14 – Resultados para a redução da capacidade com o cenário 4	82
Tabela 15 – Dados cliente A	83
Tabela 16 – Comparação entre cenários	84

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SKU – Stock Keeping Unit

SP1 – Supermercado 1 localizado entre o recozimento de bobinas e a laminação

SP2 – Supermercado 2 localizado entre a laminação e a linha de acabamento

RB – Recozimento de bobinas

LB – Laminador de bobinas

Acab – Linha de acabamento

MTO – Make-to-Order

MTS – Make-to-Stock

OPP – Order Penetration Point

CODP – Customer Order Decoupling Point

TPOP – Time-phased Order Point

EOQ – Economic Order Quantity

ELSP - Economic Lot Scheduling Problem

CLSP - Capacitated Lot Sizing Problem

DLSP - Discrete Lot Sizing and Scheduling Problem

CLSP – Continuous Setup Lot Sizing Problem

PLSP Proportional Lot Sizing and Scheduling Problem

GLSP - General Lot Sizing and Scheduling Problem

FEL – Future Event List

LIFO - Last In First Out

FIFO – First In First Out

DCA - Diagrama de Ciclo de Atividades

AR - Action Research

PIB – Produto Interno Bruto

PCP – Sistema de controle de pedidos

UM – Unidade metálica

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Tela do sistema PCP de controle de pedidos.....	97
Anexo 2 – Dados históricos de pedidos atendidos através do SKU A.....	98
Anexo 3 – Dados históricos de pedidos atendidos através do SKU B.....	99
Anexo 4 – Dados históricos de pedidos atendidos através do SKU C.....	100
Anexo 5 – Análise de pareto para definição dos SKU's.....	101
Anexo 6 – Modelo de simulação – Módulo I - <i>Arena 11</i> [®]	102
Anexo 7 – Modelo de otimização – Módulo II – Premium Solver [®]	103
Anexo 8 – Características do <i>Premium Solver para o Microsoft Excel</i> [®]	104
Anexo 9 – Modelo de simulação – Módulo III – <i>Arena 11</i> [®] - Leitura do plano.....	105
Anexo 10 – Modelo de simulação – Módulo III – <i>Arena 11</i> [®] - Processamento lotes.....	106
Anexo 11 – Validação do Módulo III – Processamento lotes.....	107
Anexo 12 – Módulo III – Relatório de resultados - <i>Arena 11</i> [®]	108
Anexo 13 – Simulação piloto para definição do número de replicações.....	109

1 – INTRODUÇÃO

O posicionamento estratégico da quantidade correta dos produtos semi-acabados apropriados pode ser utilizado para alcançar prazos de atendimento curtos e confiáveis e ao mesmo tempo preservar a eficiência operacional da indústria (Denton et al, 2003). Ainda segundo Denton esta iniciativa indica uma mudança do tradicional ambiente *Make-to-Order* para um ambiente híbrido *Make-to-Stock – Make-to-Order*, onde o produto final é processado a partir de produtos semi-acabados provenientes do estoque.

O ponto da cadeia produtiva onde um produto é ligado a uma ordem específica do cliente é tradicionalmente definido como *Order Penetration Point – OPP*, ou ainda *customer order decoupling point (CODP)* conforme Olhager, (2003). Segundo Donk, (2001) o OPP faz a separação entre a parte do processo produtivo que é orientado pela ordem de compra do cliente e a parte do processo que é regida pelas previsões de venda e pelo planejamento.

Ainda segundo Donk (2001) o OPP é o principal ponto de estoque a partir do qual os pedidos finais dos clientes são processados e a quantidade de estoque deve ser suficiente para suprir a demanda por um determinado período.

Segundo Kerkkänen (2007) a siderurgia é uma indústria do tipo um para vários, onde a diferenciação do produto cresce durante sua jornada desde a matéria-prima até o produto acabado. Esta abordagem está em linha com os conceitos de postergação da diferenciação (*postponement*), onde segundo Garg e Tang (1997) a indústria é beneficiada de duas formas: através da flexibilidade de ter que comprometer o material em processo a um item final apenas nos últimos estágios de produção e através da redução da complexidade nos estágios iniciais. Considerando uma indústria que deve realizar o fornecimento de diferentes produtos finais, a diferentes clientes de forma (*lead time* aparente) também diferenciada tem-se uma situação de alta complexidade do ponto de vista de gestão de estoques.

Segundo Lenard e Roy (1995) a abordagem mono-item na gestão de estoques não permite a adoção de políticas de estoque diferenciadas, dentre outras restrições. Esta restrição aliada a outras vantagens sugere a abordagem multi-item no gerenciamento de estoques que “aspiram” por tratamento diferenciado. Lenard e Roy (1995) ponderam que no modelo de estoques multi-item os SKU’s podem ser agrupados em famílias, dentro das quais as decisões (política de ressurgimento, nível de serviço, etc.) serão as mesmas. Hautaniemi e Pirttilä, (1999) colocam que uma abordagem comum na literatura é a comparação entre diferentes políticas de ressurgimento através da simulação de diferentes padrões de distribuição de demanda.

Denton e Gupta (2004) afirmam que clientes que estão dispostos a pagar um prêmio por menor *lead time* devem ser atendidos através de estoques estrategicamente posicionados. A figura 1 apresenta de maneira esquemática a “filosofia” do posicionamento estratégico de estoques semi-acabados.

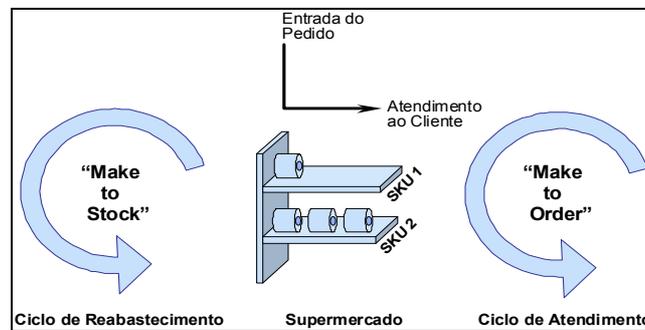


Fig. 1 – Conceito básico do posicionamento de estoques semi-acabados

Conforme os autores, manter estoque de produtos semi-acabados para todos os clientes não é economicamente viável. Dentro deste contexto este trabalho possui como tema central a construção de um modelo de gestão de estoque de produtos semi-acabados utilizando uma abordagem híbrida de simulação e otimização com o objetivo de atender a demanda de três grupos distintos de clientes, considerando as características específicas desta demanda.

1.1 – Definição do problema em estudo

Considerando o aparente paradoxo entre a necessidade de redução do *lead time* de entrega ao cliente e a redução do capital de giro o posicionamento de estoques intermediários traz vantagens em uma análise global da operação?

1.2 – Objetivo Geral

Propor um modelo híbrido para avaliar e quantificar as vantagens e desvantagens do posicionamento de estoques semi-acabados na cadeia interna de uma usina siderúrgica.

1.3 – Objetivos Específicos

- Caracterizar a indústria siderúrgica no que tange a abordagens híbridas *Make-to-stock* x *Make-to-order*, pesquisando as iniciativas práticas e teóricas existentes;
- Discutir e contextualizar o ponto de penetração da ordem enquanto importante conceito na aplicação da filosofia de *postponement*;

- Avaliar os modelos disponíveis e aplicados em outros setores industriais para introdução das especificidades da siderurgia;
- Desenvolver e implementar um modelo de otimização para o dimensionamento e sequenciamento de lotes;
- Desenvolver e implementar um modelo de simulação e cenários para avaliar o comportamento do sistema;
- Unificar os modelos de otimização e simulação em um modelo híbrido e dinâmico;
- Analisar o padrão de demanda de diferentes modalidades de atendimento;
- Analisar, com o uso do modelo híbrido, um ambiente com diferentes pontos de penetração da ordem.

1.4 – Escopo

O trabalho a ser desenvolvido tem abrangência restrita ao desenvolvimento e validação de um modelo híbrido para análise de um ambiente industrial com diversas formas de atendimento através de estoques de produtos semi-acabados.

O escopo deste trabalho limita-se ao chamado fluxo *downstream* da siderurgia, englobando as operações de decapagem inicial, laminação e acabamento (corte de bobinas em tiras e chapas). As características detalhadas do fluxo *upstream* não fazem parte deste estudo por não estarem intimamente relacionadas ao processo de atendimento de pedidos.

O escopo é delimitado ainda pela análise de alguns produtos mediante critérios previamente estabelecidos, não sendo objetivo analisar todos os produtos da empresa.

2 – PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1 – O ponto de diferenciação

Nos últimos anos, o projeto de muitas redes de suprimentos tem sofrido mudanças importantes. O grande desafio empresarial do novo milênio é: modificar radicalmente o conceito de produção em massa (*make-to-stock*) para o conceito de customização em massa (*built-to-order*) com auxílio de sistemas flexíveis, parcerias e a internet. Com tal desafio em mente, algumas organizações da vanguarda vêm procurando repensar suas fronteiras, suas competências, eliminando etapas desnecessárias e/ou alterando a forma de relacionamento com clientes e fornecedores, dando a esta evolução característica e conotação de uma verdadeira revolução.

A *Dell Computer* é um exemplo clássico de um verdadeiro contra-senso empresarial: um fabricante que atende a pedidos individuais dos consumidores em poucos dias a preços compatíveis com o tradicional sistema de produção em massa. A *General Motors Brasil* (GMB) também implementou o mesmo conceito, atende a 70 % dos pedidos dos veículos “Celta” dos consumidores pela internet e entrega-os entre 4 a 10 dias a partir de alguns poucos centros de distribuição.

Para Van Hoek (1998) o segredo é o projeto da rede de suprimento segundo o princípio do *postponement*, que na essência consiste em adiar a configuração final de produtos e/ou serviços o máximo possível, em casos extremos, transferindo até atividades de manufatura para o próprio canal de distribuição e/ou consumidor final.

Apesar do aumento real da utilização do conceito no meio empresarial, o contra-senso é que, pouco se sabe sobre seu processo de difusão (Dröge et al, 1995).

A idéia do *postponement* não é nova, o conceito é conhecido na literatura desde os anos 50 (Alderson, 1950), entretanto a realidade é que foi somente nesta última década que o tema despertou o interesse de práticos e acadêmicos.

Segundo Lee e Billington, (1994) este conceito tem sido atualmente mais utilizado extensivamente nas atividades relacionadas a logística e distribuição.

Na literatura, o conceito foi originalmente desenvolvido por Alderson (1950) e mais tarde expandido por Bucklin (1965). Estes autores argumentavam que os custos decorrentes de riscos e incertezas estão intrinsecamente relacionados à intensidade de diferenciação (tempo e lugar) que ocorre durante os processos de manufatura e logística. Quanto maior o grau de adiamento da configuração final dos produtos, menor será a possibilidade de perdas no negócio.

A aplicação do *postponement* pode variar desde um simples processo de embalagem e etiquetagem até as mais complexas atividades como localização, montagem e testes ou a integração final do produto.

Bucklin (1965) interpretava a estratégia de *postponement* como uma forma de compartilhar os riscos e benefícios entre todos os membros da cadeia de suprimento no atendimento das necessidades individuais dos consumidores. Alderson (1957) argumentava que o sucesso do serviço de alimentação *self-service* recém lançado naquela época era um claro sinal de que a diferenciação nas fases iniciais do processo deveria ser evitada, e que algumas etapas finais poderiam até ser executadas pelo próprio consumidor.

Paralelamente na área de operações alguns trabalhos dedicaram-se ao estudo do conceito de produção modular fundamentada na concepção de produtos complexos a partir de subsistemas menores que são combinados de múltiplas formas durante o processo de manufatura ou montagem final, da mesma forma que as crianças montam diferentes objetos a partir de Blocos de Lego. O modelo modular de produção propõe a divisão do processo produtivo em duas etapas: (1) um processo de transformação primário que transforma matérias primas e insumos em módulos ou componentes e; (2) um processo de montagem final que combina os diferentes módulos no máximo número possível de produtos acabados.

Os resultados esperados seriam reduções de investimentos em pesquisa, reduções de custos operacionais, reduções de custos logísticos e melhoria dos serviços prestados aos clientes. Já naquela época, estes autores reconheciam que a demanda crescente pela personalização em massa não seria satisfeita pelo sistema de produção em massa, que restringe o poder de diferenciação somente a atividade de marketing de mudanças no mix de preço, disponibilidade e promoção. É essencial, portanto, o envolvimento das operações e logística para maximizar a diferenciação.

Depois de 1965, poucos trabalhos trataram o assunto. Apesar de reveladores, os trabalhos de Alderson (1957) e Bucklin (1965) não despertaram a merecida atenção empresarial na época, devido em parte, ao predomínio no mercado do conceito de produção de produtos padronizados para mercados homogêneos. Os sistemas de distribuição permaneceram especulativos por natureza baseado, quase sempre, em previsões de vendas.

Zinn e Bowersox (1988) retomam o tema no final da década de 80, argumentando que o *postponement* é uma eficaz estratégia para aprimorar os sistemas de marketing e distribuição. Os autores ampliaram as alternativas de postergação, ao proporem também o adiamento de atividades de manufatura (mudança de forma), tais como personalização final e embalagem, sempre que o nível dos erros na previsão da demanda é elevado. Dificuldades na previsão da

demanda surgem na medida em que aumenta a incerteza quanto a condições futuras de mercado e que são ampliadas as linhas de produtos da empresa. Estes autores identificaram cinco tipos de estratégia de *postponement*, quatro estão relacionados com a *postponement* de forma (rótulo, embalagem, montagem e manufatura) e a quinta está relacionada com a estratégia de *postponement* de tempo.

Pagh e Cooper (1998) fizeram uma importante contribuição ao propor uma outra morfologia para projeto de cadeia de suprimento, combinando os conceitos de *postponement* tanto de manufatura como de logística e Especulação.

1. A estratégia de especulação é a mais utilizada no mercado. Todas as operações de manufatura e logística são concretizadas o mais cedo possível, baseadas em previsões de vendas. Os produtos são posicionados próximo aos consumidores e deslocados através de sistemas de distribuição descentralizados. Como resultado temos inventários descentralizados e elevado investimento em estoques.

2. Na estratégia de *postponement* de manufatura, algumas operações, como montagem, embalagem ou fixação de rótulos são realizadas dentro dos canais de distribuição, depois da diferenciação logística.

Esta operação é adiada até a consolidação do pedido dos clientes. Segundo Borwersox e Closs (1996) esta estratégia permite reduzir os estoques da cadeia de suprimento e simplificar o planejamento, enquanto mantém elevado o sortimento de produtos ao consumidor. Por outro lado, afirma Pagh e Cooper (1998) a complexidade do gerenciamento dos pedidos dos clientes aumenta substancialmente.

3. Na estratégia de *postponement* de logística, o planejamento da produção é especulativo, porém a logística é adiada. Os pedidos dos clientes são atendidos a partir de estoques centralizados. Esta estratégia reduz os inventários e conseqüentemente o capital necessário para manter satisfatório o nível de serviço ao cliente. Entretanto, a desvantagem desta abordagem é o aumento das despesas com transporte em decorrência da necessidade de entregas rápidas em pequenas quantidades.

4. A estratégia de *postponement* plena representa o maior nível possível de *postponement*, consiste em somente realizar as operações de manufatura e logística contra-pedidos dos clientes. O resultado é o baixo custo com inventários de fabricação e logística. A desvantagem é a perda das economias de escala.

Na busca de soluções para o ambiente atual algumas estratégias estão sendo aperfeiçoadas e alguns conceitos reativados.

As indústrias onde os produtos são altamente customizados tendem a operar primariamente de acordo com uma política *make-to-order*. Entretanto é freqüente o caso em que uma parte da produção é planejada em função de previsões a fim de reduzir o *lead time* aos clientes. Esta estratégia é conhecida como *postponement*. Segundo Lee e Billington (1994) *postponement* é uma estratégia onde a configuração final de um produto é postergada o máximo possível usualmente até que um pedido de cliente seja recebido. Lee e Billington (1994) referem-se ao nível de postergação como sendo a posição relativa do ponto de diferenciação ao longo do fluxo produtivo. Desta forma o nível de postergação inicial refere-se a uma cadeia de valor onde o ponto de diferenciação está localizado em estágios iniciais da mesma. Da mesma forma o nível de postergação posterior refere-se ao posicionamento em estágios tardios da cadeia de valor.

Outros termos são utilizados para definir estratégias semelhantes e serão relacionados nos próximos parágrafos.

Gupta e Benjaafar (2004) definem o conceito de *delay differentiation* como sendo uma estratégia híbrida que objetiva conciliar as necessidades conflitantes de alta variedade de produtos e rápido tempo de resposta. Vários benefícios são elencados. Em relação a uma estratégia puramente *make-to-order* a estratégia de manter estoques semi-acabados reduz o atraso no atendimento dos pedidos. Uma vez que muitos produtos finais podem ser produzidos a partir de um mesmo item semi-acabado uma menor quantidade de estoque é necessária para atingir o mesmo nível de serviço, em comparação com uma abordagem *make-to-stock*. Outro benefício apresentado por Gupta e Benjaafar (2004) é o menor investimento necessário ao armazenar produtos que ainda não passaram por todas as fases de produção. Por último a vantagem de transformar um item semi-acabado em produto final apenas após conhecer exatamente qual a configuração do pedido do cliente.

Outra terminologia utilizada na literatura, mas que utiliza os mesmos conceitos básicos seria o *Order Penetration Point – OPP*. Segundo Olhager (2003) com o aumento da competição do mercado global e a menores tempos de vida dos produtos as escolhas e mudanças entre as políticas *make-to-order* e *make-to-stock* devem ser feitas mais rapidamente e a um nível estratégico. Sharman (1984) introduziu o termo OPP no contexto logístico. Ele define o OPP como sendo o ponto onde as especificações do produto são congeladas e como o último ponto onde o estoque é mantido. Olhager and Ostlund (1990) discutem o uso de sistemas de produção puxada e empurrada em relação ao OPP, argumentando que a produção puxada é aplicável até o OPP (upstream) e a produção empurrada é aplicável após o OPP

(*downstream*). Sua análise leva em conta ainda a posição do gargalo de produção e a estrutura do produto como fatores que influenciam a posição do OPP.

A posição do ponto de penetração da ordem tem grande importância estratégica de maneira que as operações pré-OPP e pós-OPP devem ter características distintas.

Uma terceira terminologia utilizada na literatura seria o *Customer Order Decoupling Point – CODP*, o termo *customer* é acrescentado para reforçar o envolvimento de um pedido final do cliente. Este termo é empregado por Hoekstra e Romme (1992) que definem o CODP como o ponto que indica o quão profundamente o pedido do cliente penetra no fluxo de produção. Em seu trabalho eles buscam responder como os gestores – no caso da indústria alimentícia – podem decidir se alguns produtos podem ou devem ser produzidos para estoque ou contra pedido e em caso positivo quais são estes produtos. Donk (2001) afirma que o CODP separa a parte da organização orientada a atividades relacionadas ao pedido do cliente da parte baseada em previsões e planejamento.

Este ponto do processo produtivo pode ter sua importância resumida no seguinte:

- Este ponto separa as atividades orientadas ao pedido das atividades orientadas a previsões. Esta importância não está relacionada apenas a distinção dos tipos de atividade, mas também em relação ao fluxo de informações e a forma com que a produção é planejada e controlada;
- Este é o ponto de estoque mais importante a partir do qual os pedidos são direcionados aos clientes e a quantidade de estoque deve ser suficiente para atender a demanda por um certo período;
- As atividades a montante deste ponto podem ser otimizadas uma vez que de alguma forma são baseadas em previsões e são mais ou menos independentes das demandas irregulares do mercado.

No decorrer deste texto o termo a ser utilizado será o ponto de diferenciação, sem perda dos conceitos apresentados até aqui.

A importância estratégica do ponto de diferenciação

A estratégia de produção é fortemente relacionada a estratégia de mercado e de produto e pode ser analisada em duas dimensões: prioridades competitivas e categorias de decisão.

As prioridades competitivas incluem preço, qualidade, velocidade e confiabilidade de entrega e flexibilidade de volume e mix. Hill (2000) introduz o conceito de *order winners* e *order*

qualifiers. Um *order winner* seria uma característica que faz com que um produto seja preferido em relação ao outro. Um *order qualifier* é uma característica que permite o produto entrar ou mesmo manter no mercado.

As categorias de decisão constituem o modelo que é utilizado para formular uma estratégia de produção. A estratégia de produção é o conjunto de políticas para áreas como processo produtivo, capacidades, instalações, qualidade, planejamento e controle da produção e medição de desempenho.

A principal prioridade competitiva ligada ao ponto de diferenciação é a velocidade de entrega. Se a velocidade de entrega é um *order winner* o ponto de diferenciação deve ser posicionado mais próximo do produto final do que fazem os concorrentes. O pedido do cliente entra na cadeia de suprimentos no ponto de diferenciação, portanto as atividades posicionadas após o ponto de diferenciação devem ser competitivas em relação a velocidade de entrega.

As operações posicionadas antes do ponto de diferenciação por outro lado tem foco em manter um nível de volume e mix de estoque ótimo no ponto de diferenciação. Uma vez que estas operações são baseadas em previsões não tem foco na velocidade de entrega e sim na redução de custos através de otimização. Sendo assim a prioridade competitiva move-se para o preço - através da redução de custos.

Em relação às categorias de decisão dentro de uma estratégia de produção, as diferenças entre as operações a montante de a jusante do ponto de diferenciação são evidentes. Uma política de produção tipo fluxo contínuo é mais aplicável para as atividades a montante do ponto de diferenciação, uma vez que o número de produtos é mais limitado. As atividades a jusante do ponto de diferenciação remetem ao emprego de uma política mais flexível como o job shop.

Desta forma estrategicamente as atividades de qualidade, planejamento, controle e melhorias terão foco na eficiência do processo para as atividades anteriores ao ponto de diferenciação e foco na entrega dos produtos aos clientes nas atividades posteriores.

As medições de *performance* devem ter foco nos critérios ganhadores de pedido (*order winners*) e critérios qualificadores (*order qualifiers*) para cada parte do processo em torno do ponto de diferenciação. Isto quer dizer que custo e produtividades são medidas de performance importantes para as operações a montante uma vez que preço é o critério ganhador de pedido dominante. Já as atividades a jusante devem ser medidas em termos de flexibilidade e *lead time* de entrega.

Concluindo esta análise fica evidente que as organizações devem diferenciar estrategicamente as atividades pré e pós ponto de diferenciação.

Fatores que afetam a posição do ponto de diferenciação

Segundo Olhager (2003) vários são os fatores que influenciam a posição do ponto de diferenciação e estes podem ser divididos em três grupos: fatores relacionados ao mercado, ao produto e a produção.

Fatores relacionados ao mercado

O *lead time* de entrega requerido pelos clientes restringe diretamente o quanto o ponto de diferenciação pode ser inserido nos estágios primários do fluxo produtivo.

A incerteza da demanda indica em que proporção é possível e recomendável produzir para estoque ou contra pedido. Baixa incerteza indica que o item pode ser produzido a partir de previsões. Entretanto alta incerteza dificulta as previsões e estes itens tipicamente devem ser produzidos contra pedido.

O nível de customização dos produtos também é importante no sentido de que um alto nível de customização pode tornar a estratégia de produção *make-to-stock* impossível, uma vez que o investimento em estoque de produtos acabados pode ser enorme.

A frequência e o tamanho dos pedidos dos clientes são indicadores de volume e repetitividade. Grandes pedidos de clientes são tipicamente associados a existência de um intermediário entre o produtor e o cliente final como um distribuidor ou atacadista.

Para produtos com alto índice de sazonalidade pode não ser economicamente viável atender a demanda quando ela ocorre. Consequentemente alguns produtos podem ser produzidos para estoque em alguns períodos para antecipar picos de demanda. Desta forma um produto pode ter sua estratégia de produção migrando de *make-to-stock* para *make-to-order* ou *assembly-to-order* dependendo da época do ano. Em alguns casos pode ser suficiente produzir os componentes em períodos de baixa demanda e em seguida realizar a montagem nos períodos de pico de demanda.

Fatores relacionados ao produto

O projeto de produtos modulares é tipicamente relacionado a estratégias *assemble-to-order*. Essas iniciativas são normalmente uma resposta do produtor para criar uma variedade de escolhas para o cliente, um relativo curto *lead time* e eficiência para as operações primárias do fluxo produtivo.

Quando o nível de customização oferecido na linha de produtos interfere nos estágios iniciais de produção uma abordagem *make-to-order* é mais aplicável. Quando a interferência está mais relacionada aos estágios finais de produção a política *assemble-to-order* aplica-se melhor.

Outro fator a ser analisado são os níveis da estrutura do produto. A estrutura do produto demonstra o nível de complexidade do mesmo. Uma estrutura de vários níveis pode ser relacionada a longos *lead times*, sendo assim os vários caminhos ao longo da estrutura do produto devem ser analisados para determinar onde os estoques podem ser posicionados.

Fatores relacionados a produção

O *lead time* de produção é sem dúvida o fator mais importante com impacto no *lead time* de entrega ao cliente. Este relacionamento direto resulta na maior restrição para o posicionamento do ponto de diferenciação. As iniciativas para redução do *lead time* são, portanto importantes para relaxar esta restrição e oferecer mais possibilidades de posicionamento do ponto de diferenciação.

O número de pontos de planejamento, ou seja, o número de recursos (equipamentos, ou células produtivas) que são entendidos como uma entidade do ponto de vista de planejamento da produção restringe os potenciais pontos de diferenciação. Em um ambiente de job shop, por exemplo, os equipamentos são planejados individualmente, conseqüentemente o número de potenciais pontos de diferenciação é enorme. Uma linha de produção dedicada ou mesmo um processo contínuo pode ser encarado como uma única unidade de produção e, portanto oferece apenas duas possibilidades para o ponto de diferenciação, antes e após o processo.

A flexibilidade do processo de produção, com curtos *lead times* por exemplo é um pré-requisito para produzir contra pedido, desta forma um grande número de produtos e customizações podem ser acomodadas no sistema de produção.

Dentro do processo produtivo a posição do gargalo de produção é outro ponto muito importante na definição do ponto de diferenciação. Do ponto de vista de otimização do processo é vantajoso que o gargalo esteja posicionado antes do ponto de diferenciação, pois desta forma ele não está sujeito a volatilidade da demanda e a alta variedade de produtos. Analisando através do ponto de vista dos princípios da produção just-in-time pode ser melhor ter o gargalo após o ponto de diferenciação, pois assim ele processará apenas produtos que estão ligados a um pedido de cliente. Um gargalo de produção pode ser um candidato a ponto de diferenciação especialmente se ele realiza operações importantes é um alto consumidor de recursos da organização.

Os recursos que possuem *setup* dependente da seqüência são melhor posicionados a montante do ponto de diferenciação. Estes recursos podem facilmente transformar-se em gargalos sem um sequenciamento apropriado, o que direciona seu posicionamento antes do ponto de diferenciação.

Aplicação do *postponement* na indústria siderúrgica

No ambiente da indústria siderúrgica as usinas integradas realizam todos os passos de produção, desde a conversão do minério até os produtos finais. Como resultado essas empresas são caracterizadas pelo capital intensivo que suas operações demandam e longos ciclos de produção. A natureza operacional da indústria siderúrgica aliada a necessidade de customização dos produtos finais direciona a adoção de uma estratégia de produção contra pedido – *make to order*. Entretanto estando inseridas em um mercado cada vez mais competitivo e globalizado estas organizações, até então muito tradicionais, estão sofrendo pressões diversas. Com a tendência atual de queda das barreiras tarifárias que protegiam alguns mercados o fator custo já não é mais um diferencial. Desta forma as industriais siderúrgicas estão observando simultaneamente, aumento na variedade de produtos e pressão para redução do *lead time* de entrega – atualmente uma das únicas saídas para alcançar um diferencial competitivo.

Potter et al (2004) afirma que a siderurgia é tradicionalmente uma indústria pesada e sendo o aço uma *commoditie* o preço é elástico. Esta premissa faz com que os vários *players* sejam “*price takers*” onde o preço do produto é definido ao nível do mercado. Além disso, a natureza básica do produto faz com que customizações profundas sejam raras.

Dada a caracterização de *commoditie* para o aço as organizações da cadeia estão continuamente buscando soluções para agregar valor ao produto através de atividades adicionais, tais como corte ou pintura.

Denton et al (2003) afirma que os gestores da indústria siderúrgica vêem a gestão estratégica de estoques como um desafio bem como uma oportunidade para aperfeiçoar as operações. Estoques semi-acabados estrategicamente posicionados na quantidade e mix corretos podem garantir *lead times* curtos e alto nível de confiabilidade nas entregas ao cliente e ao mesmo tempo preservar a eficiência de produção, crucial para as indústrias de capital intensivo. Estas estratégias efetivamente sugerem a mudança de uma arquitetura puramente *make-to-order* para uma arquitetura híbrida *make-to-stock – make-to-order* onde uma parcela dos produtos finais é processada a partir do estoque de produtos semi-acabados.

Em Denton e Gupta (2004) sugere-se que os pedidos de clientes que dispõem-se a pagar um preço prêmio sejam atendidas convertendo-se estoques semi-acabados estrategicamente posicionados em produtos finais. Desta forma os demais clientes continuariam a ser atendidos através de uma estratégia puramente *make-to-order*, ou seja, tendo seus pedidos processados desde a matéria-prima.

Alguns pontos são proibitivos para que 100% dos clientes sejam atendidos por uma estratégia híbrida, dentre eles destacam-se:

- Natureza customizada dos produtos;
- Alto grau de incerteza da demanda;
- Espaço físico necessário para armazenar o estoque de semi-acabados;
- Alto capital de giro empregado nestes estoques.

Em seu trabalho de aplicação da postergação da diferenciação em indústrias de processo, Caux et al (2006) estuda a implementação deste conceito através da adição de um ponto de estoque intermediário entre os dois principais estágios do processo de produção. Avaliando as três possíveis formas de implementação do *postponement* listadas por Lee e Billington (1994) Caux et al (2006) faz uma análise com a indústria de processo.

A primeira estratégia de implementação conhecida como modularização do projeto não aparece como uma possibilidade tendo em vista que na indústria de processo os produtos são relativamente simples. Sendo o resultado de transformações metalúrgicas e operações físicas a partir de uma matéria-prima.

A segunda possibilidade seria a reestruturação dos processos, o que também não seria factível uma vez que os processos são relativamente simples, lineares e a ordem das operações depende fortemente de restrições metalúrgicas.

A terceira das três estratégias defendidas por Lee e Billington (1994) seria a *commonality* de componentes, que na indústria de processo poderia ser interpretada como a divisão do processo produtivo em dois estágios. O primeiro estágio realiza operações padronizadas e o segundo operações diferenciadas. Uma certa quantidade de estoque de produtos padronizados é inserida entre os dois processos e a demanda dos clientes é transferida para este estoque.

Esta implementação causa a divisão do processo produtivo em duas fases comumente chamadas na indústria de processo de fase quente e fase fria, ver figura 2.

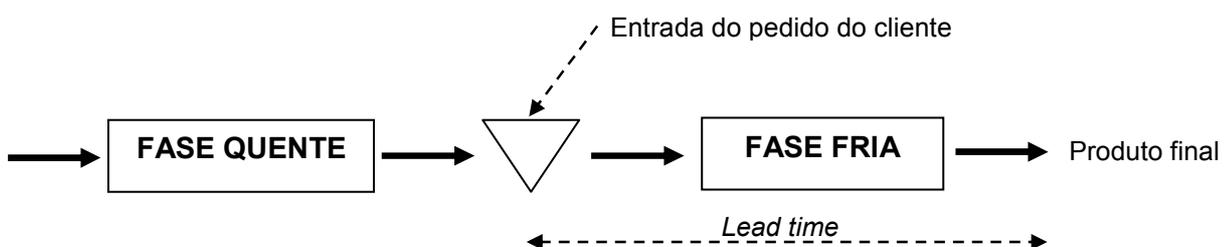


Fig. 2 - Postergação da diferenciação na indústria de processo – adaptado de CAUX et al (2006)

Denton et al (2003) afirma que a siderurgia é uma indústria do tipo *few-to-many*, ou seja, utiliza uma pequena quantidade de matérias primas para produzir uma grande variedade de produtos finais. A diferenciação dos produtos aumenta à medida que as matérias prima seguem em sua “jornada” em direção ao produto final.

As usinas siderúrgicas produzem uma vasta quantidade de produtos finais, normalmente na forma de bobinas planas, chapas, barras ou fio-máquina. O processo produtivo consiste basicamente de dois estágios: um processo primário onde as matérias-prima (minério, carvão, e outras ligas) são convertidas em aço na forma de bobinas e um estágio secundário onde operações de acabamento modificam a estrutura e a superfície do material para atingir as especificações do cliente.

No contexto siderúrgico o posicionamento de estoques em diferentes estágios pode oferecer potenciais diferentes de redução do ciclo de produção. Hipoteticamente se um item final for estocado para um cliente particular é possível, portanto reduzir seu tempo de ciclo virtualmente a zero (assumindo a inexistência de rupturas). Alternativamente posicionar estoques no estágio de placas tem um potencial de redução do tempo de ciclo em 50%, e posicionando na fase de bobinas em 75%.

Denton e Gupta (2004) afirmam que posicionar estoques próximos ao produto final resulta em menores tempos de ciclo, mas maior perda devido à incerteza de demanda. Por outro lado o posicionamento em pontos iniciais do processo resulta em menor perda com a incerteza e maior tempo de ciclo.

A incerteza é o fator que mais afeta o planejamento de estoques nas usinas siderúrgicas. Pelo fato de terem um grande tempo de ciclo estas indústrias iniciam o processo de produção baseada em previsões de demanda. Os pedidos firmes dos clientes são recebidos após o início do processo produtivo dos itens. Os desvios das quantidades originais dos pedidos são comuns e frequentemente causam rupturas ou excessos de estoque. Adicionalmente o mercado de produtos de aço é inerentemente volátil por experimentarem uma amplificação da variabilidade – o chamado efeito chicote - pelo fato de estarem posicionados no início de várias cadeias de suprimentos. Outra causa de incerteza, desta vez no suprimento, é a perda por rendimento ou desvios de qualidade nos vários pontos do processo.

2.2 – Os modelos de análise do *postponement*

A literatura recente apresenta vários exemplos onde a postergação da diferenciação tem sido usada com sucesso para controlar os custos de estoques e ao mesmo tempo manter alto nível de serviço.

Feitzinger e Lee (1997) descrevem como a postergação da diferenciação através de operações reversas e utilização de componentes comuns ajudaram a divisão de impressoras da HP a customizar seus produtos de maneira econômica.

Gupta e Benjaafar (2004) modelam o efeito de filas nos estágios de um sistema híbrido MTS/MTO. A característica que torna o trabalho diferenciado seria a examinação dos benefícios da postergação da diferenciação quando os *lead times* são dependentes do carregamento e induzidos por um sistema de produção capacitado. O intuito do trabalho de Gupta e Benjaafar (2004) é de manter o modelo simples de maneira a ser utilizado pelos gestores a fim de analisar os *trade offs* em diferentes configurações de produção. A aplicação do modelo objetiva possibilitar a seleção de uma configuração para o sistema de produção com o objetivo de reduzir o custo global, sendo as escolhas possíveis entre o puro MTO o puro MTS e um híbrido que utiliza a postergação da diferenciação. O trabalho de Gupta e Benjaafar (2004) conclui que se existe flexibilidade na escolha do ponto de diferenciação um alto carregamento sugere postergar ao máximo este ponto, similarmente quando possível posicionar os centros de trabalho gargalos no estágio MTS reduz os custos.

O trabalho de Lee e Tang (1997) desenvolve um modelo simplificado para mensurar os custos e benefícios de reprojeter produtos e processos possibilitando a postergação da diferenciação. O modelo é aplicado a casos reais de maneira a possibilitar três abordagens para este reprojeto, a saber: padronização, modularização e reestruturação de processos. Em relação a outros trabalhos disponíveis na literatura o modelo de Lee e Tang (1997) inclui os custos de projeto, processamento, estoques intermediários e adicionalmente discute casos onde estes custos podem tornar a postergação da diferenciação impraticável ou pelo menos onerosa.

O trabalho de Lee e Tang (1997) posiciona-se buscando responder questões do nível operacional do PCP. O modelo desenvolvido propõe-se a programar e sequenciar a produção de uma indústria alimentícia em um ambiente híbrido MTO/MTS, reportando o desenvolvimento de uma política de controle da produção e estoques. A proposta do trabalho de Lee e Tang (1997) é responder se métodos dinâmicos de sequenciamento utilizados em sistemas puramente MTS são também utilizáveis para sistemas híbridos. Através de um estudo de simulação várias heurísticas de sequenciamento são avaliadas em um ambiente

híbrido com demanda estocástica. Pelo trabalho de Soman et al (2006) fica claro que métodos que apresentam boa *performance* em ambiente puramente MTS não necessariamente funcionam bem para situações híbridas.

Soman et al (2004) faz uma revisão de literatura sobre o estado da arte em termos de situações combinadas *Make-to-order* x *make-to-stock* apresentando uma estrutura hierárquica que mostra os níveis e tipos de decisões a serem tomadas em um ambiente híbrido. O artigo separa dois níveis de decisão em relação a implementação da postergação da diferenciação: Um seria a resposta a pergunta se um produto específico deve ter uma abordagem MTO ou MTS, sendo esta uma decisão estratégica e complicada por vários fatores. Um segundo nível de decisão seria responder a questão relativa as políticas de produção e estoques, onde o objetivo seria encontrar um balanço entre datas de promessa de produção e níveis de estoque. O estudo de Soman et al (2004) recomenda ainda o desenvolvimento de modelos de simulação para analisar as decisões MTO/MTS e sua interação entre os produtos e capacidade sob diversos padrões de demanda *setups* e tempo de processo.

Soman et al (2005) apresenta um modelo de auxílio na definição de produtos a serem produzidos MTO ou MTS na indústria alimentícia. A ferramenta desenvolvida consolida alguns conceitos teóricos como a classificação ABC e o ponto de diferenciação em uma lógica que incorpora ainda aspectos de capacidade.

Outra importante contribuição é o trabalho de Donk (2001), onde o conceito de *Decoupling Point* – DP é avaliado, relacionando suas características no ambiente da indústria alimentícia. Donk (2001) desenvolve uma estrutura para apoiar os gestores no balanceamento dos fatores e características de mercado e processo que influenciam a decisão de produzir MTO ou MTS. Através de um estudo de caso demonstra que este tipo de análise remete a discussão acerca da rentabilidade de alguns produtos, o que leva a considerar o planejamento da produção nas decisões estratégicas comerciais. O texto conclui ainda que um dos maiores obstáculos na implementação deste tipo de abordagem esta relacionado a cultura organizacional.

No caso estudado por Kerkanen (2007) a decisão de movimentação para uma abordagem MTO/MTS ainda não foi tomada e o objetivo seria rascunhar uma política de estoques para possibilitar a comparação entre a situação atual MTO e uma potencial situação híbrida MTO/MTS. O modelo desenvolvido objetiva decidir quais as dimensões dos materiais que devem ser mantidos em estoque.

O Caux et al (2006) relaciona a indústria de processo em um ambiente MTS/MTO e propõe um modelo para redução de complexidade através da diminuição do número de placas

mantidas em estoque. O problema de padronização consiste em eleger tamanhos de placas padrão dentre várias dimensões produzidas.

O trabalho de Federgruen e Aviv (2001) desenvolve uma heurística para investigar os benefícios de diferentes estratégias de postergação do ponto de diferenciação e os *trade offs* relativa.

Outro trabalho que divide os níveis de decisão em relação à postergação da diferenciação é o de Denton e Gupta (2004). Este trabalho relaciona as decisões estratégicas e operacionais. O modelo desenvolvido também objetiva determinar quais produtos deve ser mantidos em estoque. Através de um modelo de programação inteira de dois estágios os produtos semi-acabados a serem estocados podem ser escolhidos e o nível de estoque pode ser definido.

Outro trabalho que apresenta um modelo para auxiliar a definição de placas de aço a serem mantidas no estoque foi desenvolvido por Denton et al (2003).

O trabalho de Garg e Tang (1997) analisa produtos com mais de um ponto de diferenciação e afirma que esta situação não vem sendo estudada na literatura. Dois modelos são desenvolvidos: o primeiro modelo é baseado em uma política de controle central na qual apenas estoque de produtos acabados é mantido. O segundo modelo é baseado em uma política descentralizada onde o estoque é mantido após cada estágio do processo produtivo.

A grande maioria dos modelos apresentados aqui está relacionada a produtos montados. Os modelos voltados a indústria de processo vêm de estudos realizados em indústrias alimentícias. Segundo Kerkanen (2007) a insuficiência de abordagens matemáticas na solução de sistemas híbridos MTO/MTS é evidente (Soman et al., 2004) e a principal razão é a dificuldade de modelar o problema de maneira precisa. Por esta razão a maioria dos métodos de análise é do tipo “*frameworks*”.

O modelo desenvolvido aqui é voltado para um ambiente de indústria de processo – siderurgia onde uma abordagem historicamente MTO vem dando lugar a iniciativas híbridas MTO/MTS. Este trabalho difere-se dos trabalhos voltados até agora desenvolvidos pelas análises feitas a seguir:

A grande maioria dos trabalhos é basicamente direcionada a sistemas de produção do tipo discreto, principalmente de produtos montados – eletroeletrônicos, por exemplo. Outra característica é que se apresentam mais como frameworks do que como abordagens quantitativas. Dentre estes frameworks destacam-se Gupta e Benjaafar (2004) onde vários parâmetros (nível de ocupação, números de itens, nível de serviço, etc.) são avaliados em cada tipo de ambiente. O modelo desenvolvido por Soman et al (2006) utiliza simulação para avaliar a *performance* de várias heurísticas de sequenciamento em um ambiente híbrido.

Outros trabalhos, agora voltados para a indústria de processo, principalmente a alimentícia são basicamente três: Donk (2001) que é novamente um *framework* para escolha dos produtos a serem produzidos MTO, MTS ou via sistema híbrido. Soman et al (2005) também desenvolve uma ferramenta de auxílio a tomada de decisão para escolher quais produtos seguirão a estratégia MTO e quais seguirão a estratégia MTS. Já Soman et al (2006) propõe-se a solucionar o problema de redução da complexidade dos produtos semi-acabados a serem mantidos no estoque intermediário, através de um modelo de programação linear. O modelo é aplicado ao caso de uma indústria de alumínio para otimização do número de placas mantidas em estoque.

Os trabalhos de Kerkanen (2007), Denton e Gupta (2004) e Denton et al (2003) apesar de relativos a siderurgia estão diretamente relacionados a escolha dos materiais a serem mantidos em estoque quando da migração para um sistema híbrido MTO/MTS.

O modelo desenvolvido neste trabalho está relacionado a indústria de processo, precisamente a siderurgia. O objetivo aqui é avaliar a interação entre diferentes abordagens de produção inseridas em um mesmo contexto produtivo. Assim como nos trabalhos de Gupta e Benjaafar (2004) e Soman et al (2006) o modelo não busca a escolha de produtos a serem estocados, e sim avaliar sob determinados aspectos os custos e benefícios da migração para uma abordagem híbrida.

2.3 – Gestão de Estoques

Segundo Hax e Candea (1984) são quatro as categorias de sistemas de estoques: sistemas de estoque puros, sistemas estoque-produção, sistemas estoque-distribuição e sistemas estoque-produção-distribuição. As políticas de estoque são preliminarmente distribuídas em duas classes: revisão contínua ou revisão periódica.

Hax e Candea (1984) listam as seguintes políticas de estoque:

- Políticas de revisão contínua (s,Q) ; (s,S)
- Políticas de revisão periódica (S,R) ; (s,S,R) e (nQ,s,R)

Segundo Hax e Candea (1984) nos modelos de sistemas de estoque puros a demanda é assumida como estacionária e a “quebra” desta premissa sugere a adoção de modelos dinâmicos para demanda variando no tempo.

Modelos dinâmicos possuem um horizonte finito de planejamento que consiste de T períodos e a demanda (d_i , $i=1,2,3,\dots,T$) é apresentada para cada período i . Esta demanda pode ainda ser determinística ou estocástica.

Em um caso simples onde a demanda é determinística e não varia com o tempo um lote econômico pode ser pedido precisamente levando em conta o *lead time* para que o reabastecimento aconteça quando necessário.

Quando a demanda é determinística, mas varia ao longo do tempo a mesma idéia pode ser aplicada exceto pelo fato de que o tamanho do lote também deve variar ao longo do tempo.

Na situação onde a demanda é estocástica a utilização dos modelos de estoque, seja de revisão contínua ou revisão periódica, deve levar em conta que os parâmetros de controle (Q , s , S) também se tornam variáveis ao longo do horizonte de planejamento.

Uma variação dos modelos puros para a demanda estacionária que contempla as características necessárias para o gerenciamento em condições de demanda estocástica e variável ao longo do tempo é o *Time-phased order point* (TPOP).

Ao desenvolver modelos de simulação para análise de estoques escolha a ser feita é entre um método analítico que gera soluções ótimas, mas tem um modelo bastante simplificado em relação ao problema real, e outro método (a simulação) que não garante soluções estritamente ótimas, mas permite que o modelo utilizado seja mais próximo da realidade.

Modelos matemáticos exatos existem apenas para certos casos restritos de demanda estocástica e *lead times* determinísticos (Badri,1999).

Especialistas acreditam que até mesmo os problemas que possuem métodos analíticos de solução podem e às vezes até devem ser simulados, pois a simulação permite uma experimentação mais fácil do problema.

Segundo Badri (1999) o uso de simulação na gestão de estoques é uma resposta a necessidade de procedimentos formais para tomada de decisão que possam levar em conta as complexidades e mudanças no sistema.

As políticas de estoque utilizam equações para determinar parâmetros específicos, estas equações, entretanto são baseadas em premissas e hipóteses restritivas para tornar a análise rastreável. Através do uso da simulação estes pressupostos podem ser evitados (Badri, 1999).

Política de revisão periódica

A escolha por políticas de revisão contínua ou revisão periódica é normalmente baseada nas vantagens percebidas em relação a cada uma delas. Estas vantagens podem ser quantitativas ou qualitativas. Segundo Rao (2003) a revisão periódica poderia ser preferida em função da facilidade de execução ao passo que na revisão contínua podem ser necessários maiores investimento tecnológicos. A revisão periódica pode ser preferida também devido a redução de custos no agrupamento de ordens de ressuprimento de diferentes produtos. Podem ainda ser considerados benefícios qualitativos devido ao acompanhamento de um programa regular de ressuprimento. Esta última característica dos modelos de revisão periódica foi explorada através de abordagens onde o tamanho de pedido (Q) e os intervalos de revisão (T) foram mantidas constantes. O modelo desenvolvido por Rao (2003) analisa o caso de um único item com *lead time* constante e desconsidera a perda de vendas. Outros modelos são desenvolvidos para determinar os parâmetros de controle do sistema de revisão periódica, dentre estes métodos podem ser levantadas duas linhas distintas: métodos que minimizam o custo total (Hadley and Whitin, 1963) e métodos que objetivam alcançar um nível pré-estabelecido de nível de serviço (Schneider, 1981 e Tijms e Groenevelt, 1984).

Estoque de Segurança

Segundo Krupp (1997) apesar da ênfase dada atualmente nos conceitos da metodologia JIT existem muitos ambientes onde a variabilidade da demanda gera a necessidade de estoques de segurança.

Zin e Marmorstein (1990) apresentam um estudo utilizando simulação que compara dois métodos de determinação do estoque de segurança, um focado na variabilidade da demanda e outro na variabilidade do erro da previsão de demanda. A abordagem com foco na

variabilidade do erro da previsão apresentada por Brown (1977) utilizada e adaptada em estudos feitos por Herron (1987) e por Dror e Trudeau (1988) demonstra a necessidade de menores volumes de estoque de segurança. Na abordagem focada na variabilidade da demanda a previsão implicitamente disponível seria a demanda média, diferentemente desta segunda formulação que considera as informações de um modelo de previsão de demanda. O fato da previsão de demanda ser potencialmente mais precisa (considerando a utilização de modelos de previsão de demanda) que a média da demanda real garante menores desvios padrão para o erro da previsão de demanda do que o desvio da demanda real.

Segundo Zin e Marmorstein (1990) uma vez que o erro da previsão de demanda pode ser aproximado por uma distribuição normal, a probabilidade de ruptura é função do número de desvios padrão do erro da previsão mantidos no estoque de segurança.

2.4 - Dimensionamento de lotes

Considerando a organização de um sistema de produção típico temos uma arquitetura constituída de várias células de produção que podem ser implementadas de várias formas (linhas contínuas ou centros de trabalho, por exemplo). Esta macroestrutura pode ser então refinada em microestruturas destinadas a realizar um conjunto de operações. A matéria prima e os componentes são então inseridos neste complexo sistema concorrentemente a fim de serem processadas ou montadas até que um produto final esteja pronto para ser despachado. O planejamento e programação da produção é um dos mais assuntos mais desafiadores para o gerenciamento deste sistema. Uma abordagem hierárquica, partindo de decisões de longo até decisões de curtíssimo prazo mostra-se razoável. Esta abordagem hierárquica tem seus princípios discutidos nos trabalhos de Hax e Meal (1975) e Britan e Hax (1977).

Tendo como foco as decisões de médio-curto prazo o objetivo é de dimensionar lotes e a correspondente programação da produção, com a finalidade de atender os prazos estabelecidos, respeitando a capacidade limitada de fabricação, considerando os custos de armazenamento dos itens e o custo de produção, bem como levando em conta o tempo de preparação das máquinas (*setup*) dependente da seqüência do processo. Por razões econômicas encontrar um plano que atenda os requisitos apresentados não é suficiente, usualmente os planos de produção podem e devem ser avaliados através de uma função objetivo (que mede, por exemplo, os custos de estoque e *setup*), desta forma o problema é definido como: Encontrar um plano de produção factível com um valor ótimo, ou próximo do ótimo, para a função objetivo.

O problema de dimensionamento de lotes de produção surgiu como parte da lógica do MRP, cujo objetivo é determinar um plano de produção baseado em previsões de demanda de cada produto final ao longo de um horizonte de planejamento de T períodos, com estrutura conhecida de produtos e tempo de produção de cada item também conhecido. O problema de dimensionamento de lote, abordado inicialmente pelo clássico modelo chamado de *Economic Order Quantity* (EOQ) - Erlenkotter (1990) considerava o processo de produção em um único nível, sem restrições de capacidade, com demandas estacionárias e horizonte de planejamento infinito. Uma vez que as considerações mostram-se muito longe da realidade novos estudos surgiram impondo restrições adicionais, tais como: o *Economic Lot Scheduling Problem* (ELSP) – Rogers (1958) e Elmaghraby (1978) com capacidade disponível limitada. Entretanto o ELSP ainda assume demanda estacionária e um horizonte de planejamento infinito.

Um avanço um pouco diferente em relação ao EOQ foi a introdução de uma condição de demanda dinâmica. O também conhecido modelo de Wagner e Whitin (1958) assume um horizonte de planejamento finito que é então subdividido em períodos discretos. A demanda é colocada por período e pode variar ao longo do tempo. Entretanto novamente aqui os limites de capacidade não são considerados.

Uma outra geração de modelos de dimensionamento de lotes de produção combina abordagens capacitadas e dinâmicas, além de em alguns casos integrar decisões de sequenciamento destes lotes. Nesta geração inclui-se o *Capacitated Lot Sizing Problem* (CLSP) revisado por Karimi et al (2003) e Drexel e Kimms (1997) coloca que o CLSP pode ser entendido como uma extensão do modelo de Wagner-Whitin com a inserção da restrição de capacidade. No CLSP a capacidade disponível é limitada e o horizonte de planejamento finito dividido em vários períodos, com dimensionamento de lotes em cada período. Uma abordagem usual é a resolução do CLSP e depois analisar o problema de sequenciamento, que não está integrado no modelo de dimensionamento de lotes.

Fleischmann (1990) apresenta o modelo *Discrete Lot Sizing and Scheduling Problem* (DLSP), que integra as decisões relacionadas ao dimensionamento do lote à programação da produção, dividindo cada período em micro-períodos e restringindo em cada micro período a produção de apenas um item, utilizando toda a capacidade disponível. A consideração fundamental do DLSP é a chamada “produzir tudo ou nada”, ou seja, apenas um item pode ser produzido por período, e em sendo produzido ele ocupa toda capacidade disponível no período.

Um modelo similar ao anterior seria o *CLSP – Continuous Setup Lot Sizing Problem* onde a principal diferença reside na eliminação da consideração de “produzir tudo ou nada”, no entanto apenas um item pode ser produzido por período.

Um ponto fraco do CLSP é que se a capacidade de um período não é utilizada completamente a capacidade restante tem que ser desprezada. No *Proportional Lot Sizing and Scheduling Problem* (PLSP) - Drexel e Haase (1995) - a idéia básica é utilizar a capacidade restante no período para sequenciar um segundo item. Uma vez que dois itens são produzidos em um único período, precisa ficar claro em que seqüência eles serão produzidos. O PLSP assume que o estado de setup do equipamento pode mudar no máximo uma vez em cada período.

Já o modelo *General Lot Sizing and Scheduling Problem* (GLSP) – Fleischmann, e Meyr (1996) aceita um maior número de troca de itens por macro período, respeitando-se a capacidade disponível. Entretanto aqui a consideração fundamental é que um parâmetro de entrada define o número de lotes de produção por período.

Um modelo de programação inteira mista pode ser formulado como:

$$\text{Minimizar: } \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T (s_j x_{jt} + h_j I_{jt}) \quad \textcircled{1}$$

Sujeito a:

$$I_{jt} = I_{j(t-1)} + q_{jt} - d_{jt}, \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{2}$$

$$p_j q_{jt} \leq C_t (y_{j(t-1)} + y_{jt}), \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{3}$$

$$\sum_{j=1}^J p_j q_{jt} \leq C_t, \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{4}$$

$$\sum_{j=1}^J y_{jt} \leq 1, \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{5}$$

$$x_{jt} \geq y_{jt} - y_{j(t-1)}, \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{6}$$

$$y_{jt} \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{7}$$

$$I_{jt}, q_{jt}, x_{jt} \geq 0, \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{8}$$

Onde:

s_j - Custo de *setup* do produto j ;

x_{jt} - Variável de decisão, assume valor igual a 1 se for feito *setup* do produto j no período t , e 0 caso contrário;

h_j - Custo de manutenção de estoque do produto j ;

I_{jt} - Quantidade de estoque do produto j ao final do período t ;

q_{jt} - Quantidade produzida do produto j no período t ;

d_{jt} - Quantidade demandada do produto j no período t ;

p_j - Tempo necessário para produção de uma unidade do produto j ;

C_t - Capacidade disponível da máquina no período t ;

y_{jt} - Variável de decisão, assume valor igual a 1 se a máquina estiver preparada para produzir o produto j no período t , e 0 caso contrário

Na formulação acima temos:

A equação 1 – Função objetivo: Minimizar a soma dos custos de *setup* e manutenção de estoques;

A equação 2 – Restrição de balanço de estoques – garante o atendimento da demanda;

A equação 3 – Restrição de *setup* - assegura que a produção de um item em determinado período só ocorra se a máquina estiver preparada para produzir este item no início ou no final deste período;

A equação 4 – Restrição de capacidade – garante que os limites de capacidade da máquina sejam respeitados;

A equação 5 – Restrição de estado de preparação da máquina – variável binária que indica se a máquina está preparada para produzir o item j no período t ;

A equação 6 – Relaciona a variável de *setup* com a variável de estado de preparação da máquina;

A equação 7 – Assegura que a variável de estado de preparação seja binária;

A equação 8 – Restrição de não negatividade.

No modelo PLSP dois itens podem ser produzidos em um mesmo período, sendo assim é necessário que seja explícito qual a seqüência de produção destes itens. Esta necessidade demanda a interpretação da condição de preparação da máquina, ou seja, a situação de *setup* precisa ser continuamente monitorada. Este monitoramento é feito através da variável y_{jt} . O PLSP assume que a mudança de estado de *setup* pode ocorrer no máximo uma vez a cada período. A produção em um determinado período pode ocorrer se a máquina está preparada no início ou no final do período e, portanto no máximo dois itens podem ser produzidos por período. Períodos onde não houver produção entre dois outros com produção de um mesmo item não incorrem em custos de *setup* adicionais.

2.5 – Simulação Computacional

Introdução

Simulação computacional é uma bem estabelecida ferramenta de suporte à decisão na indústria de manufatura (Perera e Lyanage, 2000). Provê aos gestores a base de informação necessária para a tomada de decisão, como por exemplo, em relação a grandes investimentos em expansão ou mudanças nas plantas de produção.

Simulação é a representação, normalmente em computador, de um sistema real, com o objetivo de análise do comportamento deste sistema. De acordo com Banks et al (2005), simulação é a imitação de uma operação de um processo real ou sistema. É utilizada para testar alternativas de mudanças sem, contudo, alterar o sistema real, como também para identificação de gargalos nos processos produtivos. Pode também ser utilizada para simular novos sistemas, antes de suas implementações. Como exemplo, saber como a alteração no comprimento da mesa de corte ou mesmo a contratação de mais um funcionário na indústria de confecção, irá aumentar a produtividade.

É uma experimentação simples, que pode tomar a forma de questões do tipo “E se fizéssemos esta mudança, qual seria o impacto no sistema?”. Por exemplo, em um projeto de mineração, podemos questionar o resultado esperado do negócio caso o dólar esteja em um determinado valor frente ao real.

Pidd (1998) declara:

“Os métodos de simulação computacional têm se desenvolvido deste o início da década de 60 e podem ser uma das mais comumente ferramentas analíticas usadas na ciência do gerenciamento. Os princípios básicos são suficientemente simples. O analista constrói um modelo do sistema de interesse, cria os programas computacionais que incorporam o modelo e usa um computador para imitar o comportamento do sistema quando sujeito a uma variedade de políticas operacionais. Desta maneira, a política mais desejável poderá ser selecionada”.

A simulação é utilizada especialmente para sistemas mais complexos, onde métodos algébricos, teorias de probabilidade e cálculo diferencial não são suficientes para solucionar problemas matematicamente (Banks et al, 2005). O projeto de sistemas de manufatura se torna uma tarefa complexa e cara para as pequenas e médias empresas como também para as grandes organizações. Muitos dos problemas relacionados ao projeto e operação de sistemas de manufatura são também complexos para permitir um tratamento matemático. Como

resultado tem-se um crescente reconhecimento da aplicabilidade da simulação no ambiente de manufatura (Badwin et al, 2000).

Aplicabilidade

Estudos de simulação têm sido aplicados em diversos setores como na simulação de processos da indústria de manufatura, simulação de sistemas públicos (bancos), sistemas de transporte (logística, transporte de passageiros), na mineração e siderurgia.

Gupta et al (2001) justificam a utilização da simulação como aceleradora do desenvolvimento de novos produtos, reduzindo o ciclo do desenvolvimento, necessidade imposta pela intensa competição na economia global, que pressiona as companhias a conceberem, projetarem e produzirem novos produtos de forma rápida e barata. O desenvolvimento de ambientes de simulação com suas ferramentas de visualização de processos permite detectar possíveis problemas que poderiam ocorrer nas montagens dos produtos.

Duffuaa et al (2001) desenvolveram um modelo de simulação para o complexo processo de manutenção, normalmente iniciado com a quebra de máquinas e equipamentos ou mesmo de manutenções preventivas, o que envolve alocação de recursos e programação de serviços. Os estudos de simulação nesses casos permitem um maior conhecimento sobre os processos, as necessidades de mão de obra e de peças reservas, bem como o impacto das prioridades adotadas para o sistema de manutenção.

A simulação computacional é uma poderosa ferramenta de suporte aos processos de melhoria contínua, como mostra Adams et al (1999), nos estudos de mudança de layout e de número de funcionários em duas empresas americanas. É também utilizada para avaliar a confiabilidade de sistemas, como apresentado por Pinto e Saliby (1994) em seu artigo sobre a confiabilidade de redes em um sistema de comunicação.

A utilização da simulação também se expande a outros horizontes. Modelos de simulação têm tido grande importância, na pesquisa relacionada ao desenvolvimento sustentável do planeta, sendo uma ferramenta de estudo, aprendizado e comunicação. A experimentação direta, neste caso, é demorada, deve ser feita em larga escala e requer orçamento elevado. É o exemplo do famoso experimento ecológico, Biosfera 2, com orçamento acima de US\$ 200 milhões. Portanto a utilização da simulação computacional vem tomando mais importância no estudo de sistemas ecológicos complexos e tem sido utilizada, por exemplo, para simular o crescimento habitacional do planeta, o consumo mundial de água potável, a utilização do solo para plantio de grandes áreas e os efeitos da emissão de CO₂ na atmosfera (Chi, 2000).

Vantagens e Desvantagens da Simulação

Hoje vivenciamos um processo constante de desenvolvimento dos softwares de simulação, que estão cada vez mais fáceis de usar, permitindo uma modelagem e simulação em menor prazo e uma visualização dos resultados dos sistemas estudados, se uma ou outra alternativa de mudança fosse adotada. O estudo de processos através da simulação computacional apresenta como principais vantagens:

- A simulação de um sistema de produção que ainda está em fase de projeto, antes de sua construção, buscando observar seu comportamento operacional, como por exemplo, avaliação de sua eficiência quando estiver em operação;
- Suporte à análise econômico-financeira de investimentos;
- Teste de novas políticas e procedimentos operacionais, sem a interrupção do sistema real;
- Teste de condições de segurança associadas às mudanças a serem implementadas;
- Visualização mais rápida do comportamento do sistema frente a alterações de processo, se comparado com outras formas de implementação de mudanças, especialmente do tipo tentativa e erro;
- Determinação e estudos de gargalos existentes no sistema;
- Conhecimento de como o sistema funciona verdadeiramente, ao contrário de se basear no funcionamento descrito pelas pessoas que o operam;
- Em consequência dos pontos acima tratados, tem-se um menor custo da simulação se comparado com o custo de experimentações diretas, que envolvem grandes somas de dinheiro e de pessoas, nem sempre alcançando os resultados desejados.

Como desvantagens têm-se:

- Construção de modelos exige treinamento especial;
- Dificuldade na interpretação dos resultados;
- Modelagem pode consumir tempo e ter custos altos.

Porém as desvantagens citadas anteriormente são amenizadas através do uso de simuladores e *templates*, que facilitam a utilização, sem necessidade de treinamentos especiais, pelo aumento constante na capacidade de análise dos softwares, que facilitam a interpretação dos resultados e pelo aumento na capacidade de construção de modelos dos softwares, que tem facilitado a modelagem.

Modelos de Simulação

Os sistemas reais de produção se apresentam normalmente como sistema discreto, onde as variáveis do processo mudam somente num conjunto discreto de pontos no tempo (por

exemplo, o nº. de pedidos muda somente na chegada de um novo pedido) ou como sistema contínuo, onde as variáveis de estado mudam continuamente no tempo (por exemplo, o nível de um tanque de um produto químico utilizado no processamento).

Os modelos de simulação são tipificados como: matemático, que utiliza notações simbólicas e equações matemáticas para representar um sistema, ou físico, como uma maquete ou estação reduzida de uma fábrica; estático, que representa um sistema num momento particular no tempo ou dinâmico, representando sistemas que mudam com o passar do tempo (por exemplo, a simulação de um setor de recebimento de pedidos na indústria de confecção, das 7h00min às 17h00min); determinístico, quando contém um conjunto de entradas conhecidas que irão resultar em saídas conhecidas e não contém variáveis aleatórias (por exemplo, chegada de clientes no consultório médico, respeitando os horários marcados com a secretária) ou estocásticos, quando possui uma ou mais variáveis aleatórias.

O manuseio do tempo (*time handling*) em simulação pode ser feito através do avanço do relógio (*time-slicing*) em intervalos regulares de tempo, como por exemplo, avançar a cada 1 minuto, ou 1 hora, dependendo do estudo que estiver sendo realizado e observar o comportamento do sistema. Existe a dificuldade em se determinar qual o tamanho deste intervalo de tempo, pois o que ocorre dentro do intervalo não pode ser observado. Para resolver o problema do manuseio do tempo e simulações de sistemas complexos, com intervalos não regulares entre os eventos, é utilizada a técnica do próximo evento, onde o sistema só é observado quando houver uma mudança de estado, ou seja, quando iniciar ou terminar um evento. Como exemplos, a chegada (ou saída) de um cliente do banco, o início (ou término) de um atendimento do cliente pelo bancário. Pidd (1998) destaca como vantagens do uso da técnica do próximo evento, o incremento automático no tempo de acordo com os eventos, o que evita a checagem desnecessária do sistema e deixa claro quando um evento significativo ocorre. Este trabalho considera modelos de simulação que representam sistemas de eventos discretos, dinâmicos e estocásticos.

Etapas da Simulação

Pidd (1998) recomenda que o analista, antes de construir o modelo de simulação e o programa computacional, identifique:

- A natureza do sistema que está sendo estudado;
- A natureza do estudo;
- Objetivos do estudo;
- Resultados esperados;

- Nível de detalhe e precisão requerida para a simulação.

Num âmbito geral, a simulação de um sistema envolve as etapas a seguir descritas, adaptadas de Banks et al (2005):

1. Formulação do problema: enunciado do problema; deverá ser facilmente entendido por todos os envolvidos; normalmente reformulado com o andamento do estudo.
2. Definição dos objetivos e plano geral do projeto: os objetivos indicam as questões a serem respondidas pela simulação; o plano geral do projeto descreve as alternativas de estudo; inclui as pessoas e custos envolvidos, o tempo necessário e os resultados esperados para cada fase do trabalho, além do software de suporte, as variáveis de processo e o sistema de coleta de dados.
3. Construção do modelo: requer a habilidade de extrair as principais características de um sistema, selecionar e modificar as principais hipóteses que caracterizam o sistema e então melhorar o modelo até conseguir resultados aproximados ao sistema real; em sistemas mais complexos, pode-se iniciar o modelo com menos elementos e depois ir agregando os demais elementos, até que o modelo atenda os propósitos do estudo (e não mais que isso).
4. Levantamento dos dados: durante a construção do modelo se faz necessário o levantamento de dados de processo, de forma a facilitar ou mesmo permitir uma aproximação ao sistema real; quanto mais complexo for o sistema em modelagem, maior será esta inter-relação entre a construção do modelo e o levantamento de dados; os dados a serem levantados, definidos inicialmente nos objetivos do projeto, serão mais bem identificados durante a construção do modelo.
5. Implementação computacional (codificação): o programador deverá decidir qual programa ou linguagem será utilizada para rodar a simulação e de acordo com os levantamentos, construir o modelo.
6. Verificação do modelo computacional: após a construção do modelo computacional, são realizados testes gerais para saber se o modelo está rodando satisfatoriamente.
7. Validação do modelo computacional: é a confirmação de que o modelo está representando satisfatoriamente o sistema real; dados mais recentes são utilizados para comparar o sistema real com o modelo gerado no computador; modificações são feitas no modelo até que ele represente, a um nível aceitável, o sistema real em estudo.
8. Desenho experimental: consiste na definição das alternativas propostas e alterações relacionadas no modelo construído.

9. Teste das alternativas e análise dos resultados: o modelo é rodado segundo os novos parâmetros em estudo e desempenho do sistema, resultante destas alterações, é então analisado.

10. Novos testes: se necessário, o modelo deverá ser rodado quantas vezes necessárias para complementar as análises.

11. Documentar o programa e relatório final: documentar o programa consiste em registrar como o programa foi gerado, de forma a permitir a interpretação dos resultados e a reutilização do modelo em novos estudos; as formas como foram realizadas as análises e seus resultados, deverão ser documentadas de forma clara em relatório próprio, permitindo a tomada de decisão em relação ao sistema.

12. Implementação: consiste na alteração do sistema real, baseadas nos resultados do modelo de simulação.

Simulação de Eventos Discretos

A simulação de eventos discretos se baseia nos conceitos de fila e tempos de serviço, observável em qualquer processo de manufatura: as filas são os estoques de peças aguardando para serem processados nas máquinas num determinado tempo de serviço. Independente da linguagem utilizada, o uso da simulação se apresenta aplicável e, considerando a necessidade de uma base para a tomada de decisões, justificável e necessária.

Para realização de um estudo de simulação, algumas abordagens são consideradas, a saber:

- A forma de manipulação do tempo;
- Se as durações são determinísticas ou estocásticas;
- Se as trocas de estado são discretas ou contínuas.

Sobre a manipulação do tempo, uma das vantagens da simulação é a possibilidade de controlar a velocidade com que as alterações no estado do modelo se processam. O estado de um sistema é definido por Banks et al (2005) como sendo a coleção de variáveis necessárias para descrever o sistema em um determinado momento, relativas aos objetivos do estudo. No estudo de uma agência bancária, as possíveis variáveis de estado podem ser os caixas que estão atendendo, o número de clientes que estão na fila aguardando atendimento ou que estão sendo atendidos e o tempo de chegada do próximo cliente à agência. Um evento é definido como uma ocorrência instantânea que pode mudar o estado do sistema, por exemplo, a chegada de um novo cliente ou o final de um atendimento. A essência da simulação é que as trocas de estado do sistema são modeladas através do tempo. Assim, é importante considerar

como o fluxo de tempo deve ser manuseado ao longo da simulação. Conforme apresentado no item 3.4, as formas de manipulação do tempo em uma simulação podem ser através:

- da divisão do tempo em intervalos regulares (“*time-slicing*”).
- da técnica do próximo evento.

Exemplos: instante 52 = começa o atendimento

instante 54 = termina o atendimento

instante 54,7 = chegará um novo cliente no sistema

Do instante 52 ao 54 não existe mudança de estado no sistema.

Terminologia Utilizada em Simulação

Existem alguns termos comuns que são utilizados pelos desenvolvedores nos estudos de simulação, descrevendo os principais elementos que os compõem. Banks et al (2004) apresentam um descritivo desta terminologia, complementada por termos de uso geral em simulação:

- Sistema: coleção de entidades (exemplo: pessoas e máquinas) que interagem entre si durante algum tempo, para realizar uma ou mais metas.
- Modelo: representação abstrata de um sistema, usualmente contendo o relacionamento estrutural, lógico ou matemático, que descreve um sistema em termos de estado, entidades e seus atributos, conjuntos, processos, eventos, atividades e atrasos.
- Estado de sistema: coleção de variáveis que contêm todas as informações necessárias para descrever o sistema a qualquer momento.
- Entidade: qualquer objeto ou componente no sistema que requer uma representação explícita no modelo (ex.: um servidor, um cliente, uma máquina).
- Atributos: propriedades de uma determinada entidade (exemplo, a prioridade de um cliente esperando, a rota de uma tarefa através de um sistema “*job shop*”). Os atributos são itens que informam determinadas características de uma entidade e servem para dois propósitos: distinguir membros de uma mesma classe de entidades; caracterizar cada entidade; e controlar o comportamento das entidades, ou seja, controlar o fluxo do atributo (se idoso vai para fila 1, se não fila 2). Pertencem às entidades, as diferenciando entre si. Por exemplo, o peso ou sexo de cada aluno, que pode também ser transformado em um atributo numérico, onde se do sexo masculino recebe o valor 1; se do sexo feminino recebe o valor 2.
- Lista: coleção de entidades (permanentes ou temporárias) associadas, ordenadas em alguma forma lógica (como todos os clientes esperando numa fila, ordenados por “primeiro que chega, primeiro a ser atendido” ou por prioridade).

- Evento: ocorrência instantânea que muda o estado de um sistema (ex.: a chegada de um novo cliente).
- Sinal de Evento: anotação de que um evento está para ocorrer no momento atual ou futuro próximo, junto com algum dado associado necessário para execução do evento; no mínimo, as informações incluem o tipo de evento e a duração do evento.
- Lista de Eventos: lista de informações de futuros eventos, ordenados por momento de ocorrência; também conhecida como lista de eventos futuros (*FEL – Future Event List*).
- Atividade: duração de tempo de dimensão especificada, conhecida quando ela começa. Por exemplo, o tempo de atendimento ou tempo entre chegadas. Pode ser definida em termos de uma distribuição de probabilidade. Uma duração de atividade pode ser especificada de forma determinística (por exemplo, o tempo de atendimento que sempre é 5 minutos), estatística (por exemplo, gerada aleatoriamente a partir de uma distribuição de probabilidades: 2, 5, 7), ou como função dependente de variável do sistema e/ou atributos da atividade (por exemplo, o tempo de carregamento de um navio com minério de ferro dependerá da capacidade do navio e da capacidade de carregamento por hora). Complementado: são as operações e procedimentos que são iniciados em cada evento. Representa todas as ações que demandam tempo. Precisa de pelo menos uma entidade para ocorrer.
- Demora: duração de tempo de dimensão não especificada, que não é conhecida até seu término, como por exemplo, a demora do cliente na fila no sistema último a chegar, primeiro a sair – LIFO, no qual seu atendimento dependerá das chegadas futuras.
- Relógio da simulação: variável representando o tempo da simulação; representa o instante corrente da simulação.

Complementando a terminologia da simulação de eventos discretos, temos:

- Conjuntos: são também conhecidos como listas, filas ou correntes. Uma coleção de entidades associadas (permanentes ou temporárias), organizadas de alguma forma lógica (como todos os clientes que estão numa fila de espera, ordenados pelo primeiro nome, primeiro a ser servido ou por prioridade).
- Classes: grupos permanentes de entidades idênticas ou similares. A entidade não é representada isoladamente e sim por classe.
- Entidades Permanentes: permanecem no sistema durante toda a simulação. São criadas antes da simulação. Ficam no sistema todo o tempo de simulação; por exemplo, o caixa do banco.
- Entidades Temporárias: permanecem no sistema apenas parte da simulação. São criadas e posteriormente destruídas para não explodir a memória do sistema, ao longo da simulação; por exemplo, os clientes do banco.

- Variável: característica que pertence ao sistema. Exemplo: navio, trem; podem alterar a variável estoque de minério de ferro.
- Processo: às vezes, é usual agrupar uma seqüência de eventos na ordem cronológica que eles acontecem. Tal seqüência é conhecida como processo e é utilizada para representar parte ou toda a “vida” de uma entidade dentro do sistema. Representa uma classe de entidades. É um conjunto de atividades pelas quais uma classe de entidades passa durante a simulação. Um processo é uma lista de eventos, atividades ou atrasos, seqüenciados no tempo, incluindo demanda por recursos, que define o ciclo de vida de uma entidade quando ela passa através de um sistema.
- Operações: ações efetuadas sobre o material pelos trabalhadores e máquinas (Shingo, 1996).
- Filas: podem ser geradas por uma atividade que requer mais de uma entidade; estado de passividade (como exemplos, o cliente esperando para ser atendido ou o caixa do banco ocioso). Só ocorrem antes de atividades que requerem mais de uma entidade para poderem ser processadas. As disciplinas da fila são: FIFO - *First In, First Out*; LIFO - *Last In, First Out*; Prioridade: depende da leitura do valor de um determinado atributo; e aleatório, que é raramente utilizada.
- Modelo de simulação: representação do processo de todas as entidades. Todos os processos devem estar conectados diretamente (quando existem atividades comuns) ou indiretamente (uso das mesmas variáveis).

Pidd, 1998 faz uma complementação da terminologia, diferenciando os objetos do sistema e as entidades como sendo:

- Entidades: elementos individuais do sistema cujo comportamento se deseja analisar. Representa os elementos físicos do sistema (exemplo o cliente de um banco) que vamos estudar o comportamento; que se movimentam ao longo do sistema.
- Recursos: elementos individuais do sistema que não são modelados separadamente. Um recurso consiste em itens idênticos e o programa mantém um controle sobre quantos itens estão disponíveis a cada momento. Entidades que estão associadas a determinadas atividades (como exemplo o caixa do banco). Os softwares de simulação ARENA e PROMODEL utilizam este conceito. Num lava jato de carros, temos o carro como entidade e o lavador do carro como recurso.
- Entidades Ativas: trabalham em conjunto com outras atividades e as “retêm” durante algumas operações do sistema. Por exemplo, o cliente do banco.
- Entidades Passivas: trabalham em conjunto com outras atividades e são “retidas” por elas durante algumas operações do sistema. Por exemplo o caixa do banco.

Diagrama de Ciclo de Atividades

O Diagrama de Ciclo de Atividades - DCA é uma representação gráfica de modelos de simulação, que auxilia na construção do modelo. Ele mostra as interações entre as diversas entidades de um sistema. De acordo com Pidd (1998):

“Diagramas de ciclo de atividades são formas de modelar as interações das entidades e são particularmente convenientes para modelar sistemas com uma forte estrutura de filas”.

O DCA possibilita um melhor entendimento de todo o sistema que será estudado, facilitando a modelagem computacional.

3 – METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa proposta para elaboração deste trabalho é a Pesquisa-Ação.

Segundo Coughlan e Coghlan (2002) a pesquisa ação (*Action Research – AR*) é um termo genérico que cobre muitas formas de pesquisa orientada a ação, e indica diversidade em teoria e prática entre os diversos pesquisadores em ação. Os resultados da AR são ambos uma ação e pesquisa, ao contrário da ciência positivista tradicional, que objetiva criar conhecimento somente.

Esse tipo de metodologia engloba a participação dos pesquisadores juntamente com as pessoas envolvidas no processo a ser estudado. As decisões tomadas são implementadas e analisadas ao longo da execução das mesmas. Além disso, os pesquisadores são agentes externos que agem como facilitadores de ação e reflexão dentro de uma organização.

De acordo com Coughlan e Coghlan (2002), as principais características que definem a Pesquisa-Ação são:

- Pesquisa na ação;
- Caráter participativo: pesquisadores não são meros observadores, mas atores e agentes de mudança;
- Tem como objetivos a resolução de problemas e contribuição para a ciência;
- Uma sequência de eventos e uma aproximação para solução de problemas.

3.1 – Desenho da pesquisa

A condução deste trabalho foi planejada segundo os passos da pesquisa descritos na tabela 1 e detalhados nos parágrafos seguintes.

Etapas da Pesquisa	
1	Delimitação Teórico-Conceitual
	Definição do tema de estudo
	Desenho da revisão bibliográfica
	Identificação do problema central, hipóteses e objetivos
2	Delimitação do objeto de estudo
	Definição do escopo
	Determinação dos produtos representativos
	Definição dos critérios e parâmetros de desempenho
3	Escolha dos métodos e técnicas
4	Delimitação do escopo de cada método
5	Coleta e análise de dados
6	Desenho e construção do modelo
7	Execução do modelo
8	Análise de resultados

Tab. 1 – As etapas da pesquisa.

Delimitação Teórico-Conceitual

O tema central escolhido para este estudo foram os estoques semi-acabados. A escolha deste tema advém do interesse pelos constantes embates entre capital de giro e nível de serviços na gestão de operações. A busca das organizações por competitividade passa, ao mesmo tempo, pela redução dos custos operacionais e pela conquista ou manutenção do *market share*, objetivos conflitantes quando o capital de giro é analisado. O posicionamento estratégico de estoques em processo, ou semi-acabados, mostra-se uma vertente que atrai várias organizações industriais, o que sugeriu o direcionamento deste estudo para a análise deste assunto, dentro do tema central de estoques.

O desenho da pesquisa bibliográfica passou prioritariamente pelo assunto abaixo, devido ao direcionamento adotado:

- Posicionamento de estoques semi-acabados e as diversas variações do tema: Ponto de diferenciação, *postponement*, *delay differentiation*, *order penetration point*, análise da customização, etc;

Durante a condução da pesquisa bibliográfica no tema acima outros assuntos mostraram-se necessários e também foram cobertos:

- Os modelos de simulação computacional;
- Os modelos de dimensionamento de lotes – *lot sizing*;
- As políticas tradicionais de gestão de estoques.

A principal hipótese deste estudo é: “Posicionar estoques semi-acabados oferece menores *lead times*”.

O objetivo central é analisar sob quais condições o posicionamento de estoques semi-acabados mostra-se uma vantagem para as organizações.

Os objetivos estão descritos no item 1, juntamente com o escopo da pesquisa.

Delimitação do objeto de estudo

Nesta etapa foram traçados os limites da realidade a ser investigada. Foram definidos os contornos do escopo do trabalho, critérios para a escolha da amostra de estudo e os modelos de análise.

Nesta fase foi definido que o estudo de caso seria realizado em uma usina siderúrgica integrada.

Neste passo foram delineadas as seguintes condições de contorno da pesquisa:

- Limitação do escopo a um subconjunto de operações produtivas, conforme item 3.2, ilustrado pela figura 4. Esta limitação do escopo deve-se ao fato de que as operações iniciais do processo produtivo não têm estoques semi-acabados.
- Pré-estudo do ambiente de estudo de caso. Aqui foram definidos quais seriam os dados relevantes para análise do ambiente.
- Eleição de produtos significativos – De posse da massa de dados e após análises preliminares foram eleitos produtos que fariam parte do estudo propriamente dito.

A eleição de um produto semi-acabado (SKU) para cada ponto de estoque em análise foi considerada satisfatória. Isto se explica pelo fato do fluxo produtivo e de entrada de pedidos dos outros materiais serem o mesmo. Desta forma o aumento de SKU's na análise não traria benefícios apenas aumentando a complexidade computacional do

modelo. Desta forma os resultados obtidos podem ser expandidos para os demais produtos sem perda de qualidade. Os critérios para definição destes produtos estão detalhados no protocolo de coleta de dados do item 3.3.

- Definição dos critérios para coleta de dados. A coleta de dados foi realizada na base histórica da empresa, os critérios utilizados estão descritos no item 3.3.
- Definição dos parâmetros para análise de resultados. A análise dos resultados foi feita seguindo os indicadores de desempenho descritos no item 3.3.8.

Escolha dos métodos e técnicas

Definição da abordagem a ser utilizada para desenvolvimento do modelo quantitativo.

Dois direcionadores foram fundamentais para definição da abordagem a ser utilizada no modelo:

- Necessidade de análise do comportamento do sistema sob diferentes condições de demanda e capacidade. Esta necessidade sugere a construção de cenários de estudo.
- Uma característica marcante do tipo de indústria estudada – siderurgia – é o alto valor de capital empregado com conseqüente necessidade de alta utilização dos ativos. Esta necessidade remete a abordagens que possibilitem maximizar os níveis de produção com alto uso dos ativos.

A necessidade de criação de cenários indica a utilização de uma abordagem por simulação e a maximização das variáveis relacionadas a produção são bem modeladas com a otimização. Buscando atender estes dois direcionadores foi escolhida uma abordagem híbrida, de simulação e otimização.

Delimitação do escopo de cada método

O modelo de otimização envolve o planejamento da produção no primeiro equipamento do fluxo porque neste equipamento passam todos os lotes de reposição dos estoques onde, portanto a capacidade deve ser gerenciada. Os demais equipamentos seguem o mesmo *lot sizing* alterando apenas as regras de prioridade dando preferência ao processamento de lotes de pedidos finais em detrimento a lotes de ressuprimento.

O modelo de simulação propõe-se a analisar a execução do plano de produção determinado pelo modelo de otimização com a inserção de variáveis não previstas na otimização.

Dentro da abordagem adotada uma parcela de capacidade dos equipamentos é sempre reservada para o atendimento dos pedidos na modalidade MTO, onde não são utilizados estoques semi-acabados. Esta premissa visa retratar uma situação próxima ao real onde a demanda MTO não é facilmente prevista.

Esta premissa adotada não permite que o modelo de otimização encontre soluções viáveis quando o nível de ocupação atinge valores elevados (acima de 80 %).

Coleta e análise de dados

Segundo a definição dos critérios e do protocolo de coleta (detalhados no item 3.3.1) foram coletados dados históricos na base de dados do sistema de controle de pedidos da empresa.

O dados foram analisados para escolha de produtos para análise no modelo e para avaliação estatística do padrão de demanda. Estas análises estão descritas no item 3.3.2.

Desenho e construção do modelo

O modelo teórico foi primeiramente concebido na forma de diagrama e em seguida implementado utilizando o *Premium Solver para o Microsoft Excel*[®] e o *Arena 11*[®].

Execução do modelo

Foram elaborados cenários de demanda para analisar o comportamento do modelo sob diferentes situações. Após a definição das três modalidades de atendimento (item 3.2) foram também elaborados três cenários adicionais ao cenário original que retrata a demanda real. Cada cenário adicional teve a demanda mais concentrada em uma modalidade específica de atendimento.

Na execução do modelo outras três características levaram a combinação de cenários:

- Nível de ocupação dos equipamentos;
- Percentual de capacidade reservada para o atendimento não planejado;
- Evento de redução de capacidade não planejado (quebra ou manutenção).

Estes cenários estão descritos no item 3.3.8.

Análise de resultados

A análise dos resultados foi conduzida através da comparação dos parâmetros do modelo sob as condições de cada cenário e combinação deles.

Foi escolhida a análise gráfica pela clareza visual das informações e possibilidade de avaliar diversas variáveis ao mesmo tempo.

3.2 – Descrição do sistema analisado

O ambiente estudado é o de uma siderúrgica integrada que atua no segmento de aços inoxidáveis e aços elétricos. Uma forte característica desta empresa é o alto grau de complexidade da demanda ilustrada pela existência de cerca de 30.000 itens finais. Esta situação traz uma sensível diferença entre esta empresa e as demais siderúrgicas, onde normalmente os volumes de produção e o tamanho dos lotes são maiores. A empresa analisada atua com uma estratégia basicamente *Make-to-order* com grandes possibilidades de diferenciação dos pedidos.

Esta siderúrgica vem desenvolvendo iniciativas no sentido de melhorar as relações de atendimento à demanda do mercado. Uma das barreiras para um melhor atendimento aos clientes é o grande *lead time*, característico da siderurgia. O planejamento de estoques de produtos semi-acabados é uma das alternativas desenvolvidas para reduzir o *lead-time* ao cliente. Entretanto estes estoques necessitam de métodos e modelos de gestão de maneira a garantir o *lead time* reduzido, mas também controlando os custos relacionados ao capital de giro na forma de estoques.

Estão sendo desenvolvidas iniciativas para redução do *lead time* percebido pelos clientes com objetivo de ganhar e/ou manter o *market-share* ameaçado por empresas entrantes no mercado. Historicamente a empresa trabalha com uma abordagem MTO, onde os pedidos são coletados e na grande maioria a produção é iniciada desde os estágios iniciais com base nestes pedidos. A análise a ser feita é acerca do impacto da adoção destas iniciativas nos parâmetros do processo. Algumas considerações a seguir são importantes para delinear completamente o problema.

O processo produtivo

O campo de análise deste modelo está relacionado diretamente a laminação a frio de aços inoxidáveis. As bobinas laminadas a quente passam por um primeiro processo chamado de recozimento e decapagem inicial. O segundo processo é a laminação propriamente dita, onde as bobinas são processadas para a espessura final definida pelo cliente. Ainda na laminação a frio o terceiro processo seria o recozimento e decapagem final, onde basicamente não acontecem diferenciações muito evidentes no produto. Salvo algumas exceções onde algum acabamento ou característica específica é requisitada, após estes três estágios o material segue para processos de corte na área de acabamento.

O acabamento é a etapa do processo onde o material sofre os cortes longitudinais para produção de tiras ou transversais para produção de chapas e *blanks*. Novamente neste ponto o número de itens cresce fortemente. O acabamento é uma etapa bastante distinta do processo, que inclusive nas cadeias tradicionais de aços de menor complexidade não é realizado pela siderúrgica e sim por processadores externos que compram o aço em bobinas. No caso da siderúrgica em questão é uma opção estratégica da empresa estender sua atuação na cadeia para oferecer o material formatado para o processamento final do cliente. Buscando oferecer mais agilidade no atendimento dos clientes a empresa possui os chamados centros de serviço estrategicamente posicionados próximo ao cliente. Desta forma a usina fica instalada próximo ao fornecimento de matéria prima e logística ferroviária e os centros de serviço que realizam o acabamento ficam próximos dos clientes. A figura 3 apresenta o fluxo produtivo básico da ArcelorMittal Inox Brasil – empresa considerada no estudo de caso deste trabalho.

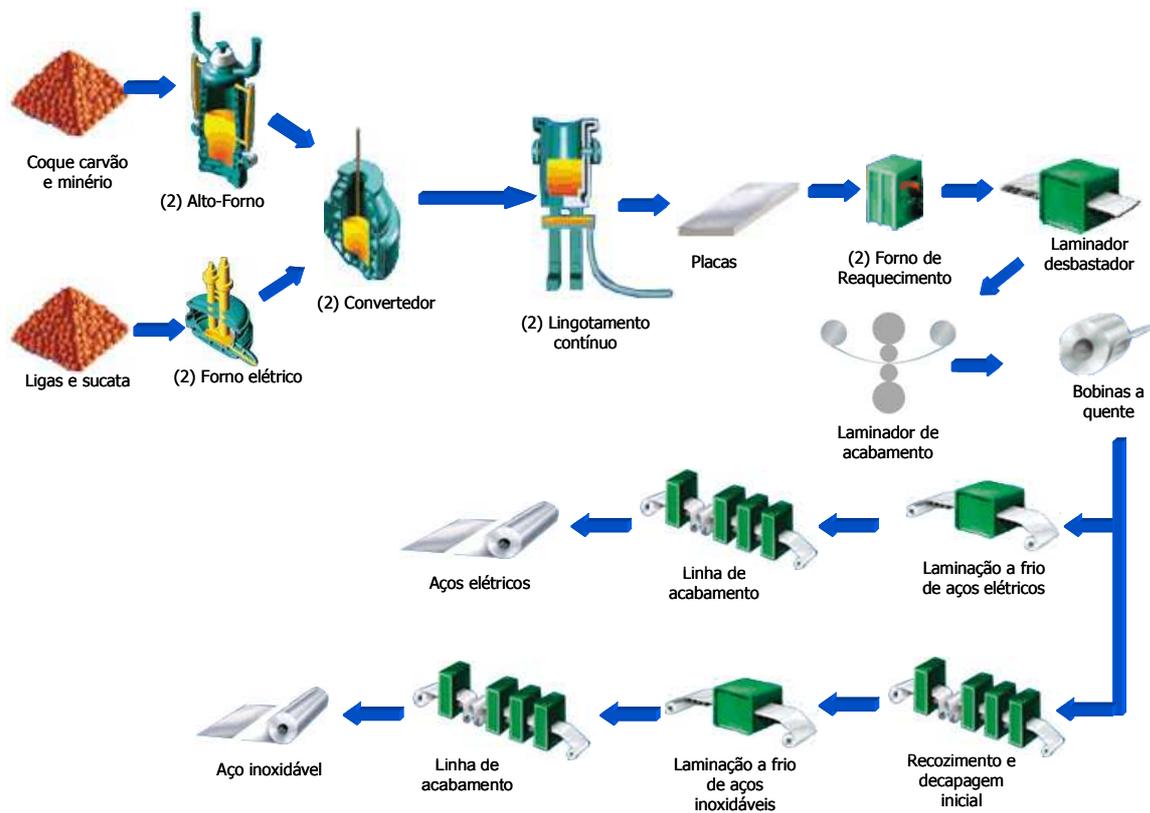


Fig. 3 – Desenho esquemático do fluxo produtivo da ArcelorMittal Inox Brasil.

O mercado

O mercado de aços inoxidáveis possui uma complexidade impar em comparação com a siderurgia de maneira geral. Os clientes são bastante distintos, mas poderiam ser divididos basicamente nos seguintes segmentos:

- Utilidades domésticas e cutelaria;
- Linha branca;
- Mercado automotivo;
- Bens de capital.

A demanda de cada um destes segmentos tem comportamento distinto, assim como a necessidade de cada um tem termos de flexibilidade e agilidade. Desta forma em um nível agregado e no longo prazo o crescimento ou queda da demanda está bastante relacionado a fatores macro-econômicos (PIB, nível de investimento, etc.). Entretanto dentro do detalhe de cada segmento a demanda não é facilmente prevista. Outro fator importante é que o aço e seus componentes são classificados como *comodities*, tendo desta forma seu preço sujeito ao mercado, o que normalmente gera movimentos especulativos. O níquel, por exemplo, um dos mais importantes insumos na produção de inox teve seu preço de mercado variando entre 10 e 50 mil dólares a tonelada nos últimos 12 meses. A expectativa de subida do preço pode gerar uma corrida repentina às compras por parte dos clientes.

Em termos de agilidade e flexibilidade pode ser destacado o setor automotivo, onde as montadoras trabalham com estoques mínimos e em sistemas *just in time*. Aqui reside um grande desafio: conciliar um fornecedor como a siderúrgica, onde o tempo de processo é grande, os insumos são em grande parte importados e o processo produtivo é complexo com um cliente automotivo que almeja colocar um pedido hoje para receber o produto pronto em 5 dias, especificando em alguns casos o horário de recebimento do material.

De outro lado poderia ser destacado o mercado de bens de capital. Aqui o foco são os projetos de grandes instalações como cervejarias ou usinas de açúcar, onde os cronogramas de implantação levam facilmente 2 anos.

Localização do ponto de diferenciação

A partir da descrição do processo produtivo fica bastante evidente que os possíveis pontos de diferenciação não são muitos. O estoque de bobinas laminadas a quente anteriormente a entrada na laminação a frio seria o primeiro. O segundo ponto seria após o recozimento e decapagem iniciais e antes da laminação propriamente dita. Uma terceira possibilidade seria

após a laminação e antes do recozimento final. A quarta e última possibilidade seria antes do processo de acabamento, podendo estar localizado em um dos centros de serviço.

Acerca da primeira possibilidade, a entrada do recozimento inicial, temos:

- O processo de recozimento e decapagem consiste, sem detalhamento metalúrgico, em passar a tira de aço por um forno de tratamento térmico para o recozimento e em seguida por um banho de ácido para a fase de decapagem. As características deste processo não são comandadas pela especificação do cliente. Entretanto podem ocorrer desvios de qualidade que geram uma restrição de alocação do material ou mesmo algum tipo de reprocessamento.
- Como uma média generalizada o material pode levar até 2 dias até ser processado, contando neste prazo o tempo de fila, formação de campanha e processamento propriamente dito.
- Dentro do balanceamento de linha dos equipamentos o recozimento pode ser encarado como um gargalo de produção.

Analisando as características acima se conclui que não existe diferenciação no processo de recozimento e que o posicionamento do ponto de diferenciação antes desta fase pode alongar o *lead time* de entrega desnecessariamente. Além disso, manter um gargalo de produção antes do ponto de diferenciação pode trazer benefícios de otimização da produção, conforme mencionado anteriormente.

O segundo “ponto candidato” a ponto de diferenciação está posicionado entre o recozimento e os laminadores. Neste ponto ressaltamos:

- A fase de laminação pode gerar bobinas laminadas a frio com espessuras variadas entre 0,4 e 3 mm;
- A espessura final do produto é única e exclusivamente definida pelo pedido do cliente;

Dada a explosão de complexidade que acontece neste ponto este mostra-se como um ponto de diferenciação importante, principalmente para clientes que compram as chamadas bobinas cheias. Uma bobina cheia é um material que não sofre processo de acabamento, ou seja, a única diferenciação reside na espessura do material.

O terceiro ponto, entre laminação e recozimento final assemelha-se ao primeiro, onde não acontece diferenciação, mas desvios de qualidade são gerados ou evidenciados neste processo. Analogamente ao primeiro ponto este ponto não se configura como um bom ponto de diferenciação.

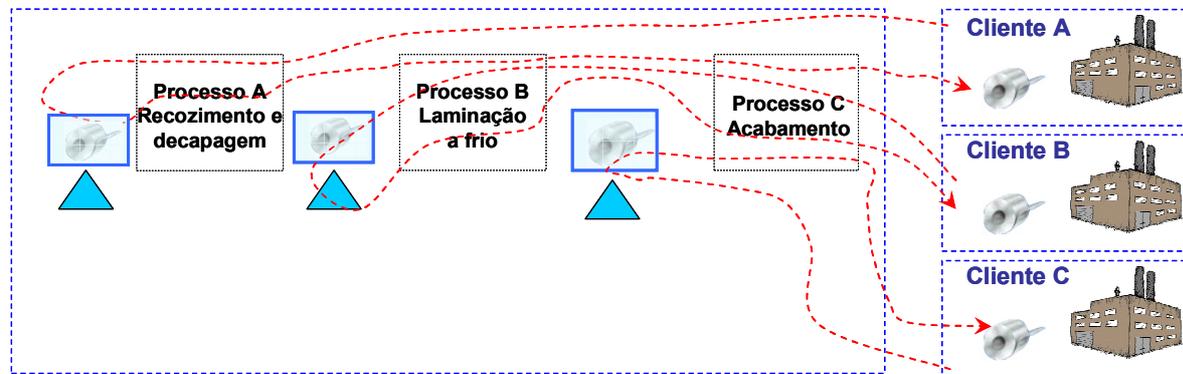
A quarta possibilidade, antes do acabamento tem características evidentes:

- O número de itens cresce fortemente neste ponto (um SKU possui em média 20 possibilidades de corte), uma vez que as possibilidades de corte são inúmeras. Uma bobina pode ser transformada em tiras de aço para construção de sistemas de exaustão, chapas retangulares para portas de refrigeradores ou *blanks* quadrados para mesa de fogões, por exemplo.
- Estrategicamente este ponto pode estar localizado nos centros de serviço que atendem a diferentes regiões geográficas.
- Se uma bobina for cortada sem um pedido específico do cliente este material provavelmente só será fornecido para um mesmo cliente em uma compra futura.

Pelas razões expostas acima este ponto mostra-se um importante ponto de diferenciação envolvendo os materiais que serão processados pelo acabamento.

Com base na análise detalhada acima foram identificados os três pontos de diferenciação (também chamados de ponto de penetração da ordem) ao longo do fluxo de produção.

A figura 4 abaixo demonstra de maneira clara a relação entre estes três pontos de estoque e três grupos de clientes que terão sua demanda atendida através destes estoques.



#	Ponto de Penetração da Ordem
Grupo de Cliente A	Estoque de bobinas laminadas a quente – antes do processo de recozimento e decapagem inicial.
Grupo de Cliente B	Estoque de bobinas recozidas e decapadas – antes do processo de laminação a frio.
Grupo de Cliente C	Estoque de bobinas laminadas a frio – antes do processo de acabamento (corte em tiras ou chapas).

Fig. 4 – Grupo de clientes e suas diferentes modalidades de atendimento.

3.3 – Desenvolvimendo do modelo

Os subitens a seguir detalham as etapas de construção do modelo de análise do sistema em estudo.

3.3.1 - Protocolo de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada através das informações históricas de vendas disponíveis na base de dados do sistema de controle de pedidos da empresa - PCP.

A coleta e análise dos dados estão sendo suportadas pelas seguintes premissas:

- A fim de representar a análise do sistema foi definido um item (SKU) para cada um dos três pontos de penetração da ordem. Segundo Donk (2001) o ponto de penetração da ordem (OPP) deve ser adotado em consonância com as características da cadeia produtiva. Percebe-se que este ponto da cadeia representa um “divisor de águas”, para o qual a produção é direcionada com base em previsões e planejamento e de onde o produto é processado com base no pedido do cliente. Com base nesta abordagem e segundo as análises feitas no item 3.2 com resultado ilustrado pela figura 4 foram definidos três pontos da cadeia interna nomeados neste trabalho como pontos de penetração da ordem ou pontos de diferenciação.
- Foram coletados históricos de vendas para os produtos finais originados dos três SKU's. O histórico representa as vendas realizadas nos últimos 22 meses. Considerando as datas confirmadas de entrega dos pedidos temos um histórico que representa 300 pedidos agrupados ao nível do SKU. O período de 22 meses foi considerado satisfatório uma vez que cobre qualquer tendência de sazonalidade ou concentração de compra de algum material específico. Sendo que a amostra de 300 pedidos de cada SKU constitui uma massa robusta de dados. Os dados históricos agrupados no nível dos SKU's encontram-se nos anexos 2, 3 e 4.
- Conforme discutido no capítulo anterior (item 3.2) e demonstrado na figura 4 o primeiro ponto de penetração da ordem é utilizado para o atendimento MTO. Com base no histórico de demanda foi adotado o material descrito abaixo, batizado de SKU A. O anexo 5 apresenta a análise de pareto realizada para identificar o SKU (considerado na fase anterior ao processo de recozimento e decapagem) com maior incidência para utilização no modelo.

	Aço	Espessura	Largura
SKU A	420	3,0 mm	1240 mm

Tab. 2 – Definição do SKU A.

- Ainda conforme discutido no capítulo anterior (item 3.2) e demonstrado na figura 4 o segundo ponto de penetração da ordem é um ponto de estoque antes do processo de laminação a frio. Com base em um pedido de cliente o material é laminado para a espessura final e depois passa ainda pela linha de acabamento. Este é um tipo de atendimento típico para clientes produtores de tubos para indústria alimentícia e farmacêutica, cervejarias, ornamentação e outras aplicações. O anexo 5 apresenta a análise de pareto realizada para identificar o SKU (considerado na fase anterior ao processo de laminação a frio) com maior incidência, sendo este SKU batizado de B.

	Aço	Espessura	Largura
SKU B	409A	3,0 mm	1240 mm

Tab. 3 – Definição do SKU B.

- Ainda conforme discutido no capítulo anterior (item 3.2) e demonstrado na figura 3 o terceiro ponto de penetração da ordem é um ponto de estoque antes do processo de acabamento. Este tipo de atendimento com curtíssimo *lead time* percebido pelo cliente é demandado pelo setor automotivo, para fabricação de sistemas de exaustão de automóveis. O anexo 5 apresenta a análise de pareto realizada para identificar o SKU (considerado na fase anterior ao processo de acabamento) com maior incidência, sendo este SKU batizado de C.

	Aço	Espessura	Largura
SKU C	409A	1,2 mm	1240 mm

Tab. 4 – Definição do SKU C.

3.3.2 - Dados coletados

A base de dados dos pedidos foi extraída do sistema PCP através do qual é feito o controle da carteira de pedidos da empresa. O anexo 1 apresenta as telas deste sistema. Os dados históricos dos pedidos de itens finais foram agrupados ao nível de SKU seguindo a relação indicada na tabela 5.

Desta forma foram agrupados no SKU A todos os pedidos finais que atendessem a seguinte característica: aço 420, espessura 1,5mm e largura de 1.240mm. O agrupamento histórico destes pedidos consta no anexo 2.

De maneira semelhante os pedidos que atendessem as seguintes características foram agrupados no SKU B: aço 409A, espessura 0,4 a 1,4mm e largura de 1.240mm. Isto significa que todos os pedidos finais dentro desta faixa de espessura são atendidos através do SKU B. O agrupamento histórico destes pedidos no nível do SKU consta no anexo 3.

Finalmente os pedidos que atendessem as seguintes características foram agrupados no SKU C: aço 409A, espessura 1,2mm e largura de 100 a 1.240mm. Isto significa que todos os pedidos finais dentro desta faixa de espessura são atendidos através do SKU C. O agrupamento histórico destes pedidos no nível do SKU consta no anexo 4.

Uma ferramenta conveniente para se identificar a forma da distribuição dos dados é através de um histograma de distribuição de frequência. O histograma é construído dividindo os valores dos dados coletados em intervalos e plotando um gráfico onde o eixo horizontal receberá os intervalos de dados e o eixo vertical o total de ocorrências em cada intervalo. Uma família de distribuição é selecionada com base na que poderia representar o contexto que está sendo investigado, ao longo da forma do histograma (Banks et al, 2005).

O aplicativo *Input Analyzer*®, módulo do *Arena 11*®, foi utilizado afim de fazer a análise estatística do histórico de pedidos (ao nível do SKU).

Os dados históricos relativos ao SKU A (anexo 2) foram inseridos no *Input Analyzer*® e a figura 5 apresenta a aderência da distribuição Normal com média 314 e desvio padrão 12,6, que mais se ajusta a massa de dados do anexo 2.

Para verificação da aderência da distribuição o valor de interesse é o *p-value* correspondente que sempre estará no intervalo entre 0 e 1. Valores maiores (acima de 0,10) indicam ajustes melhores. Valores abaixo de 0,05 sugerem que a distribuição não apresenta um bom ajuste e dados, quando gerados a partir da expressão da distribuição ajustada, poderão estar inconsistentes em relação aos dados coletados (Kelton et al, 2007). As três distribuições apresentadas apresentam o *p-value* igual a 0,15 assegurando assim a aderência das distribuições.

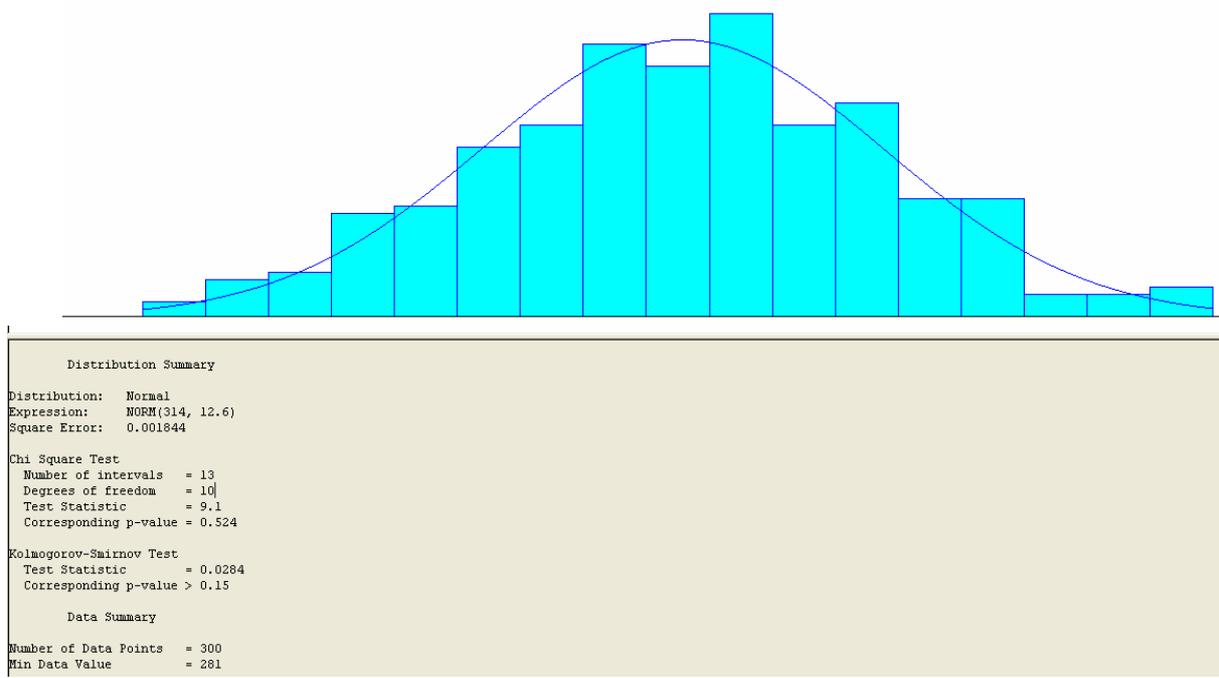


Fig. 5 – Aderência da distribuição Normal(314, 12.6) para o SKU A.

Os dados históricos relativos ao SKU B (anexo 3) foram inseridos no *Input Analyzer*[®] e a figura 6 apresenta a aderência da distribuição Triangular com mínimo 276, média 282 e máximo 295, que mais se ajusta a massa de dados do anexo 3.

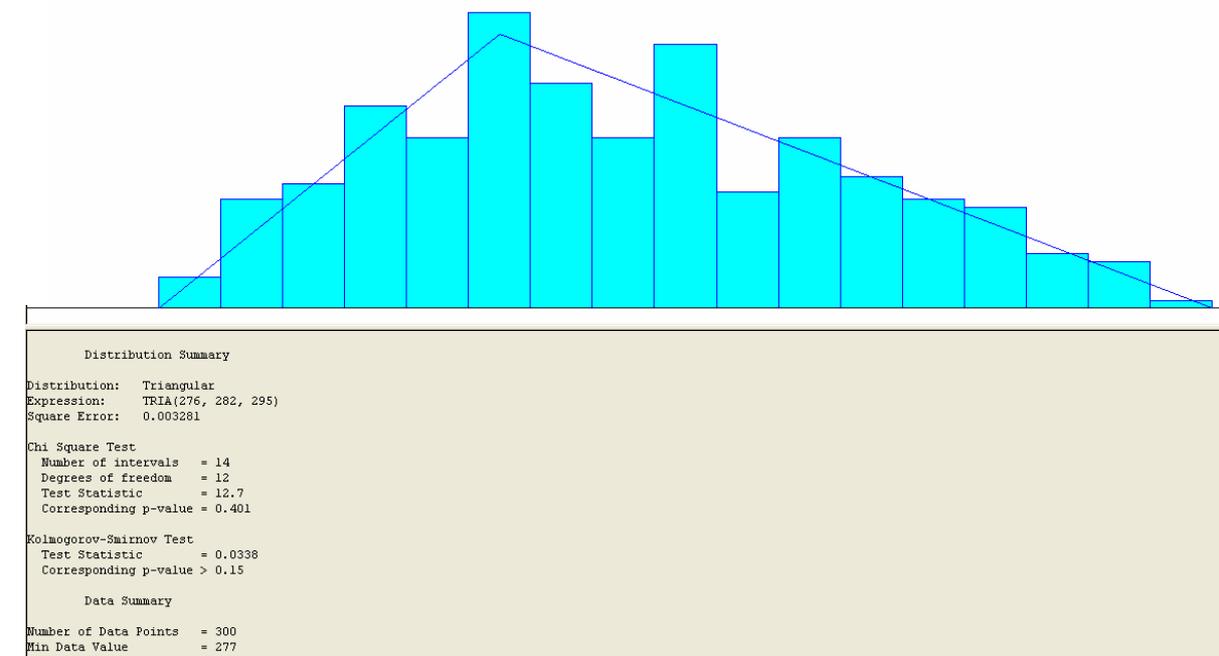


Fig. 6 – Aderência da distribuição Trinagular(276, 282, 295) para o SKU B.

Os dados históricos relativos ao SKU C (anexo 4) foram inseridos no *Input Analyzer*[®] e a figura 7 apresenta a aderência da distribuição Triangular com mínimo 295, média 306 e máximo 312, que mais se ajusta a massa de dados do anexo 4.

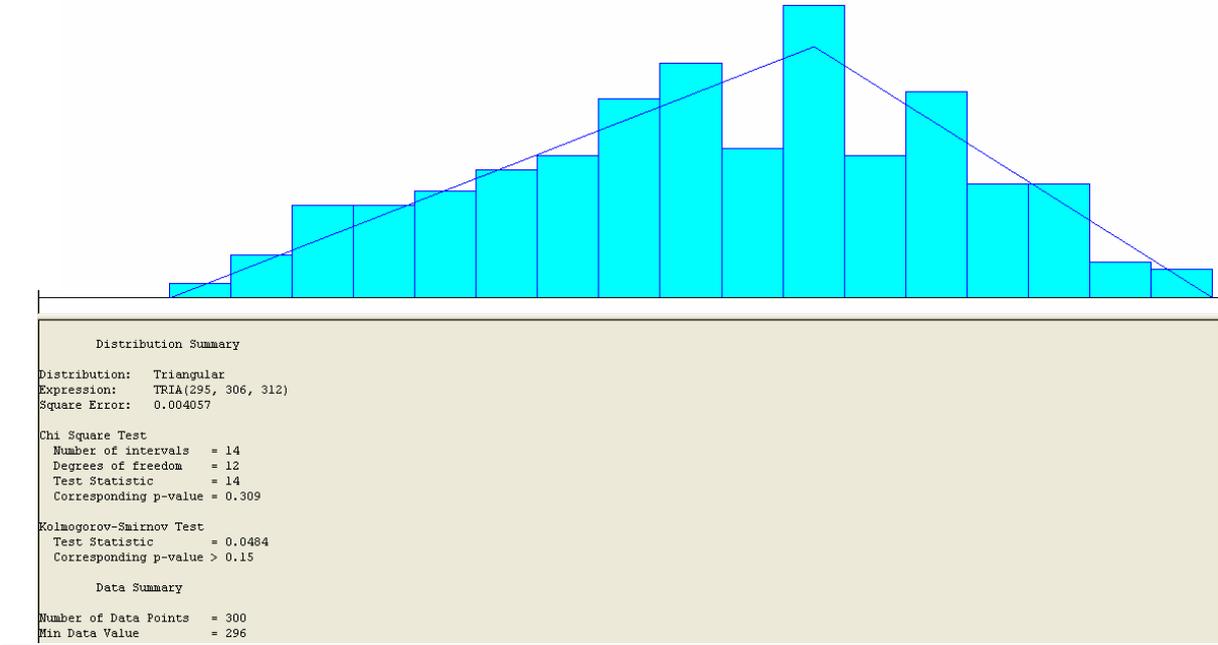


Fig. 7 – Aderência da distribuição Triangular(295, 306, 312) para o SKU C.

A tabela 5 apresenta o resumo da análise dos dados de demanda, resultado da avaliação estatística realizada.

	CARACTERÍSTICA			ITEM FINAL			DEMANDA AGREGADA NO SKU		
	Aço	Espessura	Largura	Aço	Espessura	Largura	Distribuição de probabilidade	Média	Desvio Padrão
SKU A	420	3,0 mm	1.240 mm	420	1,5 mm	1.240 mm	Normal (314, 12.6)	314	12.6
SKU B	409	3,0 mm	1.240 mm	409A	0,4 a 1,4 mm	1.240 mm	Triangular (276, 282, 295)	284	3.92
SKU C	409	1,2 mm	1.240 mm	409A	1,2 mm	100 a 1.240 mm	Triangular (295, 305, 312)	304	3.53

Tab. 5 – Distribuição de demanda dos três SKU's em análise.

3.3.3 - Desenho do modelo

Foi desenvolvido um modelo híbrido de simulação e otimização para análise do sistema em estudo. O modelo é composto basicamente de um módulo gerador de demanda, um segundo módulo de dimensionamento e sequenciamento dos lotes e um terceiro módulo de análise do ambiente fabril. A figura 8 apresenta o desenho conceitual do modelo híbrido completo.

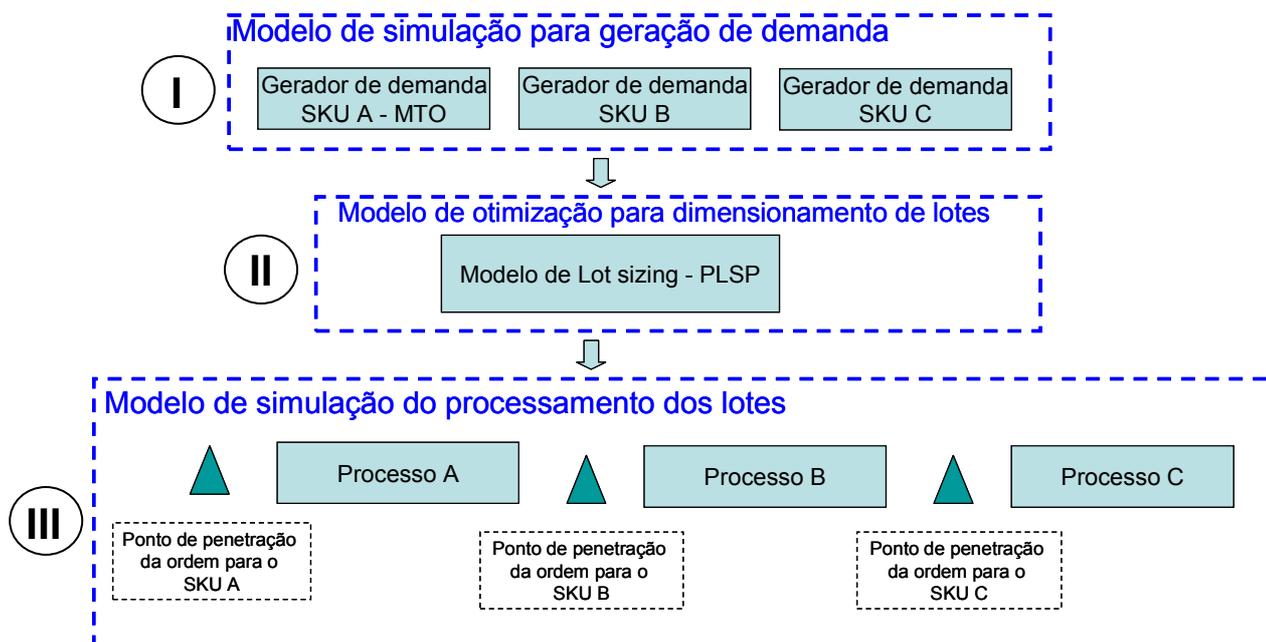


Fig. 8 – Diagrama conceitual do modelo híbrido.

3.3.4 - Horizonte de planejamento

No ambiente estudado a demanda é disponibilizada a cada 12 dias para a programação da produção. O dimensionamento e sequenciamento dos lotes de produção deve atender a

demanda colocada levando em conta ainda que dentro do horizonte de 12 dias existem três datas para atendimento dos pedidos.

Desta maneira, conforme a figura 9 abaixo observa-se que em um horizonte de 12 dias as demandas devem ser atendidas no 4º, 8º e 12º dias. O plano de produção a ser elaborado deve garantir a disponibilidade de estoques para atendimento da demanda do dia 4 através da produção dos materiais para estoque entre os dias 1 e 4. Este processo repete-se para os dias 8 e 12.

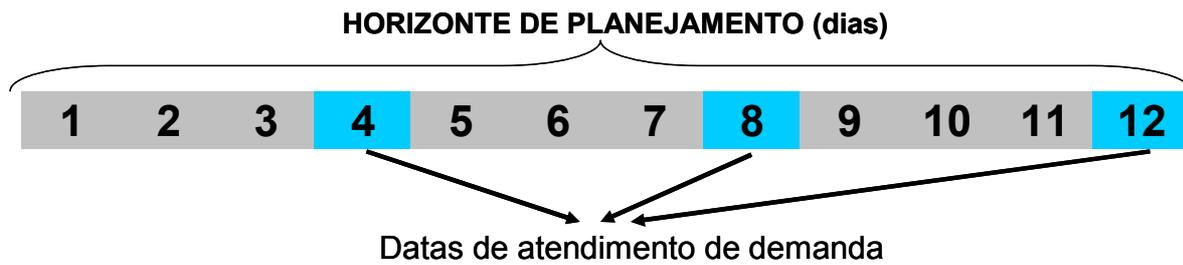


Fig. 9 – Horizonte de planejamento do modelo.

Conforme discutido no item 3.3 cada produto está associado a uma forma de atendimento, desta forma temos a relação direta demonstrada na tabela 6.

Produto	Forma de Atendimento
SKU A	Atendimento ao grupo de clientes A com ponto de penetração da ordem localizado no estágio inicial do processo equivalente ao estoque de bobinas laminadas a quente. Atendimento puramente <i>Make-to-order</i> .
SKU B	Atendimento ao grupo de clientes B com ponto de penetração da ordem localizado entre o recozimento inicial e a laminação a frio. Atendimento híbrido <i>Make-to-stock / Make-to-order</i> .
SKU C	Atendimento ao grupo de clientes C com ponto de penetração da ordem localizado entre a laminação a frio e a linha de acabamento. Atendimento híbrido <i>Make-to-stock / Make-to-order</i> .

Tab. 6 – SKU x Modalidade de atendimento.

3.3.5 - Desenho do modelo de simulação – Módulo I: Gerador de demanda

O modelo possui dois módulos de simulação distintos. No primeiro módulo são geradas as demandas com base nas distribuições de probabilidade de cada SKU conforme discutido no protocolo de coleta de dados (distribuições apresentadas nas figuras 5, 6 e 7).

Foi desenvolvido um modelo de simulação utilizando o software *Arena 11*[®]. O anexo 6 apresenta o modelo no *Arena 11*[®] com a representação dos blocos. Para cada data de atendimento de demanda (dia 4, 8 e 12, dentro do horizonte de 1 a 12) é gerada uma demanda para cada SKU (SKU A, B e C). A tabela 7 apresenta um exemplo de demandas geradas para os três SKU's dentro do horizonte de planejamento.

	HORIZONTE DE PLANEJAMENTO											
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12
SKU C	0	0	0	176,9	0	0	0	173,6	0	0	0	182,3
SKU B	0	0	0	534,0	0	0	0	526,9	0	0	0	538,2
SKU A	0	0	0	175,5	0	0	0	172,5	0	0	0	186,6
Total	-	-	-	886,3	-	-	-	873,0	-	-	-	907,1

Tab. 7 – Exemplo de demandas geradas

A cada rodada de simulação do modelo (anexo 6) são geradas 3 demandas para cada SKU sendo estas demandas preenchidas no módulo II – dimensionamento e sequenciamento de lotes na região descrita no anexo 7.

As demandas geradas para o SKU A não são consideradas no modelo de otimização, pois este compreende o atendimento MTO que acontece apenas no módulo III do modelo.

Validação do modelo de simulação – Módulo I: Gerador de demanda

A validação do módulo I do modelo foi feita através da execução do modelo e comparação dos dados de saída com a distribuição de probabilidade original definida como entrada para o modelo.

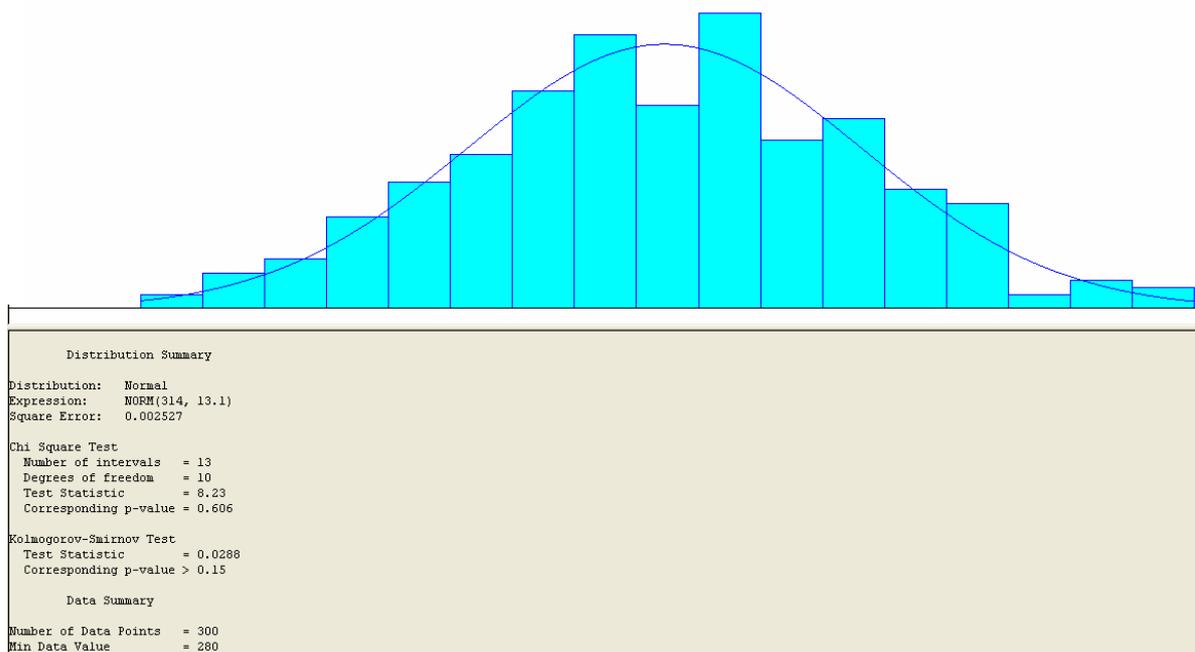


Fig. 10 – Análise estatística dos dados de saída do modelo – Validação do gerador de demanda

A figura 10 acima apresenta a análise estatística dos dados de saída do modelo gerador de demandas. Em comparação com os dados reais houve apenas uma variação de 0,5 toneladas no valor do desvio padrão, considerado, portanto o modelo validado.

3.3.6 - Desenho do modelo de otimização – Módulo II: Dimensionamento e sequenciamento de lotes

Para determinação do tamanho e seqüência dos lotes de produção para abastecimento dos pontos de estoque foi construído um modelo de otimização, que seria o segundo módulo do modelo híbrido completo da figura 8.

O modelo de otimização abrange o primeiro equipamento do fluxo **RB** ⇔ **LB** ⇔ **Acab**. A otimização de produção no RB é justificada pelo fato de este ser o equipamento que realiza o processamento inicial de todos os lotes de reposição e direciona a seqüência nos demais. Desta forma o plano de produção de reposição de estoques definido para o RB é seguido também pelo LB, havendo neste a priorização entre lotes de reposição e atendimento de pedidos finais.

O módulo de otimização consiste em um modelo que utiliza a técnica de *Proportional Lot Sizing and Scheduling Problem* (PLSP). No PLSP a idéia básica é utilizar a capacidade restante no período para sequenciar um segundo item. Uma vez que dois itens são produzidos em um único período, precisa ficar claro em que seqüência eles serão produzidos. O PLSP assume que o estado de setup do equipamento pode mudar no máximo uma vez em cada período.

O modelo PLSP foi adotado, pois no processo siderúrgico é comum o sequenciamento de dois produtos distintos dentro de um mesmo período e para isso é importante registrar o estado de preparação da máquina.

Um modelo de programação inteira mista pode ser formulado como:

$$\text{Minimizar: } \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T (s_j x_{jt} + h_j I_{jt}) \quad \textcircled{1}$$

Sujeito a:

$$I_{jt} = I_{j(t-1)} + q_{jt} - d_{jt}, \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{2}$$

$$p_j q_{jt} \leq C_t (y_{j(t-1)} + y_{jt}), \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{3}$$

$$\sum_{j=1}^J p_j q_{jt} \leq C_t, \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{4}$$

$$\sum_{j=1}^J y_{jt} \leq 1, \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{5}$$

$$x_{jt} \geq y_{jt} - y_{j(t-1)}, \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{6}$$

$$y_{jt} \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{7}$$

$$I_{jt}, q_{jt}, x_{jt} \geq 0, \quad j = 1, \dots, J \quad t=1, \dots, T \quad \textcircled{8}$$

Onde:

S_j - Custo de *setup* do produto j ;

x_{jt} - Variável de decisão, assume valor igual a 1 se for feito *setup* do produto j no período t , e 0 caso contrário;

h_j - Custo de manutenção de estoque do produto j ;

I_{jt} - Quantidade de estoque do produto j ao final do período t ;

q_{jt} - Quantidade produzida do produto j no período t ;

d_{jt} - Quantidade demandada do produto j no período t ;

p_j - Tempo necessário para produção de uma unidade do produto j ;

C_t - Capacidade disponível da máquina no período t ;

y_{jt} - Variável de decisão, assume valor igual a 1 se a máquina estiver preparada para produzir o produto j no período t , e 0 caso contrário

Na formulação acima temos:

A equação 1 – Função objetivo: Minimizar a soma dos custos de *setup* e manutenção de estoques;

A equação 2 – Restrição de balanço de estoques – garante o atendimento da demanda;

A equação 3 – Restrição de *setup* - assegura que a produção de um item em determinado período só ocorra se a máquina estiver preparada para produzir este item no início ou no final deste período;

A equação 4 – Restrição de capacidade – garante que os limites de capacidade da máquina sejam respeitados;

A equação 5 – Restrição de estado de preparação da máquina – variável binária que indica se a máquina está preparada para produzir o item j no período t ;

A equação 6 – Relaciona a variável de setup com a variável de estado de preparação da máquina;

A equação 7 – Assegura que a variável de estado de preparação seja binária;

A equação 8 – Restrição de não negatividade.

No modelo PLSP dois itens podem ser produzidos em um mesmo período, sendo assim é necessário que seja explícito qual a seqüência de produção destes itens. Esta necessidade demanda a interpretação da condição de preparação da máquina, ou seja, a situação de setup precisa ser continuamente monitorada. Este monitoramento é feito através da variável y_{jt} . O PLSP assume que a mudança de estado de setup pode ocorrer no máximo uma vez a cada período. A produção em um determinado período pode ocorrer se a máquina está preparada no início ou no final do período e, portanto no máximo dois itens podem ser produzidos por período. Períodos onde não houver produção entre dois outros com produção de um mesmo item não incorrem em custos de setup adicionais.

O modelo de otimização refere-se apenas ao primeiro equipamento do fluxo, ou seja, o recozimento. A otimização trabalha apenas o RB (recozimento de bobinas) porque este é o primeiro equipamento do fluxo e a seqüência determinada aqui é a mesma seguida pelos demais equipamentos. A demanda a ser atendida na modalidade MTO não está presente na otimização, uma vez que ela não é planejada, tendo apenas reserva de capacidade para processamento.

O modelo de otimização PLSP foi implementado em uma planilha *Excel*® utilizando o aplicativo *Premium Solver para o Microsoft Excel*®. O anexo 7 apresenta o modelo de otimização que recebe dados (via gerador de demanda) do módulo I do modelo completo e disponibiliza o plano de produção para o módulo II.

O modelo desenvolvido é composto de **108 variáveis e 213 restrições**, dimensão facilmente manipulada pelo *Premium Solver para o Microsoft Excel*®, conforme tabela com suas características apresentadas no anexo 8.

O tempo computacional para resolução do problema em um computador *AMD Turion 2.0GHz* foi de **14 segundos**.

O plano de produção da tabela 8 foi obtido como solução do PLSP.

	HORIZONTE DE PLANEJAMENTO											
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12
SKU C	209,4	141,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	182,3
SKU B	-	84,0	225,0	225,0	-	76,9	225,0	225,0	88,2	225,0	225,0	0,0
SKU A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	209,4	225,0	225,0	225,0	-	76,9	225,0	225,0	88,2	225,0	225,0	182,3

Tab. 8 – Exemplo de plano de produção gerado

3.3.7 - Desenho do modelo de simulação – Módulo III: Processamento dos lotes

O segundo módulo de simulação é utilizado para refletir a execução do plano de produção e processamento dos pedidos de clientes. Este módulo faz a leitura do plano de produção definido pelo modelo de otimização e simula o processamento dos lotes nos equipamentos.

O modelo é iniciado com a leitura do plano de produção (conforme tabela 8) e registrando a seqüência e quantidade dos lotes em uma variável 3 x 12 (3 linhas x 12 colunas). A configuração desta parte do modelo de simulação encontra-se no anexo 9.

A cada período (equivalente a um dia) uma entidade assume como atributo o valor da quantidade do lote associado a um campo da variável 3 x 12 e também o destino desse lote (se para reposição de um dos estoques ou para atendimento a pedido final). A figura 11 apresenta o DCA – Diagrama de ciclo de atividades com a lógica de funcionamento do módulo III de simulação.

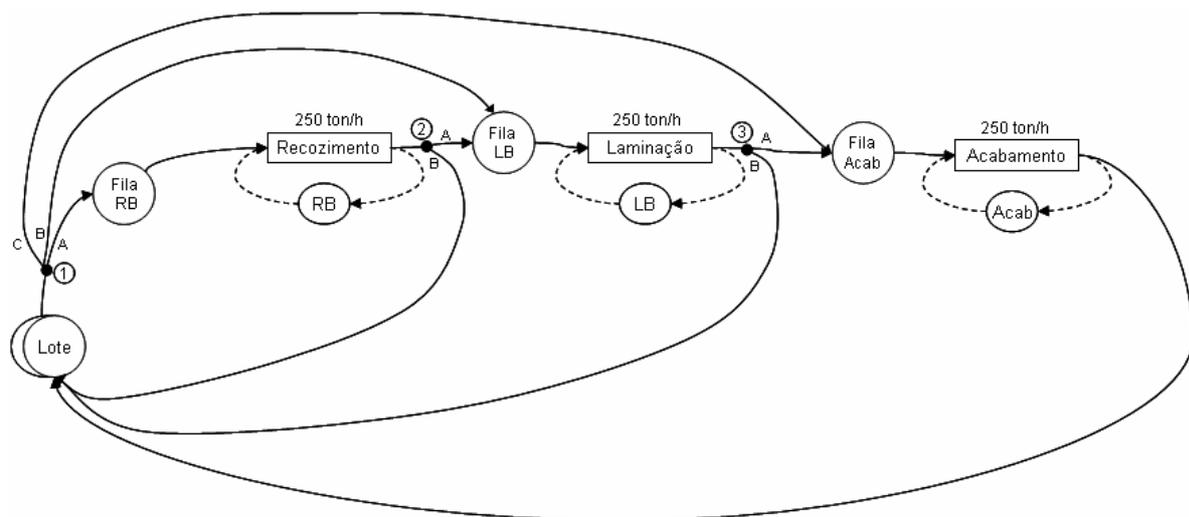


Fig. 11 – DCA da simulação do processamento dos lotes – Módulo III do modelo.

Onde:

Atributos:

1. **Lote:** tamanho do lote em toneladas, a duração do processo em cada equipamento depende diretamente do tamanho do lote de produção. Conforme explicito no DCA da figura 11 um lote de 250 toneladas terá um tempo de processamento de 1 hora.
2. **Destino:** indica o destino de cada lote:
 - 1 – Destino supermercado (SP1): Lote de ressuprimento do SP1, antes da laminação;
 - 2 – Destino supermercado (SP2): Lote de ressuprimento do SP2, antes do acabamento;
 - 3 – Destino cliente: Lote de atendimento MTO, atendimento direto a pedido de cliente;
 - 4 – Destino Cliente: Lote de atendimento via SP1, atendimento de pedido de cliente originado do estoque do SP1;
 - 5 – Destino Cliente: Lote de atendimento via SP2, atendimento de pedido de cliente originado do estoque do SP2.

Regras de desvio:

- ① Se “destino” igual a 4 então **B**; Se destino igual a 5 então **C**; Se não **A**
- ② Se “destino” igual a 1 então **B**; Se não **A**
- ③ Se “destino” igual a 2 então **B**; Se não **A**

Disciplina de filas:

Em todas as filas do modelo prioridade é dada ao lote de maior valor para o atributo “destino”. Desta forma a prioridade é dada ao atendimento de pedidos finais em detrimento ao processamento de lotes de reposição de estoque.

O modelo de simulação apresentado acima foi implementado utilizando o software *Arena 11*[®]. O anexo 10 apresenta o modelo no *Arena 11*[®] com a representação dos blocos.

Validação do modelo de simulação – Módulo III: Simulação do processamento dos lotes

Para Banks et al (2005), a validação é alcançada através da calibração do modelo, um processo interativo de comparação do modelo com o comportamento do sistema atual e,

existindo discrepâncias entre eles e sendo bem identificadas, melhorar o modelo repetidamente até que a sua exatidão seja considerada aceitável. A pergunta chave é: o modelo de simulação replica as medidas do sistema real?

A validação do modelo foi realizada através da coleta de dados de 40 pedidos do SKU A produzidos entre 20/08/2008 e 31/10/2008. Foram realizadas 10 replicações segundo o padrão de demanda do SKU A (conforme item 3.3) e os tempos de processamento em cada um dos equipamentos foi registrado. Para garantir a consistência dos dados a influência dos demais SKU's foi desativada. Este isolamento foi necessário para que os dados pudessem ser comparados com os dados reais e exclusivos do SKU A. O tempo de processamento real de cada lote real do SKU A foi registrado isoladamente em cada equipamento, o mesmo foi feito para o modelo.

Conforme demonstrado no anexo 11 a diferença entre os valores simulados e os dados reais de tempo de processamento foi de 6,1%, 7% e 4,7% para os equipamentos RB, LB e Acab, respectivamente. Estes desvios foram considerados satisfatórios tendo em vista a premissa de capacidade determinística adotada pelo modelo.

3.3.8 - Execução do modelo

Parâmetros da simulação

Foi feita uma análise de comportamento do valor de *lead time* em relação ao número de replicações da simulação. Esta análise envolveu simulações piloto onde os resultados foram avaliados para verificar a convergência dos dados. O anexo 13 apresenta o resultado do *lead time* para as três modalidades de atendimento envolvendo 30 replicações. Pode ser observado que a partir da 10ª replicação o valor de lead time não sofre alteração na segunda casa decimal.

Com base nesta análise foi definido que o modelo deveria ser executado com 10 (dez) replicações para cada cenário de análise. O período de aquecimento foi de 24 dias (duas vezes o horizonte de planejamento), de maneira que os dados serão coletados a partir do período de número 25.

Cenários de análise

A simulação foi conduzida para 04 (quatro) cenários de demanda, sendo que cada cenário representa uma tendência de comportamento da demanda. A tabela 9 apresenta os dados de cada cenário.

DEMANDA AGREGADA NO SKU					DEMANDA AGREGADA NO SKU										
Distribuição de probabilidade					Média	Desvio Padrão	%	Distribuição de probabilidade					Média	Desvio Padrão	%
CENÁRIO 1					CENÁRIO 2										
SKU A	Normal (314, 12,6)				314	12,6	35%	Normal (541, 21,7)				541	21,7	60%	
SKU B	Triangular (276, 282, 295)				284	3,92	31%	Triangular (171, 180, 184)				180	2,5	20%	
SKU C	Triangular (295, 305, 312)				304	3,53	34%	Triangular (186, 190, 196)				190	2,2	20%	
CENÁRIO 3					CENÁRIO 4										
SKU A	Normal (180, 6,3)				180	6,3	20%	Normal (180, 6,3)				180	6,3	20%	
SKU B	Triangular (516, 541, 552)				541	7,5	60%	Triangular (171, 180, 184)				180	2,5	20%	
SKU C	Triangular (186, 190, 196)				190	2,2	20%	Triangular (516, 541, 552)				541	7,5	60%	

Tab. 9 – Cenários de simulação.

O cenário 1 apresenta a demanda original e os demais cenários apresentam situações onde a demanda foi ajustada, tendendo alternadamente para cada tipo de atendimento e conseqüentemente para cada SKU do conjunto em análise. Nos três cenários adicionais criados a demanda máxima direcionada em cada modalidade de atendimento foi de 60%, esta

informação foi discutida de maneira intuitiva com os gestores comerciais, que vêem esta como sendo uma situação extrema de mudança de mercado.

A tabela 10 apresenta os dados coletados a cada rodada de simulação.

Custo de estoque	Fila no LB	Lead Time via SP1	Ruptura via SP1
Custo de setup	Fila no Acabamento	Lead Time via SP2	Ruptura via SP2
Fila no RB	Lead Time via MTO	Ruptura via MTO	

Tab. 10 – Dados a serem analisados no modelo.

Durante a simulação três parâmetros são variados. A fig. 12 demonstra a relação entre estes parâmetros.

No modelo a **ociosidade** é a diferença entre a capacidade total da linha e a demanda total incluindo todas as três modalidades de atendimento. A ociosidade do sistema foi observada através da variação da ocupação, sendo que este parâmetro foi simulado em três situações: ocupação igual a 40%, 60% e 80%. Os níveis de ocupação de 60% e 80% foram definidos com base na análise de históricos de relatórios gerenciais e nivelamento com os envolvidos. Entretanto frente ao cenário atual (desde o 4º trimestre de 2008) mostrou-se interessante analisar o modelo para um nível ainda menor de ocupação – 40%.

Outro parâmetro avaliado foi o **percentual de demanda presente na otimização** e na simulação. A demanda disponível para o planejamento da produção foi variada através da criação dos 04 (quatro) cenários. Uma vez que a demanda MTO não aparece na otimização, nos cenários com maior demanda MTO o volume de pedidos na otimização é menor.

O terceiro parâmetro foi a **capacidade disponível na otimização**. Este parâmetro é um indicativo da reserva de capacidade para atendimento não planejado. Conforme descrito no item 3.3.6 o atendimento MTO não é planejado, sendo assim quanto maior a capacidade disponível na otimização menor será a reserva de capacidade para o atendimento MTO. De maneira semelhante ao discutido na criação dos cenários de demanda os valores assumidos por este parâmetro estão relacionados à variação de mercado. O cenário de máxima demanda via modalidade MTO (60 % conforme tabela 8) sugere uma reserva de capacidade de mesma ordem, o que resulta no valor de 40% de capacidade disponível na otimização. A mesma análise vale para os demais cenários de demanda. Sendo assim este parâmetro recebeu os valores de 40%, 60% e 80%.

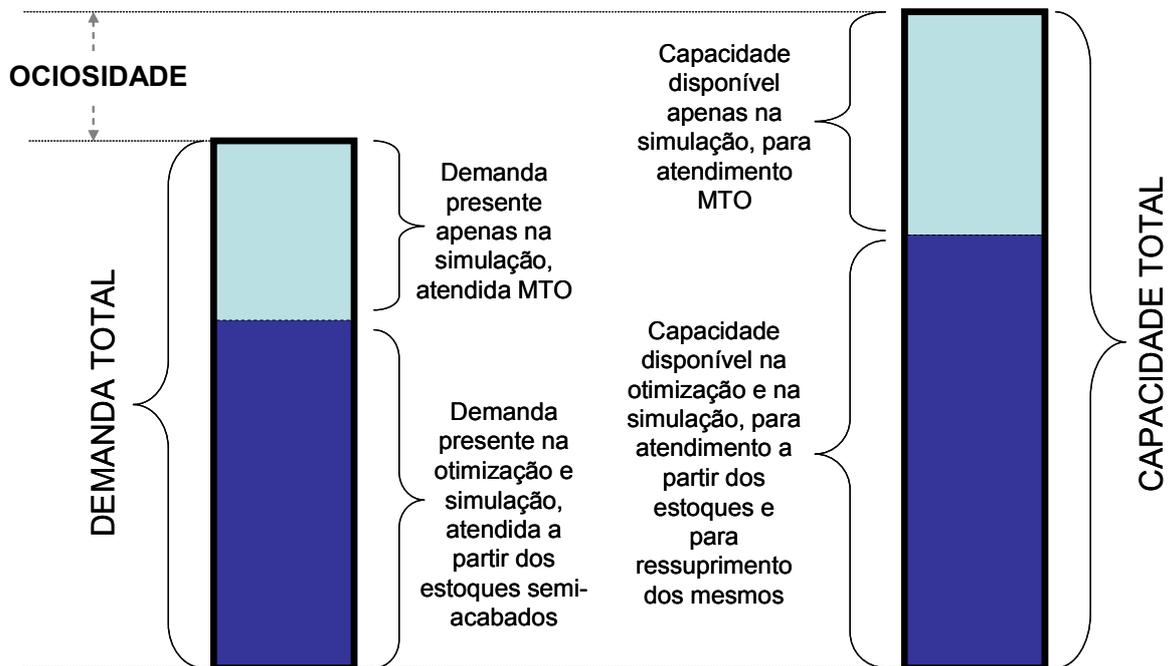


Fig. 12 – Diagrama conceitual – nível de ocupação e reserva de capacidade.

Outra análise realizada foi o impacto da redução da capacidade total. O propósito desta análise é verificar o comportamento do modelo em meio a quebras ou necessidades técnicas de redução da velocidade de processamento dos materiais. O levantamento de históricos de relatórios gerenciais e a discussão com os gestores de operação indicaram o valor de 30% de redução de capacidade, desta forma cada cenário foi novamente simulado com 70% da capacidade original em cada um dos três equipamentos.

4 – RESULTADOS

Os resultados da simulação são demonstrados na forma de gráficos onde são plotados os valores de custo de estoque, custo de *setup* e *lead time* médio para cada cenário de análise.

Os primeiros resultados demonstram a influência da variação da ocupação para cada cenário de demanda. Em um segundo momento o nível de ocupação é fixado em 80% e é inserida uma condição na simulação para analisar o impacto da redução da capacidade em cada um dos equipamentos. Esta redução de capacidade não está presente na otimização, ou seja, o objetivo aqui é simular uma situação não planejada.

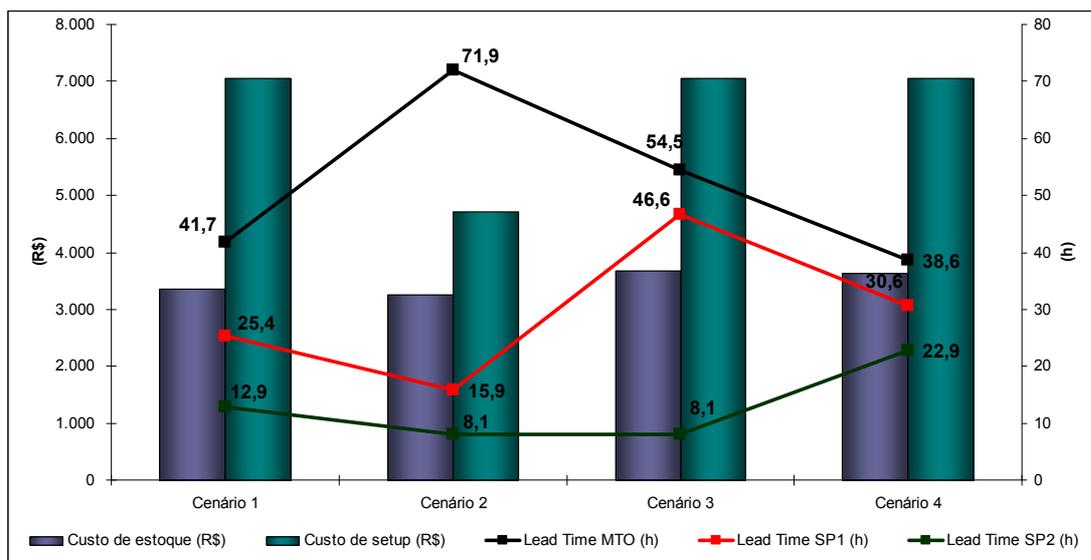
A situação não planejada foi simulada através da redução de 30% da capacidade de cada equipamento.

Os resultados de custo de estoque e custo de setup são obtidos do módulo de otimização implementado no *Premium Solver para o Microsoft Excel*[®], conforme exemplificado no anexo 7.

Os resultados de *lead time* e filas são obtidos da análise dos relatórios de saída do modelo de simulação no *Arena 11*[®], conforme exemplificado no anexo 12.

Resultados para o modelo original

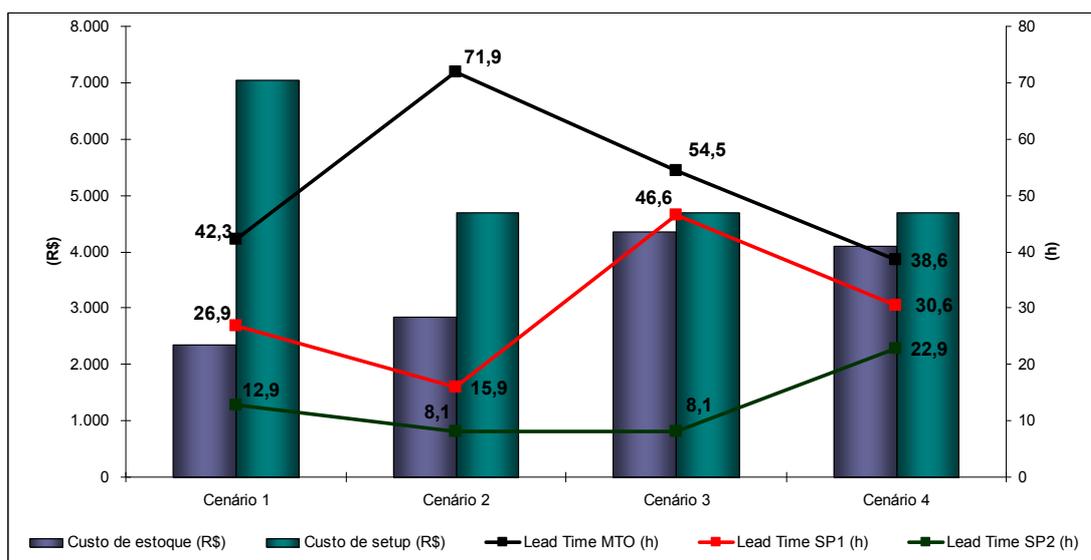
A figura 13 apresenta os resultados do modelo para um nível de ocupação de 40% e capacidade planejada também de 40% (reserva de capacidade de 60% para atendimento MTO). Como esperado o maior valor de *lead time* é registrado no atendimento MTO no cenário de demanda 2. Neste cenário a concentração de demanda é de 60% na modalidade MTO (item 3.3.8 – tabela 9). De maneira análoga o custo de estoque é o menor em comparação com os demais cenários, resultado da menor necessidade de estoques semi-acabados já que a maior parte da demanda (60%) é atendida sem uso destes estoques.



	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fila RB	1	1	1	1
Fila LB	0	0	2	1
Fila Acabamento	1	1	1	2

Fig. 13 – Resultados para ocupação igual a 40% e capacidade planejada no RB igual a 40%

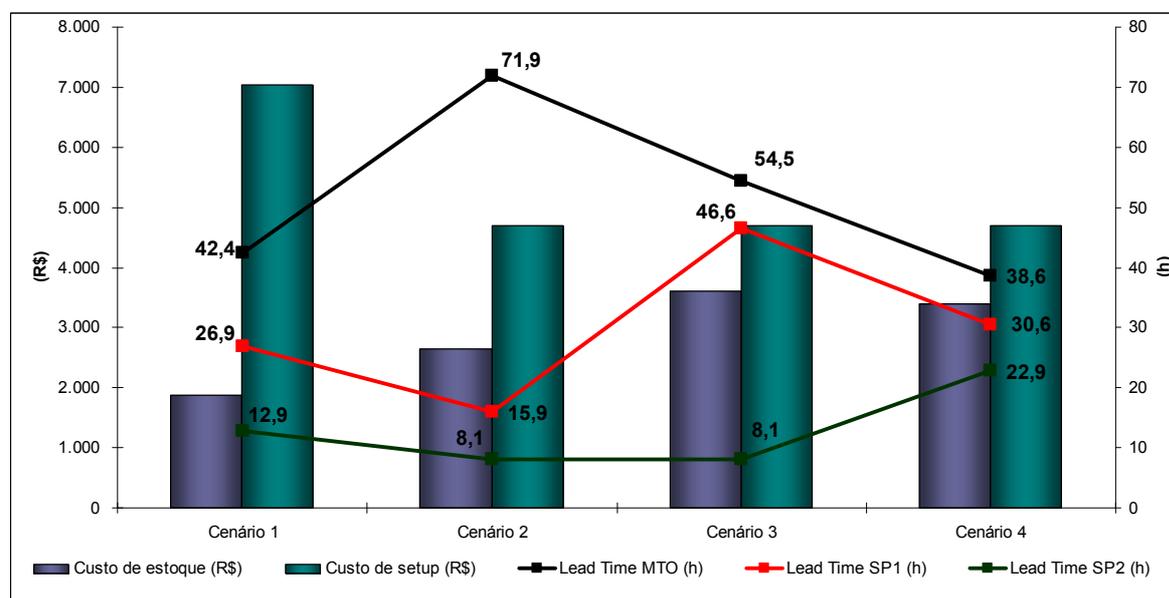
Após a alteração do parâmetro de capacidade planejada no RB (60% nesta simulação) os *lead times* não sofrem variação visto que no processamento dos lotes a capacidade permanece a mesma. Como observado na figura 14 o custo de estoque é reduzido, já que a otimização visualiza maior capacidade e planeja a produção dos lotes de reposição com menor antecipação, reduzindo o estoque médio.



	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fila RB	1	1	1	1
Fila LB	1	0	1	1
Fila Acabamento	1	1	1	2

Fig. 14 – Resultados para ocupação igual a 40% e capacidade planejada no RB igual a 60%

De maneira análoga ao discutido anteriormente a figura 15 demonstra uma capacidade disponível na otimização ainda maior o que contribui novamente para a redução do custo de estoque.

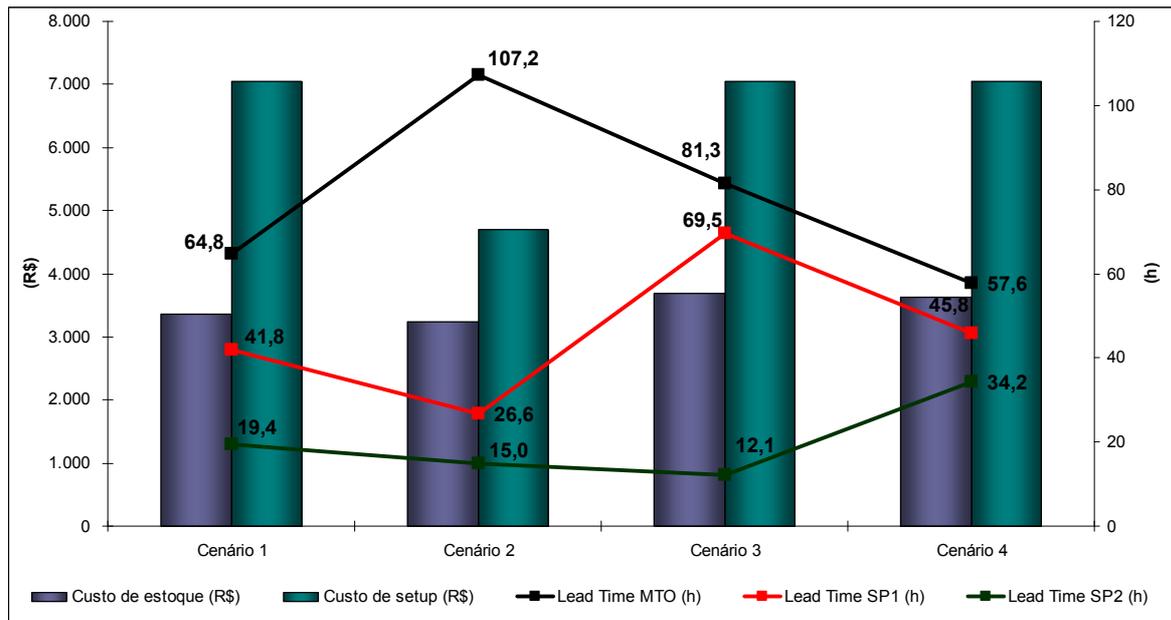


	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fila RB	1	1	1	1
Fila LB	1	1	1	2
Fila Acabamento	0	1	1	1

Fig. 15 – Resultados para ocupação igual a 40% e capacidade planejada no RB igual a 80%

Analisando as três situações para o nível de ocupação de 40% do RB pode ser observado que o *lead time* não sofre variações quando o percentual de capacidade disponibilizada para o planejamento da reposição é aumentado. Em outras palavras, neste baixo nível de ocupação dos equipamentos as filas são quase inexistentes e o *lead time* é basicamente influenciado apenas pelo tempo de processamento do lote de produção. Entretanto pode também ser observado que quanto maior o percentual de capacidade disponibilizada para o planejamento da reposição menor o nível de estoque. Esta observação é explicada pelo fato de que tendo mais capacidade disponível o modelo de otimização planeja a reposição dos lotes com menor antecipação gerando assim menos estoque. Os custos de *setup* também permanecem em níveis baixos uma vez que a sobra de capacidade não demanda a produção antecipada de diferentes materiais. Os cenários 1 e 2 tem a demanda mais concentrada no atendimento MTO (ver item 3.3 – figura 4), sendo assim o percentual de demanda atendida via estoques intermediários é menor, o que gera menores lotes de reposição e menor custo de estoque.

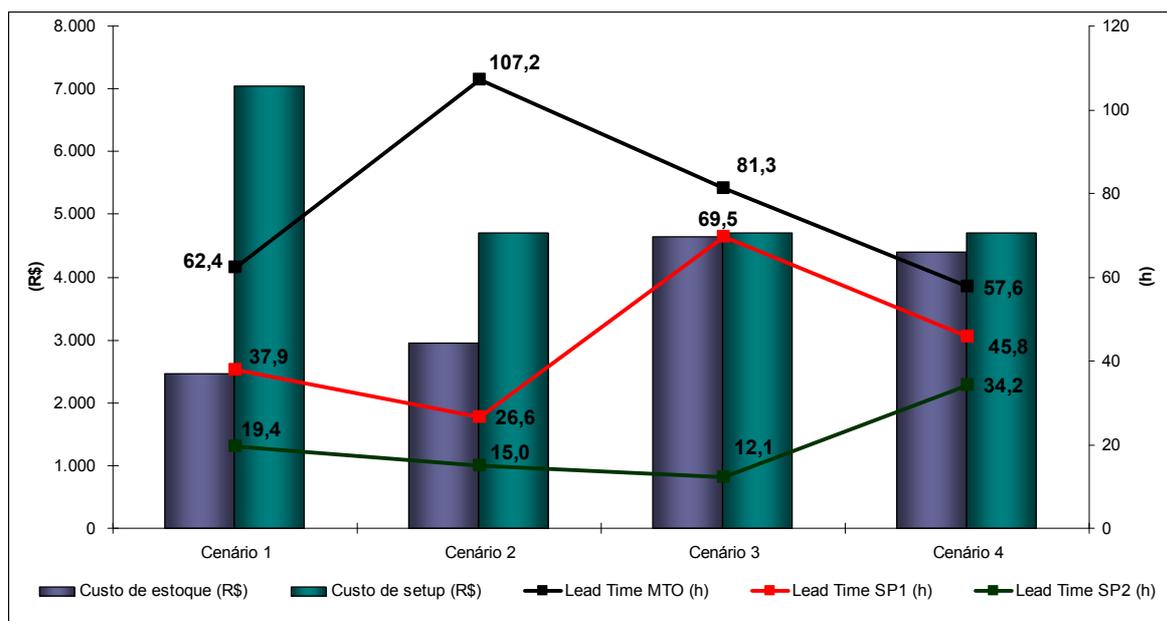
Dando sequencia a análise de resultados a figura 16 apresenta os valores para o nível de ocupação de 60%. A situação de ocupação em 60% permite que o modelo rode apenas para níveis de capacidade planejada na reposição menores ou iguais a 60%. Isto porque capacidades menores não permitem a reposição dos estoques intermediários para atender plenamente a demanda. Com o aumento da ocupação os *lead times* são sensivelmente afetados



	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fila RB	1	1	1	1
Fila LB	1	1	1	2
Fila Acabamento	1	1	1	2

Fig. 16 – Resultados para ocupação igual a 60% e capacidade planejada no RB igual a 60%

Como visualizado na figura 16 os *lead times* continuam não sofrendo alteração dentro do mesmo nível de ocupação. Entretanto com uma maior utilização dos equipamentos a disponibilidade de mais capacidade no planejamento da produção (otimização) favorece a redução dos *setups*.



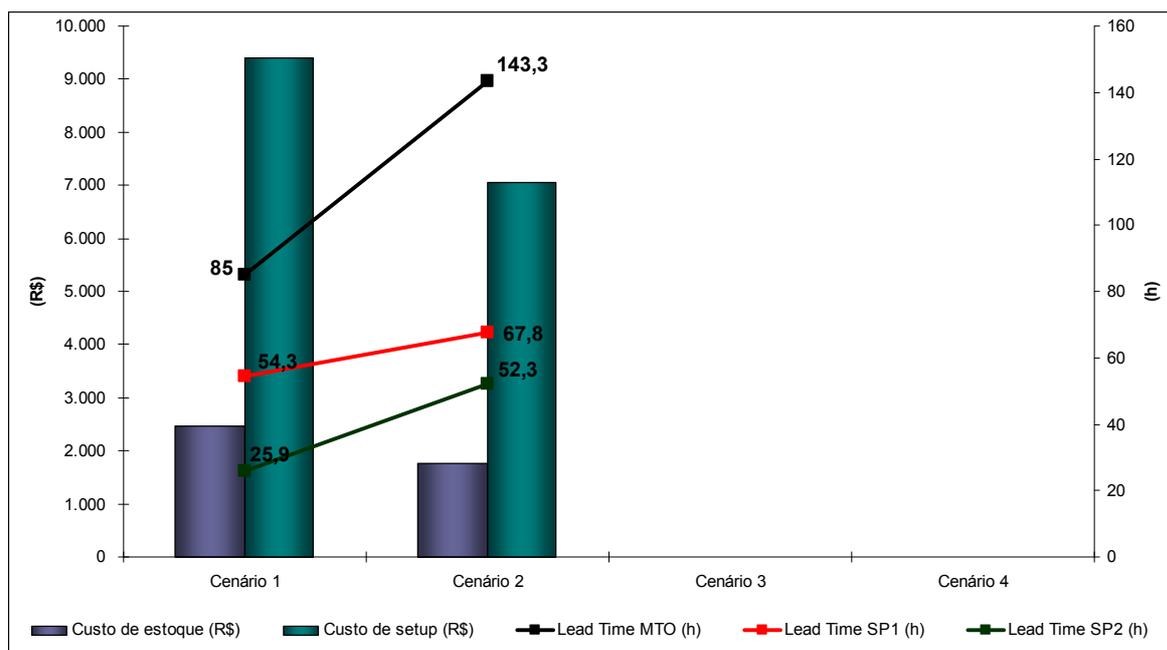
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fila RB	1	1	1	1
Fila LB	1	1	2	2
Fila Acabamento	1	1	1	2

Fig. 17 – Resultados para ocupação igual a 60% e capacidade planejada no RB igual a 80%

Com um maior nível de ocupação dos equipamentos os *lead times* são sensivelmente afetados. Em comparação com o nível de ocupação de 40% o *lead time* é de 50 a 60% maior.

A influência nos estoques permanece acompanhando o nível de maior disponibilidade de capacidade para a reposição, seja através da maior ocupação dos equipamentos ou através da maior reserva de capacidade por parte do modelo de otimização.

Como já previsto (item 3.3) trabalhando em um nível de ocupação de 80% o modelo de otimização não encontra solução para todas as situações e cenários. Utilizando para planejamento 60% desta ocupação somente dois cenários podem ser simulados, o cenário 1 e 2, onde a demanda é igualmente distribuída (cenário 1) e onde a demanda é reduzida no atendimento via estoque (cenário 2). A figura 18 apresenta os resultados, onde pode ser observado o grande aumento do *lead time*: 100 % de aumento para o atendimento MTO no cenário 2 em relação ao nível de ocupação de 40%.

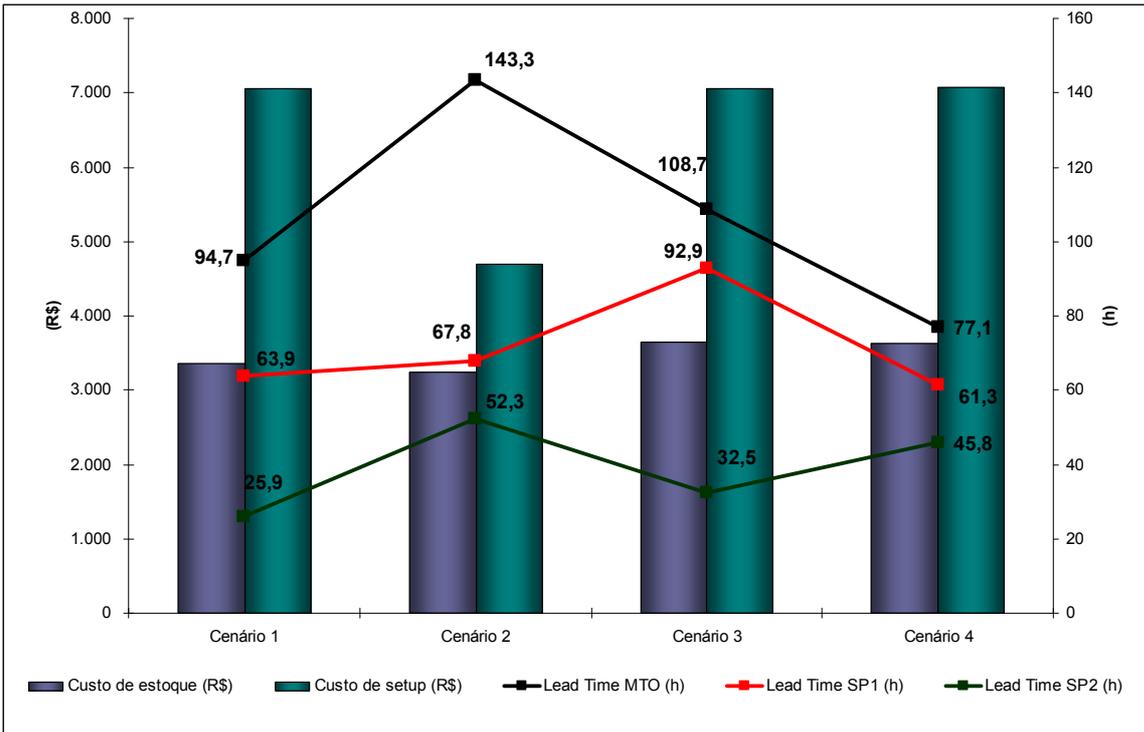


	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fila RB	2	2	0	0
Fila LB	1	2	0	0
Fila Acabamento	1	2	0	0

Fig. 18 – Resultados para ocupação igual a 80% e capacidade planejada no RB igual a 60%

Em um nível de ocupação de 80% (figura 19) o modelo de otimização encontra solução para todos os cenários apenas quando 80% da capacidade está disponível no planejamento dos lotes de reposição. Vale dizer que a capacidade disponível na otimização é sempre igual ao nível de ocupação multiplicado pelo percentual de capacidade planejada no RB. Na situação da figura 19 a capacidade disponível na otimização foi de $80\% \times 80\% = 64\%$ da capacidade nominal do equipamento.

Em todas as simulações pode ser observado que no cenário 2 o *lead time* do atendimento MTO tem o maior valor. A explicação é que neste cenário a demanda para atendimento via supermercados é pequena, sendo assim o planejamento de reposição de estoques (fase de otimização) trabalha com uma demanda (apenas atendimento via estoques) bem menor do que a demanda (total) que está presente na simulação.



	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Fila RB	1	2	1	1
Fila LB	2	2	1	2
Fila Acabamento	1	1	1	2

Fig. 19 – Resultados para ocupação igual a 80% e capacidade planejada no RB igual a 80%

Resultados para o modelo com redução não planejada da capacidade

As tabelas abaixo apresentam os resultados da simulação quando a capacidade é reduzida em 30% de forma não planejada. Esta redução pode ser interpretada como uma quebra ou necessidade técnica de redução da velocidade de operação do equipamento.

Analisando o cenário 1 através da tabela 11 percebe-se que o maior impacto no *lead time* ocorre quando o equipamento com capacidade reduzida é o Acabamento (Acab), isso deve-se ao fato de este ser o último equipamento da linha e conseqüentemente todos os pedidos a serem processados passam por ele.

	Cenário 1			
	RB 70% Capacidade	LB 70% Capacidade	Acab 70% Capacidade	100% Capacidade
Ocupação da Linha	80%	80%	80%	80%
Percentual de capacidade para programação	80%	80%	80%	80%
Percentual de demanda para programação	65%	65%	65%	65%
Lead Time MTO (h)	112,1	125,2	135,8	94,7
Lead Time SP1 (h)	50,5	82,6	96,3	63,9
Lead Time SP2 (h)	26,0	26,3	61,0	25,9
Rupturas atendimento via SP1 (unid.)	1	0	0	0
Rupturas atendimento via SP2 (unid.)	0	0	0	0
Fila RB	2	1	1	1
Fila LB	1	1	1	1
Fila Acabamento	1	1	1	1

Tab. 11 – Resultados para a redução da capacidade com o cenário 1

No cenário 2 (tabela 12) com a demanda atendida pelo supermercados reduzida e no caso de restrições de capacidade nos equipamentos iniciais (RB ou LB) o atendimento via SP2 tem uma grande redução no *lead time*. Em outras palavras ao surgir um gargalo anterior ao ponto de entrada do pedido tem-se o acabamento livre para processar o pedido.

	Cenário 2			
	RB 70% Capacidade	LB 70% Capacidade	Acab 70% Capacidade	100% Capacidade
Ocupação da Linha	80%	80%	80%	80%
Percentual de capacidade para programação	80%	80%	80%	80%
Percentual de demanda para programação	40%	40%	40%	40%
Lead Time MTO (h)	163,7	185,4	182,2	143,3
Lead Time SP1 (h)	75,4	83,7	114,2	67,8
Lead Time SP2 (h)	16,2	16,2	92,1	52,3
Rupturas atendimento via SP1 (unid.)	0	0	0	0
Rupturas atendimento via SP2 (unid.)	0	0	0	0
Fila RB	2	1	1	1
Fila LB	2	2	1	1
Fila Acabamento	1	1	2	2

Tab. 12 – Resultados para a redução da capacidade com o cenário 2

No cenário 3 (tabela 13), onde a demanda atendida pelos supermercados é maior, tem-se pequena variação no *lead time* quando a restrição de capacidade está no RB. O fato da demanda estar prevista no planejamento (otimização) faz com que os lotes de ressuprimento sejam distribuídos ao longo dos períodos diminuindo assim o impacto de uma repentina redução de capacidade do RB.

	Cenário 3			
	RB 70% Capacidade	LB 70% Capacidade	Acab 70% Capacidade	100% Capacidade
Ocupação da Linha	80%	80%	80%	80%
Percentual de capacidade para programação	80%	80%	80%	80%
Percentual de demanda para programação	80%	80%	80%	80%
Lead Time MTO (h)	108,7	172,6	171,1	108,7
Lead Time SP1 (h)	92,6	156,9	148,7	92,9
Lead Time SP2 (h)	24,6	16,3	82,5	32,5
Rupturas atendimento via SP1 (unid.)	1	0	0	0
Rupturas atendimento via SP2 (unid.)	0	0	0	0
Fila RB	4	2	2	2
Fila LB	1	4	3	3
Fila Acabamento	1	1	2	2

Tab. 13 – Resultados para a redução da capacidade com o cenário 3

Assim como no cenário 3, o cenário 4 (tabela 14) tem maior atendimento via supermercados, desta forma a análise anterior também é válida. Por ter maior demanda via SP2 este cenário demonstra claramente o grande impacto da redução de capacidade localizada no acabamento, onde o *lead time* salta de 77 horas (capacidade nominal) para 133 horas (capacidade do Acab reduzida em 30%).

	Cenário 4			
	RB 70% Capacidade	LB 70% Capacidade	Acab 70% Capacidade	100% Capacidade
Ocupação da Linha	80%	80%	80%	80%
Percentual de capacidade para programação	80%	80%	80%	80%
Percentual de demanda para programação	80%	80%	80%	80%
Lead Time MTO (h)	74,7	110,4	133,0	77,1
Lead Time SP1 (h)	59,6	87,4	110,5	61,3
Lead Time SP2 (h)	45,8	55,7	88,5	45,8
Rupturas atendimento via SP1 (unid.)	1	0	0	0
Rupturas atendimento via SP2 (unid.)	0	0	0	0
Fila RB	2	1	1	1
Fila LB	1	4	2	2
Fila Acabamento	1	1	2	2

Tab. 14 – Resultados para a redução da capacidade com o cenário 4

Análise de resultados financeiros

Uma análise importante seria a comparação entre o custo de estoque e o benefício de redução do *lead time*. Para esta análise será necessária a informação de margem de contribuição do produto. Considerando a forma tradicional de atendimento os materiais seriam fornecidos segundo uma estratégia *Make-to-order*. Ao oferecer ao cliente um menor *lead time* espera-se aumento da margem com conseqüente aumento de estoque. Para esta análise serão considerados os cenários 2 e 4. No cenário 2 60% da demanda é atendida via MTO e no cenário 4 apenas 20%. Desta forma podemos considerar que ao partir do cenário 2 para o cenário 4 estamos movimentando 40% da demanda de um atendimento MTO para um atendimento via SP2. Considerando para análise a situação de nível de ocupação de 40% e percentual de capacidade disponível para planejamento em 60% temos as seguintes informações descritas na tabela 15:

Cliente A	
Cliente Share	86%
Margem EBTIDA - Atendimento com lead time tradicional (via MTO)	20%
Margem EBTIDA - Atendimento com lead time reduzido (via SP2)	23%
CPV (custo do produto vendido)	R\$ 2.852

Tab. 15 – Dados cliente A

Para analisar a hipótese de migração do atendimento MTO para o atendimento via SP2 as premissas adotadas serão as seguintes:

- A parcela de demanda que passará a ser atendida com *lead time* reduzido deixa de ser atendida em 71,9 horas e passa a ser atendida em 22,9 horas;
- Ao oferecer o atendimento com menor *lead time* o objetivo é aumentar a margem de contribuição de 20% para 23% na parcela de demanda movimentada;
- O aumento do *lead time* via SP2 do cenário 4 em comparação ao cenário 2 não será avaliado como perda de margem de contribuição.

	Cenário 2	Cenário 4	Diferença
Custo de estoque	R\$ 2.834	R\$ 4.086	R\$ 1.252
Custo de setup (R\$)	R\$ 4.700	R\$ 4.700	
Lead Time MTO (h)	71,9	38,6	(33)
Lead Time SP2 (h)	8,1	22,9	15
Volume médio atendido via SP2 (ton)	190	541	351
Margem absoluta - Atendimento via SP2 (R\$/ton)			R\$ 570
Margem absoluta - Atendimento via SP2 (R\$/ton)			R\$ 656
Acréscimo de margem (R\$/ton)			R\$ 86
Acréscimo de margem total (R\$)			R\$ 30.032

Tab. 16 – Comparação entre cenários

O quadro da tabela 16 demonstra que para a situação avaliada haverá um aumento do custo de estoque da ordem de R\$ 1.252,00, mas em contrapartida o ganho em margem de contribuição é 24 vezes maior.

Síntese dos resultados

Os resultados apurados demonstram que a disponibilidade de capacidade influi significativamente nos resultados de *lead-time* alcançados. Outra característica que merece atenção especial é a necessidade de uma relação entre o balanceamento da linha de produção e as modalidades de atendimento. Esta conclusão advém da avaliação do cenário onde o maior percentual de demanda é atendido através do ponto de estoque mais avançado. Neste caso a disponibilidade de capacidade no último equipamento garante o menor *lead time*.

As análises demonstram claramente o benefício de grande capacidade disponível. Este benefício é traduzido em dois pontos: A menor necessidade de estoques, uma vez que estes podem ser produzidos o mais próximo possível do período em que serão necessários. E também a redução do *lead-time* como consequência da menor fila nos equipamentos.

A análise financeira demonstra que dentre os vários *trade-off's* intrínsecos à cadeia de suprimentos o custo de estoque x nível de serviço merece sempre atenção especial. Do ponto de vista gerencial a predisposição dos clientes em pagar um preço prêmio por menores *lead times* deve ser sempre incentivada e analisada em relação aos custos de estoque. O custo de

manutenção de estoques pode ser relativamente alto para alguns setores da indústria. Isso acontece de forma bastante evidente no setor siderúrgico. Dimensionar corretamente os níveis de estoque passa a ser uma questão fundamental.

5 – CONCLUSÕES

Indústrias onde os produtos possuem um alto nível de customização tendem prioritariamente a operar segundo uma estratégia *Make-to-order*. Entretanto as análises feitas neste trabalho demonstram que deve ser profundamente considerada a proposta de avançar os estoques na cadeia a fim de proporcionar menor *lead time* ao cliente.

O estudo aqui desenvolvido aborda um sistema híbrido MTS-MTO utilizando também uma abordagem híbrida.

Os sistemas de produção que operam segundo uma estratégia exclusivamente *Make-to-Order* ou *Make-to-Stock* vem sendo gradativamente substituídos por versões mais evoluídas que buscam absorver as vantagens de cada estratégia isolada. Várias indústrias vêm adotando estratégias típicas de *postponement* para retardar a diferenciação, ganhando economia de escala nas fases iniciais da produção e reduzindo o *lead time* de entrega ao cliente. A adoção destas estratégias, no entanto ainda está muito limitada a ramos industriais ditos mais “modernos”, tais como eletro-eletrônicos. Apesar de alguns estudos científicos mais recentes versarem sobre o tema na indústria de processo (limitados à indústria alimentícia), estes trabalhos além de assumidamente tímidos não contemplam a siderurgia. Dentro deste contexto este trabalho contribui fortemente para a introdução da pesquisa científica do tema dentro do ambiente da indústria siderúrgica. Os estudos presentes na literatura fazem propostas e análises importantes, entretanto poucos ou nenhum tratam diretamente o tema considerando as especificidades da siderurgia.

Os conceitos técnico-científicos e mesmo culturais de gerenciamento de estoques são notadamente revolucionários em indústrias de capital intensivo como a siderurgia. É consenso que parte desta cultura é herança ainda das raízes de empresas estatais que gozavam de fortes mecanismos de proteção de mercado. Estas proteções impediram sobremaneira o avanço destas organizações em termos de técnicas de gestão focadas em resultado financeiro. A filosofia tradicional de produzir ao máximo precisa hoje ser substituída por produzir o que for vendido. Este trabalho vem contribuir no sentido de incentivar através de métodos e modelos a necessidade de ligação íntima entre o que está sendo produzido com o que foi ou será vendido, e o canal desta ligação não é outro senão a gestão dos estoques. Esta necessidade de gestão ativa mostra-se ainda mais evidente em um ambiente como o apresentado neste trabalho, onde estão propostos diferentes pontos de entrada do pedido do cliente.

Após estruturar um ambiente com múltiplos pontos de penetração do pedido final este trabalho apresenta uma abordagem híbrida para análise deste ambiente. Os modelos de simulação são largamente utilizados na literatura para análise da implementação de políticas de estoque. Os modelos de otimização tem grandes aplicações, também no ambiente siderúrgico, em planejamento da produção de maneira geral. Seja nos estágios agregados (plano agregado, plano mestre, etc.) ou no planejamento de curto prazo (dimensionamento e sequenciamento). No nível detalhado de planejamento os modelos de otimização prestam-se primariamente a balancear o *trade-off* entre custos de *setup* e custos de manutenção de estoques através do dimensionamento e sequenciamento de lotes.

O desenvolvimento neste trabalho de um modelo híbrido busca exatamente unir as vantagens e características positivas de cada abordagem. As vantagens da otimização foram somadas às vantagens da simulação em um modelo único dinamicamente interligado.

Neste trabalho a disposição da abordagem por otimização em fornecer soluções ótimas ou próximas do ótimo foi utilizada para a confecção do plano de produção através da implementação de um modelo *PLSP - Proportional Lot Sizing and Scheduling Problem*. O modelo PLSP mostrou-se adequado por permitir sequenciar diferentes produtos em um mesmo período, preservando o estado de *setup* do equipamento mesmo através de períodos sem produção. O modelo PLSP foi implementado utilizando o *Premium Solver para o Microsoft Excel*[®] proporcionando interface dinâmica com o modelo de simulação.

A estruturação do ambiente de estudo passou pela proposição de cenários de demanda, estes cenários objetivam analisar o comportamento da sistemática de atendimento através de estoques semi-acabados sob diferentes condições. Foram também inseridos nos cenários de análise diferentes variáveis que impactam a capacidade dos equipamentos. Esta combinação de cenários sugeriu o desenvolvimento de um modelo de simulação. A disposição da abordagem por simulação foi utilizada com a implementação de um modelo de simulação por eventos discretos utilizando o software *Arena*[®].

O modelo híbrido desenvolvido gera demandas através de simulação, resolve o plano de produção e simula novamente o processamento dos lotes de reposição de estoque e atendimento a pedidos finais. A interface entre os módulos (simulação – otimização – simulação) permite a troca automática de informações. Os *output's* do primeiro módulo de simulação são diretamente transformados em *input's* para o módulo de otimização que tem por sua vez seus *output's* transformados em *input's* para o segundo módulo de simulação.

A abordagem híbrida tem notadamente ganhado espaço dentre os modelos quantitativos e este trabalho vem contribuir com a difusão desta técnica sugerindo um problema relativamente novo.

Algumas implicações gerenciais merecem destaque no desenvolvimento deste trabalho. A utilização deste modelo favorece a análise do custo x benefício de posicionar estoques semi-acabados estrategicamente. A força de vendas deve munir-se de análises deste tipo para em cenários de forte demanda direcionar a estratégia para produtos menos complexos que possam ser atendidos a partir dos “supermercados” posicionados ao longo do fluxo.

Os ganhos em termos de redução de *lead time* podem e devem oferecer retorno para a organização seja na forma de melhores margens de contribuição, seja na forma de fidelização do cliente e aumento de *market-share*.

Finalmente este modelo mostrou-se extremamente útil para demonstrar a importância capital do gerenciamento dos estoques através de técnicas mais quantitativas em detrimento as abordagens intuitivas.

Pesquisas futuras

Algumas análises feitas apontam para pesquisas futuras que podem agregar vantagens a este trabalho.

A exigência de grandes escalas de produção para viabilizar a diluição dos custos faz com que a cadeia logística da siderurgia se apóie fortemente na geração de estoques. A introdução da análise financeira da utilização da capacidade daria ferramentas para análise de mais este *trade-off*: otimização do uso do ativo x custos de estoque. O benefício advindo da maior disponibilidade de capacidade citado acima deve ser mais analisado. Uma linha de continuidade poderia ser a análise quantitativa deste benefício levando em conta que capacidade ociosa resulta em um baixo nível de ocupação dos ativos, indicador importante para as empresas de capital intensivo – caso da siderurgia típica.

Verifica-se a importante influência do processo de previsão de vendas na formação dos estoques. Uma indicação para trabalhos futuros seria a análise da influência da utilização de diferentes técnicas de previsão de vendas dentro do modelo. Técnicas que apresentem menor incerteza teriam impacto direto na redução dos estoques.

O módulo de otimização desenvolvido neste trabalho utiliza um modelo PLSP tradicional, algumas extensões deste modelo podem ser futuramente implementadas. Dentre estas extensões destacam-se: O PLSP com tempo de *setup* e o PLSP com múltiplos equipamentos.

Outra interessante extensão seria utilizar variáveis estocásticas para o tempo de ciclo em cada equipamento, ou seja, uma medida variável para a produtividade.

Uma recomendação final seria a proposição de um problema de rede onde os pontos de diferenciação não estivessem claramente definidos, como no caso deste estudo. Desta forma a posição do OPP ao longo da cadeia seria a solução do problema de rede.

6 – REFERÊNCIAS

ADAMS, M. COMPONATION, P. CZARNECKI, H. SCHROER, B. **Simulation as a toll for continuous process improvement.** In Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. Piscataway, N.J., USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999, p.766, 1999.

ALDERSON, W. **Marketing Behavior and Executive Action: A Functionalist Approach to Marketing Theory,** Richard D. Irwin Inc., Homewood, IL, 1957.

ALDERSON, W. **Marketing efficiency and the principle of postponement.** Cost and profit outlook, n.3 pp. 15, 1950.

BADRI, M. **A Simulation Model for Multi-Product Inventory Control Management,** Simulation, v. 72, pp. 20, 1999.

BALDWIN, L. ELDABI, T. HLUPIC, V. IRANI, Z. **Enhancing simulation software for use in manufacturing.** Logistics Information Management, v. 13, n. 5, pp. 263, 2000.

BANKS, J. CARSON, I. John, S. NELSON, B. NICOL, D. **Discrete – Event System Simulation.** 4th Edition. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall, 608p, 2005.

BITRAN, G.R. HAX, A.C. **On the design of hierarchical production planning systems.** Decision Sciences, n. 8 v. 1, pp. 28, 1977.

BOWERSOX, J. CLOSS, J. **Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process.** New York: McGraw-Hill Companies, 594p, 1996.

BROWN, R. G. **Materials Management Review Systems.** New York: John Wiley & Sons, pp. 136, 1977

BUCKLIN, L.P. **Postponement, speculation and the structure of distribution channels.** Journal of Marketing Research, v.2, pp. 26, 1965.

CAUX, C. DAVID, F. PIERREVAL, H. **Implementation of delayed differentiation in batch process industries: a standardization problem.** n.16, v. 44, pp. 3243, 2006.

CHI, Hsin. **Computer simulation models for sustainability.** International Journal of Sustainability in Higher Education, v. 1, n. 2, pp.154, 2000.

COUGHLAN P. COUGHLAN D. **Action research for operations management.** International Journal of Operations & Production Management, v. 22, n. 2, pp. 220, 2002.

DENTON, B GUPTA, D. KAWAHIR, K. **Managing increasing product variety at integrated steel mills.** Interfaces, v. 33, n. 2, pp. 41, 2003.

DENTON, B. GUPTA, D. **Strategic inventory deployment in the steel industry.** IIE Transactions, v. 36, pp. 1083, 2004.

DONK, D. **Make to stock or make to order: The decoupling point in the food processing industries.** International journal of Production Economics, v. 69, pp 297, 2001

DREXL, A., HAASE, K., **Proportional lotsizing and scheduling,** International Journal of Production Economics, v. 40, pp. 73, 1995.

DREXL, A. KIMMS, A. **Lot Sizing and Scheduling – Survey and extensions.** European Journal of Operational Research. n. 99, pp 221, 1997.

DRÖGE, C.L. GERMAIN, R.N. SPEARS, N. **Form postponement as a strategic initiative affecting organization design.** In: Proceedings of the American Marketing Association Educators' Conference, Washington, pp. 263, 1995.

DROR, M. TRUDEAU, P. **Inventory Routing: Operational Design.** Journal of Business Logistics, n.9, v. 2, pp. 165, 1988.

DUFFUAA, O. BEN-DAYA, M. AL-SULTAN, S. ANDIJANI, A.. **A generic conceptual simulation model for maintenance systems.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 7, N° 3, pp.207, 2001.

ELMAGHRABY, S.E., **The economic lot scheduling problem (ELSP): review and extensions,** Management Science, n. 24, pp. 587, 1978.

ERLENKOTTER, D., **Ford Whitman Harris and the economic order quantity model.** Operations Research, n. 38, pp.937, 1990.

FEDERGRUEN, A. AVIV, Y. **Capacitated Multi-Item Inventory Systems with Random and Seasonally Fluctuating Demands: Implications for Postponement Strategies.** Management Science. v. 47, n. 4, pp. 512, 2001.

FEITZINGER, E. LEE, H. **Mass customization at Hewlett Packard: the power of postponement.** Harvard Business Review, n. 75, pp. 116, 1997.

FLEISCHMANN, B. **The discrete lot-sizing and scheduling problem.** European Journal of Operational Research, n. 44, pp. 337, 1990.

FLEISCHMANN, B., MEYR, H., **The general lot-sizing and scheduling problem.** Working Paper, University of Augsburg, 1996.

GARG, A. TANG, C. **On postponement strategies for product families with multiple points of differentiation.** IIE Transactions, n. 29, pp. 641, 1997.

GUPTA, D. BENJAAFAR, S. **Make-to-order, make-to-stock or delay product differentiation ? A common framework for modeling and analysis,** n. 36, pp. 529, 2004.

GUPTA, K. PAREDIS, F. SINHA, R. BROWN, P. **Intelligent assembly modeling and simulation.** Assembly Automation, v. 21, n. 3, pp.215, 2001.

HADLEY, G. WHITIN, T. **Analysis of Inventory Systems.** Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1963.

HAUTANIEMI, P. PIRTTILÄ, T. **The choice of replenishment policies in an MRP environment.** International Journal of Production Economics, v. 59, pp. 85, 1999.

HAX, A. MEAL, C. **Hierarchical integration of production planning and scheduling.** In: Geisler, M.A. (Ed.), Logistics. North-Holland, Amsterdam, pp. 53, 1975.

HAX, A. CANDEA, D. **Production and Inventory Management,** Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1984.

HERRON, P. **Integrated Inventory Management.** Journal of Business Logistics, n. 8, v. 1, pp. 96, 1987.

HILL, T. **Manufacturing Strategy—Text and Cases,** 2nd Edition. Palgrave, Houndmills, Hampshire, 2000.

HOEKSTRA, S. ROMME, J. **Integral Logistic Structures: Developing Customer-oriented Goods Flow,** McGraw-Hill, London, 1992.

KARIMI, B. GHOMI, S. WILSON, J. **The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms.** Omega. n. 31, pp. 365, 2003.

KELTON, D. SADOWSKI, P. STURROCK, D. **Simulation with Arena.** 4th Edition. New York, USA: McGraw-Hill, 630p, 2007.

KERKKÄNEN, A. **Determining semi-finished products to be stocked when changing the MTS-MTO policy: Case of a steel mill.** International journal of Production Economics, v. 108, pp 111-118, 2007

KRUPP, J. **Safety stock management.** Production and Inventory Management Journal, v. 38, n. 3, pp. 11-18, 1997.

LEE, H. BILLINGTON, C. **Designing products and process for postponement.** 1994.

LEE, H. TANG, C. **Modelling the Costs and Benefits of Delayed Product Differentiation.** n. 1 v. 43, pp. 40, 1997.

LENARD, J. ROY, B. **Multi-Item Inventory Control: A Multicriteria View.** European Journal of Operational Research, v. 87, pp. 685-692, 1995.

OLHAGER, J. **Strategic positioning of the order penetration point.** International journal of Production Economics, v. 85, pp 319-329, 2003.

OLHAGER, J. OSTLUND, B. **An integrated push–pull manufacturing strategy.** European Journal of Operational Research, v. 45 n. 2, pp. 135, 1990.

PAGH, J. COOPER, M. **Supply chain postponement and speculation strategies: how to choose the right strategy.** Journal of business logistics, v.19, n.2, p. 13-32, 1998.

PERERA, T. LIYANAGE, K. **Methodology for rapid identification and collection of input data in the simulation of manufacturing systems.** Simulation Practice and Theory, n. 7, pp. 645, 2000.

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science.** 4th Edition. New York: John Wiley & Sons Ltd., 280p, 1998.

PINTO, L. SALIBY, E. **Análise de confiabilidade de redes usando simulação: estudo de caso dinâmico.** XXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. 1994.

POTTER, A. MASON, R. NAIM, M. LALWANI, C. **The evolution towards an integrated steel supply chain: A case study from the UK.** International Journal of Production Economics, n. 89, v. 2, pp. 207, 2004.

RAO, U. **Properties of the Periodic Review (R,T) Inventory Control Policy for Stationary, Stochastic Demand.** Manufacturing & Service Operations Management, v. 1, n. 1, pp. 37, 2003.

ROGERS, J. **A computational approach to the economic lot scheduling problem**, Management Science, n. 4, pp. 264, 1958.

SCHNEIDER, H. **Effect of service-levels on order-points or order-levels in inventory models**. International Journal of Production Research, n. 19, pp. 615-631, 1981.

SHARMAN, G. **The rediscovery of logistics**. Harvard Business Review, n. 62, v. 5, pp. 71, 1984.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 291p, 1996.

SOMAN, C. DONK, D. GAALMAN, G. **A Decision Aid for Make-to-order and Make-to-stock Classification in Food Processing Industries**. EurOMA International Conference on Operations and Global Competitiveness. 2005.

SOMAN, C. DONK, D. GAALMAN, G. **Combined make-to-order and make-to-stock in a food production system**. International Journal of Production Economics. n.90, pp. 223, 2004.

SOMAN, C. DONK, D. GAALMAN, G. **Comparison of dynamic scheduling policies for hybrid make-to-order and make-to-stock production systems with stochastic demand**. International Journal of Production Economics. n.104, pp. 441, 2006.

TIJMS, H. GROENEVELT, H. **Simple approximations for the reorder point in periodic and continuous review (s, S) inventory systems with service level constraints**. European Journal of Operational Research, n. 17, pp. 175-190, 1984.

VAN, H. REMKO, I. **Postponed manufacturing in European Supply Chain: A triangular approach**. Utrecht: Netherlands Geographical Studies, 261p, 1998.

WAGNER, H. WHITIN, T. **Dynamic version of the economic lot size model**, Management Science, n. 5, pp. 89, 1958.

ZINN, W. BOWERSOX, D. **Planning physical distribution with the principle of postponement.** Journal of Business Logistics, v.9, n.2, pp.117, 1988.

ZINN, W. MARMORSTEIN, H. **Comparing Two Alternative Methods of Determining Safety Stock Levels: The Demand and the forecast system.** Journal of Business Logistics, n.11, v.1, pp. 95, 1990.

7 – ANEXOS

Anexo 1 – Tela do sistema de controle de pedidos – PCP.

Carteira de Pedidos - Banco: P004 - Usuário: 120427232

Relatórios Opções

Inox

Expand. Ped. Aço MP

Embarq. Pend. XML

Pesqu. Todos

Saír

Exportar Pedido

Exportar UM's

Relatório

Exporta XML

Resultado da Busca

Condição da Busca

Doc. Vendas	Cliente	D. V.	D. V. Item	Pedido	S	Prazo Conf.	Gr	QIS	Aço	Pad. Qual.	Diam	Esp	Laig	Comp	Pes Sol	Pes Fat	P Tot Alóc	Sd a Prod	Sd a Alocar
ZTRA	ARCELORMIT	648630	1	1016459	P	10/02/2008	BF	13	P430A	F	610	0.4	1250	0	990000	68277	0.0	921723.0	-921723.0
ZTRA	ARCELORMIT	648643	1	1016479	P	10/02/2008	BF	13	P420A	C	508	0.8	1240	0	100000	60790	0.0	39210.0	-39210.0
ZTRA	ARCELORMIT	648643	2	1016480	H	10/02/2008	BF	13	P420A	C	610	1	1240	0	100000	97771	0.0	2229.0	-2229.0
ZTRA	ARCELORMIT	648646	1	1016481	P	10/02/2008	BF	13	P430E	B	610	1	1240	0	999000	83918	0.0	915082.0	-915082.0
ZTRA	ARCELORMIT	648646	2	1016482	P	10/02/2008	BF	13	P430E	B	610	1.2	1250	0	999000	163863	0.0	835137.0	-835137.0
ZTRA	ARCELORMIT	648644	1	1016484	P	10/02/2008	BF	13	P430A	B	610	0.8	1240	0	900000	189295	0.0	710705.0	-710705.0
ZTRA	ARCELORMIT	648647	1	1016499	P	10/02/2008	BF	13	P430A	F	610	0.5	1220	0	999000	34845	0.0	964155.0	-964155.0
ZTRA	ARCELORMIT	648647	2	1016500	P	10/02/2008	BF	13	P430A	F	610	0.6	1270	0	999000	68245	0.0	930755.0	-930755.0
ZTRA	ARCELORMIT	648647	3	1016501	P	10/02/2008	BF	13	P430A	B	610	2	1240	0	999000	10612	0.0	988388.0	-988388.0
ZTRA	ARCELORMIT	648648	1	1016502	P	10/02/2008	BF	13	P420A	C	610	1.2	1240	0	999000	69728	0.0	929272.0	-929272.0
ZTRA	ARCELORMIT	648648	2	1016503	P	10/02/2008	BF	13	P420A	C	610	3	1220	0	999000	29970	0.0	969030.0	-969030.0
ZTRA	ARCELORMIT	648647	4	1016504	P	10/02/2008	BF	13	P430E	B	610	2	1250	0	999000	132012	0.0	866988.0	-866988.0
ZTRA	ARCELORMIT	648649	1	1016519	E	10/02/2008	BF	13	P430E	D	610	0.6	1300	0	900000	0	0.0	900000.0	-900000.0
ZTRA	ARCELORMIT	648649	3	1016521	E	10/02/2008	BF	13	P430E	D	610	0.4	1220	0	900000	0	0.0	900000.0	-900000.0
ZTRA	ARCELORMIT	648649	4	1016539	P	10/02/2008	BF	13	P430E	A	610	0.6	1240	0	800000	362616	0.0	437384.0	-437384.0
ZTRA	ARCELORMIT	648649	5	1016540	E	10/02/2008	BF	13	P430E	D	610	0.6	1300	0	900000	0	0.0	900000.0	-900000.0
ZTRA	ARCELORMIT	648650	1	1016541	P	10/02/2008	BF	13	P430E	D	610	0.4	1220	0	900000	41320	0.0	858680.0	-858680.0
ZTRA	ARCELORMIT	648650	2	1016542	P	10/02/2008	BF	13	P430E	D	610	0.6	1300	0	900000	4985	0.0	895015.0	-895015.0

Unidades Alocadas ao pedido 1016480

Seq	Local	Estoque	Status	Status SIP	Status SAP	Dt Receb	LTQ	Ent Est	Pad	Gru	Acab	Cod. Aço	Aço MP	Aço	Esp	Lar	Comp	Diametro	

Ped. Solicitados: 99 | Peso: 61289000

Ped. Atendidos: 0 / 0% | Peso: 0

Ped. Pendentes: 99 / 100% | Peso: 61289000

Anexo 2 - Dados históricos de pedidos atendidos através do SKU A.

Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)
10/1/2007	309,64	10/6/2007	342,03	20/10/2007	344,09	20/2/2008	324,09	10/7/2008	317,74
10/1/2007	295,02	10/6/2007	312,76	20/10/2007	311,09	20/2/2008	306,22	10/7/2008	307,45
20/1/2007	299,62	10/6/2007	327,02	20/10/2007	305,15	20/2/2008	304,44	10/7/2008	293,21
20/1/2007	315,43	10/6/2007	311,53	20/10/2007	315,42	20/2/2008	317,79	10/7/2008	326,24
20/1/2007	326,11	10/6/2007	325,69	20/10/2007	333,27	20/2/2008	313,98	10/7/2008	290,96
31/1/2007	325,09	20/6/2007	312,73	31/10/2007	314,25	28/2/2008	301,53	20/7/2008	295,72
31/1/2007	299,42	20/6/2007	315,52	31/10/2007	322,35	28/2/2008	328,91	20/7/2008	324,35
31/1/2007	315,11	20/6/2007	332,38	31/10/2007	332,31	28/2/2008	319,87	20/7/2008	304,68
31/1/2007	303,31	20/6/2007	286,88	31/10/2007	303,26	28/2/2008	308,71	20/7/2008	308,53
31/1/2007	337,53	20/6/2007	331,33	31/10/2007	306,17	28/2/2008	316,83	20/7/2008	317,32
10/2/2007	328,73	30/6/2007	338,40	10/11/2007	322,57	28/2/2008	334,93	31/7/2008	301,55
10/2/2007	326,09	30/6/2007	291,22	10/11/2007	327,30	28/2/2008	295,37	31/7/2008	317,38
20/2/2007	321,95	10/7/2007	311,91	20/11/2007	322,34	10/3/2008	319,52	31/7/2008	308,13
20/2/2007	312,81	10/7/2007	323,88	20/11/2007	306,40	10/3/2008	310,56	31/7/2008	324,82
20/2/2007	305,00	10/7/2007	317,80	20/11/2007	306,34	10/3/2008	317,31	31/7/2008	310,52
28/2/2007	311,32	10/7/2007	299,69	20/11/2007	310,10	20/3/2008	310,54	10/8/2008	314,98
28/2/2007	318,93	10/7/2007	316,72	20/11/2007	317,59	20/3/2008	312,67	10/8/2008	346,84
28/2/2007	326,74	10/7/2007	303,83	20/11/2007	300,84	20/3/2008	293,94	10/8/2008	319,42
28/2/2007	300,47	10/7/2007	310,82	20/11/2007	287,85	20/3/2008	309,14	10/8/2008	311,56
28/2/2007	324,01	10/7/2007	309,67	20/11/2007	321,54	20/3/2008	328,63	10/8/2008	315,42
10/3/2007	312,46	20/7/2007	298,64	30/11/2007	314,21	31/3/2008	316,14	20/8/2008	291,06
20/3/2007	297,36	20/7/2007	311,78	30/11/2007	331,11	31/3/2008	307,65	20/8/2008	318,10
20/3/2007	334,37	20/7/2007	307,51	30/11/2007	320,80	31/3/2008	328,08	20/8/2008	301,82
20/3/2007	307,82	20/7/2007	328,21	30/11/2007	332,14	31/3/2008	311,41	20/8/2008	311,88
20/3/2007	329,58	20/7/2007	314,06	30/11/2007	317,17	31/3/2008	325,21	20/8/2008	324,68
20/3/2007	306,97	31/7/2007	324,64	10/12/2007	315,19	10/4/2008	323,72	31/8/2008	321,30
20/3/2007	332,84	31/7/2007	305,20	10/12/2007	300,00	10/4/2008	312,02	31/8/2008	303,23
20/3/2007	315,62	31/7/2007	326,53	10/12/2007	301,92	10/4/2008	305,35	31/8/2008	309,38
20/3/2007	308,40	31/7/2007	321,59	10/12/2007	305,57	10/4/2008	342,50	31/8/2008	319,92
31/3/2007	318,22	31/7/2007	313,45	10/12/2007	316,59	10/4/2008	307,48	31/8/2008	286,35
31/3/2007	332,48	10/8/2007	326,40	20/12/2007	311,33	20/4/2008	308,56	10/9/2008	328,86
31/3/2007	331,71	10/8/2007	310,05	20/12/2007	288,95	30/4/2008	302,31	10/9/2008	324,65
31/3/2007	307,59	10/8/2007	311,86	20/12/2007	310,41	30/4/2008	317,07	10/9/2008	300,04
31/3/2007	312,80	10/8/2007	321,95	20/12/2007	300,08	30/4/2008	323,87	10/9/2008	320,87
31/3/2007	317,01	10/8/2007	317,19	20/12/2007	313,11	30/4/2008	298,53	10/9/2008	323,13
10/4/2007	305,47	20/8/2007	299,67	31/12/2007	326,86	10/5/2008	317,64	20/9/2008	301,23
10/4/2007	301,34	20/8/2007	332,34	31/12/2007	325,61	20/5/2008	302,21	20/9/2008	309,41
10/4/2007	311,57	20/8/2007	317,10	31/12/2007	316,97	20/5/2008	296,54	20/9/2008	300,33
10/4/2007	295,75	20/8/2007	315,22	31/12/2007	306,95	20/5/2008	310,27	20/9/2008	328,98
10/4/2007	315,89	20/8/2007	308,51	31/12/2007	328,55	20/5/2008	292,03	20/9/2008	310,23
20/4/2007	334,86	31/8/2007	285,81	31/12/2007	328,06	31/5/2008	340,09	30/9/2008	314,96
20/4/2007	320,11	31/8/2007	291,65	31/12/2007	295,60	31/5/2008	299,36	30/9/2008	308,71
30/4/2007	334,58	31/8/2007	303,71	10/1/2008	313,17	31/5/2008	314,54	30/9/2008	318,64
30/4/2007	310,72	31/8/2007	306,79	10/1/2008	327,96	31/5/2008	319,21	30/9/2008	307,62
30/4/2007	304,49	31/8/2007	312,26	10/1/2008	332,86	31/5/2008	295,63	30/9/2008	322,32
10/5/2007	329,15	10/9/2007	316,77	20/1/2008	302,15	10/6/2008	302,79	10/10/2008	332,85
10/5/2007	309,26	10/9/2007	326,16	20/1/2008	335,58	10/6/2008	318,61	10/10/2008	301,38
10/5/2007	307,10	20/9/2007	334,71	20/1/2008	310,62	10/6/2008	302,65	10/10/2008	330,07
10/5/2007	324,89	20/9/2007	322,69	20/1/2008	317,05	10/6/2008	293,60	10/10/2008	317,80
10/5/2007	319,06	20/9/2007	319,56	20/1/2008	324,64	10/6/2008	292,71	10/10/2008	320,71
20/5/2007	344,53	30/9/2007	324,34	20/1/2008	297,06	20/6/2008	298,47	20/10/2008	306,22
20/5/2007	306,86	30/9/2007	316,90	20/1/2008	297,27	20/6/2008	297,57	20/10/2008	308,07
20/5/2007	317,10	30/9/2007	303,15	31/1/2008	307,75	20/6/2008	297,27	20/10/2008	321,58
20/5/2007	312,38	30/9/2007	317,07	31/1/2008	305,54	20/6/2008	312,11	20/10/2008	315,83
20/5/2007	322,18	30/9/2007	296,35	31/1/2008	316,73	20/6/2008	301,84	20/10/2008	293,81
31/5/2007	280,88	10/10/2007	323,31	10/2/2008	325,78	30/6/2008	307,34	31/10/2008	343,22
31/5/2007	309,90	20/10/2007	291,41	10/2/2008	316,38	30/6/2008	318,80	31/10/2008	328,38
31/5/2007	320,14	20/10/2007	318,59	10/2/2008	307,85	30/6/2008	317,95	31/10/2008	292,65
31/5/2007	322,77	20/10/2007	325,95	10/2/2008	292,27	30/6/2008	307,85	31/10/2008	281,08
31/5/2007	311,60	20/10/2007	285,25	10/2/2008	317,31	30/6/2008	326,20	31/10/2008	323,31

Anexo 3 - Dados históricos de pedidos atendidos através do SKU B.

Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)
10/1/2007	282,42	10/6/2007	293,41	20/10/2007	293,74	20/2/2008	287,93	10/7/2008	285,33
10/1/2007	278,58	10/6/2007	283,44	20/10/2007	282,88	20/2/2008	281,44	10/7/2008	281,79
20/1/2007	279,66	10/6/2007	289,10	20/10/2007	281,15	20/2/2008	280,95	10/7/2008	278,21
20/1/2007	284,42	10/6/2007	283,02	20/10/2007	284,42	20/2/2008	285,35	10/7/2008	288,80
20/1/2007	288,75	10/6/2007	288,58	20/10/2007	291,29	20/2/2008	283,88	10/7/2008	277,80
31/1/2007	288,34	20/6/2007	283,43	31/10/2007	283,98	28/2/2008	280,15	20/7/2008	278,73
31/1/2007	279,61	20/6/2007	284,46	31/10/2007	287,22	28/2/2008	289,81	20/7/2008	288,04
31/1/2007	284,30	20/6/2007	291,01	31/10/2007	290,99	28/2/2008	286,20	20/7/2008	281,01
31/1/2007	280,63	20/6/2007	277,19	31/10/2007	280,62	28/2/2008	282,14	20/7/2008	282,09
31/1/2007	292,47	20/6/2007	290,66	31/10/2007	281,43	28/2/2008	284,97	20/7/2008	285,16
10/2/2007	289,74	30/6/2007	292,68	10/11/2007	287,31	28/2/2008	291,78	31/7/2008	280,16
10/2/2007	288,74	30/6/2007	277,85	10/11/2007	289,21	28/2/2008	278,65	31/7/2008	285,19
20/2/2007	287,05	10/7/2007	283,15	20/11/2007	287,22	10/3/2008	286,05	31/7/2008	281,98
20/2/2007	283,46	10/7/2007	287,85	20/11/2007	281,49	10/3/2008	282,71	31/7/2008	288,23
20/2/2007	281,10	10/7/2007	285,35	20/11/2007	281,48	10/3/2008	285,16	31/7/2008	282,69
28/2/2007	282,95	10/7/2007	279,68	20/11/2007	282,56	20/3/2008	282,70	10/8/2008	284,25
28/2/2007	285,81	10/7/2007	284,92	20/11/2007	285,27	20/3/2008	283,41	10/8/2008	294,09
28/2/2007	288,99	10/7/2007	280,78	20/11/2007	279,97	20/3/2008	278,35	10/8/2008	286,01
28/2/2007	279,88	10/7/2007	282,79	20/11/2007	277,32	20/3/2008	282,27	10/8/2008	283,03
28/2/2007	287,90	10/7/2007	282,43	20/11/2007	286,88	20/3/2008	289,71	10/8/2008	284,42
10/3/2007	283,34	20/7/2007	279,41	30/11/2007	283,97	31/3/2008	284,70	20/8/2008	277,82
20/3/2007	279,10	20/7/2007	283,11	30/11/2007	290,59	31/3/2008	281,85	20/8/2008	285,47
20/3/2007	291,63	20/7/2007	281,81	30/11/2007	286,58	31/3/2008	289,51	20/8/2008	280,23
20/3/2007	281,90	20/7/2007	289,55	30/11/2007	290,94	31/3/2008	282,98	20/8/2008	283,14
20/3/2007	290,06	20/7/2007	283,91	30/11/2007	285,10	31/3/2008	288,39	20/8/2008	288,17
20/3/2007	281,66	31/7/2007	288,16	10/12/2007	284,33	10/4/2008	287,78	31/8/2008	286,79
20/3/2007	291,16	31/7/2007	281,16	10/12/2007	279,75	10/4/2008	283,19	31/8/2008	280,61
20/3/2007	284,49	31/7/2007	288,91	10/12/2007	280,26	10/4/2008	281,20	31/8/2008	282,34
20/3/2007	282,06	31/7/2007	286,90	10/12/2007	281,26	10/4/2008	293,49	31/8/2008	286,22
31/3/2007	285,52	31/7/2007	283,69	10/12/2007	284,87	10/4/2008	281,80	31/8/2008	277,13
31/3/2007	291,04	10/8/2007	288,86	20/12/2007	282,96	20/4/2008	282,10	10/9/2008	289,80
31/3/2007	290,79	10/8/2007	282,55	20/12/2007	277,48	30/4/2008	280,36	10/9/2008	288,16
31/3/2007	281,83	10/8/2007	283,13	20/12/2007	282,66	30/4/2008	285,06	10/9/2008	279,76
31/3/2007	283,46	10/8/2007	287,05	20/12/2007	279,78	30/4/2008	287,84	10/9/2008	286,61
31/3/2007	285,04	10/8/2007	285,11	20/12/2007	283,57	30/4/2008	279,39	10/9/2008	287,54
10/4/2007	281,24	20/8/2007	279,67	31/12/2007	289,04	10/5/2008	285,29	20/9/2008	280,07
10/4/2007	280,10	20/8/2007	291,00	31/12/2007	288,55	20/5/2008	280,34	20/9/2008	282,35
10/4/2007	283,04	20/8/2007	285,07	31/12/2007	285,02	20/5/2008	278,91	20/9/2008	279,84
10/4/2007	278,74	20/8/2007	284,34	31/12/2007	281,65	20/5/2008	282,61	20/9/2008	289,84
10/4/2007	284,60	20/8/2007	282,09	31/12/2007	289,68	20/5/2008	277,99	20/9/2008	282,60
20/4/2007	291,76	31/8/2007	277,06	31/12/2007	289,50	31/5/2008	293,04	30/9/2008	284,24
20/4/2007	286,30	31/8/2007	277,92	31/12/2007	278,70	31/5/2008	279,59	30/9/2008	282,15
30/4/2007	291,69	31/8/2007	280,75	10/1/2008	283,59	31/5/2008	284,09	30/9/2008	285,69
30/4/2007	282,76	31/8/2007	281,61	10/1/2008	289,46	31/5/2008	285,92	30/9/2008	281,84
30/4/2007	280,96	31/8/2007	283,27	10/1/2008	291,16	31/5/2008	278,71	30/9/2008	287,21
10/5/2007	289,90	10/9/2007	284,94	20/1/2008	280,32	10/6/2008	280,49	10/10/2008	291,16
10/5/2007	282,31	10/9/2007	288,76	20/1/2008	291,97	10/6/2008	285,68	10/10/2008	280,11
10/5/2007	281,69	20/9/2007	291,72	20/1/2008	282,73	10/6/2008	280,46	10/10/2008	290,23
10/5/2007	288,26	20/9/2007	287,36	20/1/2008	285,05	10/6/2008	278,29	10/10/2008	285,35
10/5/2007	285,87	20/9/2007	286,07	20/1/2008	288,16	10/6/2008	278,11	10/10/2008	286,54
20/5/2007	293,80	30/9/2007	288,03	20/1/2008	279,04	20/6/2008	279,37	20/10/2008	281,45
20/5/2007	281,63	30/9/2007	284,99	20/1/2008	279,08	20/6/2008	279,15	20/10/2008	281,96
20/5/2007	285,07	30/9/2007	280,59	31/1/2008	281,87	20/6/2008	279,08	20/10/2008	286,90
20/5/2007	283,31	30/9/2007	285,06	31/1/2008	281,26	20/6/2008	283,22	20/10/2008	284,58
20/5/2007	287,15	30/9/2007	278,87	31/1/2008	284,93	20/6/2008	280,24	20/10/2008	278,33
31/5/2007	276,59	10/10/2007	287,62	10/2/2008	288,61	30/6/2008	281,76	31/10/2008	293,61
31/5/2007	282,50	20/10/2007	277,88	10/2/2008	284,79	30/6/2008	285,76	31/10/2008	289,62
31/5/2007	286,31	20/10/2007	285,67	10/2/2008	281,90	30/6/2008	285,41	31/10/2008	278,10
31/5/2007	287,39	20/10/2007	288,68	10/2/2008	278,03	30/6/2008	281,90	31/10/2008	276,61
31/5/2007	283,04	20/10/2007	277,00	10/2/2008	285,16	30/6/2008	288,78	31/10/2008	287,62

Anexo 4 - Dados históricos de pedidos atendidos através do SKU C.

Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)	Data	Pedido (t)
10/1/2007	302,82	10/6/2007	310,89	20/10/2007	311,12	20/2/2008	307,10	10/7/2008	305,29
10/1/2007	298,15	10/6/2007	303,84	20/10/2007	303,30	20/2/2008	301,65	10/7/2008	302,07
20/1/2007	299,47	10/6/2007	307,90	20/10/2007	301,28	20/2/2008	301,04	10/7/2008	297,70
20/1/2007	304,64	10/6/2007	303,44	20/10/2007	304,64	20/2/2008	305,30	10/7/2008	307,69
20/1/2007	307,66	10/6/2007	307,54	20/10/2007	309,43	20/2/2008	304,21	10/7/2008	297,20
31/1/2007	307,38	20/6/2007	303,82	31/10/2007	304,29	28/2/2008	300,07	20/7/2008	298,34
31/1/2007	299,40	20/6/2007	304,67	31/10/2007	306,60	28/2/2008	308,40	20/7/2008	307,17
31/1/2007	304,55	20/6/2007	309,23	31/10/2007	309,22	28/2/2008	305,89	20/7/2008	301,12
31/1/2007	300,66	20/6/2007	296,46	31/10/2007	300,64	28/2/2008	302,50	20/7/2008	302,44
31/1/2007	310,24	20/6/2007	308,99	31/10/2007	301,63	28/2/2008	305,04	20/7/2008	305,17
10/2/2007	308,35	30/6/2007	310,39	10/11/2007	306,66	28/2/2008	309,77	31/7/2008	300,08
10/2/2007	307,65	30/6/2007	297,25	10/11/2007	307,98	28/2/2008	298,24	31/7/2008	305,19
20/2/2007	306,48	10/7/2007	303,56	20/11/2007	306,60	10/3/2008	305,79	31/7/2008	302,30
20/2/2007	303,85	10/7/2007	307,03	20/11/2007	301,71	10/3/2008	303,12	31/7/2008	307,30
20/2/2007	301,23	10/7/2007	305,30	20/11/2007	301,69	10/3/2008	305,17	31/7/2008	303,11
28/2/2007	303,37	10/7/2007	299,49	20/11/2007	302,97	20/3/2008	303,12	10/8/2008	304,51
28/2/2007	305,62	10/7/2007	305,01	20/11/2007	305,25	20/3/2008	303,81	10/8/2008	311,37
28/2/2007	307,83	10/7/2007	300,84	20/11/2007	299,85	20/3/2008	297,88	10/8/2008	305,76
28/2/2007	299,73	10/7/2007	303,21	20/11/2007	296,61	20/3/2008	302,65	10/8/2008	303,45
28/2/2007	307,07	10/7/2007	302,83	20/11/2007	306,37	20/3/2008	308,33	10/8/2008	304,64
10/3/2007	303,74	20/7/2007	299,17	30/11/2007	304,28	31/3/2008	304,84	20/8/2008	297,22
20/3/2007	298,79	20/7/2007	303,52	30/11/2007	308,94	31/3/2008	302,14	20/8/2008	305,39
20/3/2007	309,66	20/7/2007	302,09	30/11/2007	306,16	31/3/2008	308,19	20/8/2008	300,17
20/3/2007	302,20	20/7/2007	308,22	30/11/2007	309,18	31/3/2008	303,40	20/8/2008	303,55
20/3/2007	308,57	20/7/2007	304,24	30/11/2007	305,13	31/3/2008	307,41	20/8/2008	307,26
20/3/2007	301,91	31/7/2007	307,25	10/12/2007	304,57	10/4/2008	306,99	31/8/2008	306,30
20/3/2007	309,33	31/7/2007	301,30	10/12/2007	299,58	10/4/2008	303,60	31/8/2008	300,64
20/3/2007	304,70	31/7/2007	307,77	10/12/2007	300,20	10/4/2008	301,35	31/8/2008	302,73
20/3/2007	302,40	31/7/2007	306,38	10/12/2007	301,43	10/4/2008	310,95	31/8/2008	305,90
31/3/2007	305,42	31/7/2007	304,05	10/12/2007	304,97	10/4/2008	302,08	31/8/2008	296,38
31/3/2007	309,25	10/8/2007	307,74	20/12/2007	303,38	20/4/2008	302,45	10/9/2008	308,39
31/3/2007	309,08	10/8/2007	302,95	20/12/2007	296,81	30/4/2008	300,33	10/9/2008	307,25
31/3/2007	302,12	10/8/2007	303,55	20/12/2007	303,07	30/4/2008	305,10	10/9/2008	299,60
31/3/2007	303,85	10/8/2007	306,48	20/12/2007	299,61	30/4/2008	307,03	10/9/2008	306,18
31/3/2007	305,08	10/8/2007	305,14	20/12/2007	303,94	30/4/2008	299,13	10/9/2008	306,82
10/4/2007	301,39	20/8/2007	299,48	31/12/2007	307,86	10/5/2008	305,26	20/9/2008	299,98
10/4/2007	300,01	20/8/2007	309,22	31/12/2007	307,52	20/5/2008	300,29	20/9/2008	302,74
10/4/2007	303,46	20/8/2007	305,11	31/12/2007	305,08	20/5/2008	298,56	20/9/2008	299,69
10/4/2007	298,34	20/8/2007	304,58	31/12/2007	301,90	20/5/2008	303,03	20/9/2008	308,42
10/4/2007	304,77	20/8/2007	302,43	31/12/2007	308,31	20/5/2008	297,43	20/9/2008	303,01
20/4/2007	309,75	31/8/2007	296,30	31/12/2007	308,18	31/5/2008	310,64	30/9/2008	304,51
20/4/2007	305,96	31/8/2007	297,35	31/12/2007	298,30	31/5/2008	299,39	30/9/2008	302,50
30/4/2007	309,70	31/8/2007	300,80	10/1/2008	303,96	31/5/2008	304,38	30/9/2008	305,54
30/4/2007	303,18	31/8/2007	301,85	10/1/2008	308,15	31/5/2008	305,70	30/9/2008	302,13
30/4/2007	301,06	31/8/2007	303,68	10/1/2008	309,34	31/5/2008	298,31	30/9/2008	306,59
10/5/2007	308,46	10/9/2007	305,02	20/1/2008	300,28	10/6/2008	300,49	10/10/2008	309,34
10/5/2007	302,69	10/9/2007	307,67	20/1/2008	309,90	10/6/2008	305,53	10/10/2008	300,02
10/5/2007	301,95	20/9/2007	309,72	20/1/2008	303,14	10/6/2008	300,44	10/10/2008	308,69
10/5/2007	307,32	20/9/2007	306,70	20/1/2008	305,10	10/6/2008	297,79	10/10/2008	305,30
10/5/2007	305,66	20/9/2007	305,80	20/1/2008	307,25	10/6/2008	297,58	10/10/2008	306,13
20/5/2007	311,17	30/9/2007	307,16	20/1/2008	298,71	20/6/2008	299,12	20/10/2008	301,65
20/5/2007	301,87	30/9/2007	305,05	20/1/2008	298,77	20/6/2008	298,85	20/10/2008	302,28
20/5/2007	305,11	30/9/2007	300,61	31/1/2008	302,17	20/6/2008	298,77	20/10/2008	306,38
20/5/2007	303,72	30/9/2007	305,10	31/1/2008	301,42	20/6/2008	303,63	20/10/2008	304,76
20/5/2007	306,55	30/9/2007	298,51	31/1/2008	305,01	20/6/2008	300,18	20/10/2008	297,84
31/5/2007	295,73	10/10/2007	306,87	10/2/2008	307,57	30/6/2008	302,03	31/10/2008	311,03
31/5/2007	302,90	20/10/2007	297,29	10/2/2008	304,91	30/6/2008	305,59	31/10/2008	308,26
31/5/2007	305,97	20/10/2007	305,53	10/2/2008	302,21	30/6/2008	305,35	31/10/2008	297,57
31/5/2007	306,72	20/10/2007	307,61	10/2/2008	297,48	30/6/2008	302,21	31/10/2008	295,74
31/5/2007	303,46	20/10/2007	296,22	10/2/2008	305,17	30/6/2008	307,68	31/10/2008	306,87

Anexo 5 – Análise de pareto para definição dos SKU's.

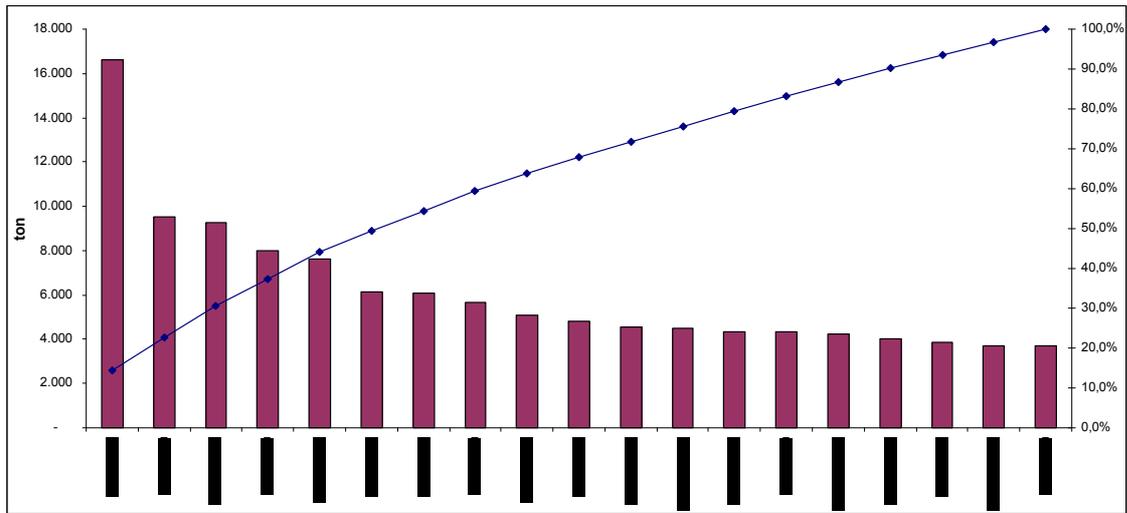


Gráfico de pareto para escolha do SKU A.

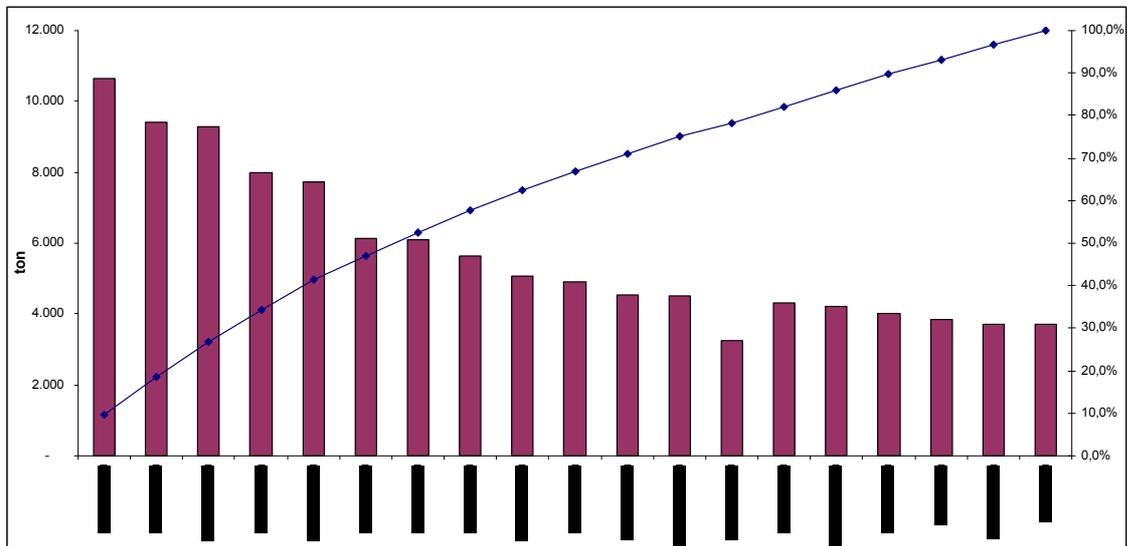


Gráfico de pareto para escolha do SKU B.

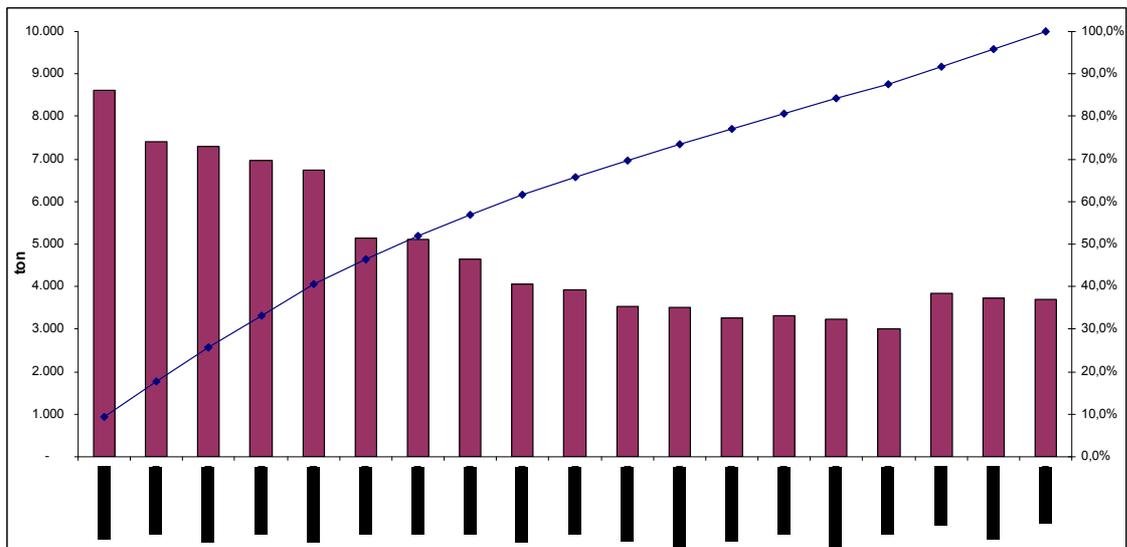
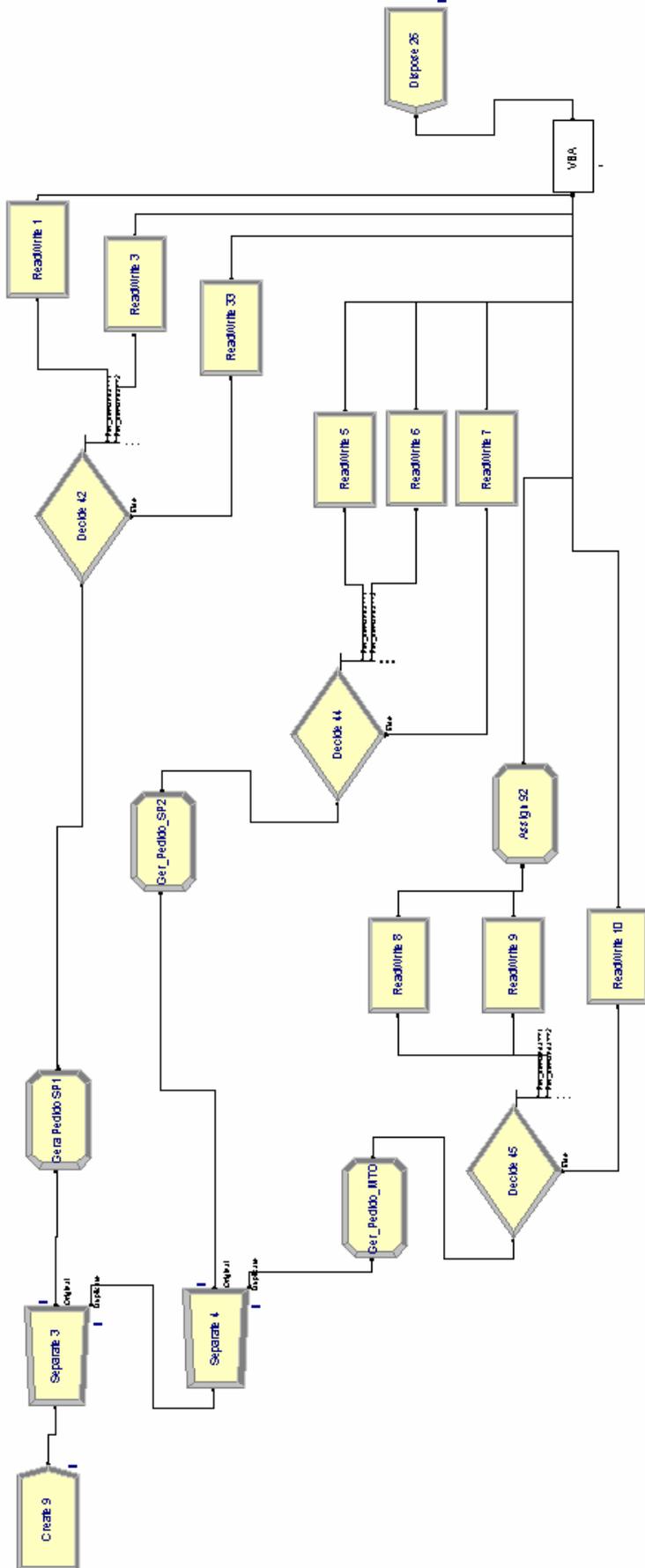


Gráfico de pareto para escolha do SKU C.

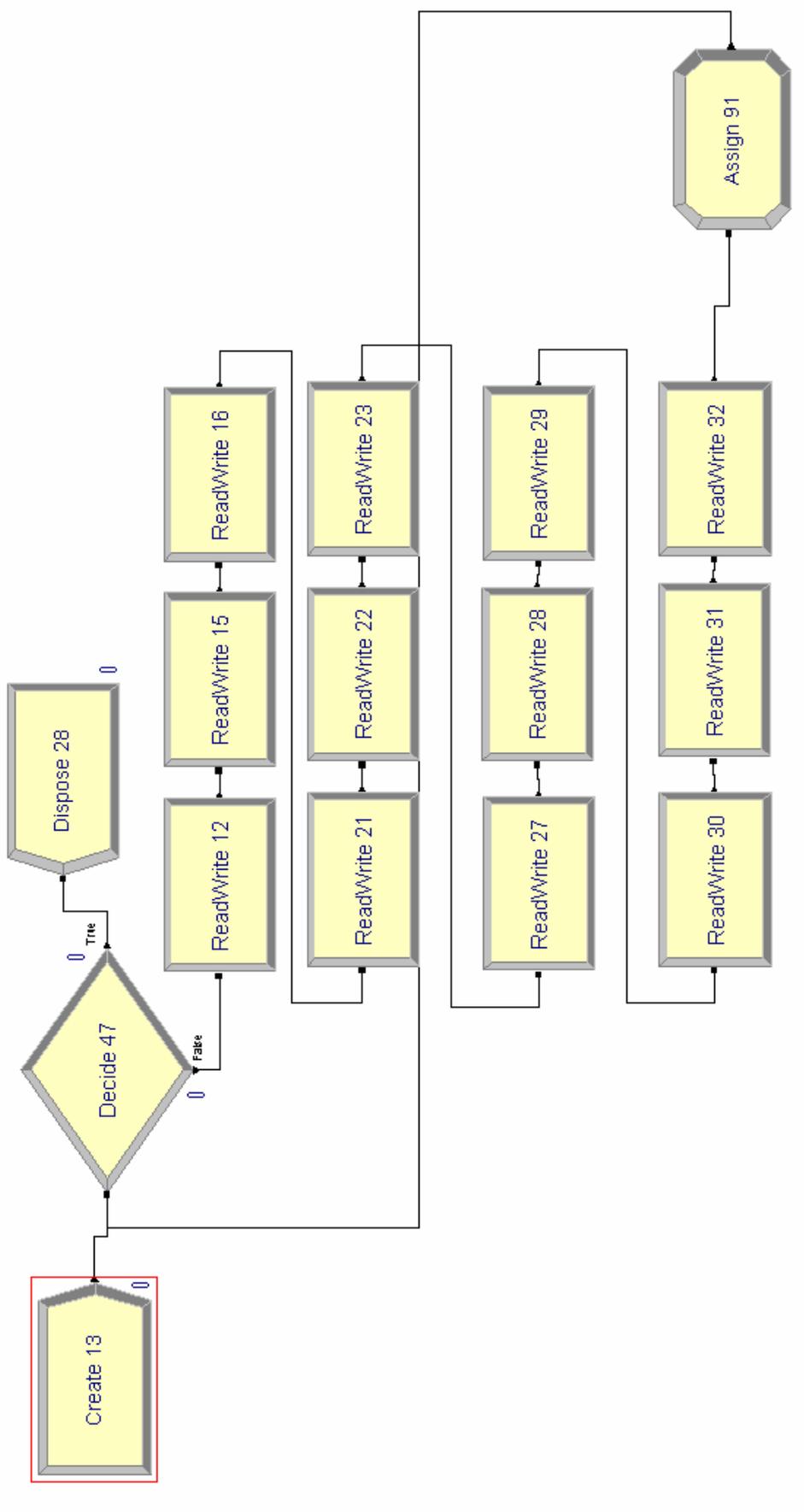
Anexo 6 – Modelo de simulação – Gerador de demandas – Blocos *Arena 11*®.



Anexo 8 – Características do *Premium Solver para o Microsoft Excel®*.

Características	Solver Padrão	Premium Solver
Built-in Engines:		
Simplex Linear Solver	LP Only	LP Only
GRG Nonlinear Solver	Yes	Yes
Mixed-Integer Solver	Yes	Yes (fast)
Evolutionary Solver	No	Yes
Interval Global Solver	No	No
SOCP Barrier Solver	No	No
<i>Field-Installable Solver Engines</i>	No	No
Problem Size:		
Linear Variables x Constraints	200 x 200	2000 x 1000
Nonlinear Variables x Constraints	200 x 100	400 x 200
Non-Smooth Variables x Constraints	N/A	400 x 200
Integer Constraints on Variables	200	1000
<i>Solver Engine Variables x Constraints</i>	N/A	N/A
Speed (approximate):		
Problem Setup	1X	1-50X
Linear Problems	1X	3X
Nonlinear Problems	1X	1X
Mixed-Integer Problems	1X	10-20X
Non-Smooth Problems	N/A	1-10X
<i>Solver Engines (On Various Problems)</i>	N/A	N/A
Variables and Constraints:		
Normal Decision Variables	Yes	Yes
Normal, Integer, and Binary Constraints	Yes	Yes
Semi-continuous Constraints	No	Yes
All-different Constraints	No	Yes
Second Order Cone Constraints	No	No
Global Optimization:		
Non-Smooth Problems (Evolutionary)	No	Yes
Nonlinear Problems (Multistart)	No	Yes
Nonlinear Problems (Interval Global)	No	No
<i>Solver Engines (Several Approaches)</i>	No	No
Constraint Programming and Conic Optimization:		
Built-In Engines (alldifferent constraints)	No	Yes
Built-In Engines (second order cone constraints)	No	No
<i>Solver Engines (alldifferent and cone constraints)</i>	No	No
Solver Reports:		
Answer Report	Yes	Yes
Sensitivity Report	Yes	Yes
Limits Report	Yes	Yes
Linearity Report	No	Yes
Feasibility Report	No	Yes
Population Report	No	Yes
Report Outlining	No	Yes
Block Selection and Comments	No	Yes
Solutions Report	No	No
Scaling Report	No	No
Structure/Convexity Report	No	No
Transformation Report	No	No
<i>Solver Engine Custom Reports</i>	No	No

Anexo 9 – Modelo de simulação – Módulo II – Leitura do plano de produção. Blocos *Arena* II®.



Anexo 11 – Validação do Módulo III – Simulação do processamento dos lotes.

Identificação do pedido	peso (ton)	Tempo de processo real			peso (ton)	Tempo de processo simulado			
		Tempo de processo RB (h)	Tempo de processo LB (h)	Tempo de processo Acab (h)		Tempo de processo RB (h)	Tempo de processo LB (h)	Tempo de processo Acab (h)	
1	3249979	291,1	23,9	23,7	26,1	309,5	26,5	26,5	26,5
2	3248470	318,1	25,1	24,8	29,6	294,2	25,2	25,2	25,2
3	3248470	301,8	25,7	25,7	26,0	299,0	25,6	25,6	25,6
4	3248490	311,9	25,0	24,7	28,6	315,5	27,0	27,0	27,0
5	3248490	324,7	25,6	25,3	30,2	326,6	28,0	28,0	28,0
6	3251852	321,3	25,0	24,7	30,4	325,6	27,9	27,9	27,9
7	3253942	303,2	24,5	24,3	27,6	298,8	25,6	25,6	25,6
8	3252511	309,4	24,7	24,4	28,5	315,2	27,0	27,0	27,0
9	3246091	319,9	26,8	26,8	28,0	302,9	26,0	26,0	26,0
10	3254572	286,4	22,4	22,0	27,0	338,5	29,0	29,0	29,0
11	3254571	328,9	26,8	26,6	29,6	329,3	28,2	28,2	28,2
12	3254574	324,6	26,8	26,6	28,9	326,6	28,0	28,0	28,0
13	3253941	300,0	24,5	24,3	26,9	322,3	27,6	27,6	27,6
14	3250095	320,9	27,4	27,4	27,6	312,8	26,8	26,8	26,8
15	3215993	323,1	26,3	26,1	29,2	304,6	26,1	26,1	26,1
16	3253940	301,2	23,3	23,0	28,7	311,2	26,7	26,7	26,7
17	3251790	309,4	26,5	26,5	26,5	319,1	27,4	27,4	27,4
18	3255172	300,3	24,5	24,4	27,0	327,3	28,1	28,1	28,1
19	3253314	329,0	27,9	27,9	28,4	299,9	25,7	25,7	25,7
20	3253314	310,2	24,7	24,4	28,7	324,4	27,8	27,8	27,8
21	3253314	315,0	26,9	26,9	27,1	312,4	26,8	26,8	26,8
22	3255403	308,7	24,4	24,1	28,7	296,7	25,4	25,4	25,4
23	3256156	318,6	26,3	26,2	28,3	335,2	28,7	28,7	28,7
24	3256156	307,6	25,1	24,9	27,7	307,6	26,4	26,4	26,4
25	3253351	322,3	25,9	25,6	29,5	330,2	28,3	28,3	28,3
26	3253353	332,9	26,2	25,9	31,1	306,7	26,3	26,3	26,3
27	3252733	301,4	23,3	23,0	28,7	333,6	28,6	28,6	28,6
28	3253790	330,1	27,0	26,8	29,6	315,7	27,1	27,1	27,1
29	3253790	317,8	26,5	26,3	28,0	308,2	26,4	26,4	26,4
30	3250076	320,7	26,5	26,4	28,4	318,4	27,3	27,3	27,3
31	3252732	306,2	25,4	25,3	27,1	333,2	28,6	28,6	28,6
32	3252732	308,1	24,2	23,9	28,8	332,4	28,5	28,5	28,5
33	3252734	321,6	26,9	26,8	28,2	307,3	26,3	26,3	26,3
34	3252734	315,8	24,7	24,3	29,8	312,8	26,8	26,8	26,8
35	3245558	293,8	23,0	22,6	27,7	317,1	27,2	27,2	27,2
36	3244763	343,2	26,9	26,5	32,2	305,1	26,2	26,2	26,2
37	3255170	328,4	27,3	27,2	29,0	300,8	25,8	25,8	25,8
38	3253312	292,7	23,4	23,1	26,9	311,5	26,7	26,7	26,7
39	3253312	281,1	23,0	22,8	25,2	295,0	25,3	25,3	25,3
40	3253312	323,3	27,6	27,6	27,8	316,0	27,1	27,1	27,1
Médias	313,1	25,5	25,2	28,3 #	315,0	27,0	27,0	27,0	27,0
		Diferença em relação aos dados reais:			0,6%	6,1%	7,0%	-4,7%	

Anexo 12 – Módulo III – Resultados da simulação do processamento dos lotes - *Arena II*[®].

User Specified

Time Persistent

Variable	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
coluna	1.0000	(Insufficient)	1.0000	1.0000
EST_SP1	0.7832	(Insufficient)	0.00	182.27
EST_SP2	501.18	(Insufficient)	223.61	1032.98
LeadTime_MTO	81.6837	(Insufficient)	0.00	91.0118
LeadTime_SP1	65.8804	(Insufficient)	0.00	75.9702
LeadTime_SP2	50.3949	(Insufficient)	0.00	55.5655
linha	3.9985	(Insufficient)	1.0000	4.0000
Per_demanda	3.0000	(Insufficient)	3.0000	3.0000
Periodo	11.9211	(Insufficient)	0.00	12.0000
RUP_SP1	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
RUP_SP2	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Solucao	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00

Anexo 13 – Simulação piloto para definição do número de replicações.

	Lead Time MTO (h)	Lead Time SP1 (h)	Lead Time SP2 (h)
Replicação 1	41,728	25,414	12,918
Replicação 2	41,715	25,413	12,913
Replicação 3	41,717	25,403	12,901
Replicação 4	41,706	25,411	12,918
Replicação 5	41,711	25,418	12,914
Replicação 6	41,704	25,412	12,908
Replicação 7	41,717	25,403	12,902
Replicação 8	41,708	25,402	12,909
Replicação 9	41,712	25,418	12,913
Replicação 10	41,686	25,420	12,917
Replicação 11	41,725	25,414	12,909
Replicação 12	41,706	25,416	12,904
Replicação 13	41,722	25,403	12,916
Replicação 14	41,718	25,403	12,914
Replicação 15	41,681	25,417	12,908
Replicação 16	41,718	25,401	12,905
Replicação 17	41,722	25,412	12,910
Replicação 18	41,716	25,414	12,906
Replicação 19	41,722	25,406	12,903
Replicação 20	41,717	25,415	12,905
Replicação 21	41,715	25,404	12,904
Replicação 22	41,705	25,415	12,917
Replicação 23	41,695	25,402	12,917
Replicação 24	41,713	25,418	12,915
Replicação 25	41,724	25,404	12,914
Replicação 26	41,719	25,415	12,919
Replicação 27	41,733	25,401	12,914
Replicação 28	41,703	25,412	12,911
Replicação 29	41,732	25,414	12,906
Replicação 30	41,729	25,419	12,911