

RICARDO HAMAD

Modelagem de redes logísticas com vários elos: influência dos impostos
e do custo de carregamento de estoques

São Paulo
2014

RICARDO HAMAD

Modelagem de redes logísticas com vários elos: influência dos impostos
e do custo de carregamento de estoques

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Doutor em Ciências.

Área de concentração:
PTR – Engenharia de Transportes

Orientador: Prof. Dr. Nicolau Dionísio Fares
Gualda

São Paulo
2014

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência do seu orientador.

São Paulo, 06 de janeiro de 2014.

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Hamad, Ricardo

Modelagem de redes logísticas com vários elos: influência dos impostos e do custo de carregamento de estoques / R. Hamad. -- versão corr. -- São Paulo, 2014. 125 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

.1. Logística 2. Estoques (Custos) 3. Programação Linear Inteira Mista 4. Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços 5. Imposto de Importação I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

Dedico este trabalho a meus finados pais
Armando e Elvira que, tenho fé, estão torcendo
por mim e me protegendo onde quer que eles
estejam.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Nicolau Gualda, meu orientador, que, logo depois de me orientar no mestrado, me convenceu a seguir em frente com o doutorado. Usando sua paciência e experiência, me apoiou sempre que necessário.

Aos professores Hugo Yoshizaki e Marco Antonio Brinatti, que me inspiraram a enveredar por essa linha de estudo tanto no mestrado quanto no doutorado, por seus conselhos e suporte para a conclusão do doutorado.

Aos demais professores que tive durante o mestrado e o doutorado por terem compartilhado seu conhecimento e por terem me dado uma base sólida para desenvolver o estudo aqui apresentado.

Às empresas que participaram do estudo, por abrirem seus custos e por contribuírem com tempo e recursos internos para que a metodologia aqui apresentada pudesse ser efetivamente aplicada e testada.

Ao Aldo Kotsubo, Sérgio Brejon, Michel Hirschheimmer e vários outros consultores por terem me ajudado a aplicar o modelo em várias empresas. Especialmente ao Sérgio, pelas grandes contribuições na revisão deste documento.

Aos meus alunos da FAAP, por seus comentários durante as aulas onde discutíamos os casos de implantação da metodologia aqui apresentada.

Aos profissionais Pedro Luis Tagliari e Luiz Hernando Vidal que, além de líderes inspiradores, me proporcionaram ajuda irrestrita e incondicional para a confecção e análise de vários estudos presentes nesta tese.

E a todos aqueles que me apoiaram com seu tempo, sugestões e, principalmente, paciência durante todo o período do doutorado.

A quantidade enorme de variáveis que devem ser consideradas é o que torna o problema de otimização de uma cadeia logística de difícil resolução.

(Ballou)

RESUMO

Este trabalho analisa o impacto do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e do Imposto de Importação (II), assim como a influência dos estoques operacionais e de segurança, na solução de problemas de localização em âmbito global, envolvendo vários elos da cadeia de suprimentos. Foi proposta uma metodologia e um modelo de Programação Linear Inteira Mista que minimiza os custos operacionais, levando em conta o melhor aproveitamento do benefício fiscal *drawback*, os créditos referentes ao ICMS e o custo de estoque total da cadeia. As conclusões obtidas após a implantação do método e do modelo matemático em quatro grandes empresas transnacionais do segmento agrícola, com altos volumes de crédito de ICMS, mostram que os impostos são mais representativos do que os custos logísticos na definição de uma rede logística para esse tipo de empresa e que os estoques de segurança afetam diretamente o resultado da otimização. Os resultados mostram, ainda, a necessidade de se considerar pelo menos quatro elos da cadeia para problemas do tipo aqui analisado e que o estoque operacional, as restrições de capacidade de armazenagem e o custo financeiro estão fortemente correlacionados com a quantidade de Centros de Distribuição. Conclui-se que a legislação do ICMS impõe, para uma melhoria no fluxo de caixa, um aumento significativo nos custos logísticos. As principais contribuições da metodologia adotada são (1) o tratamento dos custos do estoque operacional e de segurança, (2) a inclusão da capacidade de armazenagem, (3) a avaliação do impacto do crédito de ICMS não utilizado sobre o custo total e sobre o fluxo de caixa das empresas e (4) o processo de concorrência para coleta de preços. O modelo desenvolvido é principalmente útil para empresas que operam no segmento de agronegócio e/ou são exportadoras, por conta da influência dos créditos de ICMS não aproveitados. A metodologia permitiu melhorias no fluxo de caixa da ordem de US\$ 22 milhões em uma das empresas, equivalentes a 5% de seu custo total.

Palavras-chave: Localização de instalações. Cadeia de suprimentos. Rede logística. Otimização dos custos logísticos. ICMS. *Drawback*.

ABSTRACT

This work studies the impact of taxes and the influence of cycle and safety stocks on a global network design with several echelons. The proposed methodology and Mixed Integer Linear Programming model aimed to minimize the operational costs, taking into consideration the taxes involved and the chain inventory value. The approach has been implemented in four large agribusiness transnational companies with high level of credit of a State tax showing that, for this type of company, taxes are more significant than logistic cost for facility location decisions. Another conclusion is that the supply chain must be modeled with four echelons at least for problems such as the ones herein studied and that cycle stock, storage capacity and the financial cost have a high correlation with the amount of Distribution Centers. The results show also the direct impact of safety stock on the network design optimization. It is concluded that tax legislation imposes a significant increase in the logistics costs for a cash flow gain. The main contributions of this methodology are (1) the treatment of total inventory cost and (2) storage capacity, (3) the analysis of these factors and tax on companies' cash flow management and (4) the bidding approach to gather logistic costs. The math model is especially useful for agribusiness and/or exporting companies that have a high level of tax credit. The methodology has brought cash flow improvements of about US\$ 22 million in one of the companies, or 5% of its total cost.

Keywords: Facilities location. Supply Chain. *Logistics* Network. Logistics costs optimization. Tax management.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação internacional da Carga Tributária Brasileira em 2011	41
Gráfico 2 – Evolução da Carga Tributária Brasileira.....	41
Gráfico 3 – Impacto do custo financeiro na quantidade de CDs abertos e a representatividade dos custos do Estoque de Segurança.....	87
Gráfico 4 – Impacto da cobertura de estoque na quantidade de CDs abertos e dos custos do Estoque de Segurança para Custo Financeiro de 8%	88
Gráfico 5 – Impacto da restrição da capacidade de armazenagem no modelo para um mesmo cenário e custo financeiro de 8%	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelos de localização envolvendo quatro elos da cadeia.....	22
Figura 2 – Exemplo de cálculo do ICMS.....	45
Figura 3 – Rede logística de uma das empresas mostrando os CDs secundários utilizados e a demanda atendida (círculos)	86
Figura 4 – Rede logística após estudo que sugere redução de três CDs e uso do CD de uma das fábricas para distribuição.....	86
Figura 5 – Demandas por região de vendas e família de produto.....	117
Figura 6 – Capacidades produtivas das duas fábricas por família de produto.....	118
Figura 7 – Capacidades de entrega dos produtos de terceiros	118
Figura 8 – Dados dos CDs primários	118
Figura 9 – Dados dos CDs secundários	118
Figura 10 – Transferências de produtos próprios e revenda para CDs principais....	119
Figura 11 – Custos de frete entre CDs principais e secundários.....	119
Figura 12 – Alíquotas de ICMS entre CDs principais e CDs secundários	120
Figura 13 – Fretes entre CDs secundários e o centroide das regiões de venda	120
Figura 14 – Fretes entre CDs primários e regiões de venda.....	120
Figura 15 – ICMS entre os CDs primários e as regiões de venda	121
Figura 16 – Cálculo do estoque de segurança respectivo para um único CD.....	121
Figura 17 – Resultados do cenário teste e comparação com os dados originais....	121
Figura 18 – Cálculos do ICMS nas transferências e impacto nos créditos podres ..	122
Figura 19 – Rede logística sugerida pelo modelo no cenário teste.....	122
Figura 20 – Volumes de transferência com e sem drawback em Eton.....	122
Figura 21 – Volumes ótimos de transferência a partir dos CDs primários	123

Figura 22 – Volumes ótimos de distribuição do produto um.....	123
Figura 23 – Volumes ótimos de distribuição do produto 2.....	123
Figura 24 – Volumes ótimos de distribuição do produto 3.....	124
Figura 25 – Volumes de distribuição de produtos de revenda	124
Figura 26 – Exemplo de resultados gerados pelo modelo (cenários para decisão)	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos globais de localização.....	26
Tabela 2 – Tributos incidentes sobre insumos (valores em milhares de reais).....	39
Tabela 3 – Peso dos impostos sobre o PIB nos países da OCDE e Brasil (2011).....	40
Tabela 4 – Principais Impostos e Contribuições por esfera governamental.....	42
Tabela 5 – Taxas de custo de carregamento de estoque segundo vários autores	51
Tabela 6 – Taxas de custo de carregamento de estoque nos EUA.....	51
Tabela 7 – Distribuição de empresas que participaram do processo de cotação	76
Tabela 8 – Representatividade dos custos e ICMS nas empresas estudadas	90
Tabela 9 – Planilha de cotação de preços para fretes transferência.....	112
Tabela 10 – Planilha de cotação de preços para fretes de distribuição	113
Tabela 11 – Planilha de levantamento de prazos para fretes transferência.....	114
Tabela 12 – Planilha para coleta dos custos de movimentação e armazenagem	114
Tabela 13 – Planilha de levantamento de prazos para fretes de distribuição	115
Tabela 14 – Planilha para avaliação técnica das empresas.....	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	<i>Activity Based Costing</i> ou Custeio baseado em atividades
ABIMAQ	Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
CD	Centro de Distribuição
CEO	<i>Chief Executive Officer</i> ou Principal executivo de uma empresa
COFINS	Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CPV	Custo do Produto Vendido
EOQ	<i>Economic Order Quantity</i> ou Tamanho de Lote Econômico
EUA	Estados Unidos da América
FDP	Função Densidade de Probabilidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBPT	Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IE	Imposto de Exportação
II	Imposto de Importação
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
IOF	Imposto sobre Operações Financeiras
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPTU	Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
IRPF	Imposto sobre a Renda de Pessoas Físicas
IRPJ	Imposto sobre a Renda de Pessoas Jurídicas
ISS	Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza
ITR	Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
SASSMAQ	Sist. de Avaliação de Segurança, Saúde, Meio Ambiente e Qualidade
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SIG-T	Sistema de Informações Gráficas aplicadas ao Transporte
SIMPLES	Regime tributário diferenciado, simplificado e favorecido

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE GRÁFICOS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	13
SUMÁRIO	14
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA	15
1.1.1 A globalização e a importância dos estoques	15
1.1.2 A gestão dos estoques	17
1.1.3 O custo Brasil e os impostos	18
1.2 OBJETIVO E CONTRIBUIÇÕES	20
1.3 DELINEAMENTO DO TRABALHO	21
2 REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO EM ESCALA GLOBAL	22
2.2 A INCLUSÃO DOS ESTOQUES NOS MODELOS DE LOCALIZAÇÃO	32
2.3 O SISTEMA TRIBUTÁRIO BRASILEIRO	38
2.3.1 O Imposto de Importação	43
2.3.2 O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços	44
2.4 ESTOQUES E CUSTEIO	48
2.4.1 Custeio para valoração dos estoques	48
2.4.1.1 Custos de carregamento de estoque	50
2.4.2 Custos por perda de venda	52
2.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	54
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
3.1 INTRODUÇÃO	56
3.2 O MODELO CONCEITUAL	56
3.2.1 Índices	61
3.2.2 Variáveis	62
3.2.3 Parâmetros	63
3.2.4 Função Objetivo	67
3.2.5 Restrições	70

3.3	<i>CONCORRÊNCIA PARA COLETA DOS DADOS</i>	75
3.4	<i>TESTE DO MODELO</i>	77
3.5	<i>CONCLUSÃO DO CAPÍTULO</i>	79
4	RESULTADOS	81
4.1	<i>INTRODUÇÃO</i>	81
4.2	<i>EMPRESAS QUE PARTICIPARAM DA APLICAÇÃO DO MODELO</i>	82
4.3	<i>RESULTADOS NAS EMPRESAS</i>	84
4.4	<i>CONCLUSÃO DO CAPÍTULO</i>	92
5	CONCLUSÕES FINAIS DO ESTUDO E RECOMENDAÇÕES	93
5.1	<i>APLICABILIDADE DO MODELO</i>	93
5.2	<i>CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO</i>	94
5.3	<i>RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS</i>	95
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE A – Custo de Carregamento de estoques e Perda de venda	107
	APÊNDICE B – Tabelas usadas para a Coleta de Preços	112
	APÊNDICE C – As telas do modelo	117

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das importações de insumos a partir de fornecedores estrangeiros com melhores custos e qualidade e a escolha pela exportação de produtos acabados como estratégia de diversificação e ampliação de mercado não são tendências recentes. A busca por mercados em outros países iniciou-se mesmo antes da Revolução Industrial, mas o fenômeno da globalização potencializou a internacionalização das empresas a partir da Segunda Guerra Mundial. Fawcett e Vellanga (1992) apontavam que mais de 75% das maiores companhias americanas possuíam fábricas fora dos EUA já no começo da década de 90.

No Brasil, também se percebe claramente uma tendência de empresas brasileiras buscarem o mercado externo para instalar suas filiais e, principalmente, buscarem fontes de matérias primas em outros países. A quantidade de empresas transnacionais brasileiras com forte presença externa, tais como, Petrobras, Vale, Embraer, Gerdau, tem aumentado seguidamente nas últimas décadas. Com o crescimento da economia do Brasil nos últimos anos e sua atual posição de destaque no cenário mundial, várias empresas transnacionais, principalmente chinesas, americanas e europeias, têm buscado o Brasil para a instalação de novas fábricas, CDs ou escritórios de venda. Esses fatos explicam a crescente busca pelo desenvolvimento e aplicação de modelos matemáticos que objetivam otimizar a localização de instalações de empresas transnacionais no Brasil.

Fatores como custos fixos e variáveis, flutuação da demanda e câmbio, impostos, benefícios fiscais e diferentes legislações tornam muito complexa a decisão de localização de fábricas em âmbito global. O problema é composto por um sistema com muitos subsistemas interligados e conflitantes e a melhor estratégia para a resolução destes tipos de problema, segundo Churchmann (1969), é a decomposição das diversas variáveis que compõem o sistema para facilitar a sua resolução, mas mantendo a visão holística do problema. Modelos matemáticos que analisam o problema sistêmico através do detalhamento de seus componentes são as ferramentas mais utilizadas para essa finalidade.

Um componente de destaque no problema é o nível de estoque a ser disponibilizado em cada ponto da cadeia. A preocupação com os estoques tem permeado toda a história da gestão empresarial desde os seus primórdios. A partir da Revolução Industrial, quando o foco das empresas começou a mudar de produtos feitos de maneira artesanal para produtos feitos de forma mecanizada, a importância dos estoques cresceu de forma significativa e a boa gestão desses recursos, seja matéria prima, material semi-acabado, produto acabado, insumos, ferramentas, itens de manutenção ou segurança, tem-se tornado cada vez mais foco de atenção. Os produtos manufaturados, desde então, começaram a ser feitos por processos que envolviam padronização e automatização para priorizar ganho de escala e, dessa forma, reduzir os custos de produção. A qualidade, trazida pela repetibilidade na confecção dos produtos, também foi beneficiada por esses avanços.

Taylor (1911), considerado o pai da administração científica, pregava a racionalização do trabalho através da padronização das tarefas e a segregação entre o pessoal de linha e os times administrativos (estes planejando e controlando as atividades daqueles). Na esteira de Taylor, Henry Ford aperfeiçoou, na primeira metade do século XX, a ideia de padronização e fluxo contínuo de materiais com a implantação das chamadas “linhas de montagem”. O modelo Ford se tornou o exemplo mais pujante da massificação da produção, que acabou influenciando vários empresários em todo o mundo. Dentre eles, o empresário japonês Sakichi Toyoda, fundador da Toyota, empresa produtora de máquinas de tear àquela época.

Kiichiro Toyoda, filho do fundador e já como presidente da Toyota fabricante de automóveis, adaptou o Fordismo aos baixos volumes de demanda e pouca disponibilidade de capital no Japão pós-guerra. Ele estudou o conceito de agregação de valor e fundou as bases do que veio a ser chamado de *Just-in-time*, que recomendava a redução dos estoques, por estes serem fontes de desperdício. O filho de Kiichiro, Eiji Toyoda, e o engenheiro Taiichi Ohno, ex-executivo da Toyota, criaram o “Sistema Toyota de Produção”, que, no Ocidente, a partir da década de 70, ficou conhecido como *Lean Manufacturing* (Womack et al., 1990). Essa filosofia vem sendo copiada desde então e suas ferramentas têm-se tornado bastante

efetivas na busca pela eliminação de desperdícios nas empresas. Dentre esses desperdícios, os estoques têm-se tornado um dos mais combatidos, pois, reconhecidamente, escondem vários outros tipos de desperdício (Womack et al., 1990).

Com o crescente domínio dos produtos japoneses nas décadas de 80 e 90, por conta de sua reconhecida qualidade, *design* e funcionalidade, o Ocidente começou a preocupar-se também com a qualidade de seus produtos, ou seja, a conformidade dos estoques de matérias primas e produtos fabricados com a especificação solicitada. Dessa forma, o modelo *Total Quality Management* (Gestão da Qualidade Total), e certificações, como a ISO9000, começaram a se disseminar e passaram a fazer parte da agenda das empresas pelo mundo todo. Com a qualidade do produto dominada, o foco migrou para a qualidade do serviço. Tornou-se recorrente a preocupação com a redução dos tempos de desenvolvimento dos produtos e com a precisão nas entregas, ou seja, atender o cliente no prazo prometido (IBM, 1984), o que volta ao problema original de como posicionar adequadamente os estoques. Essa correlação entre bom nível de serviço e o posicionamento adequado dos estoques, que é influenciado diretamente pela definição da rede logística, junto com o custo associado à manutenção desses estoques e da rede, explica a importância que as empresas têm dado a esse tema.

1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA

1.1.1 A globalização e a importância dos estoques

Crimson & Co, a maior empresa de Consultoria em Supply Chain do Reino Unido, coordenou entrevistas presenciais em 200 empresas de diversos segmentos em novembro de 2011 e perguntou a 300 importantes líderes quais seriam as principais preocupações para o gerenciamento da cadeia de suprimentos de suas empresas. Na lista das dez maiores preocupações, o gerenciamento dos estoques situou-se como o principal motivo, seguidos pelo gerenciamento da demanda e pela otimização da rede logística (Scarpati, 2011).

A sétima edição da pesquisa sobre crescimento, feita com líderes empresariais no mundo inteiro pela empresa de consultoria Price WaterHouse Coopers (PwC) no primeiro trimestre de 2011 trouxe preocupações semelhantes (PwC, 2011). A capacidade de entender as mudanças estruturais na economia mundial e responder a elas posicionando melhor seus estoques, instalações e recursos, buscando novas alternativas de expansão dos negócios e disciplina na gestão de custos e de riscos são os itens apontados pela grande maioria dos participantes da pesquisa como os de destacada preocupação.

A globalização é um fenômeno antigo, mas que começou a ser percebido e a influenciar a economia mais fortemente a partir da Segunda Guerra Mundial. Na pesquisa realizada pela consultoria PwC (2001), os *Chief Executive Officers* (CEOs, principais executivos das empresas) apontam esse acontecimento como uma oportunidade de expandir mercados, mas apresentam uma agenda a ser atacada no curto prazo que incorpora a preocupação com o gerenciamento da demanda local e externa e, conseqüentemente, o posicionamento dos estoques. Na pesquisa global, os CEOs apresentaram a volatilidade do crescimento, ou seja, o planejamento da demanda como o principal quesito de preocupação. Além disso, são apontadas a mão de obra qualificada e a gestão de riscos como itens de atenção. Já o empresariado brasileiro demonstrou-se preocupado com alguns itens adicionais: juros altos, real sobrevalorizado e déficit fiscal em alta, que poderiam afetar o acesso ao crédito e levar a novos aumentos de impostos. A carga tributária é a terceira principal preocupação dos líderes brasileiros, sendo que a primeira é o excesso de regulações e, em seguida, o protecionismo.

Os resultados da pesquisa apontam claramente a globalização como uma preocupação recorrente, seja aqui ou lá fora. No caso brasileiro, a falta de infraestrutura, principalmente a de logística, e a falta de previsibilidade e suporte do governo, fatores amplamente apontados como responsáveis pelo “Custo Brasil”, somam-se ao desafio da globalização para tornar o nosso modelo econômico muito mais complexo do que em vários outros países (Redher, 2010).

1.1.2 A gestão dos estoques

Christopher (2002) afirma que os estoques representam, em média, mais do que 50% do ativo fixo das empresas no Brasil, e que uma boa gestão dos estoques torna-se uma vantagem competitiva importante para a colocação de um produto no mercado.

Dentre as diversas variáveis na gestão da cadeia de fornecimento, o estoque é extremamente importante porque afeta diretamente dois principais indicadores da cadeia de valor: o nível de serviço ao cliente e o giro de estoque.

O nível de serviço mede o desempenho da cadeia de abastecimento em relação ao seu principal foco externo, os consumidores. Um bom nível de serviço significa um cliente satisfeito, o que amplifica o potencial de novas vendas. Esse indicador pode ser medido subjetivamente, através de pesquisas de satisfação, ou objetivamente, por meio de métricas que mostram a precisão da entrega em relação ao prazo solicitado pelo cliente. Uma métrica bastante utilizada é a quantidade de pedidos perfeitos: todos os itens do pedido entregues na data solicitada, sem erros de documentação e em conformidade com as especificações definidas pelo cliente.

Em quaisquer dos casos, a disponibilidade de estoque influencia diretamente, e de forma expressiva, esse indicador.

O giro de estoque, por sua vez, indica o quão bem os estoques da empresa têm sido geridos. O giro de estoque é inversamente proporcional ao capital de giro empregado para compra de matérias primas e formação de estoques de produto acabado. Esse indicador demonstra, portanto, a eficácia na gestão dos estoques e, conseqüentemente, no fluxo de caixa da empresa.

Como os estoques têm sido considerados um dos itens mais representativos no capital de giro das empresas, o indicador “giro de estoque” tem-se tornado

estratégico e sido usado pelas empresas como uma das principais métricas de eficiência da cadeia de suprimentos.

Apesar dessa reconhecida importância na gestão dos estoques, a inclusão de custos de carregamento de estoque em modelos de localização tem sido mais recorrente apenas a partir do final do século passado. Citam-se, por exemplo, Bhutta (2001), Bhutta et al. (2003), Flipo (2000), Flipo e Finke (2001), Goetschalckx et al. (2002), Hale et al. (2002), Nozick e Turnquist (2001), Shen et al. (2003), Smits (2001), Syam (2002) e Vidal e Goetschalckx (1997). No Brasil, podem ser citados os trabalhos de Brito (2004), Hamad (2006) e Vallim (2004).

1.1.3 O custo Brasil e os impostos

O chamado Custo Brasil, conjunto de fatores que reconhecidamente comprometem a competitividade e a eficiência da indústria nacional, encarece o produto brasileiro em relação aos fabricados na Alemanha e nos Estados Unidos, em cerca de 40%, segundo estudo coordenado pela Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos, ABIMAQ (2010). Esse estudo inclui apenas oito itens que interferem na cadeia produtiva, apesar de existirem outros trinta que não foram traduzidos em números e, portanto, não foram incluídos nesse percentual. Entre os componentes do “Custo Brasil” está o impacto dos juros sobre o capital de giro, além dos preços pouco competitivos dos insumos básicos. Como os estoques são bastante representativos sobre o capital de giro, os juros sobre os estoques que, na média, são 7,95% superiores ao dos concorrentes internacionais, tornam esse item de fundamental importância. Outros fatores de custo adicional apontados pelo estudo da ABIMAQ são encargos sociais e trabalhistas (2,84%), logística (1,90%), burocracia e custos de regulamentação (0,36%), custos de investimento (1,16%) e custos de energia (0,51%). Os preços de insumos básicos, cuja diferença de custos é de 18,57% entre a produção nacional e a americana e a alemã, também são explicados pelas deficiências logísticas do país, pelo crédito caro, pelo câmbio valorizado e pelos encargos trabalhistas que tornam nossa mão de obra muito mais

cara que, por exemplo, a dos países asiáticos, sul-americanos e do México. O estudo afirma que, comparado com China, a diferença poderia chegar a 72%.

Grande ofensor dos custos no Brasil é, também, a alta carga tributária, que está entre as maiores do mundo. A incidência de tributos não recuperáveis, por exemplo, sobre a participação da receita líquida no caso de exportações feitas a partir do Brasil é de 5,8%, segundo o estudo da ABIMAQ.

Um estudo da Receita Federal referenciado pela Folha de São Paulo em setembro de 2010 (Patu, 2010) demonstra que a carga tributária do Brasil em 2008 já era maior do que a de países como o Japão, os Estados Unidos, a Suíça e o Canadá. Esse estudo, feito entre os países-membros da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), já evidenciava que, enquanto o resto do mundo estava desonerando a produção e a população, por conta da crise de 2008, o Brasil optou pelo caminho contrário. Em 2009, caso o Brasil integrasse o rol dos países membros da OCDE, ele ocuparia a 14ª posição, subindo quatro posições em relação a 2008 e perderia apenas para países europeus altamente desenvolvidos, que fornecem serviços públicos de qualidade que não precisam ser complementados com a contratação de empresas privadas. Além disso, a tributação nesses países é mais inteligente, pois não incide principalmente sobre a produção e o consumo, como é o caso brasileiro. Fora da OCDE, o estudo da Receita destaca a Argentina que, por não oferecer certos serviços públicos para a sociedade e não ter a Previdência administrada pelo setor público, tem carga tributária menor (29,3%). O estudo ressalta também que os países com perfil de forte demanda social para atendimento à população têm uma carga tributária bruta maior, mas o Brasil se encontra no meio do caminho.

A questão do planejamento tributário no Brasil torna-se, portanto, de suma importância para os gestores brasileiros na definição da rede logística de uma empresa, já que esse fator pode representar muito mais do que os custos logísticos e o custo de estoque na rentabilidade final das empresas. Yoshizaki (2002) mostrou

a importância de se integrar planejamento tributário ao planejamento logístico, sob pena de se desenvolver sistemas de distribuição sub-otimizados.

1.2 OBJETIVO E CONTRIBUIÇÕES

O presente trabalho se propõe a resolver as questões de gestão de estoque e definição da rede logística, e a mostrar a importância dos impostos, do estoque de segurança e da capacidade de armazenagem na definição de uma rede logística, levando em conta todos os fatores abordados neste capítulo: o Custo Brasil, o planejamento tributário, principalmente o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e o Imposto de Importação (II) e a localização de instalações em um âmbito global, em detrimento de uma visão apenas regional.

A metodologia e o modelo matemático propostos, além de terem aplicações práticas imediatas para a solução do problema de localização de instalações, também objetivam contribuir para o conhecimento científico na área, trazendo novas ideias para a minimização do impacto do custo Brasil no que se refere à gestão dos créditos de ICMS que não podem ser aproveitados, e para o gerenciamento dos estoques e seus custos associados junto com os outros custos fixos e variáveis em um desenho de rede logística em âmbito global.

A partir dessa metodologia, é testada a influência do ICMS e do Imposto de Importação na definição da rede logística, seu impacto nos custos e no fluxo de caixa das empresas e são verificadas as hipóteses de que restrições de capacidade de armazenagem, normalmente não consideradas em modelos na literatura, e o estoque de segurança em empresas com demanda sazonal afetam diretamente a definição da rede logística.

É estudado também o número de elos mínimo a ser considerado no modelamento da cadeia para que o modelo traga resultados mais precisos em estudos que incorporam impostos em sua formulação (principalmente ICMS e II).

1.3 DELINEAMENTO DO TRABALHO

Esta tese compreende cinco capítulos, acompanhadas ao final das referências bibliográficas e dos apêndices que suportam este estudo:

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO: define os objetivos da tese a partir da introdução do tema, explica sua importância e apresenta os problemas enfrentados pelos empresários brasileiros no posicionamento dos estoques e na definição da localização de fornecedores, fábricas e CDs em âmbito global.

Capítulo 2 – REVISÃO DA LITERATURA: resumo do que foi encontrado na literatura sobre modelagem de redes logísticas em escala global e modelos de estoque. Mostram-se a importância e as dificuldades para se tratar os estoques, as dificuldades para a gestão do ICMS e a necessidade de se analisar o planejamento tributário para melhorar a tomada de decisão na definição de uma rede logística.

Capítulo 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: apresentação do modelo matemático e da metodologia empregada para resolução do problema de definição de rede logística em escala global que envolve a preparação de uma concorrência para coleta de preços de serviços logísticos, a coleta de diversos custos fixos e variáveis, bem como o levantamento da situação atual e projetada dos créditos de ICMS da empresa.

Capítulo 4 – RESULTADOS: detalhamento da aplicação do modelo proposto com os respectivos resultados obtidos em quatro empresas transnacionais do segmento químico que atendem o mercado agrícola brasileiro de forma destacada. Também serão apresentadas, neste capítulo, conclusões sobre os fatores mais importantes na definição da rede logística das empresas estudadas.

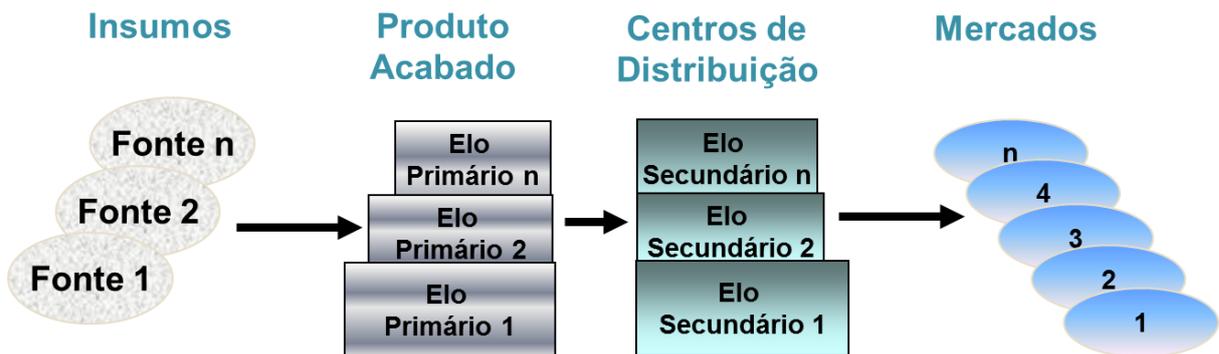
Capítulo 5 – CONCLUSÕES FINAIS DO ESTUDO E RECOMENDAÇÕES: Conclusões finais do presente trabalho e recomendações para futuros estudos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO EM ESCALA GLOBAL

Modelos de localização têm sido estudados há mais de um século e são usados para ajudar na seleção de fornecedores ou nas decisões de quais fábricas e Centros de Distribuição devem ser utilizados. O modelo pode contemplar dois ou mais elos e incorporar outras variáveis de decisão como, por exemplo, dimensionamento de estoques. Na figura 1 é apresentado um modelo esquemático de rede logística com quatro elos na cadeia de suprimentos (fornecedores de insumo, fábricas de produto acabado, Centros de Distribuição e Mercado Consumidor).

Figura 1 – Modelos de localização envolvendo quatro elos da cadeia



Fonte: Resultados da pesquisa

A teoria da localização, incorporando elementos econômicos, é geralmente atribuída a Weber (1909), uma referência seminal para outros estudos. Trabalhos mais sofisticados sobre o tema começam a fazer parte da literatura a partir da década de 1960 (Efroymson e Ray, 1966; Hakimi, 1963, 1964; Kuehn e Hamburger, 1963; Spielberg, 1969).

O modelo apresentado por Geoffrion e Graves (1974) sugere um algoritmo PLIM (Programação Linear Inteira Mista) bastante interessante que foi aplicado por Geoffrion em um caso real em 1976. Esse modelo tem sido aplicado desde então

por diversos autores (Bhutta et al., 2003; Gutierrez, 1996; Hamad, 2006; Yoshizaki, 2002, 2008).

Geoffrion (1989) mostra a evolução das técnicas e dos conceitos envolvendo localização de instalações apresentando um vasto levantamento da evolução do conceito e das ferramentas que têm sido desenvolvidas para a solução do problema. Pouco antes, Love et al. (1988) também avaliam, de uma forma bastante abrangente, vários métodos para solucionar o problema de localização.

Bhutta et al. (2003) introduzem um modelo temporal para localização de plantas industriais em escala global bastante completo que contempla muitas das variáveis importantes ligadas à globalização, tais como, taxas de câmbio, custos de estoque, custos de instalação e desmobilização de fábricas, mas contemplam apenas os dois elos finais da cadeia: centro produtor e mercados.

Dentre os modelos estudados, um dos poucos que apresentam um modelo para quatro elos da cadeia (fornecedor, primeiro e segundo estágios de produção e consumidor final) é o de Dogan e Goetschalckx (1999) que engloba diversos fatores de custo fixos e variáveis em uma cadeia de suprimentos. Eles apresentam um modelo bastante completo de localização para sistemas de distribuição-produção multi-período com vendas sazonais baseada no algoritmo de decomposição de Bender que conseguiu reduzir o tempo de processamento em 480 vezes se comparado com o algoritmo de Bender padrão. Por não incluir fatores globais, tais como, impostos, benefícios fiscais, taxas de inflação e câmbio, este modelo não é adequado para localização de instalações em escala global, mas funciona muito bem para aplicações regionais.

Gutierrez (1996) também apresenta um modelo que contempla quatro elos na cadeia, mas o estudo é aplicado apenas para otimização dos volumes de produção e distribuição de uma empresa química e não para localização de plantas industriais ou depósitos.

No Brasil podem ser encontrados vários modelos de localização em escala regional, tais como, Amaral et al. (2012), Brito (2004), Ferrari (2006), Heiderich (2011), Martos (2000), Medina (1996), Nazar (2003), Oliveira (2005), Pantalena (2004), Vallim (2004), Xavier (2008), Yoshizaki (2002) e Zucchi (2010).

Amaral et al. (2012) apresenta um modelo de programação linear para escoamento de soja brasileira destinada à exportação que contempla a intermodalidade. Outros estudos brasileiros que também exploram o transporte intermodal e a localização de armazéns são Ferrari (2006), Oliveira (2005), Xavier (2008) e Zucchi (2010) que consideraram a exportação de açúcar em São Paulo, de soja pelo Mato Grosso, de álcool combustível no Brasil e de carne bovina para exportação, respectivamente. Heiderich apresenta um modelo de programação linear para a localização ótima de unidades de tratamento térmico de resíduos com recuperação energética aplicado na região metropolitana da Baixada Santista e litoral norte.

Brito (2004) propõe um modelo para seleção de modais no abastecimento de itens aeronáuticos importados visando identificar quais produtos devem seguir diretamente dos fornecedores e quais devem sofrer uma etapa de transbordo conforme o regime aduaneiro escolhido. Os custos de carregamento dos estoques são levados em conta no modelo.

Martos (2000) elaborou um projeto de redes logísticas para a indústria petroquímica que leva em conta os estoques ao longo da cadeia e os modais de transporte possíveis.

Medina (1996) criou um modelo para dimensionamento de frota e localização de embarcações para atendimento de acidentes marítimos baseado em PLIM combinado com um modelo probabilístico usando o aplicativo Arena[®] da *Rockwell Software* como ferramenta de simulação.

Nazar (2003) contempla o nível de serviço oferecido, variável poucas vezes coberta nos modelos analisados, em sua metodologia para solução do problema de planejamento de serviços no transporte intermodal.

O modelo de Yoshizaki (2002) contempla três elos da cadeia (centro produtor, centro distribuidor e centro consumidor). Nesse trabalho atesta-se a importância da análise dos impostos na definição de uma rede logística apresentando-se uma análise também sob o ponto de vista do cliente final.

O trabalho de Pantalena (2004) analisa o caso de uma empresa química e apresenta um modelo de PLIM para localização de CDs no Brasil. O modelo engloba três elos (centros produtor, distribuidor e consumidor), mas apresenta resultados considerando apenas um centro produtor e não inclui estoques em sua formulação. O estudo analisa o impacto dos impostos na definição de localização em escala regional sob o ponto de vista do fornecedor e foi feito sob a coordenação do autor desta tese e baseado no trabalho de Yoshizaki (2002).

Vallim (2004) propõe um modelo para localização de CDs de empresas de vendas, que atendem o segmento de varejo, com lojas espalhadas pelo Brasil. O modelo contempla duas fases, a localização ótima usando um modelo de PLIM e *Simulated Annealing* numa primeira etapa, que depois é complementada com a definição da quantidade ótima de CDs a partir de parâmetros de custos de estoque e armazenagem.

Dos trabalhos analisados e apresentados acima, excetuando-se Brito (2004), todos tem um foco essencialmente regional, não incorporando, portanto, variáveis que contemplam problemas de localização em âmbito global.

Baseado em BHUTTA (2004), é feita uma análise comparativa dos vários modelos encontrados na literatura que propõem soluções para o problema de localização global de instalações (tabela 1). Três fatores adicionais foram incluídos na análise: o número de “elos da cadeia” tratado em cada modelo, a inclusão do fator “estoques” para mostrar a inclusão dos valores do estoque nas restrições de capacidade e/ou custo total e a análise dos impostos incidentes.

Tabela 1 – Modelos globais de localização

Author	Haug (1985)	Arntzen et al. (1995)	Kirca Koksalan (1996)	Min Melachrinoudis (1996)	Canel Khumawala (1996)	Mohamed (1999)	Bhutta (2001)	Flipo (2000)	Hadjinicola Kumar (2002)	Syam (2002)	Verter (2002)	Hamad Gualda (2008)	Basset Gardner (2010)
Model type	MILP	MILP	LP	Own algorithm	PLIM Binário	MILP	MILP	Network modeling	Goals programming	Binary MILP	Own algorithm	MILP	MILP
Objective	Max Profit	Min Cost	Max Profit	Max Profit	Max Profit	Min Cost	Max Profit	Min Cost	Max Profit	Min Cost	Min Cost	Min Cost	Max Profit
Periods	2	18	12	3	4	3	3	12	1	1	1	1	24
Facilities	2	33	1	5	5	2	3	10	3	3	13	17	7
Markets	1			1	6	3	4			2	49	27	22
Products	1		1	1	1	1	2	16	1	1	1	4	1
Echelons	2		2	2	2	2	2	3	2	3	3	4	3
Considered Factors													
Demand	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Capacity	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Investment			Yes	Yes	Yes				Yes	Yes	Yes	Yes	
Inventory		Yes	Yes		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes	Yes
Exchange rate				Yes	Yes	Yes	Yes		Yes			Yes	
Taxes, Duties		Yes			Yes		Yes					Yes	Yes

Fontes: Bhutta, Autor

Além dos trabalhos acima, a literatura internacional ainda apresenta outros modelos em escala global, todos eles tratando menos de quatro elos: Allen (1991), Bijayamada e Chakravarty (1994), Flipo e Flinke (2001), Haug (1992), Hodder e Dincer (1984), Meijboom e Vos (1997) e Tong e Walter (1980).

Balaji e Viswanadham (2008) apresentam um modelo interessante para mais de três estágios que objetiva ajudar a decisão de terceirização em uma cadeia de suprimentos global. O modelo considera os impostos associados e os estoques ao longo da cadeia e usa o exemplo da definição de uma cadeia de suprimentos para uma empresa de computadores, mas simplifica a cadeia para permitir o uso de um modelo de programação linear e não leva em conta os estoques de segurança e outros componentes do inventário ao longo da cadeia.

Basset e Gardner (2010) desenvolveram um modelo usando PLIM para otimizar a rede logística global da Dow AgroSciences que incorpora os impostos de importação de cada país, mas calcula os estoques a partir de um modelo dinâmico, não leva em conta os estoques de segurança nas fábricas e foi criado para cobrir apenas três elos da cadeia (fornecedores, fábricas e consumidores).

No Brasil, o primeiro estudo de modelos para localização em escala global encontrado na literatura foi o desenvolvido por Hamad e Gualda (2006).

Nos problemas de localização de instalações em escala mundial, particularmente, verifica-se a inclusão de alguns outros fatores que afetam a tomada de decisão, tais como, flutuação das taxas de câmbio, custos de capital, flutuação das taxas de juros, instabilidade política dos países e inflação. Esses modelos construídos para atender a empresas transnacionais têm ganhado importância nos últimos anos (Bhutta et al., 2003; Bijayananda e Chakravarty, 1994; Canel e Khumawala, 1996; Hadjinicola e Kumar, 2002; Haug, 1985 e 1992; Hodder e Jucker, 1985; Meijboom e Vos, 1997 e Min e Melachrinoudis, 1996).

A Programação Linear (PL) é a técnica favorita usada na solução dos problemas e todos os trabalhos acima levam em conta a demanda e as restrições de capacidade de movimentação na formulação dos modelos. Apenas Verter (2002) propõe um algoritmo inédito. Kirca e Koksalan (1996) são os primeiros a incluírem a inflação como fator a ser considerado e foram pioneiros também na integração dos planejamentos financeiro e da produção. Bhutta (2001) é o que apresenta um dos modelos mais completos, mas limitado à solução para apenas dois elos da cadeia. Smits (2001) e Bhutta (2004) fazem uma excelente avaliação dos modelos para projetos de redes de distribuição e apresentam uma vasta revisão da literatura existente. Smits (2001) compara 34 modelos de localização, incluindo o sugerido pelo autor do estudo e uma taxonomia é proposta a partir de 14 atributos diferentes.

A importância dos modelos de definição de redes logísticas e, conseqüentemente, o número de pesquisadores que começaram a se dedicar a esse tema, cresceu muito a partir da segunda metade do século passado, por conta de dois fatores que se juntaram à lista de prioridades corporativas dos executivos do mundo inteiro: a globalização (integração social, política, cultural e, principalmente, econômica dos vários países) e a resiliência (capacidade para se adaptar às mudanças de mercado e tecnologia). Estes fatores, junto com a gestão de estoques, são fatores vitais para a manutenção da competitividade das empresas (Bhutta, 2004). Por conta disso, a

competição entre produtos migrou para a disputa entre as melhores cadeias de suprimento. Isso fez com que a famosa lei de Darwin referente à preservação das espécies fosse adaptada para contemplar a sobrevivência das empresas: a competitividade é tanto maior quanto mais adaptável a empresa consegue ser. Ou seja, em gerenciamento da cadeia de suprimentos, quem sobrevive atualmente não são os mais fortes, mas os mais precisos, aqueles que se adaptam às mudanças de mercado e tecnologia, administrando sua cadeia de forma mais eficiente e eficaz (Fine, 1999).

Segundo Bijayamada e Chakravarty (1994), a globalização tem desafiado as empresas transnacionais a expandir seus horizontes comerciais, ou buscar o suprimento de matérias primas em mercados mais competitivos, o que tornou mais complexo o problema da localização de novas unidades industriais, fornecedores e Centros de Distribuição (CDs). Segundo Owen e Daskin (1998), a eficiência da cadeia de suprimentos depende fundamentalmente da configuração de sua rede logística, que deve ser definido não simplesmente baseado no estado atual do sistema, mas, também, levando em consideração o tempo de vida das instalações selecionadas, as mudanças nos fatores ambientais e populacionais, a evolução esperada para a demanda, benefícios fiscais, variações cambiais e de inflação, dificuldades operacionais regionais, nível de serviço e outros.

Bowersox e Closs (2001) afirmam que esses diferentes componentes, associados ao aumento na concorrência e estimulados pelo crescimento das incertezas relativas à economia e às fontes de suprimento de materiais, aumentaram muito o número de variáveis a ser considerado, o que exige que o problema seja atacado através de modelos matemáticos mais elaborados. Ainda segundo esses autores, com os avanços significativos da tecnologia de computação, esses modelos devem ser amparados por ferramentas computacionais mais sofisticadas, mas, ao mesmo tempo, precisam ser de fácil utilização, o que tem demandado o desenvolvimento de modelos matemáticos sobre plataformas mais simples, de fácil aprendizado e implantação.

Esses autores também atestam que a relevância em estudos de localização já era objeto de preocupação desde meados do século XIX, e que os custos de transporte e o custo do uso do solo eram os principais componentes do desenvolvimento econômico agrícola e, portanto, eram os principais fatores para as decisões de localização àquela época.

Atualmente essa preocupação tem aumentado significativamente, pois fatores como o crescimento sustentado, a conquista de novos mercados e o aumento na competitividade levaram a problemas novos não percebidos em escala regional, ou a problemas antigos ampliados pelos novos desafios impostos pelos mercados globais. O domínio de novas línguas e a adequação do produto a culturas, necessidades, legislações e regras de tributação diferentes tornaram-se essenciais. Tornou-se igualmente crítica, a melhor gestão dos centros de abastecimento devido ao aumento na complexidade da logística de distribuição, que envolve não só a melhor adequação dos níveis de estoque em cada ponto da cadeia, mas também a definição da melhor localização para instalações e fornecedores suportada por modelos matemáticos (Bhutta, 2001).

Segundo Pacheco (1999), modelos são representações da realidade que objetivam facilitar a compreensão dessa realidade, ou explicar seu comportamento. Sabe-se que são poucos os problemas de otimização combinatória (POC) que têm um tempo de solução aderente a uma função polinomial em n . Na maioria dos casos, os problemas são mais complexos e a busca por uma solução ótima torna-se um problema de otimização combinatória *NP-Hard*, isto é, com tempo de solução que cresce de forma não polinomial. Para estes casos, têm-se desenvolvido nas últimas décadas vários métodos para chegar-se a uma solução satisfatória, mas que não garantem a solução ótima. Esses métodos são chamados de heurísticas ou, no caso do método poder contemplar vários tipos de problemas através da adaptação das condições do problema, metaheurísticas.

Dentre as várias metaheurísticas existentes, algumas são de especial interesse, pois foram criadas através de analogias com sistemas sociais ou naturais, tais como,

Algoritmo Genético (Goldberg, 1989), Busca Tabu (Glover, 1989), *Simulated Annealing* (Kirkpatrick et al., 1983) e Redes Neurais (Wasserman, 1989).

Outra forma de se resolver os problemas de localização é a partir de análises gráficas baseadas em SIG (Sistemas de Informações Geográficas). Uma derivação do SIG é o SIG-T, Sistemas de Informação Geográficas aplicadas ao Transporte, com módulos destinados à localização de instalações e ao planejamento de transporte, que integram uma sofisticada interface gráfica a uma base de dados geograficamente referenciada, transformando-se, dessa forma, em poderosas ferramentas de análise e planejamento espacial (Lima, 2003). Alguns trabalhos recentes envolvendo SIG aplicados à resolução de problemas de localização podem ser também vistos em Arakaki e Lorena (2006), Carrara et al. (2006), Mapa (2007) e Morgado et al. (2005).

Love et al. (1988), Ballou (1998), Smits (2001) e Bhutta (2004) atestam que, dentre as várias metodologias do universo da Pesquisa Operacional, a PLIM (Programação Linear Inteira Mista) é a que tem apresentado melhores resultados para resolução de modelos de localização. Por isso, em 1990, 90% dos modelos criados para a localização de instalações optavam pela PLIM como algoritmo de otimização (Geoffrion e Powers, 1995). Shapiro (2001), em uma compilação dos vários modelos existentes na literatura, aponta a PLIM como a mais promissora para a localização de instalações, opinião também compartilhada por autores brasileiros: Wanke (2001) e Lacerda (2005).

Atualmente estima-se que o porcentual de modelos que usam PLIM em relação a 1990 seja menor, devido ao recente crescimento de pesquisas para o aprimoramento de heurísticas e metaheurísticas. Essas heurísticas vêm recentemente ganhando destaque, devido ao aumento na complexidade dos problemas e à necessidade de se reduzir o seu tempo de resolução, apesar da perda na optimalidade das soluções (Gualda, 2004). No caso dos modelos de localização que contemplam uma escala global, a consideração sistêmica de todos

os fatores envolvidos torna-se fundamental, mas esse enfoque nem sempre é aplicado aos modelos desenvolvidos recentemente (Bhutta, 2004).

Dos trabalhos analisados, percebe-se claramente uma tendência para a modelagem de problemas envolvendo poucos elos na cadeia (dois ou três) e, principalmente, soluções para o problema de localização de CDs ou fábricas, ou seja, decisões situadas nos níveis estratégico e tático. Na grande maioria dos modelos identificados na literatura, a preocupação reside apenas na localização de centros distribuidores ou, em poucos casos, na localização de centros produtores. Na grande maioria dos casos, a função objetivo é configurada visando à redução de custos e não à maximização dos lucros. Em nenhum modelo analisado foi verificada a preocupação com outros componentes da cadeia de valor como, por exemplo, a maximização do nível de serviço (minimização do *lead-time* de entrega ou aumento na precisão de entrega, por exemplo) ou a otimização do giro de estoque. A preocupação com o nível de serviço já tem feito parte dos modelos, principalmente nos modelos mais recentes, mas apenas como condição de restrição e não como parte da função objetivo.

Ballou (1998) apresenta com detalhes os *trade-offs* (trocas) envolvidos em uma cadeia de suprimentos que torna complexa a tarefa de atender estratégias conflitantes, tais como, estoques, decisões de transportes e localização. Ballou (1998) defende, assim como Churchmann (1969), a hierarquização das decisões através da separação em níveis de planejamento atrelados ao horizonte de tempo em foco e propõe, dependendo do tipo de problema e horizonte de planejamento envolvido, a seguinte estratificação dos níveis de decisão:

- **Nível Estratégico** – Uso de dados agregados em um horizonte de tempo mais longo (geralmente acima de um ano), o que permite uma maior flexibilidade na tomada de decisões. Neste nível encontram-se as decisões relacionadas, normalmente, ao número, tamanho e localização de fábricas,

- **Nível Tático** – Horizonte de tempo entre meses e um ou dois anos, mistura de dados agregados e detalhados, e flexibilidade das decisões menor do que no nível anterior. Neste nível são definidos, normalmente, os CDs a serem usados e alocação dos clientes aos CDs e estes às fábricas,
- **Nível Operacional** – O horizonte pode se situar entre horas e semanas e os dados têm um detalhamento maior do que nos níveis anteriores. A flexibilidade para tomada de decisões é reduzida. Neste nível são elaborados os planos de contingência onde se pretende realocar de forma ótima os clientes e, também, decisões relacionadas a onde se posicionar estoques e/ou tamanho de caminhão a ser usado.

2.2 A INCLUSÃO DOS ESTOQUES NOS MODELOS DE LOCALIZAÇÃO

Segundo Standage (2009), a manutenção de reservas de comida e guarda de ferramentas, utensílios, roupas, etc. pode ser considerada tão importante quanto à descoberta do fogo e à invenção da roda, já que essa iniciativa se tornou uma das principais vantagens competitivas do *homo sapiens* para sua sobrevivência e contínua evolução. Os estoques de comida, por exemplo, permitiram que o ser humano se tornasse menos dependente de estar próximo das fontes dessa matéria prima primordial para sua subsistência, o que levou a espécie a descer das árvores, organizar-se em torno de comunidades, viver em localidades mais propícias, desenvolver a agricultura e preservar por mais tempo os alimentos gerados a partir da caça. Foi dessa forma que as cidades começaram a ser criadas e a florescer agregando as pessoas. Garcia et al. (2006) também afirmam que a humanidade tem usado estoques dos mais variados recursos de modo a assegurar seu pleno desenvolvimento e sobrevivência. Essa agregação das pessoas em torno de estoques estratégicos e operacionais fez com que a sociedade evoluísse rapidamente e de forma organizada.

Apesar da gestão dos estoques remontar aos primórdios da história humana, modelos matemáticos criados para essa finalidade começaram a ser criados apenas

no final do século XIX, com o advento da revolução industrial. Mas, ainda hoje, existe uma grande deficiência na manutenção adequada de estoques, por conta do número de variáveis envolvidas na tomada de decisão. Crandall R.E. and Crandall W.R. (2003), por exemplo, referenciam uma pesquisa desenvolvida pela AMR Research (Boston, EUA) publicada em julho de 2000, que estima um excesso de estoque para bens de consumo da ordem de US\$ 60 bilhões nos EUA e US\$ 120 bilhões no mundo. Esse valor representava cerca de 6% do total de inventário disponível no mundo à época.

Modelos de estoque também têm sido estudados há mais de um século, mas sua associação com modelos de localização são bastante recentes. Harris, em 1913, por exemplo, determinou a fórmula para a quantidade ótima para o lote (do inglês EOQ – *Economic Order Quantity*), utilizando o custo de estoque e os custos de pedido de itens que tenham um padrão de demanda regular. Esta fórmula foi explorada por Wilson (1934) e tem sido amplamente utilizada para o cálculo do EOQ. Goetschalckx et al. (1995) e Dogan e Goetschalckx (1999) usaram esse conceito para a determinação do custo de estoque em modelos de localização.

De acordo com Shen (2007), a literatura sobre gestão de estoques tende a ignorar a decisão estratégica de localização e seus custos associados, ao passo que a literatura sobre modelos de localização tende a ignorar o estoque operacional (normalmente calculado com base na meta para a cobertura das vendas mais o estoque em trânsito) e os custos associados à falta de estoque, bem como a incerteza da demanda e os efeitos que as políticas de resuprimento têm nos custos de estoque e de entrega. Uma das razões para essa desconexão é a falta de informações detalhadas no nível não-estratégico, tais como, dados sobre os custos de estoque e distribuição durante a fase do projeto estratégico, o que pode levar à sub-otimização na determinação da localização das instalações. Outro problema apontado por Shen é a modelagem da capacidade, já que a maioria dos modelos é projetada considerando-se que a capacidade de armazenagem de cada Centro de Distribuição (CD) é ilimitada. Na imensa maioria dos casos práticos, os sites candidatos possuem capacidade limitada e, portanto, essa restrição precisaria ser

considerada. Em Shen et al. (2003), um modelo de localização de estoque é proposto para resolver essas lacunas da literatura, mas o modelo considera apenas um único fornecedor e nenhuma fábrica é considerada, apenas CDs para manuseio de produtos acabados.

Nahmias (1993) apresenta várias metodologias para o tratamento de custo de estoque com a condição de único elo da cadeia e único produto em modelos de localização e Eppen (1979) propõe uma relação entre o número de CDs e a quantidade de estoque de segurança para modelos com apenas um elo e demanda semelhante em todos os CDs: o novo nível de estoque será o produto do estoque de segurança vezes a raiz quadrada do número total de CDs, regra que tem sido utilizada por vários modeladores (Croxton e Zinn, 2005 e Maister, 1976) e é conhecida como "a regra da raiz quadrada".

Zinn et al. (1989) apresentam um modelo que estabelece uma relação entre o estoque de segurança agregado e o número de instalações com estoque de produtos que serão distribuídos. A relação é uma função do tamanho relativo do desvio padrão da demanda (Magnitude) e do coeficiente de correlação das vendas entre as localizações onde os estoques serão alocados. É demonstrado que a regra da raiz quadrada é um caso especial da formulação proposta por esses autores.

Smits (2001), em sua revisão dos modelos de localização existentes, afirma que os modelos de localização que lidam com os custos de estoque são recentes e têm aumentado em importância relativa, mas, mesmo assim, apenas poucos modeladores consideram os custos de estoque. Ballou (2001) sugere que essa ausência é basicamente devido à preferência pelo PLIM para o projeto de rede, o que faz com que os modeladores desprezem a influência do estoque, por conta da regra da raiz quadrada, que implica em uma relação não linear entre estoque e o número de armazéns.

Croxton e Zinn (2005) dão uma importante contribuição para a análise dos estoques na definição de uma rede logística a partir de um modelo de PLIM que trata a regra

da raiz quadrada na formação dos estoques sem a perda de linearidade do modelo. A partir da aplicação em um varejista dos Estados Unidos com demanda regular, é demonstrado que o número de CDs recomendado por um modelo que inclui os custos de estoque de segurança é menor do que a solução obtida quando não se considera esses estoques. Nesse modelo não são consideradas restrições relacionadas à capacidade de armazenagem.

Como exemplos da falta de tratamento de custos de estoque em modelos para projetos de redes logísticas, podem ser citadas as revisões da literatura sobre modelos de localização feitas por Bhutta (2004), Geoffrion e Powers (1995), Goetschalckx et al. (1995), Owen e Daskin (1998) e Revelle e Eiselt (2005) que sequer avaliam o fator estoque nas comparações feitas.

Smits (2001) propõe modelos de rede logística que calculam os custos de estoque considerando que o ponto de resuprimento é o sistema adotado de colocação de pedidos, que a demanda é dada por uma distribuição específica e que o prazo de entrega também inclui o tempo de espera devido à falta de estoque no depósito central. O nível de estoque médio é calculado a partir da taxa de chegada das ordens, a taxa de entregas e o tamanho do lote de entrega, mas inclui apenas os estoques de produtos acabados que estão sendo transportados. Essa limitação também acontece no modelo proposto por Syam (2002), onde o estoque é calculado usando o ciclo de vida do pedido e o fluxo em cada arco para os vários períodos e produtos considerados.

No modelo de Hadjinicola e Kumar (2002), o estoque médio é aproximado por metade da demanda no período e no modelo apresentado por Gross et al. (1981), o nível de estoque médio e a falta de estoque são calculados usando o modelo de Clark (1958).

Apenas em poucos modelos integrados de localização-estoque, tais como, Arntzen et al. (1995), Brito (2004), Dogan e Goetschalckx (1999), Goetschalckx et al. (1995) e Smits (2001), os estoques em trânsito são considerados, mas apenas o estoque

dos produtos que foram transferidos. Produtos semi-acabados e matérias-primas em trânsito não são levados em conta.

Shapiro (2001) apresenta como incorporar a gestão do estoque em modelos estratégicos para a configuração da rede logística e diz que, em modelos dinâmicos (modelos que consideram as mudanças nos parâmetros tais como, custos e capacidades ao longo do tempo), a consideração comum de que o estoque ao fim do período é zero não é uma aproximação correta porque existirão produção e distribuição nos períodos seguintes. Duas características essenciais determinam a necessidade do uso de modelos dinâmicos em modelos de localização: quando existem alterações de custo e demanda ao longo do tempo e, ainda, quando há custos significativos para a transferência e/ou redimensionamento das instalações (Erlenkotter, 1981).

Modelos dinâmicos apresentados, por exemplo, por Arntzen et al. (1995), Dogan e Goettschalckx (1999) e Mohamed (1999) usam estoque ao fim do período para o cálculo do custo de carregamento de estoque e consideram apenas os estoques do produto que está sendo modelado. Se o período t é muito longo (um mês ou mais), essa abordagem pode levar a grandes erros, uma vez que o estoque no fim do período tende a ser menor do que o estoque médio durante o período. Essa tendência se explica pela pressão que as empresas sofrem por redução de seus estoques ao final de cada período de planejamento, já que é quando os indicadores de performance, inclusive de estoque, são normalmente avaliados.

A grande maioria dos modelos de localização-estoque estudados não consideram os estoques de produtos semi-acabados, matérias-primas e Itens de manutenção, reparo e operações no valor final dos estoques. Na modelagem de uma fábrica, estima-se que isso significa deixar de lado cerca de 30 a 70% do valor total dos estoques, seja em valor ou volume. Nas empresas avaliadas neste estudo, o estoque de produto acabado das fábricas se situava em torno de 40 a 60% do total geral em valor.

Em resumo, as seguintes questões sobre o tratamento de estoque podem ser apontadas a partir dos modelos encontrados na literatura e analisados aqui:

- O estoque total nos elos de produção (fábricas) não é coberto ou é apenas parcialmente contemplado. O Inventário total deve incluir, além dos produtos acabados, os semi-acabados, matérias-primas, estoques de segurança em geral, estoques de itens de manutenção, segurança e estoques em trânsito,
- Restrições em relação à capacidade de estoque não são usualmente consideradas ou consideradas apenas indiretamente através das restrições de movimentação de cargas nos CDs ou fábricas,
- Modelos que usam a regra da raiz quadrada para o cálculo do estoque de segurança são mais complexos, pois eles restringem o uso de modelos de programação linear. Além disso, esses modelos geralmente falham por não considerar os estoques operacionais que fazem parte do estoque total,
- Modelos dinâmicos normalmente simplificam o cálculo do estoque considerando apenas o estoque do final do período, o que pode levar a um resultado sub-otimizado, já que, reconhecidamente, o estoque ao longo do período é geralmente maior do que o estoque do final do período. Isso se explica pelo fato dos planejadores de materiais e produção tenderem a projetar estoques menores quando os indicadores de estoque são registrados, o que acontece normalmente no final do período.
- Dentre os modelos estudados, todos consideram o cálculo do estoque a partir de um custo unitário aplicado ao estoque final de cada período. Esse custo não é considerado para modelos de período único e, pelo menos nos vários casos estudados, o giro de estoque foi aplicado apenas em Hamad, Gualda (2006, 2008, 2011).

O cálculo do custo de carregamento dos estoques (chamados de *carrying* ou *holding cost* em inglês) tem sido incorporado nos modelos de localização por ter-se tornado um componente de custo importante na rede logística das empresas, mas percebe-se que poucas empresas, pelo menos no Brasil, calculam esse custo de uma forma

estruturada. Na seção 2.4 apresenta-se um detalhamento desses custos e de que como ele pode ser calculado.

Uma variável que vem crescendo em importância em trabalhos de localização, por conta de seu impacto no valor dos estoques, principalmente no Brasil, é a referente aos impostos na configuração final da rede logística.

2.3 O SISTEMA TRIBUTÁRIO BRASILEIRO

O Brasil é reconhecido internacionalmente como o país dos impostos. São 86 impostos, contribuições e taxas que incidem sobre as vendas, o patrimônio e a renda segundo o IBPT (2013). A situação da carga tributária do Brasil em 2011 era muito superior à média e apresentava-se mais de 10% maior do que países como EUA e Japão, países desenvolvidos, ou mais de 20% em relação à China e Índia, países em desenvolvimento.

São três, as bases clássicas de tributação no Brasil (Hamad et al., 1999): a renda, o patrimônio e o consumo. As demais são variações ou combinações dessas bases, com exceção dos impostos de natureza regulatória tais como, os incidentes sobre o comércio exterior e sobre operações financeiras.

O sistema tributário brasileiro é caracterizado pela sua estrutura obsoleta e complexidade exagerada que, além de prejudicar a competitividade dos produtos brasileiros, induz à sonegação, inclusive a não intencional. Além disso, a falta de simplicidade desse sistema, resultado de vários anos de planos políticos inconsistentes e legislações e medidas provisórias desencontradas, não permite sua harmonização com outros sistemas tributários, característica recomendada para que o Brasil se adeque ao Mercosul e ao fenômeno da globalização (Patu, 2010). Na tabela 2 são apresentados os vários tributos que incidem sobre matérias primas e componentes no Brasil conforme dados publicados em 2011 pelo Ministério da Fazenda referente a tributos incidentes em 2010.

Tabela 2 – Tributos incidentes sobre insumos (valores em milhares de reais)

Descrição das despesas	Total	Tributos Incidentes no Insumo			Tributos passíveis de incidência no grupo de despesas
		Não recuperáveis	Recuperáveis	Total	
Gastos de pessoal	174.076	39.167	0	39.167	INSS
Matérias-Primas e componentes	665.919	0	191.869	191.869	ICMS / IPI / PIS / COFINS
Mercadorias adquiridas para revenda	64.390	0	18.552	18.552	ICMS / IPI / PIS / COFINS
Consumo de combustíveis para maquinaria	12.956	0	3.733	3.733	ICMS / PIS / COFINS
Energia elétrica para produção	21.946	0	6.430	6.430	ICMS / PIS / COFINS
Consumo de peças, acessórios e pequenas ferramentas	17.037	4.909	0	4.909	ICMS / IPI / PIS / COFINS
Serviços industriais prestados por terceiros	32.463	0	2.857	2.857	ICMS ou ISS / PIS / COFINS
Serviços de manutenção prestados por terceiros	13.656	1.852	0	1.852	ICMS / PIS / COFINS
Aluguéis e arrendamentos	7.011	0	617	617	PIS / COFINS
Despesas com arrendamento mercantil	4.813	0	424	424	PIS / COFINS
Depreciação, amortização e exaustão	45.878	0	0	0	X
Despesas com propaganda	16.926	4.071	0	4.071	ISS / PIS / COFINS
Fretes e Carretos	33.078	0	7.956	7.956	ICMS / PIS / COFINS
Impostos e Taxas	10.568	10.568	0	10.568	IPTU / ITR / Demais Taxas
Prêmios de seguros	1.902	167	0	167	ICMS / PIS / COFINS
Variações monetárias passivas	29.737	0	0	0	X
Despesas Financeiras	54.322	0	0	0	X
Resultados negativos de participações societárias	7.099	0	0	0	X
Outros Serviços prestados por terceiros	26.584	0	3.605	3.605	ISS / PIS / COFINS
Demais custos e despesas operacionais	74.758	17.980	0	17.980	ICMS / IPI / PIS / COFINS
Despesas não-operacionais	11.316	1.535	0	1.535	ICMS / IPI / PIS / COFINS
Royalties e Assistência Técnica	2	0	0	0	X
Total	1.326.435	80.249	236.043	316.292	X
Receita Líquida	1.379.603				
Participação na Receita Líquida	96,1%	5,8%	17,1%	22,9%	

Fonte: Ministério da Fazenda (2011)

Apesar das mudanças implantadas na estrutura tributária do país nos últimos 20 anos (eliminação da correção monetária, introdução do desconto simplificado no IRPF, isenção do ICMS na exportação, por conta da lei Kandir, implantação do SIMPLES, etc.), elas tem-se mostrado limitadas em relação à redução do número de impostos abrangidos e suaves com relação ao esforço desempenhado para sua implantação. O nível de sonegação é alto, a fiscalização muito difícil e a distribuição da carga tributária pouco justa (PwC, 2011). A falta de generalidade do sistema favorece os que detêm maior renda, promove a existência de guerra fiscal entre estados e municípios e torna complicada a administração fiscal/financeira das empresas. Em 2012, segundo o IBPT (2013), o peso dos impostos no Brasil chegou a 36,3% contra 36,0% em 2011. Em relação a 1986, quando a carga tributária era de 22,4%, o aumento foi de 62%. Segundo esse mesmo instituto, a carga tributária por esfera de governo divide-se em 69,96% (tributos federais), 24,71% (tributos estaduais) e 5,33% (tributos municipais).

Apesar dessa carga tributária altíssima, o Brasil tem, seguidamente, aumentado os seus custos, o que faz com que a principal ferramenta de controle da inflação seja o aumento elevado das taxas básicas de juro, uma das maiores do mundo já há algum tempo, o que aumenta os custos de manutenção dos estoques.

Segundo a OCDE, a carga tributária em 2011 foi de 19,7% no México e 25% na Turquia, países com condições econômicas bastante similares ao Brasil. Comparado aos países que fazem parte da OCDE, o Brasil arrecadava, em 2011, 2,8% acima da média desses países. Nos EUA a carga tributária foi de 26,9%, enquanto no Chile foi de 21,4%. O campeão dentre os países da OCDE foi a Dinamarca com 48,1%, seguidos de Suécia (44,5%), França (44,2%) e Bélgica (44,0%). A Alemanha chegou a 35,5%, pouco acima do Brasil (tabela 3).

Tabela 3 – Peso dos impostos sobre o PIB nos países da OCDE e Brasil (2011)

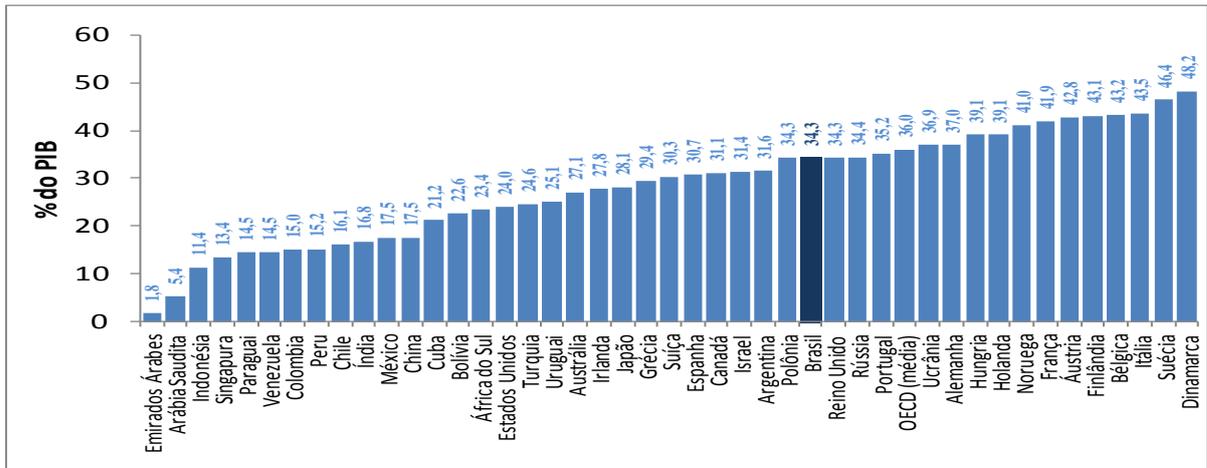
Ranking	País	% do PIB
1	Dinamarca	48,1
2	Suécia	44,5
3	França	44,2
4	Bélgica	44,0
5	Finlândia	43,4
6	Noruega	43,2
7	Itália	42,9
8	Áustria	42,1
9	Alemanha	37,1
10	Grã Bretanha	35,5
11	Brasil	35,3

Fontes: Site da OCDE, Site do Ministério da Fazenda

A carga demasiada e muito centrada na produção tem gerado desequilíbrios e injustiças. Estudos do próprio governo (Patu, 2010) reconhecem que a carga tributária relacionada ao consumo de bens e serviços no Brasil é excessiva, já que a realidade brasileira não condiz com uma carga tributária acima dos países pertencentes ao OCDE.

A *Heritage Foundation* em 2012 apresentava uma comparação da carga tributária entre vários países desenvolvidos e emergentes (gráfico 1).

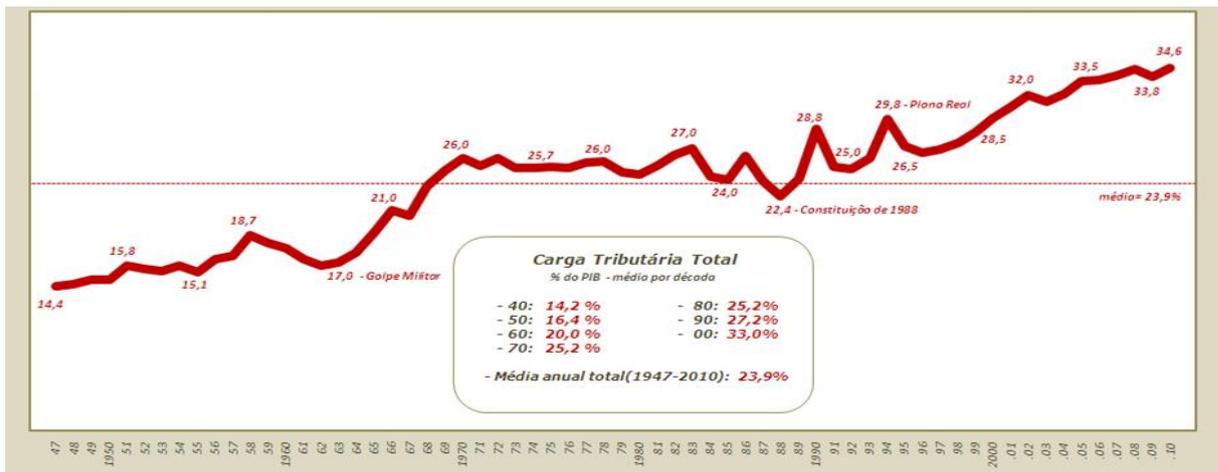
Gráfico 1 – Comparação internacional da Carga Tributária Brasileira em 2011



Fonte: *Heritage Foundation* (2012)

Em pouco mais de 60 anos, a carga tributária no Brasil aumentou mais de 2,5 vezes passando de 13,8% do PIB em 1947 a 35,04% do PIB em 2010. Desde o golpe militar na década de 60, o Brasil mais do que dobrou sua carga tributária. Desde a constituição de 1988, o aumento foi de mais de 50%, sendo que se percebe uma aceleração maior do crescimento a partir de 1996 (governo Fernando Henrique Cardoso) e que foi mantido nos governos Lula e Dilma (gráfico 2).

Gráfico 2 – Evolução da Carga Tributária Brasileira



Fontes: IBGE/Contas Nacionais e Ministério da Fazenda

Importante mencionar que o cálculo da carga tributária feito pelo Ministério da Fazenda é diferente em relação ao publicado pelo IBPT (2013), da OCDE e da

Heritage Foundation por conta das metodologias utilizadas. A Receita Federal, por exemplo, não considera os valores recolhidos a título de multas, juros e correção monetária, as contribuições corporativas e as custas judiciais, e estima as arrecadações tributárias municipais através da variação dos tributos estaduais. No Setor Público, o BNDES (www.federativo.bndes.gov.br), a Secretaria da Receita Federal (www.receita.fazenda.gov.br) e o TCU – Tribunal de Contas da União (www.tcu.gov.br) também tem suas metodologias para cálculo da carga tributária. Em todos os casos, as entidades levam em conta os dados governamentais para os tributos estaduais. Os dados dos municípios são tirados dos Portais da Transparência e dos números divulgados pela Secretaria do Tesouro Nacional e dos Tribunais de Contas dos Estados para aquelas cidades que divulgam seus números em atenção à Lei de Responsabilidade Fiscal. Em qualquer metodologia, o governo federal leva o maior quinhão da arrecadação de impostos, taxas e contribuições no Brasil. A arrecadação é dispersa, sem concentração significativa em nenhum tributo, o que dificulta a fiscalização e beneficia a sonegação (tabela 4).

Tabela 4 – Principais Impostos e Contribuições por esfera governamental

Descrição dos Impostos e Taxas	% Total	% PIB	R\$ bi
Total da Receita Tributária	100,00%	36,27%	1.597,01
Tributos do Governo Federal	69,96%	25,37%	1.117,21
Imposto de Renda (PF e PJ)	16,54%	6,00%	264,15
Imposto sobre Produtos Industrializados	2,88%	1,04%	45,93
Imposto sobre Operações Financeiras	1,93%	0,70%	30,77
Impostos sobre o Comércio Exterior	1,95%	0,71%	31,11
Contribuição para a Previdência Social	18,93%	6,87%	302,32
COFINS	10,92%	3,96%	174,47
Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL)	3,60%	1,31%	57,52
Contribuição para o PIS/PASEP	2,89%	1,05%	46,22
Seguro social Servidor	1,44%	0,52%	22,98
Contribuição para o FGTS	5,01%	1,82%	79,97
Demais Tributos Federais	3,87%	1,40%	61,77
Tributos do Governo Estadual	24,71%	8,96%	394,67
ICMS	20,65%	7,49%	329,78
Previdência Estadual	0,96%	0,35%	15,37
Outros Tributos Estaduais	3,10%	1,12%	49,52
Tributos do Governo Municipal	5,33%	1,93%	85,13
Tributos Municipais (ISS, IPTU, ITBI)	4,89%	1,77%	78,09
Previdência Municipal	0,44%	0,16%	7,04

Fonte: IBPT (2013)

Apesar de existirem diversos impostos que incidem nos produtos produzidos no Brasil ou importados, o foco deste trabalho será dado ao Imposto de Importação (II) e ao Imposto sobre Circulação de Mercadorias (ICMS), pois as estruturas destes impostos, que serão detalhadas em seguida, possuem grande influência nos custos e na geração de créditos de impostos e são fortemente impactados pela localização das fábricas e área de cobertura dos CDs. O modelo de otimização adotado neste trabalho contempla dados referentes aos custos operacionais e logísticos, valores de II e ICMS e benefícios fiscais relacionados.

2.3.1 O Imposto de Importação

O Imposto de Importação, II, é um tributo federal considerado regulatório que foi criado pela União para gerir a entrada de mercadorias no mercado nacional. O fator gerador do tributo ocorre quando da chegada de produtos fabricados em outros países no território nacional. Por ser extrafiscal, esse imposto não obedece ao princípio da legalidade, isto é, sua alíquota depende apenas de um decreto presidencial para ser alterada.

A Receita Federal tem usado esse imposto como ferramenta de negociação econômica com outros países e como barreira para preservar a indústria nacional. Para incentivar as exportações de empresas brasileiras que importam parte de suas matérias primas, foi instituído o regime aduaneiro especial denominado *Drawback* em 21 de novembro de 1966. Através desse regime especial, as empresas que exportam podem eliminar ou suspender os tributos incidentes sobre os insumos importados, desde que seja comprovada a utilização dessas matérias primas em produtos que estão sendo vendidos ao exterior. São três as modalidades do regime:

- Restituição: o II e outros impostos pagos na entrada da mercadoria são restituídos por ocasião da exportação do produto acabado,
- Suspensão: Os tributos federais (II e IPI) e o ICMS têm sua exigibilidade suspensa desde que a empresa declare que existe a certeza da exportação de produtos acabados que se utilizam dessas matérias primas importadas,

- Isenção: Isenção de tributos federais para as mercadorias importadas que sejam destinadas à reposição de mercadorias anteriormente importadas utilizadas na industrialização de produto exportado.

Atualmente todos os detalhes e especificações do *Drawback* são regidos pela Portaria SECEX 23, publicado pela Secretaria de Comércio Exterior subordinada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

2.3.2 O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

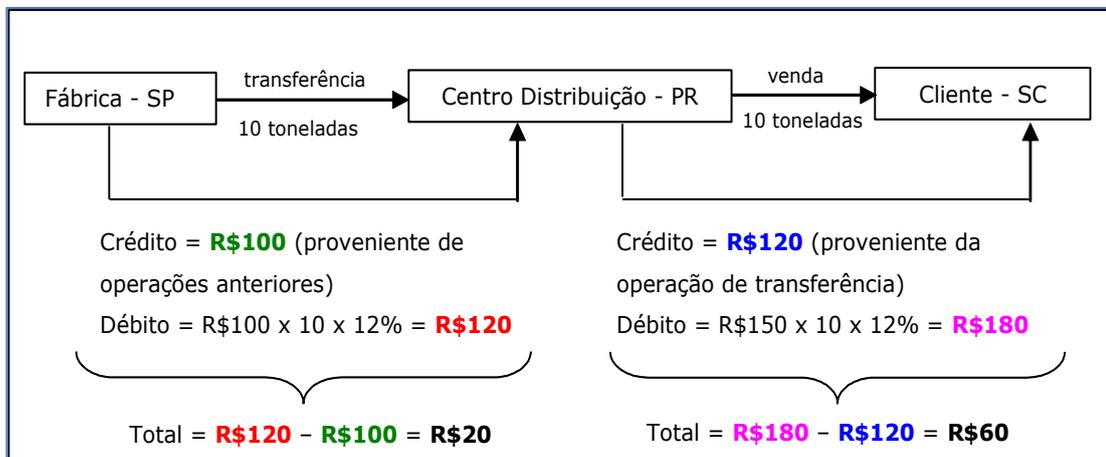
O Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação, ICMS, é um imposto de âmbito estadual cujo fator gerador é a circulação de mercadorias (mesmo que vindas do exterior) ou o pagamento de serviços de comunicação, de transporte intermunicipal e interestadual e desembaraço aduaneiro de bens importados do exterior. O ICMS é cobrado no Estado de origem do bem ou serviço, exceto no caso de energia elétrica, petróleo e seus derivados. Algumas das principais características deste imposto são descritas nos artigos 153 e 155 da Constituição Brasileira:

- Seletivo: as alíquotas podem variar conforme os produtos ou serviços,
- Não-cumulativo: é calculado sobre a agregação de valor. Em cada estágio do processo o valor devido em estágios anteriores é deduzido do valor devido do estágio em questão,
- Indireto: o fator gerador é uma situação momentânea e pode ser transferido ao longo da cadeia comercial,
- Proporcional: é calculado com base na aplicação de uma proporção constante sobre o valor a ser tributado.

As alíquotas são diferentes para cada uma das operações intra e interestaduais. As transferências de mercadorias entre estabelecimentos da mesma empresa são tributadas pelo seu valor declarado em Nota Fiscal que, normalmente, representa o custo total da mercadoria enquanto que nas vendas a terceiros as mercadorias são

tributadas pelo preço de venda constante na Nota Fiscal. As alíquotas vigentes para operações entre estados e dentro do mesmo estado variam significativamente, bem como sua base de cálculo. Das características do imposto descritas acima, a não-cumulatividade faz com que, ao longo da cadeia, o ICMS gere débitos e créditos. Um débito gerado em um estágio passa a ser um crédito no estágio seguinte. Para um melhor entendimento, é apresentado na figura 2, um exemplo de uma indústria química localizada em SP que fornece para o segmento agrícola e que abastece um CD localizado no PR. A partir desse CD, a empresa atenderá um cliente de SC.

Figura 2 – Exemplo de cálculo do ICMS



Fonte: Pantalena (2004)

A alíquota de ICMS de São Paulo para o Paraná é de 12% e a alíquota do ICMS do Paraná para Santa Catarina também é de 12%. Considerando um volume vendido de 10 toneladas, um valor de transferência de R\$ 100,00/t (valor da Nota Fiscal de transferência), um preço de venda de R\$ 150,00/t (valor da Nota Fiscal de venda) e um crédito anterior formado na compra de matérias primas, de R\$ 100,00, o balanço na conta de ICMS fica da seguinte forma:

- ICMS entre SP e PR: R\$120 ($R\$1.000 \times 12\%$) – débito em SP e crédito no PR
- ICMS entre PR e SC: R\$180 ($R\$1.500 \times 12\%$) – débito no PR e crédito em SC
- Total a ser pago na operação de transferência em SP: R\$20 ($R\$120 - R\100)
- Total a ser pago na operação de distribuição no PR: R\$60 ($R\$180 - R\120)
- Total a ser pago pela indústria: R\$80 ($R\$20 + R\60)

Como o valor do ICMS é embutido na Nota Fiscal de venda e repassado ao cliente, geralmente não existe impacto para a empresa no saldo de ICMS. Dependendo de qual estado fornece a matéria prima, o CD de transbordo e o estado destino do produto acabado, a relação débito/crédito forma um sistema complexo de inúmeras variáveis que precisa ser bem explorado pelas empresas, sob pena de pagamento não necessário de impostos ou mau aproveitamento dos créditos gerados. Quando a empresa gera um crédito e não o utiliza, apesar de não haver um montante de impostos efetivamente pagos ao Governo, os créditos não utilizados são considerados como saldo negativo no balanço geral da companhia após certo tempo parados nos livros contábeis.

Três exemplos de condição que geram esse tipo de crédito não utilizável (chamado de “crédito morto” ou “crédito podre”):

- Roubo ou perda de produto por mau manuseio, já que os créditos de impostos referentes a esses produtos têm que ser expurgados da contabilidade,
- Lei Kandir (Lei complementar nº 87 de 13/Set/1996) que prevê a desoneração de ICMS sobre a exportação de produtos acabados, bens semi-acabados e primários e de serviços (art. 3º, II),
- Desoneração do ICMS para os produtos que se destinam à cesta básica, vendidos dentro do estado (inciso III do § 2º do artigo 155 da CF/88).

Tomich et al. (1998) atestam que, devido ao grande peso dos gastos com alimentação da população de baixa renda e aos elevados níveis de sonegação nos produtos da cesta básica, a redução do ICMS sobre os produtos finais e semielaborados, que compõem a cesta básica, resulta em benefícios líquidos sociais reais, já que retira pouco da arrecadação dos estados, mas traz redução de custos significativa para as camadas mais pobres da população. Mas o que é bom para as classes menos privilegiadas e neutro para os governos, prejudica sobremaneira as empresas que produzem itens para a composição da cesta básica, já que não são desoneradas do ICMS na compra das matérias-primas e, portanto, acabam gerando um crédito que não pode ser usado depois da venda do produto acabado.

A situação ótima para a empresa é repassar os valores de ICMS a serem pagos ao governo ao cliente final que compra seu produto. Quando isso não é possível em todas as vendas, o desafio é fazer a combinação de compra de insumos e distribuição de produtos acabados de forma que os créditos não se tornem “mortos” e, conseqüentemente, não tenham que ser reconhecidos como despesas. Por ser um imposto de âmbito estadual, o balanço entre débitos e créditos gerados deve ser feito para cada um dos estados brasileiros onde houve compra de matérias primas, transferência e/ou venda de produto acabado.

Dada a importância do ICMS para a definição de uma rede logística, vários estudos tem sido desenvolvidos que levam em conta esse tributo e a distribuição de instalações. Maciel e Dalvi (2006), por exemplo, estudaram o problema em uma empresa de lubrificantes com o objetivo de identificar o impacto dos tributos e estoques sobre a rede logística da empresa. Conclui-se que o custo de estoque e o ICMS influencia diretamente a localização das instalações.

Silva (2007) estudou os benefícios fiscais em estados como Goiás e Minas Gerais e seu impacto na definição de uma rede logística em uma empresa de bens de consumo não duráveis.

Yoshizaki et al. (2008) estudou o tema da reforma tributária e seu impacto no “turismo fiscal”, mecanismo em que as empresas transferem suas mercadorias de um estado a outro para reduzir o custo total na venda, quando há informalidade e, conseqüentemente, sonegação fiscal. Este estudo foi posteriormente complementado por Andrade (2013) que conclui que a reforma tributária irá trazer melhorias significativas no aspecto de fluxos origem-destino e localização de instalações, mas não no turismo fiscal.

Junqueira e Morabito (2006 e 2008) estudaram o impacto dos impostos nas decisões de produção, estocagem e transporte de sementes de milho também chegando à conclusão que o turismo fiscal é bastante utilizado para redução do custo total.

Queiroz (2011) estuda o efeito do ICMS em uma rede logística que leva em conta os estoques operacionais e os estoques de segurança. Por conta do estoque de segurança, que prejudica a linearidade do modelo, foi usado um modelo não linear nesse estudo.

2.4 ESTOQUES E CUSTEIO

Os estoques, por serem componentes importantes dos custos das empresas, precisam ser devidamente controlados e valorizados para cálculo da lucratividade e contabilização dos ativos. Modelos que levam em conta os custos de carregamento de estoque e a possibilidade da perda de vendas usam uma taxa de custo de carregamento e/ou uma penalidade para a perda de venda como parâmetros da função objetivo.

A seguir serão apresentados os vários métodos para cálculo dos valores de estoque utilizados pelas empresas, bem como os custos por perda de venda quando os estoques não estão disponíveis para atender a uma necessidade dos clientes.

2.4.1 Custeio para valoração dos estoques

A contabilidade de custos convencional, também chamada de custeio por absorção, visa à determinação dos custos totais de um determinado produto vendido pela empresa para fins de apuração de resultados, impostos a serem pagos e cálculo do estoque a ser apresentado no balanço da companhia. Essa contabilidade tradicional calcula o custo de cada item a partir dos custos diretos (custo das matérias primas utilizadas e da mão-de-obra direta) e do rateio dos custos indiretos (mão-de-obra indireta, custos fixos de produção, despesas gerais de vendas e administração). Os custos indiretos são acumulados por função ou departamento e depois rateados pelos produtos por algum fator volumétrico como, por exemplo, homens horas diretos utilizados para cada produto.

O custeio direto, também chamado de variável, é usado para a tomada de decisões com relação à combinação de produtos a ser fabricada e vendida para maximizar os

ganhos da empresa. Nessa metodologia leva-se em conta apenas a margem de contribuição para a tomada de decisões. Ou seja, o custo do produto é composto apenas por custos diretos.

O custeio baseado em atividades, *Activity Based Costing* ou ABC (Kaplan e Atkinson, 1989), é uma técnica desenvolvida para aprimorar o rateio dos custos fixos e, conseqüentemente, a apuração dos custos por produto manufaturado. Essa técnica, apesar de usar rateios, difere do custeio tradicional na forma como os custos são acumulados. O ABC foca os recursos e as atividades como geradores de custos, enquanto que o custeio tradicional considera os produtos como geradores de custos.

Goldratt, um físico israelense autor do Best-Seller “A Meta” (Goldratt, 1984) e desenvolvedor da Teoria das Restrições na década de oitenta, propõe outro sistema de contabilidade gerencial onde são considerados três grandes grupos de gastos: Ganho (*throughput*), Investimento (ou inventário) e Despesas Operacionais. O Ganho é dado pela diferença entre as vendas e os “custos variáveis verdadeiros” (custo das matérias primas e das comissões de venda). Investimento é dado pelo dinheiro que o sistema gasta na compra de coisas destinadas à realização das vendas e inclui os estoques e os ativos fixos. Despesas Operacionais são calculadas pelo dinheiro gasto para transformar investimento em ganho e incluem custos fixos e custos de mão-de-obra direta. Goldratt considera que o sistema de custeio tradicional é irrelevante para a tomada de decisões, pois, as premissas nas quais esse sistema de custeio foi baseado não são mais válidas (Goldratt, 1983). Ele rejeita os rateios/direcionadores dos custos fixos, por considerar que é impossível distribuí-los corretamente, e prega que a maximização do ganho é a primeira prioridade, sendo a redução do estoque, a segunda, e a redução das despesas operacionais, a terceira prioridade.

Em todos esses sistemas de custeio, a contabilização do custo do item não considera, ou considera parcialmente, os gastos associados ao custo de se carregar

o estoque e o custo de uma potencial perda de vendas caso haja indisponibilidade do produto no momento da procura pelo cliente.

2.4.1.1 Custos de carregamento de estoque

Os custos de carregamento de estoque (também chamados de custo de inventário pelas empresas) incluem os custos ligados à armazenagem (espaço ocupado e movimentação dos estoques), os custos de oportunidade financeira e os custos associados ao risco de se manter produtos em estoque.

Os custos de armazenagem são calculados pela soma dos aluguéis de instalações e equipamentos, depreciação, impostos prediais e territoriais, seguro do prédio e equipamentos, gastos com pessoal e insumos, e outros custos fixos associados à armazenagem. O custo de oportunidade financeira (ou custo do dinheiro) é dado pela taxa média de juros paga aos bancos por dinheiro emprestado, quando não existe caixa para o pagamento das despesas incorridas na formação dos estoques. Quando não se faz necessária a aquisição de empréstimos, usa-se a taxa média de retorno que poderia ser obtida caso se aplicasse o dinheiro empatado nos estoques em outros investimentos. Normalmente, as empresas usam seu indicador “*Weighted Average Cost of Capital*” ou custo médio ponderado do dinheiro, como a taxa para o custo de oportunidade. Os custos associados ao risco de se manter produtos em estoque referem-se aos gastos devidos a perdas por obsolescência, danos, roubos e deterioração dos produtos e os impostos agregados da entrada que não podem ser usados como crédito na saída. Os prêmios de seguro do estoque também fazem parte dos custos associados ao risco. Excetuando-se os custos de armazenagem (espaço e movimentação), todos os demais não são levados em conta em quaisquer dos métodos de custeio apresentados.

No Apêndice A é apresentada uma proposta para cálculo da taxa de carregamento do estoque que foi usada nas empresas onde este estudo foi desenvolvido.

Um levantamento feito pela REM Associates (2010) mostra uma compilação dessas taxas de custo de carregamento de estoque em porcentual do valor total conforme cálculos de vários autores (tabela 5).

Tabela 5 – Taxas de custo de carregamento de estoque segundo vários autores

Autor	Taxa de carregamento
Alford and Bangs (1955)	25%
Aljian (1958)	12-34%
Ammer (1962)	20-25%
Cavinato (1984)	25%
Coyle and Bardi (1984)	25-30%
Crook (1962)	25%
Hall (1974)	20,40%
Heskett et al. (1973)	28,70%
Johnson and Wood (1986)	25%
Magee (1960)	20-35%
Melnitsky (1951)	25%
Whitlin (1957)	25%

Fonte: REM Associates (2010)

Richardson (1995) apresenta um estudo que mostra as taxas de custo de carregamento de estoque para a realidade americana (tabela 6).

Tabela 6 – Taxas de custo de carregamento de estoque nos EUA

Itens de custo	Taxa de carregamento
Impostos	2 – 6%
Seguro	1% – 3%
Despesas com armazéns	2% - 5%
Despesas com movimentação	2% - 5%
Controle do inventário	3% - 6%
Obsolescência	6% - 12%
Deterioração e roubo	3% - 6%
Custo de oportunidade financeira	6% - 12%
Total	25% - 55%

Fonte: Richardson (1995)

2.4.2 Custos por perda de venda

Nos métodos de custeio usuais, também não são considerados os custos de perda de venda por indisponibilidade de produto, que, em alguns casos, pode até mesmo gerar a perda do cliente e, conseqüentemente, a perda potencial de todas as vendas futuras que seriam feitas a esse cliente. A desconsideração desses custos, dependendo do tipo de negócio, pode levar a uma miopia e a uma avaliação errônea do custo real do estoque e dos volumes ideais de estoque por produto a serem produzidos e/ou mantidos no estoque. Esses últimos elementos de custo não são desconhecidos, já que têm sido exaustivamente estudados há tempos e alguns desses estudos são apresentados a seguir. Mas, apesar de serem conhecidos e, inquestionavelmente, significativos, a contabilidade gerencial não tem levado esses custos em consideração. É possível inferir que isso se deve por conta dos hábitos instalados nas organizações (Guerreiro et al., 2009), que tem caráter, em grande parte, inconsciente e, portanto, aceitos pelos indivíduos e pelo grupo sem questionamento. Ou seja, dado que os departamentos financeiros das empresas, historicamente, nunca levaram em conta esses custos adicionais no cômputo total do custo de estoque, a não inclusão desses custos na contabilidade das empresas acabou se tornando um paradigma que não tem sido questionado. As empresas, de uma forma geral, só se sentem pressionadas a reduzir seus estoques quando o custo de estoque é alto (Harding, 2004) ou quando esses estoques começam a se tornar obsoletos e, portanto, precisam ser descartados. Essa pressão por redução de estoques é recorrente em momentos de crise, quando há uma projeção de baixa lucratividade e/ou quando o crédito está escasso no mercado. Principalmente nessas condições, as empresas procuram planejar seus estoques de forma mais focada recorrendo, em alguns casos, a modelos de estoque que consideram os custos de carregamento e de perda de vendas.

Modelos para determinação do estoque ideal que consideram os custos da venda perdida são mais recentes, mas têm sido estudados em larga escala (Johansen, 2005, Jokar e Seifbarghy, 2006, Mishra et al., 2010, Sheu et al., 2003).

Para a penalidade referente à perda de uma venda, tem sido adotado o lucro resultante de uma operação de venda, caso não houvesse a desistência do cliente pela falta de estoque no momento da compra. Para evitar-se a perda de vendas, o modelo mais amplamente utilizado é o que estabelece o estoque de segurança a ser utilizado dado certo nível de serviço. Parte-se do pressuposto que o estoque de segurança deve ser mantido para cobrir perda de vendas por falta de produto no estoque e que a falta acontece normalmente devido a um volume de vendas superior ao volume previsto usado para o planejamento da produção ou menor disponibilidade de produto por alterações no prazo de entrega planejado devido a problemas de transporte ou produção. Satisfeita essa condição, a área coberta pela Função Densidade de Probabilidade (FDP) das diferenças entre previsto e realizado, dado determinado nível de serviço, representa o estoque de segurança necessário para atender as vendas.

Como exemplo, admitindo-se que a FDP é uma normal (o que é geralmente correto) e que o desvio padrão do erro histórico entre a previsão de vendas e o real é de 100 unidades de venda, o estoque de segurança para um nível de serviço de 95% seria de 165 unidades de venda. Para 98%, o estoque de segurança passa a ser de 206 unidades de venda, o que equivale a dizer que o risco de perda de vendas é de 2%, caso não se tenha um estoque de segurança em quantidade similar a duas vezes o desvio padrão da diferença entre vendas previstas e efetivamente realizadas.

Na prática, um risco de 2% não deve significar a perda real de vendas de 2 (duas) unidades em cada 100 (cem), já que o estoque de segurança é usado apenas para efeito de programação da produção. Caso, ao longo do mês, se detecte um volume de vendas maior do que o previsto inicialmente que supere, inclusive, o volume de estoque de segurança disponível, existe certa flexibilidade da produção (uso de horas extras, turnos extras, estoque de segurança de matéria prima, negociação com fornecedores, etc.) que permite um aumento nos volumes produzidos e, dessa forma, o atendimento integral aos clientes, mesmo com volumes de venda maiores do que o inicialmente projetado.

No Apêndice A são apresentadas, além de uma metodologia para cálculo dos custos de carregamento de estoque, as formas de se calcular o custo de perda de venda. Almeja-se com isso fazer com que o cálculo do custo do item em estoque retrate não apenas o custo tradicional (custos fixos e variáveis ligados diretamente à aquisição ou produção do item), mas outros dois componentes importantes atrelados à manutenção de estoques que são o custo de carregamento dos estoques e os custos relacionados à perda de venda. Dessa forma, com o estoque mais fielmente retratado, as decisões gerenciais relacionadas à produção e estoque poderão ser mais bem suportadas.

As taxas de custo de carregamento de estoque e perda de vendas calculadas no apêndice A são percentuais que deverão ser multiplicados pelo estoque médio total (em valores monetários) calculado por algum dos métodos apresentados em 2.4.1, exceto o custo por absorção, e incluídas no custo total de estoque. Recomenda-se essa agregação de custos apenas para as metodologias de custeio direto, custeio ABC e contabilidade gerencial da Teoria das Restrições, já que o custeio por absorção já inclui os custos de armazenagem e manuseio no custo unitário do produto através de algum rateio pré-definido.

2.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A literatura a respeito de modelos de localização e de gestão de estoques é muito vasta e os trabalhos sobre esses temas começam a se tornar relevantes a partir da revolução industrial. Até a década de 90, predominavam os modelos baseados em Programação Linear Inteira Mista, mas, recentemente, percebe-se um crescimento acelerado dos métodos baseados em metaheurísticas e até mesmo em sistemas de informações de geo-posicionamento. A grande maioria dos modelos de localização é usada no nível estratégico e, em alguns casos, para o planejamento tático, mas, de uma forma geral, englobam apenas os últimos elos da cadeia (centros produtores, centros distribuidores e clientes). Modelos para localização em escala global começam a aparecer de forma mais representativa na primeira década deste século.

A consideração dos impostos em modelos de localização no Brasil, tais como II e ICMS, torna-se importante quando, respectivamente, a empresa tem alto grau de dependência de insumos importados e pode usufruir do benefício de drawback (redução do imposto de importação), e quando não existe o aproveitamento integral dos créditos de ICMS.

A inclusão de custos de estoque em modelos de localização é uma tendência mais recente dada a importância dos estoques na saúde financeira das empresas. Apesar dessa importância, as empresas ainda enfrentam dificuldades para custear adequadamente os componentes do estoque que causam despesas ou o impacto causado pela falta dele.

Esses custos de carregamento de estoque e os custos associados à perda de vendas já são conhecidos dos modeladores de problemas de estoque e localização há tempos e têm sido largamente utilizados em vários modelos para solução de problemas industriais e de definição de rede logística. Os valores desses custos são significativos e podem influenciar fortemente as decisões referentes à manutenção de estoque.

No caso de modelos em que se considera um balanço perfeito de materiais entre os elos da cadeia, ou seja, existe a consideração de que todos os clientes serão atendidos, o custo por perda de vendas não se aplica. É o caso do modelo aqui apresentado no capítulo 3.

Nos capítulos seguintes são apresentados: a metodologia e modelo propostos, a aplicação em um caso real e as conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 INTRODUÇÃO

A principal preocupação no desenvolvimento do modelo foi torná-lo de fácil entendimento e adoção pelas empresas, de forma que a ferramenta, além de uma contribuição para o desenvolvimento do conhecimento científico nas áreas de definição de rede logística e gestão de estoques, pudesse ter aplicações práticas imediatas.

Apesar da tentação natural de se simplificar o modelo e análises atacando apenas parte do problema, o modelo principal e suas adaptações sempre visaram um estudo holístico de todas as empresas onde o modelo foi implantado, em detrimento de uma aplicação limitada a apenas uma região de vendas ou produto. O motivo dessa decisão se justifica por uma das motivações para o desenvolvimento deste estudo, que se propõe a resolver um problema real, atual, importante e recorrente nas empresas brasileiras relacionado aos créditos de ICMS gerados, o que obriga a uma análise completa e não apenas parcial do problema.

A opção por usar-se o aplicativo MSEXCEL como base para o desenvolvimento da ferramenta se justifica pelo fato do software de planilha eletrônica da Microsoft ser amplamente conhecido e usado pelas empresas. Tanto a preparação dos dados como a demonstração dos resultados se torna mais fácil quando os usuários do modelo já conhecem a ferramenta em que ele está fundamentado.

Neste capítulo será detalhado o modelo matemático desenvolvido, a metodologia utilizada e a relação desse método com os trabalhos encontrados na literatura.

3.2 O MODELO CONCEITUAL

O modelo a ser apresentado é uma extensão do modelo apresentado por Hamad (2006) com várias melhorias na metodologia de levantamento de dados, no

tratamento do custo dos estoques e na gestão dos créditos mortos de ICMS. O modelo básico é o de Geoffrion e Graves (1974), mas contempla vários fatores não incluídos no modelo original o que o torna muito mais completo para a realidade das empresas transnacionais, principalmente das brasileiras, que atualmente precisam definir a localização de fornecedores, plantas industriais ou CDs e, principalmente, pretendem resolver o problema de créditos de ICMS não aproveitados. Esse tipo de problema desafia a grande maioria das empresas que fornecem produtos agrícolas no Brasil, sejam nacionais ou transnacionais, e as empresas que exportam.

Em relação ao modelo apresentado por Hamad (2006), foram incorporadas as seguintes melhorias no modelo:

- Opção para tratamento de uma cadeia de suprimento que contemple CDs primários e secundários,
- Inclusão do benefício fiscal drawback na formulação,
- Custo de oportunidade financeira calculado a partir de uma metodologia apresentada no apêndice A,
- Inclusão de estoques iniciais nos CDs secundários,
- Tratamento mais preciso do custo de estoque nos CDs secundários, já que a dissertação de mestrado adotava aproximações nem sempre possíveis de serem aplicadas. No presente estudo, o custo financeiro é segregado dos custos de movimentação e estocagem e estes últimos são calculados de forma direta, e não indireta como sugerido na dissertação.
- Inclusão do cálculo dos estoques de segurança nos Centros de Distribuição,
- Inclusão de valores mínimos de produção e manuseio nos vários elos da cadeia,
- Inclusão de restrições relacionadas à geração de créditos de ICMS,

O modelo de Geoffrion e Graves (1974) recomenda a abertura de CDs a partir de uma lista de instalações possíveis, dos volumes a serem transferidos e das restrições referentes às capacidades produtivas e de armazenamento nos CDs. Para a abertura de um CD impõe-se uma demanda mínima. Uma restrição forte desse

modelo é o de que todos os produtos acabados para atendimento de um determinado cliente devem sempre sair de um mesmo CD. Além disso, o modelo considera apenas a localização de centros distribuidores (os centros produtores são fixos), e não leva em conta os vários fatores que impactam a localização de um CD em âmbito global descritos no capítulo 2. Os custos referentes a impostos não estão segregados e, portanto, devem ser consolidados nos custos de transferência, o que inviabiliza o tratamento de créditos “podres” quando existentes. Além disso, os custos de estoque não são considerados. Estas deficiências foram eliminadas através de várias adaptações ao modelo original, visando o problema que se quer atacar.

Para tratar os custos de carregamento do estoque, foi usada uma metodologia que leva em conta o giro de estoque esperado (Hamad e Gualda, 2011), já que este é um indicador amplamente utilizado pelas empresas que tem preocupação com a gestão de seus estoques. No caso de novas instalações, ou de empresas que não costumam medir esse indicador, pode-se facilmente adotar os valores de fábricas ou CDs com características similares.

Importante mencionar que, como se assume que todas as demandas serão atendidas, o custo por perda de vendas não será considerado.

O modelo desenvolvido tem como função objetivo a minimização de custos, já que a política de preços da maioria das companhias que fabricam especialidades (produtos de alto valor agregado com poucos competidores no mercado) depende principalmente da aceitação tecnológica do produto e de estratégias de participação de mercado, e não dos preços impostos ou custos incorridos. Caso se queira mudar a função objetivo para a maximização de lucros, o modelo pode ser facilmente adaptado bastando, para tanto, acrescentar os parâmetros de preço, dos quais deverão ser subtraídos os fatores de custo para o cálculo da margem de contribuição líquida correspondente.

Em relação ao modelo de Geoffrion e Graves (1974), apontam-se as seguintes diferenças:

- Inclusão dos centros fornecedores e produtores na cadeia,
- Inclusão dos custos de transformação (valor agregado) nos centros produtores,
- Eliminação da restrição que obrigava apenas um elo produtor fornecendo para um elo consumidor,
- Segregação dos custos referentes a impostos,
- Inclusão dos custos de estoque calculados a partir do giro de estoque nos centros produtores,
- Inclusão, de forma segregada, dos custos de manuseio e armazenagem nos CDs secundários,
- Inclusão do índice de sazonalidade para verificação das restrições ligadas às capacidades dos armazéns nas fábricas e CDs secundários,
- Cálculo da capacidade dos armazéns a partir do número de posições paletes e do peso médio por paleta,
- Inclusão do *ad-valorem* nos custos de transporte,
- Inclusão do estoque inicial nos CD's,
- Inclusão de restrições ligadas à geração do crédito podre (a serem aplicadas *ad hoc*).

Todos os volumes e capacidades são convertidos para uma unidade padrão denominada tonelada-equivalente que pode ser calculada baseada em:

- Princípio ativo que compõem o produto acabado (para empresas do segmento químico/farmacêutico),
- Matéria prima que apresenta restrições (para empresas manufactureiras que apresentam gargalos em seus fornecedores),
- Unidade usada para o planejamento agregado da empresa (qualquer tipo de empresa).

Para produtos químicos ou farmacêuticos, recomenda-se usar volumes convertidos para tonelada-equivalente do princípio ativo principal.

Caso haja uma matéria prima específica com problemas de suprimento que limita e define os volumes produzidos na cadeia, o volume desta matéria prima poderá ser usado como unidade padrão (Hamad, 2006).

O modelo a ser apresentado a seguir vai ser detalhado considerando apenas quatro elos na cadeia, já que isso atende o tipo de problema estudado, mas pode facilmente ser estendido para cinco ou mais elos. A necessidade de quatro elos se justifica pelo fato dos créditos de ICMS serem calculados no momento da compra de matérias primas pelo elo produtor da cadeia e o saldo remanescente do que precisa ser pago, ou deixado na contabilidade como crédito, é feito apenas no momento da venda para o consumidor final. As transferências entre fábricas e CDs também geram créditos e débitos de ICMS que precisam ser contabilizados. O último e o penúltimo elo representam, respectivamente, o mercado consumidor e o CD de onde sairão os produtos acabados para entrega aos clientes. Dependendo do problema da empresa, o elo primário e secundário podem representar diferentes entidades, a saber:

- **Versão A - Fornecedor de matéria-prima (1º elo) e Fábrica de produto acabado (2º elo):** quando a necessidade da empresa é a definição dos volumes a serem fornecidos por origem, das fábricas de produto acabado a serem usadas e da movimentação de produtos entre os CDs e fábricas. Neste caso só existirá CDs secundários, que serão supridos pelas fábricas e distribuirão os produtos acabados para os clientes,

- **Versão B - Fábrica de produto acabado (1º elo) e CD principal (2º elo):** quando a fábrica e seus fornecedores já estão definidos e as dúvidas da empresa estão relacionadas a (1) que fábricas fornecerão para quais CDs principais, (2) onde estes CDs deverão estar localizados e com qual capacidade, e (3) quais CDs secundários deverão ser usados. O modelo adaptado desta forma se presta

principalmente para os casos em que a dúvida da empresa refere-se a investir para aumentar a capacidade de estocagem da fábrica (considerado sempre um CD primário) ou contratar capacidade extra externamente. Outro tipo de problema a que este tipo de modelo se propõe a resolver é o de onde localizar o CD para compra de produtos acabados para revenda. O modelo auxilia na definição da melhor localização para esse CD primário.

Os CDs principais são, normalmente, os CDs que ficam ao lado das fábricas e onde se guardam os estoques reguladores para atendimento aos CDs secundários. No caso de empresas que revendem produtos acabados, o CD principal será aquele que recebe os produtos de revenda antes de enviá-lo aos CDs secundários ou diretamente aos clientes.

Aumentando-se o número de elos a serem considerados no modelo, podem-se incluir fábricas de produto intermediário, fornecedores de fornecedores, etc.

Quando os CDs primários também podem enviar diretamente para os clientes, o modelo prevê a criação de CDs secundários na mesma localização do CD primário, o que significa que o fluxo de materiais entre CD primário e secundário tem custos de frete e manuseio com valor zero.

Em seguida, serão apresentados os detalhes do modelo matemático considerando a versão básica A e as adaptações necessárias no modelo para a versão alternativa B.

3.2.1 Índices

Seguem os índices usados (entre colchetes: números de elementos do conjunto):

i [**a**] – Fornecedores do princípio ativo ou da matéria-prima mais importante que compõe os produtos finais da cadeia de suprimentos em estudo,

j [**b**] – Fábricas com potencial para manufaturar os produtos acabados,

k [**c**] – CDs com potencial para receber, armazenar e enviar para os clientes finais,

l [**d**] – Mercados consumidores dos produtos finais,

m [e] – Famílias de Produtos que atenderão a demanda dos mercados **l** ,
 n [f] – Estados brasileiros por onde o produto acabado está passando,
 s [g] – Número de Centros de Distribuição.

3.2.2 Variáveis

As **Variáveis de Decisão** são representadas pelos volumes do produto em tonelada-equivalente transferidos de **i** para **j** com *Drawback* ou sem ele, entre **j** e **k** e entre **k** e **l** , além das variáveis binárias para CDs primários e secundários. Para a versão A, as variáveis a serem usadas são detalhadas a seguir:

TrnsC_{ij} = volume do princípio ativo a ser transferido com o benefício de drawback do fornecedor **i** para a fábrica **j**

TrnsS_{ij} = volume do princípio ativo a ser transferido sem o benefício de drawback do fornecedor **i** para a fábrica **j**

Trns_{mjk} = volume do produto **m** a ser movido da fábrica **j** para o CD secundário **k**

Dstr_{mk l} = volume do produto **m** a ser distribuído do CD **k** para o mercado **l**

Z_j = assume valor 1 se a fábrica **j** for aberta ou 0 em caso contrário

Z_k = assume valor 1 se o CD **k** for aberto ou 0 em caso contrário

Z_s = Variável Binária usada nas equações (7) e (8) para, junto com **Z_k**, determinar o número de CDs a serem abertos.

No caso da versão alternativa B, as variáveis de transferência entre o elo **i** e o elo **j** agregam o índice **m** (famílias de produtos) e ficam conforme segue:

TrnsC_{mij} = volume da família de produtos acabados **m** fabricados com o benefício de drawback a ser transferido do CD principal **i** para o CD secundário **j**

TrnsS_{mij} = volume de **m** fabricado sem o benefício de drawback a ser transferido do CD principal **i** para o CD secundário **j**

3.2.3 Parâmetros

Para a versão original A, os parâmetros são conforme segue:

DEM_{ml} = demanda do produto m no mercado l

$CAPP_i$ = capacidade de produção do ingrediente ativo do fornecedor i

$CAPH_{mj}$ = capacidade de movimentação no CD j reservados para o produto m

$CAPS_j$ = capacidade de armazenamento do CD j

$CAPH_{km}$ = capacidade de movimentação do CD k reservado para o produto m

$CAPS_k$ = capacidade de armazenamento do CD k

$MINP_i$ = produção mínima do fornecedor i

$MINH_{mj}$ = produção/manuseio mínimo de m na fábrica j

$CUSH_{mj}$ = custo de produção/manuseio (R\$/unidade padrão) de m na fábrica j

$MINH_{mk}$ = manuseio mínimo de m no CD k

$EICD_{mk}$ = estoque inicial de m no CD k

$CUST_{ij}$ = custo unitário (R\$/unid. padrão) para transferir o princípio ativo de i para j

$CUST_{mjk}$ = custo unitário (R\$/unid. padrão) para transferir m de j para k

$CUSD_{mkl}$ = custo unitário (R\$/unid. padrão) para distribuir m de k para l

$CUSBC_i$ = custo unitário (R\$/unid. padrão) da matéria prima em i com Drawback

$CUSBS_i$ = custo unitário (R\$/unid. padrão) matéria prima em i sem Drawback

$CUSH_{mk}$ = custo de manuseio (R\$/unidade padrão) de m no CD k

$CUSMH$ = custo médio de manuseio (R\$/unidade padrão) entre todos os CDs k

$CUSS_j$ = custo de armazenagem (R\$/unidade padrão) em j

$CUSS_k$ = custo de armazenagem (R\$/unidade padrão) em k

$CUSMS$ = custo médio de armazenagem (R\$/unidade padrão) entre todos os CDs k

$CUSFix_{jm}$ = custo fixo (R\$) no CD j devido ao produto m

$CUSFix_k$ = custo fixo (R\$) no CD k

AV_{ij} = *ad-valorem* (% do valor das mercadorias transportadas) de i para j

AV_{jk} = *ad-valorem* (% do valor das mercadorias transportadas) de j para k

AV_{kl} = *ad-valorem* (% do valor de mercadorias transportadas) de k para l

$ICMS_{ij}$ = ICMS (% sobre o preço de transferência dos bens) de i para j . Se o elo i é fora do país, a taxa de ICMS a ser aplicada é a do porto de entrada no Brasil

$ICMS_{jk}$ = ICMS (% sobre o preço de transferência de bens finais) de j para k

$ICMS_{kl}$ = ICMS (% sobre o preço de venda de bens finais) de k para l

SS_{sm} = estoque de segurança do produto m para s armazéns

PI = preço de transferência (R\$/unid. padrão) da matéria prima

PI_m = preço de transferência (R\$/unid. padrão) do produto m

PF_{mkl} = preço de vendas (R\$/unid. padrão) do produto m entregue em l a partir de k

P_j = índice de sazonalidade (%) para j - usado para calcular o estoque no pico

P_k = índice de sazonalidade (%) para k - usado para calcular o estoque no pico

I_{sm} = custo do estoque de segurança de m em s CDs

Para a versão B, os parâmetros se alteram conforme segue:

$CUST_{mij}$ = Custo unitário (R\$/unid. padrão) para transferir o produto m de i a j

$CUSBC_{mi}$ = Custo unitário (R\$/unid. padrão) em i de m fabricado com matéria prima que conseguiu o benefício do drawback

$CUSBS_{mi}$ = Custo unitário (R\$/unid. padrão) do produto m em i sem Drawback

$CAPP_{mi}$ = capacidade de produção de m na fábrica i

$MINP_{mi}$ = produção mínima de m na fábrica i

Uma grande preocupação no modelo proposto é a forma de cálculo dos custos relacionados ao estoque. Para calcular o estoque anual médio de um dado elo f em volume (AIV_f) e valor financeiro (AIS_f), adotou-se o modelo de Hamad e Gualda (2011), multiplicando-se o CPV (Custo do Produto Vendido) pelo valor esperado da cobertura do estoque da fábrica ou do CD em dias. A cobertura é o inverso do giro de estoque e é um indicador clássico adotado pela maioria das empresas para demonstrar a eficácia na gestão de seus estoques. A popularidade deste indicador vem de sua simplicidade e da disponibilidade imediata dos dados, já que os estoques são, devido a exigências legais e práticas de negócio, controlados de forma rotineira pelas empresas (Ballou, 1998).

O valor da cobertura é geralmente chamado DOH (*Days-On-Hand*) por empresas transnacionais e, neste estudo, será separado em DOHI (calculado a partir do estoque em Reais) e DOHS (calculado a partir do estoque em tonelada-equivalente). DOHI de uma instalação f é calculado pela divisão entre valor do estoque médio anual (EMA) dessa instalação e o CPV para fabricação dos vários produtos m :

$$DOHI_f = \frac{EMA_f}{\sum_m CPV_{mf}} \cdot 365 \quad (1)$$

ou,

$$EMA_f = \frac{DOHI_f \cdot \sum_m CPV_{mf}}{365}, \quad \forall f \quad (2)$$

onde:

$DOHI_f$ = valor da cobertura esperada (baseado em Reais) para o elo f , em dias, que pode ser calculada a partir de bases históricas ou por comparação com outras instalações similares. Para novas instalações, o DOHI pode ser estimado considerando o seguinte:

- *Lead-time* do material em trânsito para um elo específico: quanto maior o tempo de trânsito, maior a cobertura,
- Qualidade do processo de planejamento: quanto melhor a precisão nas previsões de venda, a qualificação dos planejadores, a flexibilidade na aquisição de recursos e a implantação de boas práticas no processo de planejamento, menor a cobertura,
- Sazonalidade: quanto maior o índice de sazonalidade, maior a cobertura,
- Confiabilidade de fornecedores: este determina diretamente o tamanho dos estoques de segurança e, conseqüentemente, o nível de DOHI.

Dependendo do segmento de negócio, da maturidade dos produtos e do conhecimento do mercado, o DOHI pode ser adotado por similaridade com empresas semelhantes, a partir das informações de giro de estoque disponibilizadas geralmente no balanço ou em relatórios anuais dessas empresas. Há também sites na Internet que fornecem informações financeiras e estatísticas sobre estoques e CPV das empresas, que também podem ser fontes de dados para estimar o DOHI.

O custo de oportunidade financeira (CI) é dado pela seguinte fórmula:

$$CI_f = EMA_f . CF \quad (3)$$

onde:

CF é o Custo de capital da Companhia, ou custo de oportunidade financeira, em % do valor do estoque total. O custo de capital é muito significativo no Brasil, devido à alta taxa básica de juros definida pelo Banco Central. Nas quatro empresas transnacionais que participaram deste estudo, essa taxa ficou entre 8% e 15% e era representado pelo indicador “*Weighted Average Cost of Capital*”, ou custo médio ponderado do capital, calculado pela área financeira das empresas.

O conceito de DOHE, cobertura em número de dias com base no volume, é utilizado para um determinado item ou grupo de itens. Ele considera uma unidade de volume padrão e calcula EMV_f usando o mesmo raciocínio utilizado para EMA_f :

$$EMV_f = \frac{DOHE_f \cdot \sum_m Dstr_{mf}}{365}, \forall f \quad (4)$$

onde:

EMV_f = Estoque médio anual em volume (tonelada-equivalente) no elo f

$DOHE_f$ = cobertura esperada baseada em volume no elo f , em número de dias

$\sum_m Dstr_{mf}$ = Volume em tonelada-equivalente de m distribuído para o mercado f

DOHE pode ser estimado com base em dados históricos ou por comparação com outras empresas semelhantes.

3.2.4 Função Objetivo

Minimizar Custo de Operações (CO) considerando Versão A:

$$\begin{aligned}
 CO = & \sum_m \sum_i \sum_j ((CUST_{ij} + CUSBC_i + CUSH_{mj} + AV_{ij} \cdot PI) \cdot TrnsC_{ij}) \rightarrow (A) \\
 & + \sum_m \sum_i \sum_j ((CUST_{ij} + CUSBS_i + CUSH_{mj} + AV_{ij} \cdot PI) \cdot TrnsS_{ij}) \rightarrow (B) \\
 & + \sum_m \sum_j \sum_k (CUST_{mjk} + CUSH_{mk} + AV_{jk} \cdot PI_m) \cdot Trns_{mjk} \rightarrow (C) \\
 & + \sum_m \sum_k \sum_l [(CUSD_{mkl} + AV_{kl} \cdot PF_{mkl}) \cdot Dstr_{mkl}] \rightarrow (D) \\
 & + (CUSMH + CUSMS) \cdot \sum_m SS_{sm} + CUSES \rightarrow (E) \\
 & + \sum_j (CUSFix_{jm} \cdot Z_{jm}) + \sum_k (CUSFix_k \cdot Z_k) \rightarrow (F) \\
 & + \sum_i CI_i + \sum_j CI_j + \sum_k CI_k \rightarrow (G) \\
 & + \sum_m \sum_j \sum_k (CUSS_j \cdot ((DOHE_j \cdot Trns_{mjk}) / 365)) + \sum_m \sum_k \sum_l (CUSS_k \cdot ((DOHE_k \cdot Dstr_{mkl}) / 365)) \rightarrow (H)
 \end{aligned} \tag{5.I}$$

onde:

- (A) - Custos de fabricação de **m** com benefício de Drawback
- (B) - Custos de fabricação de **m** sem benefício de Drawback
- (C) - Custos de transferência do elo **j** para o elo **k** + Custos de Manuseio em **k**
- (D) - Custo de distribuição de **k** para **l**
- (E) - Custos de manuseio, armazenagem e oportunidade financeira do estoque de Segurança em **k** calculados conforme formulações de (6) a (11)
- (F) - Total de custos fixos nos CDs e fábricas
- (G) - Custos de carregamento dos estoques em **i**, **j** e **k**, calculados usando eq. (3)
- (H) – Custos de armazenagem na fábrica **j** e CD **k**

O CPV_{mj} (Custo do Produto Vendido de m em j) mostrados em (1) e (2) é calculado através da soma de (A) + (B) detalhado na função objetivo. O CPV_{mk} é dado pela soma de (A) + (B) + (C). Outra forma de se calcular esse custo é somando (C) ao preço de transferência (PI_m), já que, por premissa, este é o custo do produto m no CD j .

Para o caso da versão alternativa B, como existe a transferência de produtos acabados m entre i e j , as partes (A) e (B) da função objetivo (5.I) se alteram para:

$$\begin{aligned} & \sum_m \sum_i \sum_j ((CUST_{mij} + CUSBC_{mi} + CUSH_{mj} + AV_{ij} \cdot PI_m) \cdot TrnsC_{mij}) \rightarrow (A) \\ & + \sum_m \sum_i \sum_j ((CUST_{mij} + CUSBS_{mi} + CUSH_{mj} + AV_{ij} \cdot PI_m) \cdot TrnsS_{mij}) \rightarrow (B) \end{aligned} \quad (5.II)$$

O cálculo do custo de carregamento do estoque de segurança ($CUSES$) do produto m armazenado em s CDs foi feito a partir do modelo proposto por Croxton e Zinn (2005):

$$CUSES = \sum_s \sum_m I_{sm} Z_s \quad (6)$$

sujeito a:

$$\sum_k Z_k = \sum_s s Z_s \quad (7)$$

$$\sum_s Z_s = 1 \quad (8)$$

$$I_{sm} = SS_{sm} \cdot PI_m \cdot CF \quad (9)$$

A simplificação em relação ao modelo de Croxton e Zinn (2005) refere-se à retirada do índice h (classificação do produto) em Z_{sh} , já que o estoque de segurança está sendo calculado de forma integrada e não por classe de produto em Z_k .

SS_{sm} foi calculado usando a formulação proposta por Maister (1976):

$$SS_{sm} = SS_{1m} \cdot \sqrt{S} \quad (10)$$

onde:

SS_{1m} = Estoque de segurança do produto m para apenas um CD principal

A eq. (10) exige que as demandas de cada produto sejam independentes do CD e a variabilidade da demanda seja igual, quaisquer que sejam as localizações dos CDs, o que é uma aproximação válida, já que a correlação entre demanda e localização é pequena, pois os preços são fixos nacionalmente, e os tempos de entrega são muito próximos e muito menores do que os tempos de análise e aprovação de crédito para a autorização da venda em geral. Portanto, pode-se afirmar que as demandas são praticamente independentes dos CDs para os casos estudados. Além disso, as vendas estão agregadas em famílias de produtos com múltiplos itens e acumuladas em um ano e, portanto, as premissas de variação da demanda tem um limitado impacto na definição da rede, pois essa variação e as correlações entre os diversos itens desaparecem no nível agregado (Croxtton e Zinn, 2005). Portanto, para os resultados que se quer medir neste estudo, a formulação usada é aceitável.

SS_{1m} foi calculada com a clássica formulação proposta por Fetter e Dalleck (1961):

$$SS_{1m} = \Phi_m \cdot (\bar{t} \sigma_m^2 + \bar{x}_m^2 \sigma_t^2) \quad (11)$$

em que:

Φ_m = Número de desvio padrão da demanda dado nível de serviço desejado

\bar{t} = Tempo de entrega médio em dias

σ_m = Desvio padrão da Demanda diária do produto m em dias

\bar{x}_m = Demanda diária média do produto m

σ_t = Desvio padrão do tempo de entrega em dias

3.2.5 Restrições

Para a versão A do modelo, as restrições a serem usadas ficariam conforme segue:

Demanda a ser integralmente atendida:

$$DEM_{ml} \leq \sum_k Dstr_{mkl} \quad \forall l, m \quad (12)$$

Limitações da capacidade produtiva da matéria prima no fornecedor *i*:

$$\sum_j (TrnsC_{ij} + TrnsS_{ij}) \leq CAPP_i \quad \forall i \quad (13)$$

Produção mínima da matéria prima no fornecedor *i*:

$$\sum_j (TrnsC_{ij} + TrnsS_{ij}) \geq MINP_i \quad \forall i \quad (14)$$

Capacidade de manuseio na fábrica *j* para o produto *m*:

$$\sum_k Trns_{mjk} \leq CapH_{mj} \cdot Z_{jm} \quad \forall j, m \quad (15)$$

Manuseio mínimo requerido na fábrica *j* do produto *m*:

$$\sum_k Trns_{mjk} \geq MinH_{mj} \cdot Z_{jm} \quad \forall j, m \quad (16)$$

Capacidade de armazenagem na fábrica **j**:

$$EMV_j P_j \leq CAPS_j \quad \forall j \quad (17)$$

Capacidade de manuseio no CD **k**:

$$\sum_l Dstr_{mkl} \leq CapH_{km} Z_k \quad \forall k, m \quad (18)$$

Capacidade de armazenagem no CD **k**:

$$EMV_k P_k \leq CAPS_k \cdot Z_k \quad \forall k \quad (19)$$

Manuseio mínimo requerido no CD **k** para o produto **m**:

$$\sum_l Dstr_{mkl} \geq MinH_{mk} Z_k \quad \forall k, m \quad (20)$$

Balanço de massa do produto **m** na fábrica **j**:

$$\sum_i (TrnsC_{ij} + TrnsS_{ij}) = \sum_k Trns_{mjk} \quad \forall m, j \quad (21)$$

Balanço de massa do produto **m** no CD **k**:

$$\sum_j Trns_{mjk} + EICD_{mk} = \sum_l Dstr_{mkl} \quad \forall m, k \quad (22)$$

Benefício do *Drawback*, que permite que um produto m exportado para o mercado l , e que tenha sido fabricado na fábrica j no Brasil, tenha isenção do Imposto de Importação sobre a matéria prima:

$$\sum_i \sum_j TrnsC_{ij} \leq \sum_k \sum_l Dstr_{mkl} \quad \forall m, \text{ locais } l, i \notin \text{Brazil} \quad (23)$$

Variáveis binárias:

$$Z_{jm} = \begin{cases} 1, \text{ se a fábrica } j \text{ é usada para manufatura do produto } m \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad \forall j, m$$

$$Z_k = \begin{cases} 1, \text{ se CD } k \text{ é usado} \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad \forall k \quad (24)$$

$$Z_s = \begin{cases} 1, \text{ se } s \text{ CDs são usados} \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad \forall s$$

Eliminação da geração de crédito de ICMS, o que significa que a diferença entre créditos e débitos para cada estado n deve ser *negativa*:

$$VATB_n \leq 0 \quad (25)$$

onde:

$VATB_n$ é o balanço de crédito de ICMS no estado n calculado como segue:

$$VATB_n = TCr_n - TDebt_n - SDebt_n \quad (26)$$

em que:

TCr_n = Crédito de ICMS dos bens que serão recebidos no estado n

$$= \sum_i \sum_j (TrnsC_{ij}CusBC_i + TrnsS_{ij}CUSBS_i).ICMS_{ij} \quad j \in estado \quad n +$$

$$+ \sum_m \sum_j \sum_k Trns_{mjk}.PI_m.ICMS_{jk} \quad k \in estado \quad n \quad (27)$$

$TDebt_n$ = Débito do ICMS dos itens que sairão de instalações situadas no estado n

$$= \sum_m \sum_j \sum_k Trns_{mjk}.PI_m.ICMS_{jk} \quad j \in estado \quad n \quad (28)$$

$SDebt_n$ = Débito do ICMS dos itens que serão vendidos no estado n

$$= \sum_m \sum_k \sum_l Dstr_{mkl}.PF_{mkl}.ICMS_{kl} \quad k \in estado \quad n \quad (29)$$

Para a versão B do modelo, as restrições (13), (14), (21), (23), (24) e (27) ficariam:

Eq. (13) - Limitações da capacidade produtiva de m em i :

$$\sum_j (TrnsC_{mij} + TrnsS_{mij}) \leq CAPP_{mi} \quad \forall m, i. \quad (30)$$

Eq. (14) - Produção mínima de m em i :

$$\sum_j (TrnsC_{mij} + TrnsS_{mij}) \geq MINP_{mi} \quad \forall m, i. \quad (31)$$

Eq. (21) - Balanço de massa do produto m na fábrica j :

$$\sum_i (TrnsC_{mij} + TrnsS_{mij}) = \sum_k Trns_{mjk} \quad \forall m, j \quad (32)$$

Eq. (23) - balanço do drawback:

$$\sum_i \sum_j TrnsC_{mij} \leq \sum_k \sum_l Dstr_{mkl} \quad \forall m, \text{ locais } l \notin \text{Brazil} \quad (33)$$

Eq. (24) - Variáveis binárias:

$$Z_{jm} = \begin{cases} 1, \text{ se } CD \text{ primário } j \text{ é usado para armazenagem do produto } m \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad \forall j, m$$

Eq. (27) - Cálculo do crédito de ICMS:

$$\begin{aligned} &= \sum_m \sum_i \sum_j (TrnsC_{mij} + TrnsS_{mij}) \cdot PI_m \cdot ICMS_{ij} \quad j \in \text{estado } n + \\ &\quad + \sum_m \sum_j \sum_k Trns_{mjk} \cdot PI_m \cdot ICMS_{jk} \quad k \in \text{estado } n \end{aligned} \quad (34)$$

Para cada empresa, foram feitas várias adaptações do modelo para avaliação de cenários. Foram estudadas, dentre outras, as seguintes condições:

- (A) A minimização do Custo logístico total (= Custos de fretes + Custos fixos + *Carrying Cost*) sem restrições referentes à geração de crédito de ICMS (eq. 26)
- (B) Inclusão do crédito podre como parte da função objetivo para forçar o modelo a reduzir, inclusive, o crédito podre existente, o que beneficiaria o fluxo de caixa, já

que isso minimizaria o potencial risco dos créditos não aproveitados virarem item de custo,

(C) Redução do ICMS a ser pago, o que diminuiria o *outflow* (saída de caixa) imediato na venda do produto acabado,

(D) Inclusão de fábricas em outros países do Mercosul com fornecimento ao Brasil, para o aproveitamento do drawback, já que todos os ingredientes ativos das várias empresas eram importados de outros países.

Os resultados antes e depois da aplicação do modelo foram comparados para a tomada de decisão pelos responsáveis pela área de Supply Chain das empresas. Um exemplo dessas tabelas comparativas está no apêndice C, figura 26.

3.3 CONCORRÊNCIA PARA COLETA DOS DADOS

Para efeito de análise de novas localizações, principalmente CDs primários e secundários, faz-se obrigatório o levantamento de dados de custo e capacidade potencial dessas instalações. Como, em todos os estudos desenvolvidos, as empresas preferiram terceirizar os serviços de transporte e armazenagem nos CDs secundários, optou-se pela elaboração de uma concorrência para levantamento de potenciais fornecedores nas praças onde as empresas já possuíam CDs e fábricas e em outros estados onde havia um potencial de redução de custos e melhoria do nível de serviço.

Foram identificados, inicialmente, potenciais participantes da concorrência: empresas com mais de cinco anos no mercado, com experiência no atendimento ao mercado agrícola fornecendo serviços de transporte e armazenagem, boas referências e que estavam em boa situação financeira.

No trabalho desenvolvido na última empresa, foram mapeados 75 operadores logísticos, distribuídos por região conforme segue (tabela 7).

Tabela 7 – Distribuição de empresas que participaram do processo de cotação

Região	Número de empresas
Sul	18
Sudeste	29
Nordeste	10
Norte	04
Centro-Oeste	14

Fonte: última empresa onde o modelo foi implantado

Após um primeiro mapeamento das empresas (denominada de *long list*), todas foram consultadas sobre disponibilidade e interesse em participar da concorrência e investigadas em relação às características esperadas para participar do processo (diversidade de frota, abrangência de atendimento, certificação SASSMAQ, etc.).

Ao final desta atividade, apenas 46 empresas foram selecionadas para receber a carta convite e, portanto, participar efetivamente da concorrência. A carta convite foi preparada com o seguinte conteúdo:

- ✓ Convite formal,
- ✓ Rede logística a ser considerada,
- ✓ Regras para a preparação das propostas (explicativo das planilhas a serem preenchidas, unidades de custo a serem adotadas, gerenciamento de risco necessário, procedimento para gestão da filial a ser aberta em cada CD, etc.).

Foram preparadas diversas planilhas para levantamento dos custos, que estão apresentadas de forma simplificada no Apêndice B, a saber:

1. Valores de frete peso e *Ad-valorem* na Transferência de produto acabado,
2. Valores de frete peso e *Ad-valorem* na distribuição de produto acabado,
3. Prazos de entrega para fretes de transferência e distribuição,
4. Valores de Movimentação e Armazenagem,
5. Avaliação Técnica.

Além destas, foram elaboradas algumas outras planilhas de especial interesse de cada empresa (planilhas para produto específico, custos de devolução, etc.).

Uma parte importante do trabalho foi dedicada à coleta de dados internos da empresa e adequação das informações levantadas às unidades padrões usadas na aplicação do modelo. Como as empresas possuem dados espalhados por diversos departamentos e em vários formatos diferentes, e trata-se de informação sensível, uma atenção especial foi dada a essa etapa do trabalho.

De uma forma geral, os seguintes dados precisam ser trabalhados para que o modelo seja alimentado adequadamente:

- ✓ Definição das famílias de produto e os dados de custo para cada família,
- ✓ Custos de compra dos ingredientes ativos e dos produtos de terceiros,
- ✓ Vendas por família de produto em volume e em valor,
- ✓ Estoque inicial por família de produto em cada ponto da cadeia,
- ✓ Custos dos fretes de transferência e distribuição,
- ✓ Distâncias entre CDs até o Centróide dos Clusters de venda,
- ✓ Percentuais de ICMS nas transferências e vendas.

Na média, o trabalho de levantamento e preparação dos dados levou cerca de três meses em cada uma das empresas.

3.4 TESTE DO MODELO

No apêndice C é apresentado um detalhamento de um cenário real de uma das empresas estudadas, mas com dados fictícios e seus resultados. Os dados originais não podem ser apresentados por serem sensíveis e, portanto, não autorizados para publicação pela empresa. O estado em que os CDs testados estavam localizados são os mesmos do cenário real.

O cenário rodado objetivava a otimização da rede logística de uma das empresas sem que houvesse geração de crédito de ICMS e é apresentado a partir de telas do arquivo em Excel da Microsoft onde o modelo foi montado:

- ✓ A figura 5 apresenta as demandas em toneladas equivalentes por região de vendas e família de produto com respectivos centroides (cidade onde fica o centro de gravidade das vendas por região);
- ✓ As capacidades produtivas das duas fábricas por família de produto são apresentadas na figura 6, enquanto na figura 7 é apresentada o volume máximo de entrega dos fornecedores de produtos de revenda que estão localizados em SP e RJ;
- ✓ Nas figuras 8 e 9 são detalhados os dados de custo e volume dos CDs primários e secundários;
- ✓ A Figura 10 contempla os custos de transferências de produtos próprios e de revenda para os CDs principais e a figura 11, os custos de frete entre CDs principais e CDs secundários;
- ✓ As alíquotas de ICMS entre CDs principais e CDs secundários são mostradas na figura 12;
- ✓ Nas figuras 13 e 14 são detalhados os fretes entre CDs secundários e o centroide das regiões de venda e os fretes entre CDs primários e regiões de venda respectivamente;
- ✓ A figura 15 apresenta as alíquotas de ICMS aplicadas na venda de produtos que saem dos CDs primários em direção às regiões de venda;
- ✓ Na figura 16 são apresentados os dados usados para o cálculo do estoque de segurança respectivo para um único CD segundo a equação (11);
- ✓ Os resultados da otimização do cenário teste podem ser vistos na figura 17, enquanto os impactos nos créditos de ICMS são mostrados na figura 18;
- ✓ A figura 19 contempla a rede logística sugerida pelo modelo no cenário teste;
- ✓ A figura 20 mostra os volumes de transferência com e sem drawback em Eton após a otimização do cenário teste e os volumes de transferência a partir dos CDs primários são apresentados na figura 21;

- ✓ Os volumes ótimos de distribuição dos produtos 1, 2 e 3 e os produtos de revenda são apresentados nas figuras de 21 a 23;
- ✓ A figura 26 mostra um exemplo real de resultados comparativos de cenários usados para tomada de decisão em uma das empresas estudadas.

3.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Em um ambiente global com a alta competitividade percebida atualmente, são várias as variáveis que o empresário e os executivos de empresas se deparam para poder viabilizar seu negócio. Como a quantidade de variáveis e restrições é muito grande, uma ferramenta computacional adequada, suportada por um modelo que leva em consideração todas as variáveis envolvidas de forma sistêmica, se torna essencial. Essa ferramenta deve ser de fácil aplicação e entendimento e deve avaliar o problema sob todos os ângulos (custos fixos e variáveis, nível de serviço, impostos, restrições de capacidade).

Os impostos, principalmente os que não são de valor agregado, pois impactam diretamente os custos do produto, devem ser claramente detalhados e análises de sensibilidade devem ser possíveis, pois, provavelmente, estes podem ter um impacto significativo na definição de uma rede logística. Os custos de carregamento de estoque e restrições ligadas à capacidade de produção, manuseio e armazenagem também não podem ser negligenciadas, sob pena de o modelo gerar soluções sub-otimizadas.

O modelo proposto nesse trabalho distingue-se da maioria dos modelos de localização em escala global (tabela 1) por considerar a cadeia inteira e não apenas os elos finais, e por ter um tratamento dos estoques que considera a capacidade de armazenagem e engloba todos os componentes do estoque, e não apenas o produto acabado, o que torna a otimização mais completa e a análise mais sistêmica.

Como maiores contribuições deste modelo e metodologia, podem ser citadas:

- ✓ Cobertura de uma maior quantidade de elos: pouco comum em modelos de localização encontrados na literatura, este modelo pode englobar tantos quantos forem os elos principais da cadeia de suprimentos analisada pela empresa, podendo ser usado tanto para a localização de plantas industriais, como para CDs, ou ambos. Quando o primeiro elo da cadeia for associado a fornecedores, o modelo pode fazer análises conhecidas como “*make-or-buy*” (compra de produtos de terceiros ou produção própria),
- ✓ Inclusão de praticamente todos os principais componentes que afetam as decisões de localização, principalmente em empresas brasileiras. A análise é feita de uma forma sistêmica a partir de todos os fatores que normalmente influenciam esse tipo de decisão: taxa de câmbio, custos de carregamento dos estoques, custos fixos (incluídos aí os custos de investimento associados), custos para agregação de valor, custos de transporte incluindo *ad-valorem* e os custos referentes aos impostos não recuperáveis,
- ✓ Criação de uma metodologia para determinação do percentual para cálculo do carregamento de estoque (Apêndice A),
- ✓ Tratamento dado ao cálculo dos valores e volumes dos estoques operacionais e dos estoques de segurança.

Nos capítulos seguintes, é detalhada a aplicação do modelo em quatro empresas transnacionais que apresentam problemas com crédito podre de ICMS e estoques em excesso, e apresentados os resultados e as conclusões obtidas.

4 RESULTADOS

4.1 INTRODUÇÃO

A partir de experiência prática trabalhando em diversas empresas de vários segmentos, seja como funcionário, seja como consultor, o autor deste trabalho percebeu que são poucas as empresas brasileiras preparadas para resolver seus problemas de definição de rede logística ou de posicionamento de estoques e gerenciamento da demanda de uma forma científica. As decisões são tomadas de forma pouco estruturada e normalmente não garantem resultados otimizados ou próximos do ótimo porque são baseadas em percepção e/ou em dados parciais.

A causa principal deste efeito é a falta de um ou mais dos seguintes fatores: experiência interna, recursos suficientes para trabalhar no tema, disponibilidade de modelos matemáticos bem elaborados e integração entre as diversas áreas para tratamento do problema de uma forma sistêmica.

Para a localização de fábricas e ou CDs, o maior problema reside na enorme quantidade de variáveis envolvidas e de situações que devem ser consideradas o que, invariavelmente, não podem ser analisadas sem ferramentas computacionais bem estruturadas. O próprio autor trabalhou em alguns projetos para uso de ferramentas de mercado para otimização logística denominadas de APS (Advanced Planning Systems), tais como, SAP APO, Manugistics, I2, SmartOps, mas com pouco ou nenhum sucesso substancial, por conta da imprecisão dos dados alimentados nos sistemas, dificuldades em entender como as ferramentas funcionavam, falta de flexibilidade dos aplicativos, ou orçamentos limitados que impediam o uso pleno das ferramentas e/ou de consultoria de suporte.

O modelo aqui apresentado se mostra suficiente para cobrir todas as questões acima e tem a ambição de se tornar uma ferramenta útil, prática, barata e de fácil implantação para a solução do problema de localização em escala global em empresas transnacionais. No caso de empresas com problemas para gestão de

seus créditos de ICMS, o modelo e a metodologia objetos deste estudo, podem se tornar uma ferramenta poderosa.

A metodologia apresentada no capítulo 3 foi aplicada em quatro casos reais de corporações transnacionais do ramo químico que fornecem produtos de alto valor agregado para o mercado agrícola e com faturamento acima dos 500 milhões de reais apenas no Brasil. Todas as empresas objeto deste estudo tinham problemas para zerar seus créditos de ICMS e estavam sendo desafiadas a diminuir seus custos com carregamento de estoque, sem impactar o nível de serviço.

Por uma questão de confidencialidade solicitada pelas empresas, o detalhamento dos valores e volumes envolvidos e os nomes das empresas não poderão ser mencionados.

Em dois dos casos, o problema das empresas começava na definição dos centros fornecedores (versão A). Em outros dois casos, o problema começava pelo centro produtor e, para esses casos, foi criada a versão B alternativa, conforme as adaptações comentadas na seção 3.2.

Em todos os casos, o autor deste trabalho participou diretamente da coleta de dados, da aplicação do modelo e da preparação da lista de recomendações seja como empregado (uma das empresas) ou como consultor (outros três casos). O primeiro projeto terminou em 2007, o segundo e o terceiro em 2010 e o último em 2011. Os anos de 2012 e 2013 foram usados para novos estudos, melhorias no modelo matemático e levantamento de conclusões para apresentação nesta tese.

4.2 EMPRESAS QUE PARTICIPARAM DA APLICAÇÃO DO MODELO

As quatro indústrias químicas transnacionais atuantes no setor de agribusiness, que participaram deste estudo, têm suas matrizes em diferentes locais espalhados pelo mundo: duas são americanas, uma israelense e outra tem seu escritório central em um país da Oceania.

Todas elas estão atuando no Brasil há mais de 10 anos, estão entre as maiores no mercado local, possuem fábricas aqui e lá fora, e importam 100% do volume necessário de princípios ativos.

Algumas outras similaridades entre as empresas:

- ✓ Nenhuma delas optou por investir em CDs secundários ou frota própria,
- ✓ Todas elas trabalham com produtos de terceiros para revenda de forma a complementar seu portfólio de soluções para o mercado agrícola,
- ✓ São bem estruturadas e conhecem com detalhe o mercado brasileiro,
- ✓ Todas já tinham iniciativas anteriores para redução dos créditos podres,
- ✓ As iniciativas para a redução dos créditos podres eram capitaneadas pela área fiscal, vários departamentos participavam do projeto, mas as decisões sobre mudanças na rede logística eram tomadas normalmente pela área comercial visando apenas melhorias no nível de serviço,
- ✓ Os projetos de revisão da rede usando o modelo matemático deste estudo foram conduzidos pela diretoria de Supply Chain,
- ✓ Os volumes de crédito de ICMS eram da ordem de vários milhões de dólares,
- ✓ Todas elas possuíam o processo de *Sales & Operations Planning* (ou Planejamento Integrado) e pretendiam usar o modelo para decisões nesse nível da hierarquia de planejamento da empresa,
- ✓ Na totalidade das empresas onde este modelo foi aplicado, o preço de venda unitário independe do mercado, ou seja, as empresas praticavam uma tabela de preços única,
- ✓ Os preços de transferência usados eram equivalentes aos custos de produção e não dependiam do CD de destino,
- ✓ Todas as empresas tinham metas agressivas para redução de seus estoques de produto intermediário e acabado,
- ✓ Todas as empresas focavam na otimização da rede logística, redução de custos, mas não queriam que o nível de serviço, principalmente o *lead-time* das entregas, fosse afetado,

- ✓ Os prazos para avaliação e liberação dos créditos para os clientes eram usualmente maiores do que os prazos de entrega, o que pressionava a área de logística a reduzir seus prazos de entrega,
- ✓ Todas têm dificuldades em conseguir licença para a comercialização de novos produtos ainda não aprovados para venda no Brasil. O prazo mínimo para conseguir trazer uma nova formulação para venda no mercado brasileiro tem sido de um ano, podendo chegar a três anos em alguns casos (contra poucos meses na Argentina ou Estados Unidos, por exemplo).

Apesar das várias similaridades, as empresas apresentavam também diversas diferenças, dentre as quais podem ser citadas:

- ✓ As fábricas locais se situam em diferentes estados,
- ✓ Os principais fornecedores dos princípios ativos se encontram em países diferentes,
- ✓ Apenas parte das empresas fornecem para o Mercosul e apenas uma tem fábrica em outro país com licença para fornecer produto acabado para clientes no Brasil,
- ✓ Cada uma tem uma família de produto principal diferente como carro chefe das vendas,
- ✓ A situação econômica de cada empresa encontrava-se em condições diferentes na época de implantação deste estudo: uma empresa apresentava prejuízos significativos e perda de participação de mercado, enquanto que as outras estavam com resultados de razoável a muito satisfatório.

4.3 RESULTADOS NAS EMPRESAS

O Apêndice C apresenta os dados de *input* e *output* do modelo matemático referentes a um cenário real, mas com dados alterados para preservar a confidencialidade das informações.

A maior dificuldade para a implantação da metodologia nas empresas foi, em todos os casos, a coleta de dados, que dependia de vários departamentos da empresa. A dificuldade era gerada por diferentes fatores, tais como, desconfiança de como seriam usadas as informações consideradas confidenciais e, portanto sigilosas, entendimento dos dados a serem informados e, principalmente, disponibilidade de recursos para levantamento dos dados. O líder do projeto em cada empresa era o encarregado de entender os óbices e coordenar a eliminação dos obstáculos para garantir a conclusão dos estudos.

Apesar de o modelo matemático ser estático, ou seja, não usa o índice temporal em sua formulação, o modelo deve ser usado regularmente a cada alteração significativa dos dados. A prática mais comum nas empresas, após a conclusão dos estudos iniciais, era o de usar o modelo a cada 3 ou 4 meses para preparação de cenários que seriam discutidos nas reuniões de planejamento integrado realizadas todos os meses com representantes de diversas áreas das empresas. Dentre vários assuntos, eram discutidos, nessas reuniões, o planejamento de vendas e operações, a situação dos estoques e os volumes a serem produzidos e transferidos entre as fábricas e CDs primários e entre os CDs primários e CDs secundários, além da definição de quais CDs secundários iriam atender quais regiões de venda, informações tratadas pelo modelo matemático.

Apesar das realidades diferentes, os resultados encontrados nas quatro empresas foram muito parecidos:

- ✓ O custo de matérias-primas mais valor agregado nas fábricas é significativamente maior do que os outros custos logísticos (frete de transferência e distribuição, seguro *ad-valorem*, manuseio, armazenagem, custos fixos dos CDs), chegando a 90% do custo total,
- ✓ Taxas de importação atingiram em alguns casos mais de 10% do custo de materiais,
- ✓ O modelo de suprimento adotado pela empresa e os sugeridos pelos resultados do estudo eram significativamente diferentes. Nas figuras 3 e 4 são

apresentados os volumes distribuídos (círculos em azul) em uma das empresas analisadas para um dos cenários, antes e depois da aplicação do modelo.

Figura 3 – Rede logística de uma das empresas mostrando os CDs secundários utilizados e a demanda atendida (círculos)

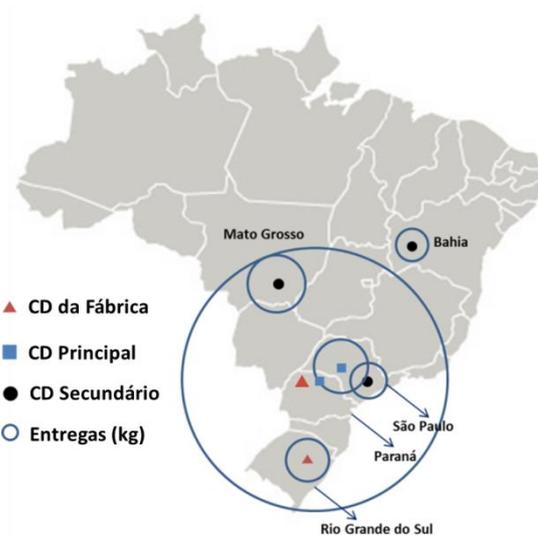


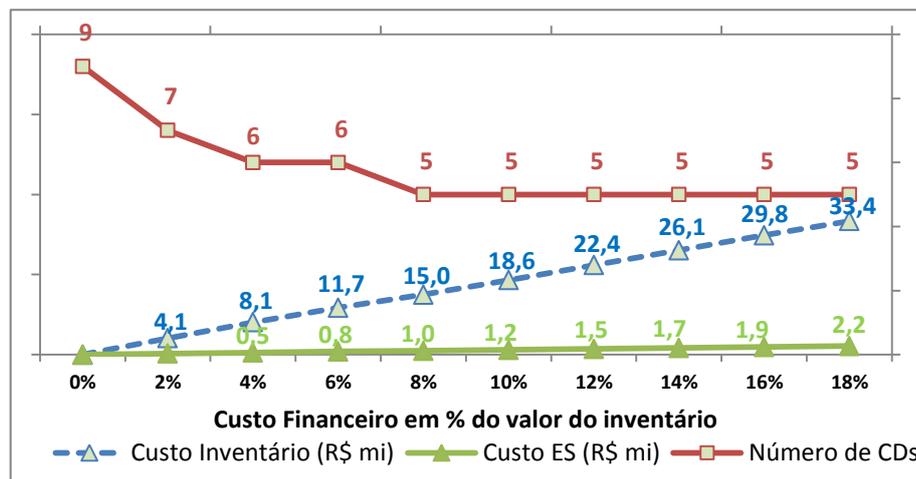
Figura 4 – Rede logística após estudo que sugere redução de três CDs e uso do CD de uma das fábricas para distribuição



- ✓ Em geral, por ordem de importância dos custos logísticos, frete de distribuição ficou em primeiro lugar, seguido de perto pelos custos de estoque. Os custos de transferência e manuseio nos CDs tiveram uma representação menor, enquanto o custo fixo dos CDs e *ad-valorem* tiveram impacto mínimo,
- ✓ A fim de reduzir a saída de caixa e aproveitar os créditos de ICMS existentes, os custos de logística deveriam ser aumentados em praticamente todos os casos. Já os cenários que se preocupavam apenas com a minimização de custos levavam a piores fluxos de caixa,
- ✓ O custo de carregamento de estoque se mostrou muito maior do que os custos de frete de transferência, manuseio e custo fixo de CDs principais e secundários,
- ✓ A diferença de custo entre os cenários estudados e o cenário base chegou a US\$ 10 milhões em um dos casos (cerca de 3% do custo total dessa empresa);
- ✓ A diferença de fluxo de caixa entre o cenário base e um dos cenários estudados em uma das empresas atingiu o valor expressivo de US\$ 22 milhões (cerca de 5% do custo total da empresa),

- ✓ Depois de um tempo sem uso, o crédito deve ser contabilizado como despesa por orientação de auditores e geralmente não pode ser provisionado. Os valores a serem estornados, que anteriormente não eram calculados, começaram a ser planejados através do modelo, o que melhorou a credibilidade do planejamento financeiro da filial brasileira perante a matriz,
- ✓ A análise de sensibilidade, feita para avaliar o impacto do custo financeiro no número de CDs abertos, mostrou alta correlação entre esses fatores (Gráfico 3). Para essa análise, os estoques de segurança foram calculados considerando 98% de nível de serviço.

Gráfico 3 – Impacto do custo financeiro na quantidade de CDs abertos e a representatividade dos custos do Estoque de Segurança

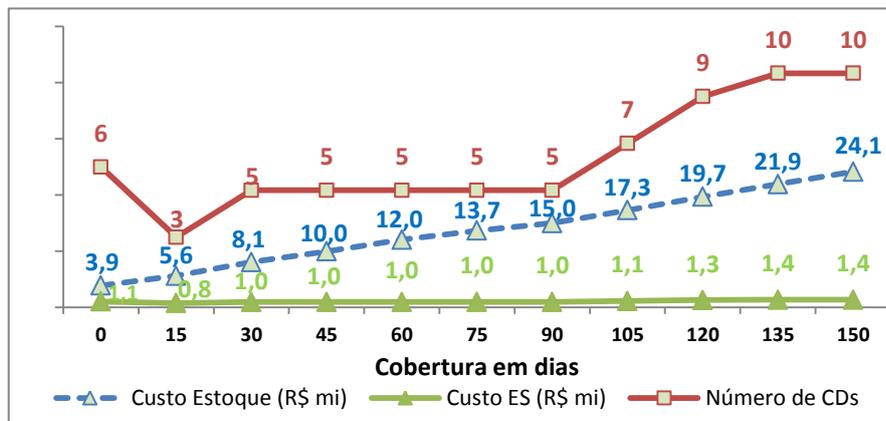


Fonte: Resultado da pesquisa

- ✓ Para provar o impacto da modelagem do estoque de segurança nos resultados da definição de rede logística, foram retiradas do modelo, as variáveis binárias e restrições que levavam em consideração o custo do estoque de segurança formado em cada CD - equações de (6) a (11) – mantendo-se os demais dados e restrições. Para o cenário avaliado, o resultado da função objetivo apresentou diferenças crescentes em relação ao modelo base, à medida que se aumentava as taxas de oportunidade financeira, mas o número de CDs sugeridos permaneceu sempre o mesmo, sete, independentemente do valor de taxa de oportunidade financeira usada. Isso se explica pelo fato de que a função objetivo e as restrições no modelo modificado tem o parâmetro DOH funcionando como

- uma constante de uma formulação essencialmente linear. Isso faz com que o resultado da função objetivo aumente na mesma proporção do aumento do custo do inventário, mas o ponto ótimo que define os CDs a serem abertos se mantém sempre o mesmo, independentes, portanto, da taxa de oportunidade financeira,
- ✓ A utilização de CDs secundários revelou-se desejável em todos os casos pela flexibilidade para a melhor gestão do ICMS e melhoria nos níveis de serviço,
 - ✓ O valor de cobertura nas unidades industriais próprias variou entre 25 e 40 dias. Em uma análise de sensibilidade feita sobre o impacto dessa cobertura, demonstrou-se que, em média, se a necessidade de cobertura nas fábricas fosse o dobro, valeria mais a pena comprar os produtos acabados para revenda e não mais fabricá-los internamente,
 - ✓ O número de CDs abertos é altamente influenciado pela cobertura esperada e pela capacidade de armazenagem dos CDs. Se os CDs funcionassem apenas para *cross docking* (modelo logístico em que os caminhões de transporte são recebidos e, em seguida, alimentam total ou parcialmente outros modais de transporte com destinos diferentes), um maior número de CDs se justificaria para melhor aproveitamento dos créditos de ICMS. Quando existe armazenagem e, conseqüentemente, custo de carregamento de estoque, o número de CDs abertos é reduzido como resultado do modelo de otimização, voltando a aumentar quando as capacidades de armazenagem são excedidas (Gráfico 4),

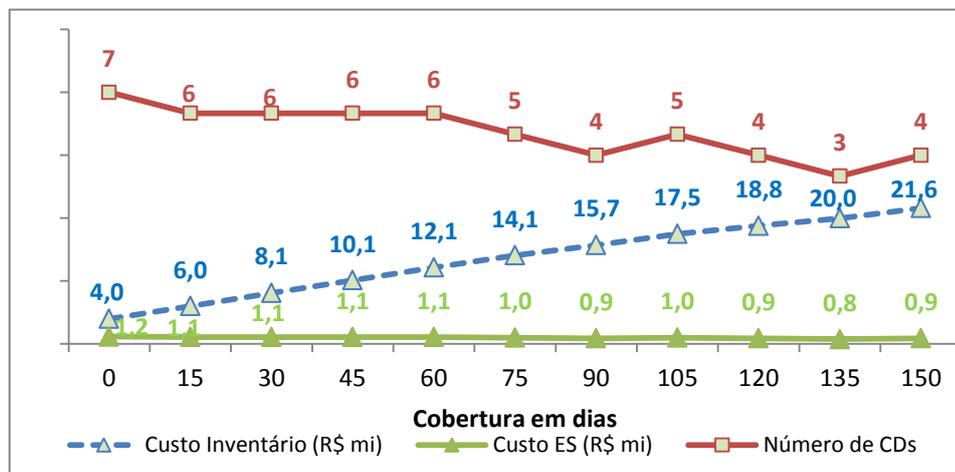
Gráfico 4 – Impacto da cobertura de estoque na quantidade de CDs abertos e dos custos do Estoque de Segurança para Custo Financeiro de 8%



Fonte: Resultado da pesquisa

- ✓ Compararam-se os resultados do modelo original para um dos cenários com outro com os mesmos dados, mas onde se excluiu a restrição ligada à capacidade de armazenagem. Percebeu-se que os resultados (gráfico 5) mostram necessidades de números de CDs abertos e valores de custo de estoque muito diferentes daqueles apresentados no gráfico 4 o que demonstra a importância de não se negligenciar a restrição de capacidade de armazenagem no estudo de redes logísticas,

Gráfico 5 – Impacto da restrição da capacidade de armazenagem no modelo para um mesmo cenário e custo financeiro de 8%



Fonte: Resultado da pesquisa

- ✓ Em três das empresas, a utilização de uma fábrica ou *toller* (serviço de industrialização feito por terceiros) em outro país do Mercosul traria reduções interessantes de custo desde que realizada a prática de *swap* (vendas do produtor local no mercado interno seriam repassadas para o produtor lá fora e vice-versa). Isso se explica pelos seguintes motivos:
 - Considerando que existe valor agregado suficiente para usar os benefícios fiscais do Mercosul, as exportações para o Brasil teriam desoneração de impostos e eliminariam o problema do crédito de ICMS,
 - As matérias primas importadas entrariam no país de produção (seja Brasil ou outro país do Mercosul) com o benefício fiscal do drawback (também chamado de admissão temporária em outros países do Mercosul) desde que

- as vendas fossem feitas fora do país produtor. Como o imposto de importação é um componente de custo representativo, essa iniciativa pode reduzir significativamente os custos totais de produção,
- Dependendo da localização da fábrica no Brasil, o custo de frete desde fontes de fornecimento localizados em países do Mercosul pode ser bem menor do que os custos de movimentação locais.
 - ✓ Em uma das quatro empresas, o crédito corrente de ICMS à época superava os 100 milhões de reais. Em todas elas, o valor do crédito era maior do que cada componente dos custos logísticos (fretes, *ad-valorem*, custos fixos dos CDs e custos com movimentação e armazenagem) e a soma do imposto devido nas vendas e o crédito estocado no custo final do produto eram muito maiores do que a representatividade dos custos de frete e armazenagem, com destaque para os créditos de ICMS não aproveitados (tabela 8).

Tabela 8 – Representatividade dos custos e ICMS nas empresas estudadas

Empresa	% ICMS		% dos Custos		
	Vendas	Crédito contábil	Materiais	Frete Total + Armazenagem	Carregamento do estoque
1	3,90%	39,00%	92,20%	5,40%	2,40%
2	5,10%	5,20%	87,30%	7,80%	4,90%
3	1,20%	4,70%	93,60%	4,10%	2,30%
4	2,40%	2,90%	93,30%	4,20%	2,50%

Fonte: Resultado da pesquisa

Notas: Todos os percentuais são em relação ao custo total da empresa. A coluna “Crédito Contábil” representa o crédito do ICMS em estoque contabilizado na época do estudo. A coluna “ICMS” indica o percentual a ser pago desse imposto antes da aplicação da metodologia aqui apresentada.

O cenário de implantação de uma fábrica ou desenvolvimento de um *toller* em outro país do Mercosul para produtos agrícolas, apesar de ser uma alternativa bastante interessante, apresenta uma ressalva importante que é o tempo levado no mercado brasileiro para conseguir-se uma licença para novas formulações. Apesar de a importação ser de um produto formulado com os mesmos componentes e receita, os órgãos ambientais e de saúde brasileiros exigem um novo processo de certificação completo, o que implica vários meses, senão anos, para a obtenção da licença de comercialização.

Durante o desenvolvimento dos estudos, percebeu-se que a modelagem com três elos seria insuficiente para atender às questões colocadas. E, apesar da metodologia presente nesse estudo poder ser aplicada a cadeias com mais elos, quatro elos se mostraram suficientes para cobrir as necessidades da grande maioria das empresas químicas agrícolas. Essa conclusão se justifica pelo seguinte:

- Em boa parte das empresas, o fornecedor é a própria matriz e não existe flexibilidade para a troca da fonte de matérias primas e/ou princípios ativos,
- As fábricas de produto acabado já existem e não são objeto de questionamento com relação à sua localização. Dúvidas existem, apenas, quanto ao dimensionamento da capacidade de produção e armazenagem
- A demanda por região já é estimada e não depende da localização das fábricas, mas pode ser levemente impactada pela localização dos CDs secundários, apesar de, na maioria dos casos das empresas pesquisadas, o tempo de aprovação de crédito dos clientes é normalmente maior do que o prazo de entrega e, portanto, o posicionamento do centro distribuidor mais próximo ao centro consumidor, não potencializa o crescimento das vendas e, por outro lado, o distanciamento dos CDs em relação aos clientes não leva à diminuição dos volumes vendidos.
- Pelas pesquisas de satisfação feitas pelas empresas, percebe-se que os clientes preocupam-se muito mais com o indicador de satisfação “OTD – *On-Time-Delivery*”, ou seja, o cumprimento da promessa de entrega do que com o “DLT – *Delivery Lead-Time*”, ou seja, o tempo entre a colocação do pedido e a entrega propriamente dita.

O modelo foi criado em MSExcel e usou o suplemento "Premium Solver" fornecido pela Frontline Systems, Inc. em um computador com um processador Intel® dual core e sistema operacional Microsoft Windows Vista. No cenário típico, o modelo contemplou 1297 variáveis (25 binárias) e 336 restrições, mais as restrições de não-negatividade. O tempo de processamento situou-se entre três e quatro segundos.

4.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A metodologia desenvolvida para análises de rede logística se apresentou bastante prática, rápida e de fácil implantação, e recebeu elogios das empresas onde o modelo foi implantado. Em um dos casos, o modelo foi adaptado e implantado na sede da empresa no exterior.

De uma forma geral, todos os componentes importantes para a definição de uma rede logística foram cobertos, direta (capacidades, custos fixos, variáveis – inclusive custos de carregamento de estoque e impostos) ou indiretamente (nível de serviço, impacto nas taxas de câmbio, retorno de investimento na implantação de novas instalações). Os resultados obtidos foram bastante significativos e, em alguns casos, desafiaram os paradigmas então vigentes nas empresas.

5 CONCLUSÕES FINAIS DO ESTUDO E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões para as teses propostas e um resumo dos resultados mais significativos obtidos pela aplicação desta nova metodologia e do modelo matemático.

5.1 APLICABILIDADE DO MODELO

As respostas dadas pelo modelo para diferentes empresas transnacionais de grande porte que atuam no ramo agrícola no Brasil foram parecidas, apesar das empresas estarem distribuídas geograficamente em estados diversos e estarem em situações de mercado muito diferentes. Em todas elas as diferenças entre a configuração do cenário básico (normalmente a definição da rede logística feita para o orçamento anual) e os resultados apresentados pelo modelo geraram reduções de custo da ordem de milhões de reais. Com relação a melhorias no fluxo de caixa das empresas, os resultados foram ainda mais significativos, pois o modelo se demonstrou potente e de fácil implantação para a gestão do aproveitamento dos créditos de ICMS de uma forma sistêmica e otimizada.

A representatividade dos custos de estoque é significativa para empresas que comercializam produtos de alto valor agregado e os estoques, seja de matéria prima, de semiacabados, de itens de manutenção e de operação, ou de produtos acabados, não podem ser negligenciados. O modelo aqui apresentado oferece uma metodologia simples e prática para a inclusão dos custos desses estoques nos estudos de definição de redes logísticas. A consideração do giro de estoque (ou cobertura) para o cálculo dos volumes de estoque na média e no pico, e do custo do estoque, se mostrou possível e de fácil aceitação.

A escolha do MSEXcel se mostrou satisfatória, por ser uma ferramenta já conhecida das empresas e de fácil utilização. O Solver que vem com o pacote padrão do MSEXcel é muito limitado e não suficiente para a quantidade de variáveis e restrições dos problemas normalmente encontrados no mundo real. Mas a solução

“Premium Solver”, aplicativo fornecido pela Frontline Inc., que amplia a capacidade do Solver do MS Excel, se mostrou perfeitamente adequada para a resolução dos problemas de localização das empresas objetos deste estudo, além de ser um aplicativo de baixo custo.

5.2 CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO

Os resultados deste trabalho reiteram a conclusão de outros autores, tais como Andrade (2013), Balaji e Viswanadham (2008), Junqueira e Morabito (2006 e 2008) e Yoshizaki (2008) sobre a importância do ICMS na definição da rede logística, já que ele é mais representativo do que outros componentes do custo logístico, e ainda demonstra a importância do *drawback*. Esta constatação é normalmente conhecida das empresas, entretanto, estas têm dificuldades em incorporar o planejamento tributário nas atividades da logística, por conta da diversidade e complexidade da situação de impostos no Brasil e da quantidade de variáveis envolvidas.

Outro importante fator a ser incluído em modelos de localização-estoque é a restrição ligada às capacidades de armazenagem, que, se negligenciadas, podem oferecer soluções que não sejam efetivamente aplicáveis. Os resultados mostraram diferentes configurações de rede para cenários que consideravam restrição de armazenagem em relação a cenários onde essa restrição foi eliminada.

A inclusão do estoque de segurança no modelo também se mostrou altamente impactante. Apesar dos valores do estoque de segurança serem pequenos em relação aos estoques operacionais, estes influenciaram diretamente e significativamente a definição da rede logística nos cenários estudados.

Apesar de serem mais comuns, modelos com a cobertura de apenas dois ou três elos mostraram-se insuficientes para o tratamento do problema do crédito de ICMS não utilizado. Para resolver problemas que contemplam créditos de ICMS ou benefícios fiscais tipo *drawback*, o modelo matemático precisa englobar, pelo menos, quatro elos da cadeia.

Para empresas do mesmo segmento que as cobertas neste estudo, com grandes somas de crédito de ICMS, a melhoria do fluxo de caixa, apesar de contrariar o senso comum, leva a aumentos nos custos logísticos.

O Mercosul pode trazer vantagens competitivas muito interessantes quando pensado como uma alternativa para a otimização da distribuição regional (Cone sul), no caso de empresas que exportam para outros países sul americanos ou que podem instalar fábricas, ou contratar o serviço de *tolling* em outros países do Mercosul. No caso brasileiro de empresas que fornecem nacionalmente para o mercado agrícola, o uso de CDs secundários, apesar do conseqüente aumento dos custos fixos e dos custos com estoques de segurança, mostrou-se recomendável em todos os cenários analisados, seja pela melhoria do nível de serviço oferecido, seja pela redução de custos de transporte e, principalmente, pela possibilidade de melhor gestão dos créditos de ICMS criados.

5.3 RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

Seguem recomendações para a continuação deste estudo em futuros trabalhos:

- ❖ Estender a ideia original do modelo para outros segmentos de negócio. Quando existir mais de uma matéria-prima importante no elo i , um novo índice deverá ser criado para cada um desses componentes,
- ❖ Incluir o custo das vendas perdidas para os cenários em que a demanda possa aumentar acima da capacidade instalada,
- ❖ Adaptar o modelo para que também sejam incluídos nos elos intermediários os estoques de segurança causados pelas incertezas no fornecimento das matérias primas e ou produtos semi-acabados,
- ❖ Desenvolver modelo matemático para calcular o nível de estoque ótimo a partir da soma dos custos de carregamento do estoque e custo de perda de venda por falta de estoque.

REFERÊNCIAS

ABIMAQ. **Impacto do “Custo Brasil” na competitividade da indústria brasileira de bens de capital.**

<http://www.abimaq.org.br/Arquivos/Html/DEEE/Custo%20Brasil%20de%20BK%20ca%20derno%2031mar10.pdf>. 31/mar/2010, acessado em novembro de 2012.

ALFORD, L.P.; BANGS, J. R., 1955. **Production Handbook**, New York: Ronald Press, p. 397.

ALJIAN, G.W. **Purchasing Handbook**, New York: McGraw-Hill, 1958, p. 9-29.

ALLEN, K.M. The role of logistics in the overseas plant selection decision process of United States based multinational corporations, **Journal of Business Logistics**, V. 12, No. 2, 1991, p. 59-73.

AMARAL, M., ALMEIDA, M.S., MORABITO, R.; Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação, **Revista Gestão da Produção**, V. 19, No. 2, p. 717-732, 2012, São Carlos, SP.

AMMER, D.S. **Materials Management**, Homewood, Ill.: Richard D. Irwin, 1962, p. 137.

ANDRADE, L.E.W.A. **Impactos da Reforma Tributária: avaliando a influência do novo ICMS na reconfiguração da malha logística brasileira.** Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2013

ARAKAKI, R.G.I.; LORENA, L.A.N. Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades. **Revista Produção**, São Paulo: Abepro, v.16, n.2, 2006, p. 319-328.

ARNTZEN, B.C.; BROWN, G.G.; HARRISON, T.P.; TRAFTON, L.L. Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation. **Interfaces**, V. 25, No. 1, 1995, p. 69-93.

BALAJI, K., VISWANADHAM, N., A Tax Integrated Approach for Global Supply Chain Network Planning, **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, V. 5, No. 4, 2008.

BALLOU, R. H. **Business Logistics Management**. 4e, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1998.

_____. Unresolved Issues in Supply Chain Network Design. **Information Systems Frontiers**, Vol. 3, No. 4, 2001, p. 417-426.

BASSET, M.; GARDNER, L. Designing optimal global supply chains at Dow AgroSciences. **Computers and Chemical Engineering**. Vol. 34, 2010, p. 254-265.

BHUTTA, K.S. **Global Supply Chains: An Integration Location, Production, Distribution and Investment Model for a Multinational Corporation Operating Under Varying Exchange Rates and Tariff Structures**, Doctoral Dissertation, University of Texas at Arlington, 2001.

_____. International Facility Location Decisions: A Review of The Modeling Literature. **International Journal of Integrated Supply Management**, V. 1, No. 1, 2004, p. 33-50.

BHUTTA, K.S.; HUQ, F.; FRAZIER, G.; MOHAMED, Z. An Integration Location, Production, Distribution and Investment Model for a Multinational Corporation, **International Journal of Production Economics**, V. 86, 2003, p. 201-216.

BIJAYAMADA, N.; CHAKRAVARTY, A.K. A strategy for locating a network of international manufacturing facilities, **Proceedings of the Symposium on Globalization of Technology**, Manufacturing and Service Operations, Tulane University, 1994, p.7-8.

BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J. **Logística Empresarial. O processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo, Atlas, 2001.

BRITO Jr., I. **Análise do Impacto Logístico de Diferentes Regimes Aduaneiros no Abastecimento de Itens Aeronáuticos Empregando Modelo de Transbordo Multiproduto com Custos Fixos**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2004.

CANEL, C.; KHUMAWALA, B.M. A mixed integer programming approach for the international facilities location problem, **International Journal of Operations and Production Management**, V. 16, No.4, 1996, p.49-68

CARRARA, C.M.; AGUIAR, E.M.; FARIA, C.A. Localização de terminais logísticos urbanos com o uso de ferramentas SIG: aplicação à cidade de Uberlândia. In: **Congresso Anual da ANPET – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**, 20, Brasília, DF. Anais, 2006, p.1497-1508

CAVINATO, J.L. **Purchasing and Materials Management**, St. Paul, MN.: West Publishing, 1984, p. 284.

CHRISTOPHER, M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - Estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços**, São Paulo, Pioneira, 2002.

CHURCHMANN, C.W. **The systems approach**, Delacorte Press, New York. Paperback edition Dell Publishing, New York, 1969. second, revised ed. 1979.

CLARK, A. J. A. **Dynamic, Single-Item/Multi-Echelon Inventory Model. RM2297, The Rand Corporation**, Santa Monica, California, 1958.

COYLE, J.J.; BARDI, E.J. **The Management of Business Logistics**, 3rd ed. St. Paul, MN.: West Publishing, 1984, p. 144.

CRANDALL, R.E.; CRANDALL; W.R. Managing Excess Inventories: A Life-Cycle Approach. **Academy of Management Executive**, V. 17, No. 3, 2003, p. 99-113.

CROOK, G.T. **Inventory Management Takes Teamwork, Purchasing**, 1962, p. 70.

CROXTON, K.L.; ZINN, W. Inventory considerations in network design. **Journal of Business Logistics**, V. 26, No. 1, 2005, p. 149 – 168.

DOGAN K.; GOETSCHALCKX M. A Primal Decomposition Method for the Integrated Design of Multi-Period Production-Distribution System. Research Report. **IIE Transactions**, V. 31, No.11, 1999, p.1027-1036

EFROYMSON, M. A.; RAY, T. L. A branch and bound algorithm for plant location, **Operations Research**, v. 14, 1966, p. 361-368.

EPPEN, G.D. Effects of Centralization On The Expected Cost In A Multi-Location Newsboy Problem. **Management Science**, V. 25, No. 5, 1979, p. 498-501.

ERLENKOTTER, D. A comparative study of approaches to dynamic location problems. **European Journal of Operational Research**, V. 6, 1981, p. 133-143.

FAWCETT, S.E.; VELLANGA, D.B. Transportation Characteristics and Performance in Maquiladora Operations, **Transportation Journal**, 1992, p. 5-16.

FERRARI, R.C., **Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação**. Dissertação de Mestrado, ESALQ, USP, São Paulo, 2006.

FETTER, R.B.; DALLECK, W.C. **Decision Models for Inventory Management**, Homewood, IL: Richard D. Irwin, Inc., 1961, p. 105-108.

FINE, C. H. **Mercados em Evolução contínua**, Editora Campus, 1ª Edição, 1999.

FLIPO, C.D. Spatial Decomposition for a Multi-Facility Production and Distribution Problem. **International Journal of Production Economics**, V. 64, No. 1, 2000, p. 177-186.

FLIPO, C.D.; FINKE, G. An Integrated Model for an Industrial Production-Distribution Problem. **IIE Transactions**, V. 33, No. 9, 2001, p. 705-716.

GARCIA, E.S.; REIS, L.M.T.V.; MACHADO, L.R.; FERREIRA, V.J.M. **Gestão de estoques: Otimizando a Logística e a Cadeia de Suprimentos**. Rio de Janeiro: E-

papers Serviços Editoriais Ltda., 2006. Disponível em <http://books.google.com/books?id=AvfRM51NLcQC&dq=pt-PT>, acessado em dezembro de 2013.

GEOFFRION, A. M. **Better Distribution planning with computer models**, Harvard Business Review, V. 54, 1976, p. 92-99.

_____. Integrated modeling Systems, **Computer Science in Economics and Management**, V. 02, 1989, p. 3-15.

_____; GRAVES, G.W. **Multicommodity distribution design by Benders decomposition**, Management Science, V. 20, n.5, 1974, p. 822-844.

_____; POWERS, R. F. Facility location analysis is just the beginning, **Interfaces**, V. 10, 1980, p. 22-30.

_____; _____. Twenty Years of Strategic Distribution System Design: An Evolutionary Perspective. **Interfaces**, V. 25, No. 5, 1995, p. 105-127.

GLOVER, F. "Tabu Search, Parts I and II", **ORSA Journal of Computing**, 1989-1990, 1 (p. 190-206) e 2 (p. 4-32).

GOETSCHALCKX, M.; COLE, M.H.; DOGAN, K.; WEI, R. **A Generic Model for The Strategic Design of Production-Distribution Systems**. Working Paper. Georgia Institute of Technology, 1995.

_____; VIDAL, C.J.; DOGAN, K. Modeling and Design of Global Logistics Systems: A Review of Integrated Strategic and Tactical Models and Design Algorithms. **European Journal of Operational Research**, V. 143, No. 1, 2002, p. 1-18.

GOLDRATT, E.M. *Cost Accounting: the number one enemy of productivity*. 1983 **APICS International Conference Proceedings**, 1983, p. 89-92.

_____. **The goal**. Croton-on-Hudson: North River Press, 1984.

GOLDBERG, D. E. Messy Genetic Algorithms: Analysis and First Results. **Complex Systems**, 1989, p. 3-5.

GROSS, D.; PINKUS, C.E.; SOLAND, R.M. Designing a Multi-Product/Multi-Echelon Inventory System. In L.B. Schwartz, "Multi-Commodity Facilities Location Problem". **Journal of the Operational Research Society**, V. 32, 1981, p. 803-814.

GUALDA, N. D. F., 2004. **Heurísticas e Metaheurísticas**, Notas de aula, Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo.

GUERREIRO, R.; FREZATTI, F.; CASADO, T. **Em busca do entendimento da formação dos hábitos, rotinas e instituições da contabilidade gerencial**, 2009.

GUTIERREZ, C. J. **Development and Application of a Linear Programming Model to optimize Production and Distribution of a Manufacturing Company**, Dissertation for the Master of Science Degree, MIT, Massachusetts, USA, 1996.

HADJINICOLA, G. C.; KUMAR K. R. Modeling manufacturing and marketing options in international operations, **International Journal of Production Economics**, V. 75, 2002, p. 287-304.

HAKIMI, S. L. On the Realizability of a Set of Integers as the Degrees of the Vertices of a linear Graph-II Uniqueness, **J. Soc. Ind. Appl. Math**, V. 11, 1963, p. 135-147.

HAKIMI, S.L. Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph, **Operations Research**, V. 12, No. 1, 1964, p. 450-459.

HALE, T.S.; DAY, J.M.; HUQ, F.; PUJARI, N.A. A framework for an integrated distribution system optimisation model, **International Journal of Logistics Systems and Management**, Vol. 4, No. 5, 2002, p. 506-522.

HALL, T.W. *Inventory Carrying Costs: A Case Study*, **Management Accounting**, 1974, p. 37-39.

HAMAD, R.. **Modelo para Localização de Instalações Envolvendo Vários Elos na Cadeia Logística**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006.

_____; CHUT, A.; NAVARRO, E.; SILVA, F. A. G.; SOUSA, J. S. S.; ROSA, S. R. **Reforma Tributária e Ajuste Fiscal, Trabalho de final do Curso**, XLI Ciclo de Estudos de Política e Estratégia – ADESG, São Paulo, São Paulo, 1999.

_____; GUALDA, N.D.F. Modelo Para Localização de Instalações em Escala Global Envolvendo Quatro Elos da Cadeia Logística. **Transporte e Transformação**, CNT, Brasília, V. 10, 2006, p. 59-73.

_____, _____. Models for Facilities or Vendors Location in a Global Scale Considering Several Echelons in the Chain. **Networks and Spatial Economics**, V. 8, No. 1, 2008, p. 297-307.

_____, _____. Modelagem de redes logísticas com custos de inventário calculados a partir da cobertura de estoque, **Revista Produção**, São Paulo, Brazil, V. 21, No. 4, 2011, p. 667 – 675

HARDING, M.L. *Calculating the Carrying Cost of Inventory*. **89th Annual International Supply Management Conference Proceedings**, 2004.

HARRIS, F. W. How Many Parts to Make at Once. Factory, **The Magazine of Management**, V. 10, No. 2, 1913, p. 135-136, 152

HAUG, P. A multiple-period, mixed-integer-programming model for multinational facility location, **Journal of Management**, V. 11, No. 3, 1985, p. 83-97.

_____. An international location and production transfer model for high technology multinational enterprises, **International Journal of Production Research**, V. 30, No. 3, 1992, p. 559-572.

HEIDERICH, N.N.L., **Modelagem matemática para a localização ótima de usinas de incineração com recuperação energética de resíduos domiciliares: uma aplicação para região metropolitana da baixada santista e litoral norte**. Dissertação de Mestrado, ESALQ, USP, São Paulo, 2011.

HERITAGE FOUNDATION. **2012 Index of Economic Freedom**. Disponível em <http://www.heritage.org/index/explore?view=by-variables>.

HESKETT, J.L.; GLASKOWSKY, N.A.; IVIE, R.M. **Business Logistics**, 2nd ed. New York: Ronald Press, 1973, p. 20.

HODDER, J.E.; DINCER M. C. A multifactor model for international plant location and financing under uncertainty, **Computers and Operations Research**, V. 13, No. 5, 1984, p. 601-609.

_____; JUCKER, J. V. International plant location under price and exchange rate uncertainty, **Engineering Costs and Production Economics**, V. 9, 1985, p. 225-229.

IBM, Energize your supply chain network – **A European perspective (New competitive advantage from existing investments)**, Survey conducted by IBM Business Consulting Services, New York, EUA, 1984.

Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário (IBPT), Carga Tributária Brasileira 2012 e 2013, disponível em <http://www.ibpt.com.br/img/uploads/novelty/estudo/559/CargaTributaria2012IBPT.pdf> acessado em junho de 2013.

JOHANSEN, S.G. Base-stock policies for the lost sales inventory system with Poisson demand and Erlangian lead times. **Int. J. Production Economics**, 93-94, 2005, p. 429-437.

JOHNSON, J.C.; WOOD, D.F. **Contemporary Physical Distribution and Logistics**, 3rd ed. Tulsa, OK.: PenWell Publishing, 1986, p. 253.

JOKAR, M.R.A.; SEIFBARGHY, M. **Cost Evaluation of a Two-Echelon Inventory System with Lost Sales and Approximately Normal Demand**. Sharif University of Technology, Vol. 13, No. 1, 2006, p. 105-112.

JUNQUEIRA, R., MORABITO, R., Um modelo de otimização linear para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho. **Revista Produção**. Vol. 16, No. 3, p. 510-524, 2006

JUNQUEIRA, R., MORABITO, R., Planejamento otimizado da produção e logística de empresas produtoras de sementes de milho: um estudo de caso. **Gestão & Produção**. Vol. 15, No. 2, p. 367-380, 2008

KAPLAN, R.; ATKINSON, A. **Advanced Management Accounting**, 2a. edição, Englewoods Cliffs: Prentice Hall International, 1989.

KIRCA, O.; KOKSALAN, M. An integrated production and financial planning model and an application, **IIE Transactions**, 19 (8), 1996, p. 765-784.

KIRKPATRICK, S.; GELATT, C.D.; VECCHI, M.P. Optimization by Simulated Annealing”, **Science**, 220, 1983, p. 671-680.

KUEHN, A.A.; HAMBURGER, M.J. A heuristic Program for locating warehouses, **Management Science**, V. 9, 1963, p. 643-666.

LACERDA, L. **Considerações sobre o estudo de localização de instalações**, Disponível em <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-busca.htm?fr-loc-inst.htm> (acessado em novembro, 2005). Artigos do Centro de Estudo em Logística, COPPEAD, Rio de Janeiro, 2005.

LIMA, R.S. **Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes**. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2003.

LOVE, R. F.; MORRIS, J. G.; WESOLOWSKY, G. O. **Facilities Location: models & methods**. New York, North Holland, 1988, p. 186-20.

MAGEE, J.F. The Logistics of Distribution, **Harvard Business Review**, 1960, p. 99.

MAISTER, D.H. Centralization of Inventories and the “Square Root Law”. **International Journal of Physical Distribution**, V. 6, No. 3, 1976, p. 124-134.

MAPA, S.M.S. **Localização-alocação de instalações com sistema de informações geográficas e modelagem matemática**. Dissertação de Mestrado, UNIFEI, Itajubá, Minas Gerais, 2007.

MACIEL, P.H., DALVI, W.E.S. **Considerações sobre tributos e estoques na modelagem de redes logísticas**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de engenharia industrial, Rio de Janeiro, 2006.

MARTOS, A.C. **Projeto de redes logísticas com consideração de estoques e modais: aplicação de programação linear inteira mista à indústria**

petroquímica. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2000.

MEDINA, A.C. **Modelos para dimensionamento de frota e localização de embarcações para atendimento de acidentes marítimos**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1996.

MEIJBOOM, B.; VOS, B. International manufacturing and location decisions: balancing configuration and co-ordination aspects, **International Journal of Operations & Production Management**, V.17, No. 8, 1997, p. 790-805.

MELNITSKY, B. **Management of Industrial Inventory**, Conover-Mast Publication, 1951, p. 11.

MIN, H.; MELACHRINOUDIS, E. Dynamic location and entry mode selection of multinational manufacturing facilities under uncertainty: a chance-constrained goal programming approach, **International Transactions of Operational Research**, V. 3, No. 1, 1996, p. 6-76.

MISHRA, V.K.; SINGH, L.S.; AVADH, R.M.L. *Generalization of cost optimization in (S-1, S) lost sales inventory model*. **International Journal of Engineering Science and Technology**, Vol. 2(4), 2010, p. 473-479.

MOHAMED, Z. An integrated production-distribution model for a multinational company operating under varying exchange rates, **International Journal of Production Economics**, V.58, 1999, p.81-92.

MORGADO, A.V.; PORTUGAL, L.S.; LIMA, O.F. **Procedimento para localização de terminais rodoviários regionais coletivos de carga**. In: III Rio de Transportes, Rio de Janeiro, 2005.

NAHMIAS, S. Single-Product, Single-Location Models, Chapter 1, p. 3-55, in GRAVES, S.C., RINNOOY, K.A.H.G.; ZIPKIN, P.H., **Handbook in Operations Research and Management Science**, V. 4, Elsevier, Amsterdam, North-Holland, 1993

NAZAR, S.P. **Modelo para planejamento de serviços de transporte intermodal Long-haul**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2003.

NOZICK, L.K.; TURNQUIST, M.A. Inventory Transportation, Service Quality and the Location of Distribution Centers. **European Journal of Operations Research**, V. 129, No. 1, 2001, p. 362-371.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, Estatísticas de PIB - <http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=REV>, 2012, Acessado em 05/02/13.

OWEN, S.H.; DASKIN, M.S. Strategic facility location: A review, **European Journal of Operational Research**, V. 111, No. 3, 1998, p. 423-447.

OLIVEIRA, A.M.F., **Potencial da Logística ferroviária para a movimentação de açúcar para exportação no estado de SP: recomendações de localização para armazéns intermodais concentradores de carga**. Dissertação de Mestrado. ESALQ, USP, São Paulo, 2005.

PACHECO, R.F. **A adoção de modelos de programação da produção nas empresas: um estudo do processo de decisão**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

PANTALENA, B.G. **Otimização da malha logística de uma indústria química**, Trabalho de Formatura, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2004.

PATU, G. Carga Tributária no Brasil é maior do que nos EUA; Dinamarca lidera. **Folha de S. Paulo**. <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/792959-carga-tributaria-no-brasil-e-maior-do-que-nos-eua-dinamarca-lidera.shtml>, 2010, acessado em 06/02/13.

PwC. **Sétima Pesquisa de Líderes empresarias brasileiros, Crescimento Reinventado**. <HTTP://www.pwc.com/ceosurveybrazil>, 2011, acessado em 11/12/13.

QUEIROZ, T.S. **O efeito do ICMS no planejamento de redes logísticas**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011

REDHER, M. Custo Brasil, uma sobrecarga de 36%. **Jornal O Estado de São Paulo, caderno de Economia**, 07/03/2010

REM ASSOCIATES, **Methodology of Calculating Inventory Carrying Costs**. Princeton, New Jersey. Esta referência está disponível em www.remassoc.com/LinkClick.aspx?link=carryingcosts.pdf, acessado em Jun/13.

REVELLE, C.S.; EISELT, H.A. Location Analysis: A Synthesis and Survey - Invited Review. **European Journal of Operational Research**, V. 165, No. 1, 2005, p. 1-19.

RICHARDSON, H. Control Your Costs then Cut Them. **Transportation & Distribution**, 1995.

SCARPATI, K. **Top 10 Supply chain concerns of 2011**. http://www.supplychaindigital.com/global_logistics/top-10-supply-chain-concerns-of-2011. 2011, acessado em 09/02/12.

SHAPIRO, J. F. **Modeling the Supply Chain**. Pacific Grove CA: Duxbury Press, 2001.

SHEN, Z.J. Integrated Supply Chain Design Models: a Survey and Future Research Directions. **Journal of Industrial and Management Optimization**, V. 3, No. 1, 2007, p. 1-27.

SHEN, Z.J.; COULLARD, C.; DASKIN, M.S. A Joint Location–Inventory Model. **Transportation Science**, V. 37, No.1, 2003, p. 40-55.

SHEU, C.; CHEN, M.S.; KOVAR, S. Integrating ABC and TOC for better manufacturing decision making. **Integrated Manufacturing Systems**, 14/5, 2003, p. 433-441.

SILVA, M.B. **Otimização de redes de distribuição física considerando incentive fiscal baseado no crédito presumido de ICMS**. Dissertação de mestrado, Programa de Mestrado em Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2007

SMITS, S.R. **Evaluation Model for the design of distribution networks**. Faculty of Technology Management, Netherlands, 2001.

SPIELBERG, K. Algorithms for the simple plant-location problem with some side constraints, **Operations Research**, V. 17, 1969, p. 85-111.

STANDAGE, T. **An edible history of humanity**, Walker & Company, 1st edition, 2009, 288 p.

SYAM, S.S. A Model and Methodologies for the Location Problem with Logistical Components, **Computers and Operations Research**, V. 29, No. 1, 2002, p. 1173-1193.

TAYLOR, F.W. **Principles of Scientific Management**. New York: Harper & Row, 1911.

TOMICH, F.A.; MAGALHÃES, L.C.G.; GUEDES, E.M.; CARVALHO, A.X.Y. Desoneração do ICMS da Cesta Básica, **Planejamento e Políticas Públicas**, V. 17, 1998, p. 213-253.

TONG, H.; WALTER, C.K. An empirical study of plant location decisions of foreign manufacturing investors in the United States, Columbia, **J. of World Business**, V. 15, No. 1, 1980; p. 66-73.

VALLIM Filho, A.R.A. **Localização de Centros de Transporte e carga – Uma contribuição para modelos de otimização**, Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2004.

VERTER, V. **An integrated model for facility location and technology acquisition**, **Computers and Operations Research**, V. 29, 2002, p. 583-592.

VIDAL, C J.; GOETSCHALCKX, M. Strategic production-distribution models: A critical review with emphasis on global supply chain models, **European Journal of Operational Research**, V. 98, No. 1, 1997, p.1-18.

XAVIER, C.E.O., **Localização de tanques de armazenagem de álcool combustível no Brasil: aplicação de um modelo matemático de otimização**. Dissertação de Mestrado, ESALQ, USP, São Paulo, 2008.

WANKE, P. **Aspectos Fundamentais do Problema de Localização de Instalações em Redes Logísticas**, Artigos do Centro de Estudo em Logística, COPPEAD, RJ, disponível em <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-busca.htm?fr-loc-inst.htm>, 2001, acessado em Dezembro de 2012.

WASSERMAN, P.D. **Neural Computing, Theory and Practice**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989, 230 p.

WEBER, A. ***Über Den Standort Der Industrien*** (Alfred Weber's Theory of the Location of Industries), University of Chicago, 1909.

WHITLIN, T.M. **The Theory of Inventory Management**, Princeton, Princeton University Press, 1957, p. 220.

WILSON, R.H. A Scientific Routine for Stock Control. **Harvard Bus. Review**, V.13, 1934, p.116-128.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **The Machine that Changed the World**, Rawson Associates, New York, USA., 1990.

YOSHIZAKI, H.T.Y. **Projeto de Redes de Distribuição Física considerando a Influência do ICMS**, Tese de Livre-Docência, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2002.

YOSHIZAKI, H.T.Y., HINO, C.M., ROSIN, R.A. A Reforma Tributária: avaliando a influência do novo ICMS na futura configuração da malha logística brasileira, **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, João Pessoa, 2008.

ZINN, W.; LEVY, M.; BOWERSOX, D.J. Measuring the Effect of Inventory Centralization/Decentralization on Aggregate Safety Stock: The 'Square Root Law' Revisited, **Journal of Business Logistics**, Vol. 10, No. 2, 1989, p. 1-14.

ZUCCHI, J.D., **Modelo locacional dinâmico para a cadeia agroindustrial da carne bovina brasileira**, Tese de doutorado, ESALQ, USP, São Paulo, 2010.

APÊNDICE A – Custo de Carregamento de estoques e Perda de venda

I – Custos de Carregamento de estoque

O custo de carregamento de estoques é dado em porcentual do valor do estoque médio anual e inclui, além dos custos de armazenagem, os custos de perda dos bens, impostos agregados inutilizáveis, e custos de oportunidade financeira.

O custo de armazenagem engloba:

1 - Taxa de Custo de armazenagem (*Storage Cost*) = SC:

A = Estoque médio anual em reais,

B = Salários + encargos dos funcionários que movimentam materiais (valor anual),

C = Depreciação anual dos ativos dos armazéns (empilhadeiras, prédios, etc.),

D = Aluguel anual de equipamentos para movimentação de materiais e prédios,

E = Demais despesas operacionais anuais gastas para operação dos armazéns (impostos, conservação, combustível e insumos, seguro dos prédios, etc.).

$$SC = (B + C + D + E) / A \quad (35)$$

No caso da contabilidade tradicional e do custeio ABC, os custos de armazenagem já são contabilizados no custo do estoque e, portanto, não serão incluídos no custo de carregamento do estoque, para evitar uma penalização duplicada. No caso da Teoria das Restrições, os custos de armazenagem são incluídos nas “Despesas Operacionais”.

2 - Taxa de Custo de Seguro (*Insurance Cost*) = IC:

Os custos de seguro normalmente fazem parte dos custos administrativos e de venda e, portanto, não são incluídos nos valores de estoque na contabilidade tradicional. Esse custo, portanto, será incluído no custo de carregamento de estoque:

F = Prêmio anual pago em reais pela apólice de seguro dos estoques

$$IC = F / A \quad (36)$$

3 - Taxa de Custo de Obsolescência (*Obsolescence cost*) = OC:

G = Total de itens enviados para *write-off* (retirados dos livros contábeis da empresa) nos últimos três anos

\bar{A} = Estoque médio anual dos últimos três anos = $(A_n + A_{n-1} + A_{n-2}) / 3$ onde n é o último ano contábil já encerrado.

$$OC = G / \bar{A} \quad (37)$$

4 - Taxa de Custo de oportunidade financeira (*Financial Cost*) = FC:

H = Juro médio anual pago pela empresa para conseguir financiamento no mercado (aplicável quando o caixa da empresa é insuficiente para honrar seus compromissos)

I = Renda média mensal das aplicações da empresa em percentual (aplicável quando o caixa for superavitário)

$$FC = H \text{ ou } I \text{ (o que for aplicável no período)} \quad (38)$$

5 - Taxa de Custo de Impostos (*Duty Cost*) = DC:

Os Impostos de valor não agregado, tais como, impostos de importação ou impostos na venda para consumidor final, já fazem parte da contabilidade tradicional no cálculo do custo dos itens e, portanto, não precisam ser incluídos no custo de carregamento. Já os impostos considerados de valor agregado, como, por exemplo, o ICMS da entrada que não pode ser utilizado como um crédito na

venda por alguma dificuldade legal ou operacional, deverão ser incluídos no custo de carregamento.

J = Valores de créditos de impostos (ICMS e outros) que não poderão ser aproveitados após 5 (cinco) anos para o pagamento dos impostos na saída de produtos acabados.

$$DC = J / A \quad (39)$$

6 - Taxa de Custo de carregamento do estoque (*Carrying Cost*) = CC:

$$CC = IC + OC + FC + DC \quad (40)$$

II – Custos de perda de venda

Os custos por perda de vendas podem acontecer nas seguintes condições:

1. Indisponibilidade de estoque no momento da venda (*stockout*) e o cliente não está disposto a esperar pela reposição do estoque,
2. Indisponibilidade de estoque no momento da venda, mas o cliente está disposto a esperar pela entrega do item. Nesse caso, os custos da perda de vendas referem-se aos gastos extras em relação ao convencional para se entregar o produto ao cliente,
3. Disponibilidade do estoque de um item que está perto de expirar seu prazo de validade e o cliente não aceita essa condição,
4. Disponibilidade do estoque de um item, mas o cliente, por conta de um *stockout* anterior, descredenciou a empresa para próximos fornecimentos.

Nota: No caso da perda de vendas se der por conta de indisponibilidade de crédito por parte do cliente, isso não é considerado no cálculo do custo de perda de vendas.

7 - Taxa de custo de perda de vendas real (PVR):

P_i = Volume efetivo anual de vendas perdido do item i

L_i = Lucro unitário gerado pela venda do item i

X_i = Total anual de gastos extras para a entrega de um produto pronta entrega i que não estava presente no estoque no momento da venda

N = Número de produtos em estoque

A_i = Estoque médio anual em Reais do produto i

A = Estoque médio anual em Reais = $\sum_i^N A_i$

$$PVR_i = (P_i \cdot L_i + X_i) / A_i \quad (41)$$

$$PVR = \sum_i^n (P_i \cdot L_i + X_i) / A \quad (42)$$

8 - Taxa de custo de perda de vendas projetado (PVP):

Para modelos de localização ou modelos de estoque, é importante se projetar a taxa de custo de perda de vendas futura para o período de avaliação (também chamado de penalidade para a perda de venda). Para a condição de *stockout*, sugere-se a utilização dos modelos de estoque usados para o cálculo do estoque de segurança para dado nível de serviço apresentado em 2.4.2. Para efeitos desse estudo, admite-se que a produção tem uma flexibilidade nos volumes a serem produzidos ao longo do mês. Nesse caso, sugere-se que o PVP seja calculado da seguinte forma:

V = Volume de vendas previsto para o ano em Reais

S = Nível de serviço desejado - ou probabilidade de atendimento da demanda (%)

SS_{is} = Estoque de segurança para o produto i dado nível de serviço S

R_{is} = Risco da perda de venda em % para o produto i dado nível de serviço $S = (100\% - S)$

F_i = Flexibilidade da produção para o produto i

L_i = Lucro unitário gerado pela venda do produto i

N = Número de produtos i em estoque

A_i = Estoque médio anual em Reais projetado para o produto i

A = Estoque médio total anual projetado em Reais = $\sum_i^N A_i$

PV_i = Perda anual de vendas projetada para produto i

$$PV_i = (R_{is} - F_i) \times V \times L_i \text{ para } F_i < R_{is} \quad (43)$$

$$\text{Se } F_i > R_{is} \quad \forall i, \text{ PVP}_i \text{ e PVP} = 0\% \quad (44)$$

$$\text{Se } F_i < R_{is}, \text{ PVP}_i = PV_i / A_i, \text{ e } \text{PVP} = \sum_i^N PV_i / A \quad (45)$$

Após o cálculo de CC e PVR ou PVP, pode-se calcular o efeito desses custos no estoque de cada produto i e em seu custo unitário:

Q_i = Quantidade do produto i no estoque

CU_i = custo unitário original do produto i calculado a partir de quaisquer das metodologias de custeio apresentadas na seção 2 = (A_i / Q_i) .

CU_i' = novo custo unitário do produto i

$$CU_i' = CU_i \times [1 + CC + (PVR_i \text{ ou } PVP_i)] \quad (46)$$

APÊNDICE B – Tabelas usadas para a Coleta de Preços

Para conseguir levantar os custos em locais que as empresas ainda não atuavam, foi desenvolvido uma licitação para coleta de preços de fretes, seguro no transporte, aluguel mensal para utilização dos Centros de Distribuição. Foram, ainda, coletados dados de prazos de entrega e para avaliação técnica dos operadores logísticos participantes da licitação.

Tabela 9 – Planilha de cotação de preços para fretes transferência

PRODUTOS ACABADOS												
Fretes de Transferência entre Fábricas/CDs principais e CD's secundários												
Regras para preenchimento da proposta:												
Empresa:												
Responsável por preencher a proposta:												
Cargo:			Data:									
Ad valorem proposto (%)												
CD Origem/Fábrica	Estado de Destino	Cidade do CD de Destino (Informar cidade proposta)	Frete Fracionado (R\$/ton.)						Frete Lotação (R\$/veículo)			
			Até 499kg	De 500 a 999kg	De 1000 a 1999kg	De 2000 a 3999kg	De 4000 a 5999kg	De 6000 a 8999kg	Trucado (de 9 a 14 t)	Carreta (de 14 a 25 t)	Veículos > 26 t	
Cidade 1	Estado 1											
	Estado 2											
	Estado 3											
	Estado 4											
	Estado 5											
	Estado 6											
	Estado 7											
	Estado 8											
Cidade 2	Estado 1											
	Estado 2											
	Estado 3											
	Estado 4											
	Estado 5											
	Estado 6											
	Estado 7											
	Estado 8											

Fonte: Licitação para escolha de operadores logísticos usada ao longo da pesquisa

Tabela 10 – Planilha de cotação de preços para fretes de distribuição

PRODUTOS ACABADOS									
Fretes de Distribuição entre CD's ou Fábricas e Clientes Finais									
Empresa:									
Responsável por preencher a proposta:									
Cargo:					Data:				
Ad valorem proposto (%)		Taxa Entrega Excedente (R\$/entrega)							
FÁBRICA 1		Estado 1							
Estados atendidos		Estado 1, Estado 2, Estado 3							
FAIXA DE DISTÂNCIA (em KM)	Frete Fracionado (R\$/ton.)						Frete Lotação (R\$/veículo)		
	Até 499kg	De 500 a 999kg	De 1000 a 1999kg	De 2000 a 3999kg	De 4000 a 5999kg	De 6000 a 8999kg	Trucado (de 9 a 14 t)	Carreta (de 14 a 25 t)	Veículos > 26 t
0 – 50 km									
51 - 100 km									
101 – 150 km									
151 - 200 km									
201 - 300 km									
301 - 400 km									
401 - 500 km									
501 - 600 km									
601 - 700 km									
701 - 800 km									
801 - 900 km									
901 - 1000 km									
1001 - 1200 km									
1201 - 1400 km									
1401 - 1600 km									
1601 - 1800 km									
1801 - 2000 km									
2001 - 2250 km									
2251 - 2500 km									
2501 - 2750 km									
2751 - 3000 km									
UF do CD		Estado 2							
Estados atendidos		Estado 2, Estado 4, Estado 5, Estado 6							
Cidade proposta para o CD									
FAIXA DE DISTÂNCIA (em KM)	Frete Fracionado (R\$/ton.)						Frete Lotação (R\$/veículo)		
	Até 499kg	De 500 a 999kg	De 1000 a 1999kg	De 2000 a 3999kg	De 4000 a 5999kg	De 6000 a 8999kg	Trucado (de 9 a 14 t)	Carreta (de 14 a 25 t)	Veículos > 26 t
0 – 50 km									
51 - 100 km									
101 – 150 km									
151 - 200 km									
201 - 300 km									
301 - 400 km									
401 - 500 km									
501 - 600 km									
601 - 700 km									
701 - 800 km									
801 - 900 km									
901 - 1000 km									
1001 - 1200 km									
1201 - 1400 km									
1401 - 1600 km									
1601 - 1800 km									
1801 - 2000 km									
2001 - 2250 km									
2251 - 2500 km									
2501 - 2750 km									
2751 - 3000 km									

Fonte: Licitação para escolha de operadores logísticos usada ao longo da pesquisa

Tabela 11 – Planilha de levantamento de prazos para fretes transferência

PRODUTOS ACABADOS				
Prazos de Entrega para Transferência entre Fábricas/CDs principais e CD's secundários				
Empresa: _____				
Responsável por preencher a proposta: _____				
Cargo: _____			Data: _____	
CD Origem/Fábrica	Estado de Destino	Cidade do CD de Destino (Informar cidade proposta)	FRACIONADO (Prazo em dias)	LOTAÇÃO (Prazo em dias)
Fábrica 1	Estado 1			
	Estado 2			
	Estado 3			
	Estado 4			
	Estado 5			
	Estado 6			
	Estado 7			
	Estado 8			

Fonte: Licitação para escolha de operadores logísticos usada ao longo da pesquisa

Tabela 12 – Planilha para coleta dos custos de movimentação e armazenagem

COTAÇÃO PARA MOVIMENTAÇÃO, ARMAZENAGEM E ATIVIDADES ADMINISTRATIVAS			
Empresa: _____			
Responsável por preencher a proposta: _____			
Cargo: _____		Data: _____	
UF do CD	Estado 1	Local Atual	Estado 1
Estados atendidos	Estado 1, Estado 2		
Cidade proposta para o CD:			
Horário início funcionamento:			Horário fim funcionamento:
Área m²:			Área m²:
Posições paletes:			WMS:
Quantidade docas de Recepção:			Quantidade docas de Expedição:
Apólice contra roubo:			Seguradora:
Apólice contra incêndio e outros:			Seguradora:
Sistemas segurança contra roubo:			
Sistemas segurança contra incêndio:			
Sistemas comunicação de dados:			
Estrutura de armazenagem:			
Informações gerais:			
Atividade no CD	Tarifa	Unidade	Incidência
Movimentação		R\$/ton	saída do produto do CD
Armazenagem		R\$/ton	diário
Ad-Valorem Armazenagem		% sobre valor armazenado	mensal
Atividade administrativa		R\$/mês	mensal

Fonte: Licitação para escolha de operadores logísticos usada ao longo da pesquisa

Tabela 13 – Planilha de levantamento de prazos para fretes de distribuição

PRODUTOS ACABADOS		
Prazos de Entrega para Distribuição entre CD's ou Fábricas e Clientes Finais		
Empresa:		
Responsável por preencher a proposta:		
Cargo:		Data:
Fábrica 1	Estado 1	
Estados atendidos	Estado 1, Estado 2, Estado 3	
FAIXA DE DISTÂNCIA (em KM)	FRACIONADO (Prazo em dias)	LOTAÇÃO (Prazo em dias)
0 – 50 km		
51 - 100 km		
101 – 150 km		
151 - 200 km		
201 - 300 km		
301 - 400 km		
401 - 500 km		
501 - 600 km		
601 - 700 km		
701 - 800 km		
801 - 900 km		
901 - 1000 km		
1001 - 1200 km		
1201 - 1400 km		
1401 - 1600 km		
1601 - 1800 km		
1801 - 2000 km		
2001 - 2250 km		
2251 - 2500 km		
2501 - 2750 km		
2751 - 3000 km		

Fonte: Licitação para escolha de operadores logísticos usada ao longo da pesquisa

APÊNDICE C – As telas do modelo

O modelo matemático usado para a pesquisa foi desenvolvido usando o aplicativo Excel da Microsoft e contemplava uma série de tabelas que foram desenhadas para coleta de dados de demanda, custos e outros e para apresentação dos resultados. A seguir, fac-símile de algumas das tabelas usadas para um cenário real. O cenário rodado objetivava a otimização da rede logística de uma das empresas sem que houvesse geração de crédito de ICMS. A fonte de todas as figuras de 5 a 25 é o arquivo Excel com dados fictícios usados pelo autor para teste do modelo.

Figura 5 – Demandas por região de vendas e família de produto

Região de vendas	% de Vendas	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Revenda	Total	Centróide
BA1	5,7%	2.110	2.204	351	357	5.022	LEM
GO1	5,2%	2.538	1.252	385	398	4.573	Anápolis
GO2	5,2%	2.538	1.252	385	398	4.573	Rio Verde
MA	2,4%	662	1.154	188	99	2.103	Balsas
MG1	4,5%	2.499	794	205	516	4.015	Uberaba
MG2	4,5%	2.499	794	205	516	4.015	Unaí
MS1	3,0%	1.285	777	240	311	2.613	Dourados
MS2	3,0%	1.285	777	240	311	2.613	Maracaju
MT1	4,8%	1.643	1.966	214	440	4.263	Rondonópolis
MT2	4,8%	1.643	1.966	214	440	4.263	Sorriso
MT3	4,8%	1.643	1.966	214	440	4.263	Sinop
MT4	4,8%	1.643	1.966	214	440	4.263	Cuiabá
N1	1,1%	644	78	1	231	954	Ji-Parana (RO)
ES/RJ	0,7%	405	53	13	120	590	Vitoria (ES)
NE1 (CE, RN, PB)	0,4%	182	21	3	128	333	Recife (PE)
NE2 (PE, AL, SE)	3,2%	1.677	24	5	1.108	2.814	Maceió (AL)
PR1	5,8%	3.665	872	284	334	5.156	Maringá
PR2	5,8%	3.665	872	284	334	5.156	Cascavel
RS1	2,9%	1.838	489	151	74	2.553	Santa Maria
RS2	2,9%	1.838	489	151	74	2.553	Passo Fundo
SC1	1,1%	617	89	213	26	944	Maravilha
SC2	1,1%	617	89	213	26	944	Rio do Sul
SP1	6,0%	2.941	1.114	146	1.100	5.300	Barretos
SP2	6,0%	2.941	1.114	146	1.100	5.300	Presidente Prudente
SP3	6,0%	2.941	1.114	146	1.100	5.300	Limeira
TO	0,4%	169	59	27	99	354	Pedro Afonso
Exportações	4,0%	2.000	1.500	0	0	3.500	N/A
Total	100%	48.126	24.844	4.839	10.519	88.329	

Figura 6 – Capacidades produtivas das duas fábricas por família de produto

Família de Produto	Capacidades Fábrica 1 (Eton/ano)	Capacidades Fábrica 2 (Eton/ano)
Produto 1	44.240	1.886
Produto 2	23.344	0
Produto 3	4.839	0

Figura 7 – Capacidades de entrega dos produtos de terceiros

	Capacidade terceiros (Eton/ano)
Produtos de terceiros em SP	9.097
Produtos de terceiros no RJ	1.422

Figura 8 – Dados dos CDs primários

Centros de Distribuição Principais	Valor unitário no manuseio (R\$/Eton)				Preço de transferência (R\$/Eton)				ICMS (%)				Capacidade de manuseio (Eton)				DOH Esperado	Índice de sazonalidade	Capacidade de estocagem (Eton)	Custo fixo anual (milhares de R\$)
	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Revenda	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Revenda	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Revenda	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Revenda				
CD 1 (PR)	-	-	-	-	5.065	8.845	14.375	13.270	N/A	N/A	N/A	4,8%	60.000	40.000	40.000	40.000	25	75%	22.000	450
CD 2 (RS)	-	-	-	-	7.361	-	-	-	N/A	N/A	N/A	4,8%	40.000	-	-	-	25	78%	3.000	355
CD 3 (SP)	-	-	-	-	5.065	-	-	10.797	N/A	N/A	N/A	0,0%	40.000	-	-	40.000	-	25%	1.500	120

Nota 1: Os custos de manuseio nos CDs primários do Paraná e Rio Grande do Sul tem valor zero, pois, nesses casos, o manuseio é feito por funcionários próprios e, portanto, custeados de forma fixa.

Nota 2: Os custos de manuseio no CD primário de São Paulo foram zerados, pois esse custo acontecia apenas na venda dos produtos (distribuição a partir do CD secundário). O custo unitário desse manuseio está contabilizado na tabela de CDs secundários (figura 8).

Figura 9 – Dados dos CDs secundários

Centros de Distribuição Secundários	Valor unitário no manuseio (R\$/Eton)				Preço de Venda (\$/Eton)				Movimentação mínima	Capacidade de manuseio (Eton)	Capacidade de armazenagem (Eton)	Índice de sazonalidade	Custo fixo anual (milhares de R\$)	Estoque inicial (Eton)					DOH esperado	Custo unitário estocagem (R\$/Eton)
	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Revenda	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Revenda						Produto 1	Produto 2	Produto 3	Revenda	Total		
CD 1 (PR)	0,00	0,00	0,00	0,00	5.397	7.607	10.787	7.961	0	50.000	1.800	0,75	795,60	0	0	0	0	0	90	35,00
CD 4 (PR)	34,13	34,13	34,13	34,13	5.397	7.607	10.787	7.961	0	93.600	22.000	0,88	0,00	0	0	0	0	0	90	31,00
CD 3 (SP)	15,00	15,00	15,00	15,00	5.397	7.607	10.787	7.961	0	50.000	1.100	0,51	226,80	0	0	0	0	0	5	32,50
CD 5 (SP)	13,65	13,65	13,65	13,65	5.397	7.607	10.787	7.961	0	60.000	5.000	0,51	0,00	0	0	0	0	0	90	21,00
CD 6 (SP)	15,00	15,00	15,00	15,00	5.397	7.607	10.787	7.961	0	50.000	1.200	0,51	0,00	0	0	0	0	0	90	30,00
CD 2 (RS)	0,00	0,00	0,00	0,00	5.397	7.607	10.787	7.961	0	50.000	3.000	0,78	0,00	0	0	0	0	0	90	15,00
CD 7 (MG)	12,00	12,00	12,00	12,00	5.397	7.607	10.787	7.961	0	50.000	16.000	0,51	42,00	0	0	0	0	0	90	26,00
CD 8 (GO)	12,00	12,00	12,00	12,00	5.397	7.607	10.787	7.961	0	50.000	8.400	0,51	42,00	0	0	0	0	0	90	26,00
CD 9 (MT)	17,00	17,00	17,00	17,00	5.397	7.607	10.787	7.961	0	50.000	2.000	0,43	60,00	0	0	0	0	0	20	22,00
CD 10 (BA)	16,80	16,80	16,80	16,80	5.397	7.607	10.787	7.961	0	50.000	3.000	0,37	23,44	0	0	0	0	0	90	12,80

Nota: O DOH esperado para o CD 3 é de apenas 5 dias, pois esse CD, por premissa, é usado apenas para transbordo de produtos acabados com respectivo redespacho imediato (modalidade conhecida como *cross docking*)

Figura 10 – Transferências de produtos próprios e revenda para CDs principais

Transferências das fábricas do produto 1 para:

CDs	Custo unitário de frete (\$/Eton)	Custo sem drawback (\$/Eton)	Custo com drawback (\$/Eton)	ICMS na transferência
CD 1 (PR)	7,27	5.064,60	4.992,78	0,0%
CD 2 (RS)	-	7.361,10	6.892,96	0,0%
CD 3 (SP)	25,71	5.064,60	5.064,60	4,8%

Transferências das fábricas do produto 2 para:

CDs	Custo unitário de frete (\$/Eton)	Custo sem drawback (\$/Eton)	Custo com drawback (\$/Eton)	ICMS na transferência
CD 1 (PR)	7,27	8.845,13	8.790,58	0,0%
CD 2 (RS)	177,25	8.845,13	8.790,58	0,05
CD 3 (SP)	25,71	8.845,13	8.790,58	0,05

Transferências das fábricas do produto 3 para:

CDs	Custo unitário de frete (\$/Eton)	Custo sem drawback (\$/Eton)	Custo com drawback (\$/Eton)	ICMS na transferência
CD 1 (PR)	7,27	14.374,93	14.299,62	0,0%
CD 2 (RS)	177,25	14.374,93	14.299,62	0,05
CD 3 (SP)	25,71	14.374,93	14.299,62	0,05

Transferências das fábricas dos produtos de revenda para:

CDs	Custo unitário de frete (\$/Eton)	Custo sem drawback (\$/Eton)	Custo com drawback (\$/Eton)	ICMS na transferência
CD 1 (PR)	180,00	10.797,32	10.797,32	4,8%
CD 2 (RS)	179,00	10.797,32	10.797,32	4,8%
CD 3 (SP)	104,29	10.797,32	10.797,32	0,0%

Figura 11 – Custos de frete entre CDs principais e secundários

CDs secundários	Produto 1			Produto 2			Produto 3			Revenda		
	CD 1 (PR)	CD 2 (RS)	CD 3 (SP)	CD 1 (PR)	CD 2 (RS)	CD 3 (SP)	CD 1 (PR)	CD 2 (RS)	CD 3 (SP)	CD 1 (PR)	CD 2 (RS)	CD 3 (SP)
CD 1 (PR)	7,27	177,25	25,71	7,27	177,25	25,71	7,27	177,25	25,71	7,27	177,25	25,71
CD 4 (PR)	0,00	177,25	25,71	0,00	177,25	25,71	0,00	177,25	25,71	0,00	177,25	25,71
CD 3 (SP)	25,71	189,62	0,00	25,71	189,62	0,00	25,71	189,62	0,00	25,71	189,62	0,00
CD 5 (SP)	108,17	232,85	95,45	108,17	232,85	95,45	108,17	232,85	95,45	108,17	232,85	95,45
CD 6 (SP)	107,29	260,38	108,00	107,29	260,38	108,00	107,29	260,38	108,00	107,29	260,38	108,00
CD 2 (RS)	177,25	0,00	179,60	177,25	0,00	179,60	177,25	0,00	179,60	177,25	0,00	179,60
CD 7 (MG)	133,45	329,94	100,53	133,45	329,94	100,53	133,45	329,94	100,53	133,45	329,94	100,53
CD 8 (GO)	183,28	192,08	133,33	183,28	192,08	133,33	183,28	192,08	133,33	183,28	192,08	133,33
CD 9 (MT)	177,25	327,58	150,50	177,25	327,58	150,50	177,25	327,58	150,50	177,25	327,58	150,50
CD 10 (BA)	304,37	434,91	248,77	304,37	434,91	248,77	304,37	434,91	248,77	304,37	434,91	248,77

Figura 12 – Alíquotas de ICMS entre CDs principais e CDs secundários

CDs secundários	CD 1 (PR)	CD 2 (RS)	CD 3 (SP)
CD 1 (PR)	0,0%	4,8%	4,8%
CD 4 (PR)	0,0%	4,8%	4,8%
CD 3 (SP)	4,8%	4,8%	0,0%
CD 5 (SP)	4,8%	4,8%	0,0%
CD 6 (SP)	4,8%	4,8%	0,0%
CD 2 (RS)	4,8%	0,0%	4,8%
CD 7 (MG)	4,8%	4,8%	4,8%
CD 8 (GO)	2,8%	2,8%	2,8%
CD 9 (MT)	2,8%	2,8%	2,8%
CD 10 (BA)	2,8%	2,8%	2,8%

Figura 13 – Fretes entre CDs secundários e o centroide das regiões de venda

Destino	Origem	CD 1 (PR)	CD 4 (PR)	CD 3 (SP)	CD 5 (SP)	CD 6 (SP)	CD 2 (RS)	CD 7 (MG)	CD 8 (GO)	CD 9 (MT)	CD 10 (BA)
		BA1	334,56	331,20	307,45	635,15	286,86	545,34	215,62	157,40	288,96
GO1	201,33	197,96	174,22	503,79	172,74	398,45	104,87	14,92	158,45	10.000,00	
GO2	188,51	185,35	161,61	549,48	160,14	385,84	92,26	50,23	103,82	10.000,00	
MA	592,72	588,60	559,48	788,39	548,66	834,45	461,29	363,88	466,45	10.000,00	
MG1	163,64	159,78	130,66	337,32	87,62	404,60	38,66	109,78	244,05	10.000,00	
MG2	277,29	273,17	244,05	508,44	218,79	535,77	131,17	93,03	260,28	10.000,00	
MS1	139,42	143,03	149,73	590,52	252,04	302,80	255,39	270,85	183,74	10.000,00	
MS2	161,58	160,55	149,47	549,48	251,78	326,51	255,39	254,61	167,51	10.000,00	
MT1	234,11	249,45	225,70	675,96	253,02	394,67	199,64	153,83	21,02	10.000,00	
MT2	348,64	363,77	340,03	686,31	367,35	509,20	313,97	243,78	114,95	10.000,00	
MT3	365,87	381,22	357,47	734,70	384,79	526,43	331,41	261,22	132,40	10.000,00	
MT4	278,87	294,00	270,47	641,47	297,79	439,43	244,20	190,61	45,39	10.000,00	
N1	609,73	628,29	599,17	833,90	632,93	806,62	567,21	501,50	323,16	10.000,00	
ES/RJ	672,61	668,49	639,63	884,50	637,82	914,60	554,58	444,03	544,53	10.000,00	
NE1 (CE, RN, PB)	764,36	760,23	731,11	833,90	673,64	960,21	603,03	603,80	765,39	10.000,00	
NE2 (PE, AL, SE)	704,31	700,19	671,07	788,39	613,60	900,17	542,99	543,76	705,34	10.000,00	
PR1	21,81	25,00	48,67	166,47	127,86	220,99	156,18	208,61	245,33	10.000,00	
PR2	80,30	83,40	107,07	251,92	186,49	169,01	214,80	267,01	248,43	10.000,00	
RS1	287,62	290,33	311,50	380,71	370,92	59,69	462,09	514,73	486,78	10.000,00	
RS2	210,56	213,27	234,44	293,37	293,86	64,31	385,03	437,67	441,47	10.000,00	
SC1	169,31	172,92	200,75	432,21	274,71	173,00	361,56	390,94	367,49	10.000,00	
SC2	166,99	169,83	189,67	319,20	211,32	170,00	298,17	407,43	464,13	10.000,00	
SP1	105,74	102,20	77,20	117,24	72,12	334,70	40,04	104,86	205,07	10.000,00	
SP2	38,49	37,39	27,87	146,00	115,25	261,48	118,13	170,34	208,61	10.000,00	
SP3	107,29	103,31	84,73	41,20	33,18	274,09	75,21	169,01	266,57	10.000,00	
TO	488,35	484,49	455,37	788,39	453,56	730,34	370,32	259,77	362,08	10.000,00	

Nota: Os valores de frete do CD secundário localizado na Bahia estão com valores muito acima dos demais para forçar que o CD da Bahia seja usado apenas para entregas dentro do estado, caso esta seja a solução ótima. Esta condição foi definida pela empresa.

Figura 14 – Fretes entre CDs primários e regiões de venda

Destino	Origem	CD 1 (PR)	CD 4 (PR)	CD 3 (SP)	CD 5 (SP)	CD 6 (SP)	CD 2 (RS)	CD 7 (MG)	CD 8 (GO)	CD 9 (MT)	CD 10 (BA)
		BA1	334,56	331,20	307,45	635,15	286,86	545,34	215,62	157,40	288,96
GO1	201,33	197,96	174,22	503,79	172,74	398,45	104,87	14,92	158,45	10.000,00	
GO2	188,51	185,35	161,61	549,48	160,14	385,84	92,26	50,23	103,82	10.000,00	
MA	592,72	588,60	559,48	788,39	548,66	834,45	461,29	363,88	466,45	10.000,00	
MG1	163,64	159,78	130,66	337,32	87,62	404,60	38,66	109,78	244,05	10.000,00	
MG2	277,29	273,17	244,05	508,44	218,79	535,77	131,17	93,03	260,28	10.000,00	
MS1	139,42	143,03	149,73	590,52	252,04	302,80	255,39	270,85	183,74	10.000,00	
MS2	161,58	160,55	149,47	549,48	251,78	326,51	255,39	254,61	167,51	10.000,00	
MT1	234,11	249,45	225,70	675,96	253,02	394,67	199,64	153,83	21,02	10.000,00	
MT2	348,64	363,77	340,03	686,31	367,35	509,20	313,97	243,78	114,95	10.000,00	
MT3	365,87	381,22	357,47	734,70	384,79	526,43	331,41	261,22	132,40	10.000,00	
MT4	278,87	294,00	270,47	641,47	297,79	439,43	244,20	190,61	45,39	10.000,00	
N1	609,73	628,29	599,17	833,90	632,93	806,62	567,21	501,50	323,16	10.000,00	
ES/RJ	672,61	668,49	639,63	884,50	637,82	914,60	554,58	444,03	544,53	10.000,00	
NE1 (CE, RN, PB)	764,36	760,23	731,11	833,90	673,64	960,21	603,03	603,80	765,39	10.000,00	
NE2 (PE, AL, SE)	704,31	700,19	671,07	788,39	613,60	900,17	542,99	543,76	705,34	10.000,00	
PR1	21,81	25,00	48,67	166,47	127,86	220,99	156,18	208,61	245,33	10.000,00	
PR2	80,30	83,40	107,07	251,92	186,49	169,01	214,80	267,01	248,43	10.000,00	
RS1	287,62	290,33	311,50	380,71	370,92	59,69	462,09	514,73	486,78	10.000,00	
RS2	210,56	213,27	234,44	293,37	293,86	64,31	385,03	437,67	441,47	10.000,00	
SC1	169,31	172,92	200,75	432,21	274,71	173,00	361,56	390,94	367,49	10.000,00	
SC2	166,99	169,83	189,67	319,20	211,32	170,00	298,17	407,43	464,13	10.000,00	
SP1	105,74	102,20	77,20	117,24	72,12	334,70	40,04	104,86	205,07	10.000,00	
SP2	38,49	37,39	27,87	146,00	115,25	261,48	118,13	170,34	208,61	10.000,00	
SP3	107,29	103,31	84,73	41,20	33,18	274,09	75,21	169,01	266,57	10.000,00	
TO	488,35	484,49	455,37	788,39	453,56	730,34	370,32	259,77	362,08	10.000,00	

Nota: Valores de frete do CD secundário da Bahia estão sobrevalorizados para forçar resultados que usem o CD desse estado apenas para entregas dentro do estado, caso custo seja ótimo.

Figura 15 – ICMS entre os CDs primários e as regiões de venda

Destino	Origem	CD 1 (PR)	CD 4 (PR)	CD 3 (SP)	CD 5 (SP)	CD 6 (SP)	CD 2 (RS)	CD 7 (MG)	CD 8 (GO)	CD 9 (MT)	CD 10 (BA)
		BA1	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%
GO1	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	0,0%	4,8%	4,8%
GO2	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	0,0%	4,8%	4,8%
MA	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	4,8%	4,8%
MG1	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	0,0%	4,8%	4,8%	4,8%
MG2	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	0,0%	4,8%	4,8%	4,8%
MS1	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	4,8%	4,8%
MS2	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	4,8%	4,8%
MT1	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	0,0%	4,8%
MT2	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	0,0%	4,8%
MT3	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	0,0%	4,8%
MT4	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	0,0%	4,8%
N1	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	4,8%	4,8%
ES/RJ	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
NE1 (CE, RN, PB)	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	4,8%	4,8%
NE2 (PE, AL, SE)	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	4,8%	4,8%
PR1	0,0%	0,0%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
PR2	0,0%	0,0%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
RS1	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	0,0%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
RS2	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	0,0%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
SC1	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
SC2	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
SP1	4,8%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
SP2	4,8%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
SP3	4,8%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%	4,8%
TO	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	4,8%	4,8%	4,8%

Figura 16 – Cálculo do estoque de segurança respectivo para um único CD

	Descrição	Unidade	Valores		
NS	Nível de serviço desejado	%	99,86%	98,00%	95,00%
Φ	Fator multiplicador do σ dado um nível de serviço desejado	Adimens.	3,00	2,06	1,65
x_m	demanda diária média	ton	338,43	338,43	338,43
σ_d	desvio padrão da demanda diária	ton	228,00	228,00	228,00
\bar{t}	lead time médio após aprovação (desconsiderado transit time)	dias	2,00	2,00	2,00
σ_t	desvio padrão do lead time	dias	0,30	0,30	0,30
SS ₁	Estoque de segurança conforme fórmula de Fetter e Dalleck (1961)	ton	1014,14	695,70	557,10
DOH	Cobertura do estoque de segurança em dias	dias	3,00	2,06	1,65

Nota: Para o cálculo do estoque de segurança no modelo para teste, foi desconsiderado o índice m (produtos) e calculado o estoque de segurança para todos os produtos acabados em conjunto. No modelo de testes e nos modelos reais, adotou-se o nível de serviço de 98% como premissa.

A seguir, serão apresentadas as telas usadas para mostrar os resultados do modelo para teste.

Figura 17 – Resultados do cenário teste e comparação com os dados originais

Planilha de custos (Valores em kR\$/ano)		
Itens de custo	Valores otimizados	
Custos Totais	686.698,30	% Total
Custos logísticos	36.039,53	5,25%
Frete para CDs Primários	1.649,33	0,24%
Frete para CDs Secundários	5.538,03	0,81%
Manuseio nos CDs	3.157,97	0,46%
Fretes de distribuição	17.375,43	2,53%
Ad-Valorem	148,50	0,02%
Carregamento de estoque	5.561,53	0,81%
Armazenagem nos CDs	2.608,73	0,38%
Custos de material	649.566,98	94,59%
Próprio	536.415,86	78,12%
Terceiros	113.151,12	16,48%
Custo fixo	1.091,80	0,16%
CDs principais	805,00	0,12%
CDs secundários	286,80	0,04%
Custos fixos + logísticos	37.131,33	5,41%

Figura 18 – Cálculos do ICMS nas transferências e impacto nos créditos podres

Créditos de ICMS									
Estoque de créditos de ICMS	Débitos na Transferência	Créditos na Transferência	Débitos na venda	Balanco		Geração de crédito "podre"		Eliminação de crédito "podre"	
Valores Originais	11.554,13	37.693,40	8.241,25	-17.898,03	ICMS a ser pago	Novos valores	Valores originais	Novos valores	Valores originais
Valores otimizados	27.410,36	33.991,99	13.968,05	7.386,41	-	-6.573,78	-350,92	6.573,78	350,92
PR	15.884,00	19.240,43	13.560,00	893,35	-6.573,78	-	-	-	-
MG	12.141,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	985,05	0,00	0,00
MT	0,00	N/A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SP	0,00	N/A	4.812,88	4.812,88	0,00	0,00	3.677,78	0,00	0,00
GO	1.367,00	8.169,93	15.619,11	8.261,82	-812,64	-	-812,64	-6.289,21	812,64
BA	0,00	N/A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1.788,00	N/A	0,00	0,00	0,00	0,00	930,32	0,00	0,00
Total					0,00	0,00	5.993,15	7.386,41	1717,92

Figura 19 – Rede logística sugerida pelo modelo no cenário teste

	Centros de Distribuição	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Revenda
CDs principais	CD 1 (PR)	Sim	Sim	Sim	Não
	CD 2 (RS)	Sim	Não	Não	Não
	CD 3 (SP)	Não	Não	Não	Sim
CD's secundários	CD 1 (PR)	Não	Não	Não	Não
	CD 4 (PR)	Sim	Sim	Sim	Sim
	CD 3 (SP)	Sim	Sim	Sim	Sim
	CD 5 (SP)	Não	Não	Não	Não
	CD 6 (SP)	Não	Não	Não	Não
	CD 2 (RS)	Sim	Sim	Sim	Sim
	CD 7 (MG)	Não	Não	Não	Não
	CD 8 (GO)	Não	Não	Não	Não
	CD 9 (MT)	Sim	Sim	Sim	Sim
	CD 10 (BA)	Não	Não	Não	Não

Figura 20 – Volumes de transferência com e sem drawback em Eton

Transferências das fábricas do produto 1 para:

Fábricas do produto 1	Transferência sem drawback (Eton)	Transferência com drawback (Eton)
CD 1 (PR)	46.126	114
CD 2 (RS)	0	1.886
CD 3 (SP)	0	0
Totals	46.126	2.000

Transferências das fábricas do produto 2 para:

Fábricas do produto 2	Transferência sem drawback (Eton)	Transferência com drawback (Eton)
CD 1 (PR)	23.344	1.500
CD 2 (RS)	0	0
CD 3 (SP)	0	0
Totals	23.344	1.500

Transferências das fábricas do produto 3 para:

Fábricas do produto 3	Transferência sem drawback (Eton)	Transferência com drawback (Eton)
CD 1 (PR)	4.839	0
CD 2 (RS)	0	0
CD 3 (SP)	0	0
Totals	4.839	0

Transferências das fábricas dos produtos de revenda para:

Produtos de revenda	Transferência sem drawback (Eton)	Transferência com drawback (Eton)
CD 1 (PR)	0	0
CD 2 (RS)	0	0
CD 3 (SP)	10.519	0
Totals	10.519	0

Figura 21 – Volumes ótimos de transferência a partir dos CDs primários

Transferências para CDs secundários

CDs secundários	Produto 1			Produto 2			Produto 3			Revenda			Totais (Eton)	Estoque (Eton)
	CD 1 (PR)	CD 2 (RS)	CD 3 (SP)	CD 1 (PR)	CD 2 (RS)	CD 3 (SP)	CD 1 (PR)	CD 2 (RS)	CD 3 (SP)	CD 1 (PR)	CD 2 (RS)	CD 3 (SP)		
CD 1 (PR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CD 4 (PR)	10.918	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.918	0
CD 3 (SP)	19.684	0	0	16.518	0	0	4.225	0	0	0	0	9.573	50.000	0
CD 5 (SP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CD 6 (SP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CD 2 (RS)	0	1.886	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.886	0
CD 7 (MG)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CD 8 (GO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CD 9 (MT)	15.638	0	0	8.327	0	0	614	0	0	0	0	946	25.524	0
CD 10 (BA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totais em Eton	46.240	1.886	0	24.844	0	0	4.839	0	0	0	0	10.519	88.329	0
		48.126		24.844			4.839					10.519		

Figura 22 – Volumes ótimos de distribuição do produto um

Mercado	CD 1 (PR)	CD 4 (PR)	CD 3 (SP)	CD 5 (SP)	CD 6 (SP)	CD 2 (RS)	CD 7 (MG)	CD 8 (GO)	CD 9 (MT)	CD 10 (BA)	Total
	BA1	0	0	0	0	0	0	0	0	2.110	0
GO1	0	0	0	0	0	0	0	0	2.538	0	2.538
GO2	0	0	0	0	0	0	0	0	2.538	0	2.538
MA	0	0	0	0	0	0	0	0	662	0	662
MG1	0	0	2.499	0	0	0	0	0	0	0	2.499
MG2	0	0	2.499	0	0	0	0	0	0	0	2.499
MS1	0	564	720	0	0	0	0	0	0	0	1.285
MS2	0	0	1.285	0	0	0	0	0	0	0	1.285
MT1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.643	0	1.643
MT2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.643	0	1.643
MT3	0	0	0	0	0	0	0	0	1.643	0	1.643
MT4	0	0	0	0	0	0	0	0	1.643	0	1.643
N1	0	0	0	0	0	0	0	0	644	0	644
ES/RJ	0	0	0	0	0	0	0	0	405	0	405
NE1 (CE, RN, PB)	0	0	182	0	0	0	0	0	0	0	182
NE2 (PE, AL, SE)	0	0	1.677	0	0	0	0	0	0	0	1.677
PR1	0	3.665	0	0	0	0	0	0	0	0	3.665
PR2	0	3.665	0	0	0	0	0	0	0	0	3.665
RS1	0	0	0	0	0	1.838	0	0	0	0	1.838
RS2	0	1.791	0	0	0	48	0	0	0	0	1.838
SC1	0	617	0	0	0	0	0	0	0	0	617
SC2	0	617	0	0	0	0	0	0	0	0	617
SP1	0	0	2.941	0	0	0	0	0	0	0	2.941
SP2	0	0	2.941	0	0	0	0	0	0	0	2.941
SP3	0	0	2.941	0	0	0	0	0	0	0	2.941
TO	0	0	0	0	0	0	0	0	169	0	169
Exportações	0	0	2.000	0	0	0	0	0	0	0	2.000
Total	-	10.918	19.684	-	-	1.886	-	-	15.638	-	48.126

Figura 23 – Volumes ótimos de distribuição do produto 2

Mercado	CD 1 (PR)	CD 4 (PR)	CD 3 (SP)	CD 5 (SP)	CD 6 (SP)	CD 2 (RS)	CD 7 (MG)	CD 8 (GO)	CD 9 (MT)	CD 10 (BA)	Total
	BA1	0	0	0	0	0	0	0	0	2.204	0
GO1	0	0	1.163	0	0	0	0	0	88	0	1.252
GO2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.252	0	1.252
MA	0	0	0	0	0	0	0	0	1.154	0	1.154
MG1	0	0	794	0	0	0	0	0	0	0	794
MG2	0	0	794	0	0	0	0	0	0	0	794
MS1	0	0	777	0	0	0	0	0	0	0	777
MS2	0	0	777	0	0	0	0	0	0	0	777
MT1	0	0	1.966	0	0	0	0	0	0	0	1.966
MT2	0	0	494	0	0	0	0	0	1.472	0	1.966
MT3	0	0	1.966	0	0	0	0	0	0	0	1.966
MT4	0	0	0	0	0	0	0	0	1.966	0	1.966
N1	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	78
ES/RJ	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	53
NE1 (CE, RN, PB)	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	21
NE2 (PE, AL, SE)	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	24
PR1	0	0	872	0	0	0	0	0	0	0	872
PR2	0	0	872	0	0	0	0	0	0	0	872
RS1	0	0	489	0	0	0	0	0	0	0	489
RS2	0	0	489	0	0	0	0	0	0	0	489
SC1	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	89
SC2	0	0	89	0	0	0	0	0	0	0	89
SP1	0	0	1.114	0	0	0	0	0	0	0	1.114
SP2	0	0	1.114	0	0	0	0	0	0	0	1.114
SP3	0	0	1.114	0	0	0	0	0	0	0	1.114
TO	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	59
Exportações	0	0	1.500	0	0	0	0	0	0	0	1.500
Total	-	-	16.518	-	-	-	-	-	8.327	-	24.844

Figura 24 – Volumes ótimos de distribuição do produto 3

	Mercado	CD 1 (PR)	CD 4 (PR)	CD 3 (SP)	CD 5 (SP)	CD 6 (SP)	CD 2 (RS)	CD 7 (MG)	CD 8 (GO)	CD 9 (MT)	CD 10 (BA)	Total
Produto 3	BA1	0	0	351	0	0	0	0	0	0	0	351
	GO1	0	0	385	0	0	0	0	0	0	0	385
	GO2	0	0	0	0	0	0	0	0	385	0	385
	MA	0	0	0	0	0	0	0	0	188	0	188
	MG1	0	0	205	0	0	0	0	0	0	0	205
	MG2	0	0	205	0	0	0	0	0	0	0	205
	MS1	0	0	240	0	0	0	0	0	0	0	240
	MS2	0	0	240	0	0	0	0	0	0	0	240
	MT1	0	0	214	0	0	0	0	0	0	0	214
	MT2	0	0	214	0	0	0	0	0	0	0	214
	MT3	0	0	214	0	0	0	0	0	0	0	214
	MT4	0	0	214	0	0	0	0	0	0	0	214
	N1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	ES/RJ	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13
	NE1 (CE, RN, PB)	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
	NE2 (PE, AL, SE)	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5
	PR1	0	0	284	0	0	0	0	0	0	0	284
	PR2	0	0	284	0	0	0	0	0	0	0	284
	RS1	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	151
	RS2	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0	151
	SC1	0	0	213	0	0	0	0	0	0	0	213
	SC2	0	0	213	0	0	0	0	0	0	0	213
	SP1	0	0	146	0	0	0	0	0	0	0	146
	SP2	0	0	146	0	0	0	0	0	0	0	146
	SP3	0	0	146	0	0	0	0	0	0	0	146
	TO	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0	27
	Exportações	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	-	-	4.225	-	-	-	-	-	614	-	4.839

Figura 25 – Volumes de distribuição de produtos de revenda

	Mercado	CD 1 (PR)	CD 4 (PR)	CD 3 (SP)	CD 5 (SP)	CD 6 (SP)	CD 2 (RS)	CD 7 (MG)	CD 8 (GO)	CD 9 (MT)	CD 10 (BA)	Total
Produto de revenda	BA1	0	0	357	0	0	0	0	0	0	0	357
	GO1	0	0	398	0	0	0	0	0	0	0	398
	GO2	0	0	0	0	0	0	0	0	398	0	398
	MA	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0	99
	MG1	0	0	516	0	0	0	0	0	0	0	516
	MG2	0	0	516	0	0	0	0	0	0	0	516
	MS1	0	0	311	0	0	0	0	0	0	0	311
	MS2	0	0	311	0	0	0	0	0	0	0	311
	MT1	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	440
	MT2	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	440
	MT3	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	440
	MT4	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	440
	N1	0	0	0	0	0	0	0	0	231	0	231
	ES/RJ	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	120
	NE1 (CE, RN, PB)	0	0	128	0	0	0	0	0	0	0	128
	NE2 (PE, AL, SE)	0	0	1.108	0	0	0	0	0	0	0	1.108
	PR1	0	0	334	0	0	0	0	0	0	0	334
	PR2	0	0	334	0	0	0	0	0	0	0	334
	RS1	0	0	74	0	0	0	0	0	0	0	74
	RS2	0	0	74	0	0	0	0	0	0	0	74
	SC1	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	26
	SC2	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	26
	SP1	0	0	1.100	0	0	0	0	0	0	0	1.100
	SP2	0	0	1.100	0	0	0	0	0	0	0	1.100
	SP3	0	0	1.100	0	0	0	0	0	0	0	1.100
	TO	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0	99
	Exportações	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	-	-	9.573	-	-	-	-	-	946	-	10.519

Para cada empresa, foram rodados vários cenários e, para cada um deles, a função objetivo e/ou restrições eram alteradas de acordo com as premissas adotadas e a solicitação das empresas. Na maioria dos casos, a restrição usada era a de não geração de novos créditos podres. Em outros casos, o fator ICMS era desconsiderado e, portanto, a otimização era rodada considerando apenas a minimização dos custos. Cenários alterando-se a localização dos CDs principais e/ou secundários também eram frequentes. Na figura 26 são apresentados os resultados comparativos de diversos cenários calculados pelo modelo matemático em uma das empresas objeto dos estudos.

Figura 26 – Exemplo de resultados gerados pelo modelo (cenários para decisão)

Valores em KR\$

Cenários	ICMS na venda	ICMS a ser pago	Crédito "Podre" gerado	Redução Crédito podre	Crédito ICMS perdido	Carrying Cost	Frete do fornecedor	Transferência p/ CDs + Handling	Distribuição + Handling nos CDs	Armazenagem nos CDs	Custo Fixo CDs	No. CDs Distr.	Custo Total	Cash Outflow total	Savings	Cashflow improvement	Savings (%)	Cashflow improvement (%)
1 CDs atuais - Forecast de 2010 usado para o bidding 2010	17.788	20.020	12.982	-7.105	4.030	3.552	10.198	3.219	17.338	2.500	390	5	37.676	77.783	0	0	-	-
2 CDs atuais com restrição de crédito podre de ICMS	40.923	24.026	0	16.876	0	3.552	8.514	34	26.340	2.419	287	4	37.593	44.743	83	33.040	0,2%	42,5%
3 CDs em aberto com restrição de crédito podre de ICMS	41.782	18.751	0	21.756	0	3.552	8.230	3.726	28.046	2.414	342	6	42.758	39.753	-5.082	38.030	-13,5%	48,9%
4 Minimização de custos sem preocupações com ICMS	30.001	24.519	49	2.417	0	3.552	7.525	617	17.681	2.505	239	4	28.566	50.717	9.110	27.066	24,2%	34,8%
5 CDs em aberto s/ restrição de crédito e ICMS na venda mínimo	5.480	19.165	29.530	0	6.518	3.552	9.147	6.521	14.159	2.466	420	7	39.231	87.926	-1.555	-10.143	-4,1%	-13,0%
6 Utilização de apenas um CD	40.121	28.535	0	0	0	3.552	8.492	0	19.110	2.518	108	1	30.228	58.763	7.448	19.020	19,8%	24,5%

Fonte: Resultados da pesquisa