

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI**  
**ANDRÉ LUIZ DE MELLO**

**PROJETO DE REDES DE SUPRIMENTO**  
**COM ESTOQUES E IMPOSTOS: um estudo de caso**

São Bernardo do Campo

2016

André Luiz de Mello

**PROJETO DE REDES DE SUPRIMENTO  
COM ESTOQUES E IMPOSTOS: um estudo de caso**

Dissertação apresentada ao Centro  
Universitário FEI como parte dos requisitos  
necessários para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Mecânica. Orientado pelo Prof.  
Dr. Mauro Sampaio.

São Bernardo do Campo

2016

Mello, André Luiz de .  
Projeto de redes de suprimento com estoques e impostos: um estudo de caso /  
André Luiz de Mello. São  
Bernardo do Campo, 2016.  
77 p. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.  
Orientador: Prof. Dr. Mauro Sampaio.

1. Projeto de Redes de Suprimentos. 2. Otimização. 3. Imposto ICMS.  
I. Sampaio, Mauro , orient. II. Título.



# APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO ATA DA BANCA EXAMINADORA

Mestrado

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Mecânica

PGM-10

Aluno: André Luiz de Mello

Matrícula: 213301-5

Título do Trabalho: Projeto de redes de suprimento com estoques e impostos: um estudo de caso.

Área de Concentração: Produção

Orientador: Prof. Dr. Mauro Sampalo

Data da realização da defesa: 30/05/2016

**ORIGINAL ASSINADA**

Avaliação da Banca Examinadora:

---

---

---

---

---

---

---

São Bernardo do Campo, 30 / 05 / 2016 .

## MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mauro Sampalo Ass.: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Alexandre Augusto Mascote Ass.: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Jorge Luiz de Blazzi Ass.: \_\_\_\_\_

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO

REPROVADO

### VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUIDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco

À minha mãe, que se emocionou quando juntei  
as primeiras palavras e me inspira até hoje.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa, que me apoiou neste projeto pessoal e que deu suporte nos momentos importantes da evolução desta minha dissertação.

Ao meu orientador, Dr. Mauro Sampaio, por seus direcionamentos e suporte no desenvolvimento da minha pesquisa.

Aos Professores Dr. Alexandre A. Massote e Dr. Jorge L. de Biazzi, por suas contribuições na banca examinadora.

Agradeço aos professores do Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica do Centro Universitário da FEI, da área de concentração em Produção, que ministraram as aulas que pavimentaram o caminho do conhecimento para a minha pesquisa.

Aos meus professores da graduação, que muito gentilmente encaminharam suas cartas de recomendação para que eu pudesse ingressar no mestrado.

Ao poeta, escritor e pacifista Dr. Daisaku Ikeda, que tem publicado e divulgado a Educação Soka, ou seja, uma educação para criação de valores, e que me inspirou a persistir neste projeto.

À Coordenadoria Educacional da BSGI, que me inspira com seus constantes incentivos para ser feliz enquanto aprende.

“Se você acender uma lamparina para alguém, também iluminará o seu próprio caminho.”

Nichiren Daishonin

## RESUMO

O tema projeto de rede é relevante em Gestão de Redes de Suprimentos. Esta pesquisa desenvolveu um modelo de programação linear mista para um projeto de rede de suprimento multiproduto que considera os seguintes custos: estoques (cíclico e segurança), transporte, custos fixos e variáveis de armazenagem e o imposto ICMS sobre produtos importados. O modelo também considera os níveis de serviço, a variabilidade da demanda e *lead-time* de transporte de cada classe ABC de produto. O modelo foi aplicado em um grande distribuidor de produtos farmacêuticos que atende todo mercado nacional. Esta rede logística é composta por locais de nacionalização dos produtos importados, de Centros de Distribuição e de clientes distribuidores. As análises dos cenários avaliaram o impacto dos impostos sobre circulação de mercadorias (ICMS) nos custos logísticos totais. Os resultados confirmam que os impostos são importantes direcionadores na modelagem de rede de distribuição. Este modelo contribui para a literatura com um modelo que amplia a pesquisa sobre ICMS desenvolvida anteriormente ao abordar produtos importados.

Palavras-chave: Projeto de Redes de Suprimentos. Otimização. Imposto ICMS.

## **ABSTRACT**

The Supply Chain Network Design is relevant for the Supply Chain Management. This research designed a Mixed Linear Program model for a multiproduct Supply Chain Network Design and took into account the following costs: Safety and cyclical stock, transportation, fixed warehouse and the ICMS tax applied on imported products. The model took into account the service level, the demand variability and transportation lead-time of each ABC product class. The model was applied on a problem that represents a large pharmaceutical company who delivery in all Brazil market. This Supply Chain Network Design was built by nacionalization locations, warehouses and distributors. The sensibility analisys evaluated the impact of ICMS over the total logistic costs. The results confirm the importance of taxes as an importat driver when modelling the Supply Chain Network Design. The paper bring a contribution for academics presenting a model that amplify the coverage of the theme ICMS, due to the application over imported products.

**Keywords:** Supply Chain Network Design. Optimization. ICMS Tax.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Custos Totais de uma rede de Suprimentos .....	21
Figura 2: Fatores ICMS .....	34
Figura 3: Ilustração Projeto de Redes.....	38
Figura 4: Curva ABC.....	51
Figura 5: Mapa Cenário 1 .....	57
Figura 6: Mapa - Cenário 14.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Modelos de localização que consideram estoque.....	24
Tabela 2 - Lista de modelos que consideram ICMS.....	28
Tabela 3 - Aplicação ICMS importado mesmo estado.....	31
Tabela 4 - Aplicação ICMS sobre produto importado interestadual após R13 .....	31
Tabela 5 - Impacto da Resolução 13 interestadual de produto importado .....	33
Tabela 6 - Variações e nível de serviço ao cliente .....	44
Tabela 7 - Cenários de Análise.....	45
Tabela 8 - Fator $I_{hs}$ - consideração de estoque aplicado ao modelo (R\$/ano).....	48
Tabela 9 - Possíveis locais de distribuição .....	48
Tabela 10 - Custos de frete para entrega (R\$/unidade) .....	50
Tabela 11 - Custos de frete de abastecimento (R\$/unidade) .....	51
Tabela 12 - Custos por classe ABC (R\$).....	52
Tabela 13 - Demanda por estado (unidades) .....	53
Tabela 14 - Resultado dos cenários .....	55
Tabela 15 - Cenário 1 Nacionalização.....	57
Tabela 16 - Cenário 1 Mercados atendidos .....	58
Tabela 17 - Cenário 14 Nacionalização.....	59
Tabela 18- Cenário de 14 mercados atendidos .....	60

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	INTRODUÇÃO AO CAMPO DE CONHECIMENTO .....	12
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA.....	15
1.4	OBJETIVO DE PESQUISA .....	16
1.5	JUSTIFICATIVA.....	16
1.6	METODOLOGIA .....	16
1.7	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
2.1	A IMPORTÂNCIA DA DECISÃO DA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	19
2.2	OS CUSTOS TOTAIS .....	21
<b>2.2.1</b>	<b>A Importância da Decisão de Alocação dos Estoques</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Modelos de gestão de estoques</b> .....	<b>23</b>
2.3	O TRADE-OFF ENTRE LOGÍSTICA E ICMS.....	27
<b>2.3.1</b>	<b>O ICMS de produtos importados após resolução 13</b> .....	<b>30</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Incentivos fiscais</b> .....	<b>34</b>
<b>2.3.4</b>	<b>A guerra fiscal entre os portos</b> .....	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>O MODELO PROPOSTO</b> .....	<b>37</b>
3.1	ELEMENTOS DO MODELO .....	38
3.2	OS CENÁRIOS DO MODELO E SUA CONTRIBUIÇÃO .....	43
<b>4</b>	<b>OS DADOS</b> .....	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>A ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>64</b>
	<b>APÊNDICE A: TABELA DE ICMS ENTRE ESTADOS</b> .....	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE B: PROGRAMA COMPUTACIONAL</b> .....	<b>73</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O projeto e planejamento de redes de suprimentos pode ser um importante suporte para as empresas buscarem os altos níveis de competitividade. Diante da complexidade da logística no atendimento das necessidades dos clientes, deve-se levar em conta as variáveis de custos de transporte, os estoques, os níveis de serviço e, no Brasil, a consideração do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços de Transporte Interestaduais, Intermunicipais ou de Telecomunicações (ICMS) tem sido reconhecida como relevante no projeto de redes (FRIAS et al, 2014). O Brasil é considerado o campeão de impostos sobre medicamentos; sua carga tributária é de cerca de 34% e o ICMS se apresenta como o tributo que mais o encarece (NASCIMENTO ; ANDRADE,2015). Os importadores da indústria de medicamentos têm de distribuir seus produtos em todo o território nacional e, no momento de decidir onde localizar suas instalações, deveria ser levado em conta o projeto de rede de suprimentos sem que os impostos sejam negligenciados.

Este capítulo apresenta uma abordagem sobre otimização do projeto de redes e sua aplicação na decisão de localização de instalações, a importância de considerar os custos de transporte, estoques e impostos. Na sequência, apresenta o problema de pesquisa, a questão de pesquisa, seu objetivo e a justificativa para o trabalho aqui desenvolvido. A metodologia utilizada é apresentada e por fim a estrutura da dissertação.

## 1.1 INTRODUÇÃO AO CAMPO DE CONHECIMENTO

Os gestores de logística, com frequência, têm como missão definir o local das instalações de modo a agregar valor aos seus produtos à medida que eles trafegam desde sua origem até chegar a clientes geograficamente dispersos. Os produtos devem ser entregues nas quantidades corretas, nas especificações certas, no tempo definido e a um custo competitivo (SHAPIRO, 2006). Diante da competição crescente, as empresas enfrentam o desafio contínuo de reconfigurar seus sistemas logísticos e suas estratégias para reduzir custos e melhorar os níveis de serviço aos clientes (RAMEZANI, 2013). Os modelos de otimização têm se desenvolvido ao longo dos anos como uma ferramenta muito eficiente na definição da rede que minimiza os custos logísticos totais.

O modelo de otimização no projeto de redes de suprimentos tem ajudado a analisar holisticamente decisões estratégicas sob diferentes cenários e tem provado ser eficiente para muitas empresas ao representar os problemas reais. As variáveis tradicionalmente

consideradas nesses modelos são custos de estoques, transporte, custos fixos e variáveis de armazenagem e produção. Além desses, os impostos têm se mostrado relevantes em vários cenários e estudos no Brasil (YOSHIZAKI, 2002; FRIAS et al, 2014). Diversas variáveis independentes são dados de entradas para um modelo de otimização que analisa o problema procurando uma solução ótima, no sentido matemático. Ao final do processo, são apresentados os resultados que devem ser interpretados de modo gerencial para servir de informação de suporte para tomada de decisão (DASKIN, 2011). O importante neste processo é permitir ao gestor considerar as variáveis que influenciam o desempenho financeiro da rede de suprimentos e decidir onde localizar suas instalações de modo a conseguir fazer sua operação logística com o menor custo.

Os custos de estoques são importantes no modelo de projetos de redes, porque este é um dos maiores custos de uma rede logística. Historicamente, os custos de estoque foram introduzidos junto com os custos de transporte após a evolução dos recursos computacionais. A sua inclusão era dificultada pela incompatibilidade entre os modelos de otimização para projetos de rede e modelos probabilísticos usados para planejamento de estoques (SHAPIRO, 2006). Os modelos foram evoluindo de modo a incorporar os custos dos estoques na otimização dos custos totais, sendo que alguns modelos consideram a centralização de estoques simplificada, ao passo que outros incorporaram as centralizações dos estoques de modo complexo (MONTEBELLER JUNIOR, 2009). Foi escolhido o modelo de centralização simplificado pelo fato de ser perfeitamente compatível com a representação do problema estudado e permitir modelar os estoques em classes de produto, ou seja, agrupar certas classes de mercadorias e tomar as decisões estratégicas, levando em conta também esse agrupamento (CROXTON; ZINN, 2005).

O ICMS influencia os custos totais da rede logística por meio do chamado “turismo fiscal”, seja pela sonegação (Yoshizaki et al., 2012), seja pelos incentivos fiscais, como o crédito presumido (SILVA, 2007) ou incentivo de longo prazo (MALUF JUNIOR, 2015). Desta forma, a localização de um centro de distribuição num estado diferente daquele em que o produto será consumido pode ter incentivo de ICMS suficiente para compensar o aumento dos custos de transporte (FRIAS et al., 2014).

No caso dos produtos importados, há a chamada “guerra fiscal entre portos”, em que alguns estados oferecem incentivo financeiro para empresas nacionalizarem em seu território. Para reduzir essa “guerra”, o governo federal promulgou uma lei em 2013 com uma nova alíquota de ICMS interestadual para produtos importados. Assim, a tabela de aplicação de ICMS interestadual, que se restringia entre 7% e 12%, passou a ter a aplicação de mais uma

alíquota de 4% para produtos importados em todo o território nacional (DE SOUZA; ÁVILA, 2015). O ICMS é um elemento do projeto de redes de suprimentos que tem impacto financeiro nas empresas e não é negligenciado neste modelo.

A indústria farmacêutica tem uma carga tributária alta em relação a outros tipos de produtos (NASCIMENTO; ANDRADE, 2015). Aumentar a competitividade quando há alto nível de importação de produtos e componentes é um dos desafios dos profissionais da cadeia de suprimentos destas empresas. Embora não seja possível reduzir o impacto dos impostos para o cliente final, aumentar a competitividade pode ajudar a reduzir os custos na rede de suprimentos e aumentar a disponibilidade. Consequentemente, pode vir a trazer benefícios para a empresa e para o consumidor.

Este trabalho visa a preencher uma lacuna e contribuir com os estudos acadêmicos dos modelos de otimização de custos totais, considerando a aplicação da nova alíquota interestadual de ICMS sobre produtos importados em um modelo de otimização de redes de suprimentos. Para validar sua efetividade, o modelo foi aplicado e seus resultados discutidos de forma a demonstrar sua eficácia. O presente trabalho quer contribuir com a sociedade ao otimizar redes de distribuição logística considerando as variáveis aqui apresentadas; caso contrário, seriam sub-ótimas. O trabalho também pode ser usado como referência para aqueles que têm interesse em entender a ordem de grandeza dos impactos dos impostos no projeto de redes de produtos importados.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Ao longo das últimas décadas, os modelos de otimização foram elaborados para encontrar o custo “ótimo” dentro de um projeto de redes de suprimentos, contribuindo assim para a solução de problemas de localização das instalações nas organizações. Com maior frequência, a função objetivo das otimizações é a minimização dos custos logísticos totais (RAMEZANI, 2013). Os principais componentes desses custos totais são os custos de transporte, de estoque, o custo de manter as instalações e, no caso brasileiro, os custos relacionados com o ICMS.

O problema de uma empresa farmacêutica é localizar suas instalações de forma que possa distribuir seus produtos em todo o território brasileiro, uma vez que a demanda dos clientes deve ser atendida com um nível de serviço adequado para não perder mercado e, ao mesmo tempo, reduzir seus custos totais de forma a se manter competitiva. A empresa que comercializa produtos importados, tendo opção de executar o processo de nacionalização em

vários estados brasileiros, leva em conta que se definir um número de CD's maior do que o necessário pode aumentar seus custos de estoque. E caso se localize muito longe de seus principais mercados consumidores, pode vir a ter maiores custos de transporte. A importância do dimensionamento de estoques deste caso é relevante; então, decidiu-se elaborar um modelo de otimização de redes que considere os dados relevantes do estoque de forma agregada.

O modelo desenvolvido por Croxton e Zinn (2005) apresentou-se adequado para o caso. Esse modelo considera os custos de estoque de segurança de forma agregada, utilizando a regra da raiz quadrada (MAISTER, 1976; ZINN; LEVY; BOWERSOX, 1989). Para os referidos autores, as variações de demanda dos produtos são tratadas em suas classes ABC de produtos e dimensionam os estoques que atendem cada classe. Por exemplo, pode haver cenários em que a variação de demanda dos itens C é tão significativa que justifica ter instalações diferentes para itens classe A e B, cuja incerteza de demanda é menor.

Além de considerar os estoques, o modelo precisa estar preparado para considerar o denominado “turismo fiscal”, que é fruto do *trade-off* entre o ICMS e os custos da rede, principalmente o custo de transporte (YOSHIZAKI, 2002; FRIAS et al, 2014; WANKE et al, 2009). No caso de produtos importados, os impactos dos incentivos fiscais é chamado de “guerra fiscal entre os portos”. Para reduzir seus impactos, no início de 2013 entrou em vigor uma resolução do Senado Federal Brasileiro estabelecendo uma alíquota de 4% no ICMS de todas as operações interestaduais realizadas com produtos importados ou com conteúdo de importação superior a 40% (DE SOUZA; ÁVILA, 2015). Esta resolução visa reduzir os incentivos fiscais, porém não significa redução de impostos para os clientes finais.

O presente trabalho foi desenvolvido para solucionar a falta de uma abordagem na literatura que tenha considerado o ICMS interestadual de 4% para produtos importados, os custos relativos a estoque de segurança, os custos de transporte e a análise agregada em cada classe ABC de produto e também para contribuir com a literatura ao apresentar um modelo cujas variáveis são relevantes para os custos totais de um projeto de redes de suprimentos do problema estudado.

### 1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

O desenvolvimento do trabalho baseia-se na seguinte questão: Qual impacto da inclusão do imposto ICMS num modelo de redes de suprimentos para produtos importados que considere as seguintes variáveis: estoques de segurança, custos de armazenagem, custos de transportes, ICMS, nível de serviço, incerteza de demanda, valor de compra, preço do

produto e classificação ABC do estoque?

#### 1.4 OBJETIVO DE PESQUISA

O objetivo desta pesquisa é avaliar o impacto da inclusão do imposto ICMS sobre produtos importados por meio de um modelo de Otimização Linear Inteira Mista.

#### 1.5 JUSTIFICATIVA

A consideração do ICMS nas decisões relativas ao projeto de redes de suprimentos proporciona resultados mais adequados para os gestores que avaliem sua logística no território nacional. O impacto do ICMS pode ser pelo efeito da sonegação, por meio dos incentivos fiscais, ou pelo *trade-off* entre ICMS de custo de transporte.

A aplicação do ICMS sobre produtos importados é diferente daquela aplicada aos produtos nacionais, portanto é necessário considerar a cobrança de 4% de ICMS sobre transações interestaduais dos produtos importados.

Os produtos farmacêuticos tem uma alíquota de impostos maior do que 30%, este nível de impostos é maior do que outros setores comercializados no mercado nacional, então a análise do impacto do ICMS sobre o projeto de redes tem impacto diferente daquele projeto de redes em outros setores.

Este modelo é útil para gestores que, no nível estratégico, precisam decidir onde instalar os centros de distribuição de uma rede de suprimentos de produtos farmacêuticos importados com o objetivo de minimizar os custos logísticos totais.

Este modelo contribui para acadêmicos ao adicionar os efeitos do imposto ICMS ao modelo de Croxton e Zinn (2005) e aplicá-lo numa rede de produtos importados.

Este estudo é útil no processo de ensino-aprendizagem ao ilustrar os impactos dos impostos em redes de suprimentos nacionais sobre produtos importados, visto que hoje o correto entendimento dos efeitos dos impostos ainda é complexo.

#### 1.6 METODOLOGIA

Este é um trabalho quantitativo realizado por meio da construção de um modelo que represente o caso estudado. Este modelo representou o caso encontrado na empresa que está analisando sua rede de suprimentos de produtos importados. O modelo escolhido foi um

modelo de otimização de Programação Linear Inteira Mista, pois este modelo se enquadra melhor nos pressupostos e condições de contorno do *case* em estudo.

Para atingir o objetivo proposto, foi desenvolvido um modelo de otimização da rede de suprimentos de produtos importados incorporando as seguintes variáveis: impostos, custos de estoques (ciclo e segurança), custos fixos de instalações, custos de transporte, bem como, os coeficientes de variação de demanda e os níveis de serviço para cada classe ABC de estoque. A referência para desenvolvimento deste trabalho foi o modelo desenvolvido por Croxton e Zinn em 2005.

As etapas para o desenvolvimento do modelo foi descobrado em:

- a) Desenvolver um modelo de projeto de redes para minimizar os custos logísticos totais;
- b) Ilustrar a aplicação deste modelo com dados coletados em uma rede de suprimentos de produtos importados;
- c) Avaliar o impacto da inclusão de impostos no projeto de redes em diferentes cenários.

Foi elaborado um modelo de otimização para representar o problema estudado. O software IBM CPLEX 12.6.2 é utilizado para resolver o modelo com a Programação Linear Inteira Mista. Os dados foram armazenados em software Microsoft Excell e serviu de base de entrada de dados para os arquivos padrão mps na solução do modelo em CPLEX. Utilizou-se um computador com processador Intel I5, de 3.2 GHz de velocidade e 6Mb de memória com sistema operacional Windows 8.1 para rodar o programa. O modelo tem aproximadamente 1600 variáveis e 1700 restrições. Vários cenários foram criados para análise de sensibilidade do modelo proposto. Os dados de saída do modelo com impostos e sem impostos foram comparados e as conclusões a respeito destes resultados foram apresentadas.

## 1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em introdução ao campo do conhecimento, incluída neste capítulo. Nos capítulos 1 e 2, são apresentados a revisão da literatura, abordando as localizações de instalações, a evolução dos modelos que consideram estoques e os modelos que consideram impostos no Brasil, a guerra fiscal entre os portos, bem como o novo cenário após a introdução da alíquota interestadual de 4%. No capítulo 3, é apresentado o modelo proposto, suas premissas, a construção dos cenários que foram simulados e os dados utilizados para a construção do primeiro cenário. No capítulo 4, são apresentados os

resultados obtidos com a aplicação do modelo nos cenários analisados. E, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, são descritas a importância da decisão de localização das instalações num projeto de redes logísticas e como os modelos de otimização são utilizados na solução de projetos de redes. Devido à sua importância, inseriu-se um capítulo específico que descreve a alocação dos estoques no projeto de redes e os trabalhos desenvolvidos no Brasil que consideram o ICMS em seu modelo de otimização e, em seguida, é apresentado o ICMS interestadual para produto importado. Para melhor entendimento, há um tópico sobre incentivos fiscais e a guerra fiscal entre os portos.

### 2.1 A IMPORTÂNCIA DA DECISÃO DA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

O projeto de redes de suprimentos, quando aplicado ao planejamento estratégico logístico das empresas, implica em decidir a dimensão e localização das instalações para obter uma redução de custos totais. Assim, é fundamental tomar boas decisões, pois a rede de suprimentos impacta no gerenciamento de transportes e no nível de estoques na rede (BALLOU, 2003), além dos impactos operacionais. Uma empresa decide localizar plantas produtivas, centros de distribuição, locais de atendimento direto ao cliente e, caso o local seja inapropriado, levará ao aumento dos custos e à diminuição da competitividade (DASKIN, 2011). A mudança na configuração das instalações de uma cadeia de suprimentos pode levar a reduções de custo que variam de 5 a 15%, mantendo-se o nível de serviço ou até mesmo melhorando-o (BALLOU, 2001).

Os projetos de rede de suprimentos são problemas complexos, tanto no nível estratégico quanto no nível tático, e muito frequentemente com ampla base de dado. As variáveis dos problemas influenciam-se mutuamente e o número de alternativas a serem analisadas é muito grande, mesmo para problemas de pequeno porte (LACERDA et.al, 2000). Para esses tipos de problema, são recomendados modelos de Programação Linear Inteira (PLI), não linear (PNLI) ou mista (PLIM), dependendo da complexidade do problema. Num projeto de redes, a palavra “ótimo” é usada no sentido matemático, isto é, serão definidos objetivos quantificáveis com variáveis que influenciam a localização das instalações e, a partir deste ponto, serão definidos algoritmos que representem as restrições deste modelo e influenciam as localizações ótimas, ou ao menos os locais mais próximos do ótimo.

Os custos de transporte representam um dos custos mais relevantes da rede, bem como os estoques, e fazer um balanço entre eles sempre foi tema de projetos de redes. Quanto mais

rápido e confiável, mais caro é o modal de transporte. Em contrapartida, a velocidade e confiabilidade reduzem custos de estoque e, além disso, os modais mais lentos tendem a exigir lotes mínimos de transportes maiores, aumentando assim os estoques nestes locais. Quanto maior a disponibilidade de material, e conseqüentemente maior o nível de serviço, maior o custo de manutenção de estoques. Em compensação, reduz-se o custo de oportunidade associado à falta do material, tal como perda de vendas. Quanto maior o número de depósitos, maior o nível de serviço ao cliente, medido pela rapidez de entrega e disponibilidade de produtos, bem como menores são os custos de transporte para entrega. Entretanto, elevam-se os custos de armazenagem e de estoques, visto que o maior número de locais de estoques leva a um maior nível de estoque de segurança e, a partir de certo ponto, os custos de transporte não se reduzem mais. Balancear transporte e estoque talvez seja o conflito mais comum em Logística (FRIAS et al, 2014).

A aplicação do projeto de redes para localizar uma instalação no Brasil não pode deixar de tratar o ICMS dentro do projeto de redes. Nos modelos apresentados, é comum considerar os impostos como parte do custo total da rede (FRIAS et al, 2014), quer seja por incentivos fiscais nos diferentes estados da federação (SILVA, 2007; HAMAD; GUALDA 2014), quer seja pelo fato de sempre existir a possibilidade de sonegação (YOSHIZAKI, 2002), ou ainda por mudanças na legislação que afetam a decisão de localizar uma instalação para auferir vantagens fiscais (YOSHIZAKI; HINO; ROSIN, 2008).

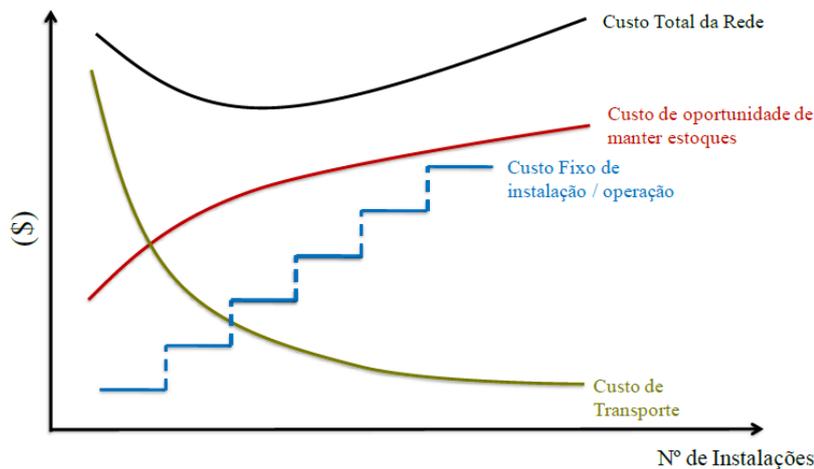
Os projetos de rede logística se propõem, então, a responder especificamente perguntas do tipo: Quantas instalações são necessárias? Onde localizar essas instalações? Quais produtos e mercados alocar a cada instalação? Qual nível de estoque, de ciclo e de segurança deve ser mantido em cada instalação? Quais clientes, mercados ou outras instalações servir a partir de cada instalação selecionada? Que modalidade de transporte utilizar para suprimento ou distribuição? Este tipo de decisão depende da análise de diversos fatores concomitantemente (WANKE; ZINN, 2004).

O desejo de definir o ponto ótimo para localizar as instalações levando em conta diferentes variáveis motivou a constante evolução dos modelos de otimização dentro do projeto de redes. Este trabalho pretende contribuir com a literatura ao agregar a variável ICMS de produto importado ao modelo de localização de produtos e otimizar os custos totais da rede de suprimentos.

## 2.2 OS CUSTOS TOTAIS

O conceito do custo total é central no escopo do projeto de rede de suprimentos, em que normalmente o objetivo é minimizar a soma dos custos de transporte, dos custos fixos de armazenagem, dos custos de manutenção dos estoques e dos impostos, entre outros, submetidos às restrições de capacidades e de demanda (ZHANG et al, 2014). A figura 1 exemplifica a curva de custo total da rede, que representa a soma de todos os custos considerados no projeto de redes. O ponto mínimo da curva de custo logístico total define o número de instalações ótima de um projeto de rede.

Figura 1 - Custos Totais de uma rede de Suprimentos



Fonte: O Autor, “adaptado de” Frias (2011)

O modelo de otimização considera a somatória de todos os custos da rede de suprimentos ao mesmo tempo até encontrar a configuração da rede que representa o mínimo da curva total. Há vantagens na otimização do custo total em detrimento da análise dos fatores. Um dos principais motivos é o fato de que analisar as curvas de custos dos componentes separadamente não leva ao ótimo total da rede. O modelo de otimização implicitamente avalia cada opção do projeto no que diz respeito aos custos e benefícios de operar a rede de suprimentos naquela opção até determinar o projeto ótimo, ou próximo do ótimo (SHAPIRO; WAGNER, 2009).

O gestor pode utilizar diferentes cenários para melhor entendimento e comparar com a sua experiência de forma a poder validar os resultados do modelo, ou projetar situação em períodos futuros. Uma das formas de tratar uma grande quantidade de dados é a agregação

dos produtos com características similares e classificá-los na mesma família de produtos, se fizer sentido ao gestor que está realizando a análise. De forma semelhante, pode-se agregar clientes e fornecedores.

### **2.2.1 A Importância da Decisão de Alocação dos Estoques**

Inicialmente, os modelos de otimização de projeto de redes consideravam somente os custos de transporte e, à medida que os trabalhos foram evoluindo, o custo de manter o estoque foi sendo agregado aos modelos (BALLOU, 2001). Quando um projeto de redes considera os estoques integrados ao modelo, o nível de centralização dos locais de armazenagem de produtos na rede é avaliado em conjunto com as outras variáveis. O resultado do modelo determina a quantidade de produtos que devem ser mantidos em cada instalação e o conjunto de mercados que serão atendidos a partir dessa instalação (FRIAS; FARIA; WANKE, 2014).

Espera-se que uma rede muito descentralizada (mais armazéns) apresente um custo total de manutenção de estoques maior do que uma rede centralizada (menos armazéns). Este é o principal argumento para justificar a inclusão dos custos de estoques de segurança como um componente da função objetivo. A discussão na literatura sobre a inclusão dos estoques de segurança nos modelos de localização de armazéns é justificada, pois a política de estoques não pode ser negligenciada nas decisões estratégicas de localização de armazéns (MIRANDA; GARRIDO, 2004).

A consideração dos estoques no modelo de otimização afeta a decisão de quais famílias de produtos devem ser mantidos e em que volume alocar o estoque nos locais definidos. Antes de os custos de estoques terem sido incorporados aos modelos de projeto de redes, as aproximações analíticas tinham foco nas decisões de planejamento de estoque no longo prazo, sem considerar os fatores do projeto de redes. Sendo assim, as soluções eram diferentes da solução ótima. Desta forma, ao incorporar os estoques à função custo total, o projeto de redes realiza um balanço entre nível de serviço e custos da rede de suprimentos (SHAPIRO; WAGNER, 2009).

Em suma, a consideração dos estoques no projeto de redes enriquece a análise e leva a um resultado mais próximo do ótimo, motivo pelo qual este trabalho considerou os estoques em seu modelo.

### 2.2.1 Modelos de gestão de estoques

Muitos modelos de gestão de estoques têm objetivos de atender a restrição de demanda e/ou antecipar ou postergar a movimentação da quantidade de produtos numa rede de distribuição (WANKE, 2008). As considerações dos estoques de segurança nos modelos foram se desenvolvendo independentemente dos modelos de transporte devido às suas características não lineares, o que significa que o volume de estoque varia de forma não linear em relação ao número de instalações (MONTEBELLER JUNIOR, 2009). Os modelos mais antigos definiam a estrutura da rede sem considerar o componente estoque de segurança e somente depois os custos de manutenção de estoques eram analisados. A reconhecida importância de se considerar os estoques e transportes levou ao desenvolvimento de técnicas de linearização dos estoques para simplificar sua aplicação nos modelos de otimização que considerem estoque e transporte na mesma equação (CROXTON; ZINN, 2005).

Os modelos de localização de instalações foram classificados por Montebeller Junior (2009) em modelos que desconsideram estoques, modelos que consideram custos de manutenção de estoques de forma simplificada e modelos que consideram os efeitos de centralização de estoques. Uma adaptação da classificação apresentada está na tabela 1, a partir da década de 1990.

Tyagi e Das (1998) desenvolveram uma formulação para a centralização dos estoques de segurança em um número  $m$  qualquer de armazéns centralizados, onde  $m < n$  e  $n$  é o número total de armazéns na rede, de modo a maximizar as economias com estoques. As variâncias das demandas dos consumidores são diferentes entre si. As demandas alocadas aos armazéns centralizados eram independentes e os *lead-times* e valores de estoque de segurança eram conhecidos e iguais para todos os armazéns.

Tabela 1: Modelos de localização que consideram estoque

Autores	Modelos localização de instalações que desconsideram custos de manutenção de estoques	Modelos de localização que consideram custos de manutenção de estoques simplificados	Modelos de localização de instalações que consideram centralização de estoques
Tyagi e Das (1998)			✓
Owen e Daskin (1998)	✓		
Jayaraman (1998)		✓	
Das e Tyagi (1999)			✓
Martos e Yoshizaki (1999)		✓	
Nozick e Turnquist (2001)	✓		
Jayaraman e Pirkul (2001)		✓	
Miranda e Garrido (2004)	✓		
Croxton e Zinn (2005)			✓
Ambrósio e Scutellà (2005)		✓	
Davariz (2006)		✓	
Montebeller Jr. (2009)			✓

Fonte: O Autor, “adaptado de” MONTEBELLER JUNIOR, 2009

Owen e Daskin (1998) mostraram problemas que incorporam outros aspectos de custo da rede, tornando-se mais próximos da realidade. São problemas de localização de instalações com custo fixo e sem considerações de capacidade, conhecidos na literatura como *fixed charge facility location problems*. Busca-se neste método o número de instalações que minimizem o custo total da rede, composto pelos custos fixos de construção e operação das instalações e pelos custos de transporte. Fazendo-se uma pequena modificação neste modelo, por meio da adição das capacidades das instalações e da restrição de que a demanda total atribuída a uma instalação não ultrapasse sua capacidade, obtém-se os problemas de localização de instalações com custo fixo e capacidade.

Jayaraman (1998) propôs o modelo (Facility Location, Inventory, Transportation e Network) FLITNET classificado como um modelo de programação linear inteira mista.

Das e Tyagi (1999) criaram um modelo que maximiza o efeito portfólio com a minimização do estoque de segurança com a centralização do estoque.

Jayaraman e Pirkul (2001) estendem o modelo de Jayaraman (1998) para uma rede logística, composta pela produção e pelos locais de armazenagem, o que inclui múltiplos tipos de produto.

Ambrósio e Grazia Scutellà (2005) propuseram um modelo que também considerou custos de transporte e de custos de manter o Centros de Distribuição (CD's) e decisões de estoque. A rede logística é composta de quatro níveis deferentes:

- a) nível 1: uma fábrica com capacidade ilimitada que é responsável pelo fornecimento e as conexões subsequentes constituídas por um armazém central;
- b) nível 2: um grupo de potenciais armazéns centrais responsáveis pelo fornecimento dos próximos dois níveis, os armazéns regionais, ou pontos de trânsito, e os nós de demanda dos clientes;
- c) nível 3: grupo de armazéns regionais e pontos de trânsito que entregam os produtos aos clientes;
- d) nível 4: todos os nós de demanda dos clientes. A formulação estende o modelo anterior para o problema de roteirização.

Croxton e Zinn (2005) elaboraram um modelo de localização em que há os custos fixos de operação das instalações e os custos de transporte; neste modelo é adicionado o custo de manutenção de estoque de ciclo e segurança. Incorporou-se a regra da raiz quadrada (MAISTER, 1976) ao modelo, desta forma foi possível eliminar a não linearidade relacionada ao estoque de segurança.

Davariz (2006) adaptou o modelo de Jayaraman (1998) para uma cadeia de suprimentos de biodiesel que promove uma otimização com dois períodos dependentes no tempo.

Montebeller Júnior(2009) criou um modelo que considera a gestão dos custos de ciclo e de segurança e usou um modelo menos restritivo que o de Das e Tyagi (1997). Adicionalmente ao custo total da rede, incluiu os custos de colocar o pedido, replanejar e distribuir ao mercado. Foi considerado que qualquer mercado pode ser atendido por múltiplos armazéns simultaneamente.

Os custos de manutenção de estoques estudados em projetos de redes de suprimentos podem ser divididos em duas partes, uma correspondente aos custos de estoque de ciclo e a segunda, correspondente aos custos do estoque de segurança (EVERS, 1995). Uma fórmula clássica para dimensionar o nível de estoques de ciclo é o Lote Econômico de Compra (LEC) (HARRIS, 1990), que é a quantidade ideal de material a ser adquirida em cada operação de reposição de estoque, em que o custo total de aquisição, bem como os respectivos custos de estocagem, são mínimos para o período considerado. Já a fórmula clássica para dimensionamento do estoque de segurança leva em consideração a incerteza da demanda e a

incerteza do ressuprimento do produto demandado, bem como o nível de serviço desejado.

Os estudos de Maister (1976) e Zinn, Levy e Bowersox (1989) mostraram que a centralização pode reduzir tanto o nível de estoques de segurança da rede como também o custo total de manutenção de estoques. A regra para esta redução de estoque é a chamada regra da raiz quadrada. Esta estabelece uma relação que mede aproximadamente o impacto no montante de estoque de segurança de um produto em uma rede de instalações quando o número de pontos de estocagem se altera.

Em fórmula matemática:

$$FR_{es} = \sqrt{m/n} \quad (1)$$

$$ES_f = \frac{ES_i}{FR_{es}} \quad (2)$$

Onde:

$FR_{es}$  - representa o fator de redução do estoque de segurança;

$m$  - representa o número inicial de instalações com estoque de segurança em uma rede;

$n$  - representa o número final de instalações com estoque de segurança em uma rede;

$ES_f$  - representa o estoque de segurança final;

$ES_i$  - representa o estoque de segurança inicial.

Das e Tyagi (1997) afirmam que a centralização dos estoques gera também economias relacionadas com o transporte de suprimentos, devido à consolidação do frete nas entradas de mercadoria dos CD's.

Nota-se que um alto grau de centralização dos estoques tem uma influência importante no custo total das redes. Alguns modelos foram propostos para inclusão de estoques no cálculo das redes: Croxton e Zinn (2005) sustentam que a inclusão dos estoques nos modelos de localização de armazéns é tida como necessária na literatura. Miranda e Garrido (2004) afirmam que questões de política de estoques não podem ser negligenciadas nas decisões estratégicas de localização de armazéns. É bem conhecida a partir da regra da raiz quadrada e da teoria do efeito portfólio que sugere que o nível de estoque aumenta na proporção do número de armazéns. (Maister, 1976; Zinn; Levy; Bowersox, 1989).

A seguir, a apresentação da fórmula utilizada para estimar os custos totais do estoque a partir da regra da raiz quadrada apresentado por Croxton e Zinn (2005):

$$SS_n = SS_1 \sqrt{n} \quad (3)$$

Onde

$SS_n$  é o estoque de segurança total da rede no caso em que o estoque é descentralizado em  $n$  CD's.

$SS_1$  é o estoque de segurança requerido se o estoque estiver centralizado em um único CD

A equação para o cálculo de  $SS_1$  é dada abaixo

$$SS_1 = k \sqrt{t \sigma_d^2 + d^2 \sigma_t^2} \quad (4)$$

Onde :

$k$  = fator que representa o nível de serviço

$t$  = *lead-time* médio, em dias

$\sigma_d$  = desvio padrão da demanda diária

$d$  = média da demanda diária

$\sigma_t$  = desvio padrão do *lead-time*, em dias

O modelo escolhido como referência para o trabalho foi o modelo de Croxton e Zinn (2005) pelo fato de ser adequado ao caso estudado. Ele considera o nível de estoque de modo linear, bem como as variações de demanda dos produtos em cada classe ABC de produto.

### 2.3 O TRADE-OFF ENTRE LOGÍSTICA E ICMS

A importância do ICMS no projeto de redes foi demonstrada por trabalhos anteriores que são apresentados a seguir na Tabela 2, em que foram listados os projetos de rede de suprimentos que no Brasil consideram os impostos em sua formulação.

O primeiro projeto de redes em que foi considerado o ICMS foi apresentado por YOSHIKAZI (2002). O autor apresentou um projeto de redes em três estágios: fábricas, armazéns e mercados. As fábricas tinham linhas de produtos únicos, cada mercado é atendido por varejistas que sonegam ou não os impostos e foram considerados os custos de transporte, custos fixos e de ICMS e não foram considerados os custos de estoque. Seu trabalho demonstra a influência do ICMS no projeto de redes explicando que há um *trade-off* entre custos de transporte e impostos.

Tabela 2 - lista de modelos que consideram ICMS

Autores	ICMS produto nacional	Considera estoques	ICMS produto importado
Yoshizaki(2002)	✓		
Morabito e Junqueira (2006)	✓		
Silva (2007)	✓		
Yoshizaki, Hino, and Rosin (2008)	✓		
Carraro (2009)	✓		
Frias (2011)	✓	✓	
Gualda, Hamad (2014)	✓	✓	✓
Frias, Farias, Wanke, Santos (2014)	✓	✓	

Fonte : O Autor

Junqueira e Morabito (2006) propuseram um modelo de otimização linear com aplicação tática, auxiliando a decisão de produção, estocagem e transporte de sementes de milho. Este trabalho indicou que não deve ser negligenciado o efeito do ICMS na rede. Uma versão mais abrangente do mesmo modelo foi apresentada em 2008 e comprovou a importância do ICMS no projeto de redes.

Silva (2007) criou um modelo, também baseado no modelo de Yoshizaki (2002), e considerou o incentivo fiscal aplicado nos produtos nacionais, demonstrando a influência do crédito presumido de ICMS no projeto de rede de suprimentos.

Yoshizaki, Hino e Rosin (2008) aplicaram seu modelo considerando as alterações da legislação sobre mercadoria nacional, considerada como o novo ICMS, e concluiu que pouca variação do turismo de mercadorias seria esperado.

Carraro (2009) apresenta um modelo de programação linear inteira mista (PLIM) que analisou os *trade-off* entre custos logísticos, incentivos fiscais e custos da neutralização dos

efeitos de emissões de carbono; concluiu que o crédito presumido influencia o projeto de redes, já os custos de neutralização de carbono não influenciam os custos totais da rede.

Frias et al. (2011) apresentam um modelo de Programação Não Linear Inteira Mista (PNLIM) em uma rede composta de três estágios: fábrica, armazéns e mercados consumidores. E demonstrou por meio da análise dos cenários que o ICMS influencia nas decisões de projeto de redes.

Hamad e Gualda (2014) apresentam um modelo para localização de redes globais de empresas químicas operando no Mercosul. O projeto localizou instalações em diferentes países do Mercosul e o impacto do ICMS, considerando o crédito fiscal e o *drawback*. Drawback é restituição ao exportador dos impostos alfandegários cobrados pela importação da matéria-prima utilizada na fabricação do produto exportado. A estimativa de estoques desse modelo baseou-se em cobertura esperada de estoque multiplicado pelo valor de venda, diferentemente do trabalho aqui desenvolvido, que se baseia na regra da raiz quadrada e que também lineariza o modelo e representa muito bem o caso em estudo. Dentre as conclusões, destaca-se que o uso do *drawback* e do ICMS tem significativo impacto no projeto de redes.

No trabalho de Frias et al. (2014), o mesmo modelo PNLIM foi aplicado no caso petroquímico Braskem com dois tipos de produtos comercializados nesta rede, destacando a relevância de considerar o ICMS e os estoques para atingir o menor custo total da rede. A dificuldade em resolver modelos não lineares foi resolvida por meio de um algoritmo chamado AOA, construído em software AIMMS.

O ICMS é um tributo estadual que incide sobre o valor faturado dos produtos de empresas ao longo de uma cadeia produtiva ou comercial. A aplicação do ICMS sobre produtos depende do trânsito da mercadoria. Cada Estado da União tem uma alíquota definida para cada tipo de produto e operação comercial (compra e venda). A alíquota padrão para operações internas varia entre 18% na maioria dos estados do Sul e Sudeste, sendo que especificamente no Rio de Janeiro é de 19%, e de 17% nos outros estados. Além disso, ao movimentar um produto entre os estados, aplica-se a alíquota interestadual de acordo com os dados do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ).

Para o caso em que o produto é importado, a alíquota interestadual aplicada é única, de 4% sobre o valor da mercadoria, desde a resolução do Senado Federal (nº 13/2012). Essa resolução foi motivada pela chamada “guerra fiscal entre os portos”, em que os incentivos de determinados estados auferiam vantagens às empresas que se instalassem nesses estados. Um tópico específico a respeito da guerra dos portos será abordado adiante.

De acordo com a revisão da literatura, não foi desenvolvido um modelo de otimização

aplicável em uma empresa importadora que tenha a distribuição de seus produtos em território nacional. O fator do ICMS sobre produtos importados é apresentado no capítulo a seguir para o melhor entendimento da sua aplicação no projeto de redes.

### **2.3.1 O ICMS de produtos importados após resolução 13**

Uma Resolução do Senado Federal (nº 13/2012) que entrou em vigor em janeiro de 2013 regulamenta a aplicação do ICMS sobre os produtos importados; a partir de então é fixada em 4% a alíquota interestadual do ICMS nas operações com bens e mercadorias importadas do exterior para todos os estados brasileiros. O que se pretende aqui é evitar a guerra entre os portos; sendo assim, a resolução se baseia em deixar pouca margem para incentivos fiscais que justifiquem os custos de transporte até os estados consumidores.

Essa resolução estabelece que a alíquota é aplicada aos bens e mercadorias importados do exterior que, após seu desembaraço aduaneiro:

- a) não tenham sido submetidos a processo de industrialização; ou
- b) ainda que submetidos a qualquer processo de transformação, beneficiamento, montagem, acondicionamento, recondicionamento, renovação ou recondicionamento, resultem em mercadorias ou bens com conteúdo de importação superior a 40%.

No momento do desembaraço aduaneiro, o contribuinte estadual recolherá o ICMS com base na alíquota interna prevista para o produto objeto da importação, por exemplo, 18%. Na saída desta para outra Unidade da Federação, será aplicada a alíquota nova para produtos importados. Nessa situação, terá crédito de 14%. De acordo com estudos recentes, a tabela de aplicação de ICMS interestadual no país, que antes era de apenas 7% e 12%, alterou-se e agora adicionaram-se 4% para produtos importados (DE SOUZA; ÁVILA, 2015).

A nacionalização se entende como o processo de compra de produto fora do Brasil até seu despacho aduaneiro e retirada do produto da alfândega. O impacto aqui analisado é somente o impacto tributário do ICMS.

Para ilustrar numericamente, vamos simular uma empresa que nacionaliza o produto no Estado de SP. Seu centro de distribuição fica em São Paulo e seu cliente distribuidor também no mesmo estado. Conforme cálculo demonstrado na tabela 3, o saldo de ICMS a recolher na nacionalização é de 18%; portanto, a empresa desembolsa R\$3.600. Ao transferir para seu CD, emite uma NF no mesmo valor de custo do produto. O ICMS correspondente a esta operação é de R\$3.600, sendo que no caso desta transferência a origem já pagou R\$3.600

de ICMS e carregou com a mercadoria o crédito de R\$3.600. Esta é a natureza de o ICMS de ter seu crédito transferido na cadeia de suprimentos.

Tabela 3: Aplicação ICMS importado mesmo estado

Operação	 Nacionalização	 Centro de Distribuição	 Distribuidor	 Consumidor
Local	SP	SP	SP	SP
Valor NF	20.000	20.000	25.000	25.000
ICMS	18%	18%	18%	18%
Crédito	0	3.600	4.500	4.500
Débito	3600	4.500	4.500	4.500

Fonte: O Autor

Na etapa seguinte, o produto é vendido ao distribuidor a um valor de R\$25.000. Este também tem uma alíquota de 18%, portanto, agora o desembolso de ICMS passa a R\$4.500. Levando-se em consideração aqui o crédito da operação anterior em R\$3.600, significa que o Distribuidor ainda tem que desembolsar R\$900 referentes ao ICMS.

Na tabela 4, a nacionalização é feita em São Paulo (SP), porém, alterou-se o CD para Minas Gerais (MG). Sendo assim, a transferência não efetua desembolso de ICMS mas acrescentam-se os custos de transporte. Ao final, o produto volta para o mercado consumidor em SP e o distribuidor não faz o desembolso dos impostos, pois se utiliza da vantagem do crédito na operação anterior. Desta forma, o distribuidor pode dar preferência em receber um produto cujo desembolso possa ser transferido para a última etapa da cadeia.

Tabela 4 – Aplicação ICMS sobre produto importado interestadual após R13

Operação	 Nacionalização	Centro de Distribuição	 Distribuidor	 Consumidor
Local	SP	MG	SP	SP
Valor NF	20.000	20.000	25.000	25.000
ICMS	18%	4%	4%	18%
Crédito	0	3.600	1.000	1.000
Débito	3600	1.000	1.000	4.500

Fonte: O Autor

O impacto do ICMS é analisado pelas empresas motivadas em melhorar o fluxo de caixa tanto quanto em avaliar seu desembolso propriamente dito. Postergar o pagamento de ICMS para etapas posteriores da rede traz o benefício de aumentar o fluxo de caixa da empresa. Esta pode utilizar os recursos para fazer investimento ou compras em vez de desembolsar o ICMS logo no início da rede de suprimentos.

É notório que os impostos não se alteram para o cliente final, porém, os débitos e os créditos de ICMS se alteram de acordo com a localização da instalação. O custo de transportar o produto até outro estado pode se justificar desde que o valor do incentivo fiscal seja maior do que os custos adicionais de transporte.

A Tabela 5 ilustra a análise das opções de localização do centro de distribuição de produto nacionalizado no Estado de São Paulo e considera a localização do CD, um em São Paulo, outro em Minas Gerais. A tabela compara a situação antes e depois da resolução do Senado Federal, a qual entrou em vigor em 2013. Essa tabela não ilustra até o consumidor final e, como visto anteriormente, o ICMS para o consumidor final não se altera. Além disso, o intuito é mostrar os efeitos na rede de suprimentos. O modelo aqui proposto pretende definir a localização das instalações que minimizam os custos totais da rede do importador; então, a somatória de ICMS baseia-se nos créditos e débitos nos locais sob gestão da empresa importadora e distribuidora.

Tabela 5 – Impacto da Resolução 13 interestadual de produto importado

Atividade	Fluxo SP– SP- SP	Antes de 2013 SP– MG- SP	Após 2013 SP– MG- SP
Análise da Nacionalização do Produto			
Alíquota de ICMS referente à operação	18%	18%	18%
• Valor dos produtos	20.000	20.000	20.000
Débito gerado na Nacionalização	-3.600	-3.600	-3.600
Análise da Transferência para o CD			
Alíquota de ICMS referente à operação	18%	12%	4%
• Valor dos produtos	20.000	20.000	20.000
Crédito ICMS da operação transferência	3.600	2.400	1.400
Operação de Venda CD > Cliente Distribuidor (considerada margem de 20%)			
Alíquota de ICMS referente à operação	18%	12%	4%
• Valor dos produtos	24.000	24.000	24.000
Débito ICMS gerado na venda	-4.320	-2.880	-960
Crédito (+) ou débito (-) ICMS no CD	-720	-480	440
Crédito (+) ou débito (-) ICMS na CIA até a venda	-4.320	-4.080	-3.160

Fonte: O Autor

O que pode ser identificado na tabela anterior é que o débito de ICMS se altera em cada um dos casos. Cada empresa poderá analisar sob diferentes pontos de vista. Se o objetivo é diminuir o ICMS destacado na face da NF optará por manter o CD em MG. Caso queira analisar os créditos e débitos somente no CD identificará que após 2013 acumulará crédito no CD na situação após R13.

No caso do importador que é responsável por toda operação até a venda para o

distribuidor, seu interesse está no impacto total da cadeia sobre sua gestão, resultado apresentado na última linha da tabela. O resultado é que a empresa tem um desembolso importante no processo de nacionalização e depois um outro débito importante na venda. Se a venda for feita a partir do CD em São Paulo (SP) o débito de ICMS fica maior do que fora do Estado. Os dados demonstram que continua sendo importante a consideração de ICMS na alocação de sua rede de suprimentos.

### 2.3.2 Incentivos fiscais

Para entender a “guerra dos portos” é preciso salientar algumas características dos incentivos fiscais no Brasil. Calciolari (2006) observa que os Estados concedem benefícios e isenções à revelia do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz), tais medidas objetivam a atração de investimentos privados que, posteriormente, alavancariam o desenvolvimento regional. A manutenção dessas políticas desencadeia o fenômeno conhecido como “guerra fiscal”. Todavia, Nascimento e Andrade (2015) vislumbram que os potenciais benefícios a serem usufruídos pelo eventual vencedor de um conflito fiscal se restringem a uma visão de curto prazo.

No trabalho de Silva (2007) são exemplificados os tipos de situações em que a empresa pode se beneficiar de incentivos específicos.

Figura 2: Fatores ICMS

Sonegação Fiscal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pode haver membros na cadeia de suprimentos que sonegam impostos, como fornecedores, indústrias ou distribuidores, atacadistas e varejistas...</li> <li>- ...e a presença da sonegação pode acontecer em níveis mais ou menos intensos.</li> </ul>
Concessão de benefícios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pode haver concessão de incentivos para determinados membros da cadeia de suprimento...</li> <li>- ...e os incentivos fornecidos podem ser de diferentes categorias, como fiscais ou financeiros, por exemplo.</li> </ul>
Prazo para compensação do saldo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A compensação do saldo do ICMS devido pode realizar-se antes ou depois do recebimento pelas vendas.</li> </ul>

Fonte: O Autor, adaptado de Silva (2007)

A empresa pode se posicionar de duas maneiras distintas em relação à eventual economia com incentivos fiscais. Na primeira delas, vislumbra-se um potencial para aumento

na participação de mercado, tendo em vista o repasse da redução dos impostos no preço final. A segunda oportunidade, também conhecida como elisão fiscal, é apropriação da economia gerada para o consumidor a partir do diferencial de alíquotas, ou seja, a empresa aumentaria a sua margem de tal maneira que o custo do produto para o elo seguinte fosse o mesmo de um fornecimento intra-estadual.

Contudo, não se podem negligenciar os outros componentes inerentes à rede logística, como o aumento dos custos de transporte relativos ao “turismo de mercadorias”, ou seja, quando a mercadoria é movimentada entre estados da Federação em busca de benefícios fiscais e/ou de ganhos relacionados à prática da elisão fiscal, os custos não devem ultrapassar os ganhos com questões tributárias; o nível de serviço prestado não deve ser impactado devido ao aumento do *lead-time* de ressuprimento, ou o estoque não pode ser muito maior devido ao maior número de instalações e assim por diante.

#### **2.3.4 A guerra fiscal entre os portos**

A guerra fiscal entre os portos brasileiros pode ser definida como concessão de incentivos fiscais para empresas importadoras e assim criar uma competição entre estados brasileiros para atrair investimentos para seus territórios. Os incentivos podem ser dados por meio de concessões de crédito de ICMS ou redução de taxas por longo tempo (MALUF JÚNIOR, 2015).

A lógica que suporta esta guerra entre os portos é que os estados tentam atrair empresas para nacionalizar produtos em seus estados e assim ficar com parte dos recursos pagos na operação de venda.

Segundo De Almeida e Silva (2013), a guerra entre os portos gera um desbalanceamento entre os polos importadores e os consumidores. A seguir, a citação do autor:

Esta situação pode ser ilustrada da seguinte maneira: seria o mesmo que se alguém fosse a um restaurante para um almoço de negócios e a sua conta tivesse dado R\$20,00 e ao sair, este cliente pedisse uma nota fiscal no valor de R\$100,00. Como foi um almoço de negócio, a empresa irá restituir seu funcionário em R\$100,00 — de acordo com o valor expresso na nota, e não em R\$20,00 que foi efetivamente o valor pago pela refeição. Este pequeno exemplo demonstra o que ocorre com a mercadoria quando ultrapassa a fronteira do Estado e chega no Estado de São Paulo.

Pode-se ver que o crédito beneficia a empresa importadora a pagar menos impostos ao

nacionalizar o produto num estado que mantém o incentivo. Porém, este imposto que não foi recolhido significa um prejuízo fiscal para o outro estado que deixou de ser atrativo às empresas importadoras. Daí a origem do nome guerra dos portos. Embora o nome sugira, os incentivos fiscais não estão restritos aos estados da costa brasileira, mas podem ser aplicados também a portos secos e ao modal aéreo.

A Resolução do Senado Federal que entrou em vigor em janeiro de 2013 visa a diminuir a guerra entre os portos e seus efeitos ainda não foram analisados por intermédio de um modelo de otimização de redes de suprimentos.

### 3 O MODELO PROPOSTO

O modelo de otimização de redes é elaborado e o levantamento de dados ilustra sua aplicação em um distribuidor de produtos farmacêuticos que tenha clientes em todo Brasil. Com esse modelo, foi possível definir a quantidade, o tamanho e a localização de suas instalações logísticas. Foram considerados os principais fatores do projeto de redes e o ICMS de produtos importados após a regulamentação, em 2013.

A contribuição teórica do trabalho foi acrescentar o fator ICMS, aplicado a partir de 2013, no modelo proposto por Croxton e Zinn (2005) e analisar seus efeitos na rede logística de produtos importados. As principais características do modelo proposto neste trabalho são:

- a) define o número de armazéns de uma rede de distribuição;
- b) considera o estoque de segurança e estoque de ciclo;
- c) considera a classificação ABC do produto;
- d) considera o imposto ICMS sobre produto importado dentro do modelo e compara com o modelo sem impostos;
- e) considera custos de armazenagem.

A função objetivo é minimizar o custo total da rede. O modelo considera de modo integrado os custos de transporte, de manutenção das instalações, de manutenção de estoques e do ICMS dos produtos importados e leva em conta o nível de serviço bem como o coeficiente de variação de demanda e de *lead-time*.

A rede é analisada em três estágios: o local em que o produto é nacionalizado, os armazéns utilizados na distribuição e os mercados consumidores. São dez os possíveis locais de nacionalização. Foram ainda criadas dez possíveis localidades para os centros de distribuição e a localização dos mercados consumidores distribuídos por todas as regiões do Brasil.

Foi exposto anteriormente que os custos de estoques são muito importantes para o projeto de rede e este modelo incorpora o custo de estoques com a centralização dos estoques e da regra da raiz quadrada. O fato de o modelo considerar a classificação ABC de produtos permite modelar diferentes configurações de rede logística para as diferentes classes de produto, dando maior flexibilidade na análise do resultado prático do projeto de rede.

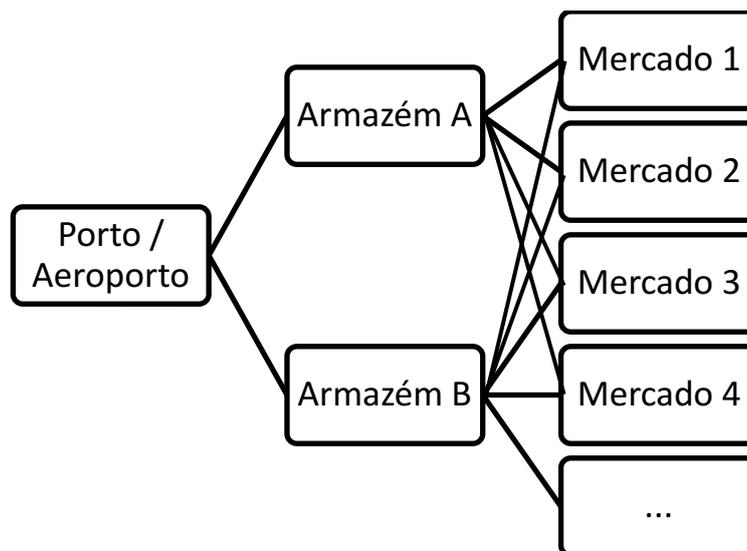
E, por fim, a consideração do ICMS de produto importado no modelo permite analisar os efeitos do desembolso de impostos e seus impactos na distribuição em território nacional. O trabalho comparou o modelo que considera os efeitos do ICMS sobre produtos importados em relação ao modelo que não considera o ICMS.

### 3.1 ELEMENTOS DO MODELO

O modelo foi desenvolvido para ser aplicado em um importador do ramo farmacêutico num ambiente competitivo. O projeto de redes logísticas contribui com a análise do problema ao otimizar diferentes cenários de demanda, níveis de serviço, custos de transporte, valores de produto, e outros para esta empresa e mostrar os efeitos a partir de cada situação.

Neste estudo, considera-se que os prestadores sejam terceirizados, ou seja, pode-se contratar centros de distribuição em diferentes localidades e capacidades. Este tipo de configuração com operador logístico tem mais flexibilidade em comparação com os projetos de recursos próprios.

Figura 3: Ilustração Projeto de Redes



A solução do problema é encontrada através otimização da função objetivo, que é minimizar o custo total da rede. Neste modelo, o custo total é composto pelo custo de transporte do local de nacionalização até o armazém, pelo custo do armazém aos mercados consumidores, pelo custo fixo de manter os armazéns abertos, visto que o contrato com a empresa terceirizada é pago mensalmente, pelo custo de manutenção dos estoques de segurança e de ciclo e pelo fator do imposto ICMS aplicados sobre os produtos importados nesta cadeia. Além disso, as médias dos preços de compra e de venda dos produtos são diferentes em cada classe ABC, bem como as considerações de nível de serviço e incerteza de demanda.

As seguintes premissas foram consideradas para aplicação do modelo, visto que o

nível de agregação do problema permite:

- a) a variância da demanda é igual entre os itens de uma mesma classe;
- b) a demanda é independente entre os itens;
- c) o *lead-time* para todos os centros de distribuição foi considerado o mesmo independentemente do seu número;
- d) os possíveis locais de nacionalização têm sua localização fixa e pré-determinada;
- e) os mercados consumidores têm sua localização fixa e pré-determinada;
- f) as possíveis localidades dos centros de distribuição são pré-determinadas e finitas;
- g) o número de CD's é finito e no máximo igual ao número de possíveis localidades;
- h) os mercados podem ser servidos por mais de um CD, ou seja, pode haver *cross-filling*;
- i) são considerados os estoques de segurança nos armazéns;
- j) são considerados os níveis de serviço requeridos por cada classe ABC na forma de um fator de segurança que garante uma determinada probabilidade de não ocorrência de rupturas (falta de atendimento do pedido);
- k) os custos unitários de transporte até o CD e a partir dos CD's até os mercados são medidos em \$/unidade;
- l) as médias dos custos foi calculada em cada classe de produto (\$/unidade);
- m) os custos dos produtos são iguais independentemente do local de nacionalização;
- n) todos os produtos têm características muito similares de dimensões e peso;
- o) não é considerada a possibilidade de entregar ao cliente a partir do local de nacionalização;
- p) o importador se utiliza dos créditos e débitos de ICMS em suas transações.

Razões para considerar o *lead-time* independentemente do número de CD's deve-se a: primeiro o *lead-time* não é o mesmo que *transit-time*. Quando o número de CD's é reduzido, a média do tempo de trânsito aumenta, mas o resultado é menos proporcional que o aumento de *lead-time*, os tempos de recebimento, processamento e preparação das ordens são mantidos. Em segundo lugar, quando a alteração do número de armazéns é relativamente pequeno, a alteração no tempo de trânsito é relativamente menor.

O modelo para a solução do problema é definido a seguir:

Dados de entrada:

m - número de locais de nacionalização;

$n$  - potenciais locais de instalação dos CD's;

$p$  - número de clientes;

$r$  - classes de produtos;

Onde os índices são delimitados conforme dados abaixo:

$1 < i < m$ ;

$1 < j < n$ ;

$1 < k < p$ ;

$1 < h < r$ ;

$F_{\text{custo}}$  = Soma de todos os custos da Rede

$F_j$  = Custo Fixo associado com operação do CD  $j$  (\$/CD-período);

$T_{ij}$  = Custo unitário de transporte para entrega entre local  $i$  e  $j$  (\$/unidade);

$T_{jk}$  = Custo unitário de transporte para entrega entre local  $j$  e  $k$  (\$/unidade);

$C_i^h$  = Capacidade do local de nacionalização  $i$  do produto classe  $h$ ;

$D_k^h$  = Demanda do produto classe  $h$  dos clientes localizados em  $k$ ;

$I_s^h$  = Custo de estoque associado com o produto classe  $h$  nos CDs selecionados, proporcional à raiz quadrada do número de armazéns;

$Co^h$  = Custo associado ao produto classe  $h$  na nacionalização;

$Pr^h$  = Preço de venda associado ao produto classe  $h$ ;

$ICMS_i$  = ICMS aplicado no local de nacionalização  $i$ ;

$ICMS_{jk}$  = ICMS aplicado na venda do CD  $j$  aos clientes localizados em  $k$ ;

$ICMS_{ij}$  = ICMS aplicado na transferência do local nacionalizado  $i$  para o CD  $j$ .

Variáveis

$V_{ij}^h$  = quantidade de produtos classe  $h$  expedido do local  $i$  para CD  $j$ ;

$X_{jk}^h$  = quantidade do produto classe  $h$  expedido do CD  $j$  para o local  $k$ ;

$Y_j$  = variável binária indicando se CD  $j$  foi selecionado;

$Y_j^h$  = variável binária indicando se CD  $j$  foi selecionado para os produtos de classe  $h$ ;

$W_s^h$  = variável binária indicando se CD “ $s$ ” foi aberto para classe  $h$ .

Função objetivo é minimizar:

$$\begin{aligned}
 \min F_{custo} = & \sum_{j=1}^n F_j Y_j \\
 & + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^r T_{ij} V_{ij}^h \\
 & + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{h=1}^r T_{jk} X_{jk}^h + \sum_{s=1}^n \sum_{h=1}^r I_s^h W_s^h + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{h=1}^r P r^h X_{jk}^h ICMS_{jk} \\
 & + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^r C o^h V_{ij}^h ICMS_i - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^r C o^h V_{ij}^h ICMS_{ij} \quad (5)
 \end{aligned}$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^m v_{ij}^h = \sum_{k=1}^p x_{jk}^h \quad \forall j = \{1, \dots, n\}, h = \{1, \dots, r\} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ij}^h \leq c_i^h \quad \forall i = \{1, \dots, m\}, h = \{1, \dots, r\}, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jk}^h \geq D_k^h \quad \forall k = \{1, \dots, p\}, h = \{1, \dots, r\} \quad (8)$$

$$v_{ij}^h \leq c_i^h Y_j^h \quad \forall i = \{1, \dots, m\}, j = \{1, \dots, n\}, h = \{1, \dots, r\} \quad (9)$$

$$\mathbf{X}_{jk}^h \leq \mathbf{D}_k^h \mathbf{Y}_j^h \quad \forall j = \{1, \dots, n\}, k = \{1, \dots, p\}, h = \{1, \dots, r\} \quad (10)$$

$$\mathbf{Y}_j^h \leq \mathbf{Y}_j \quad \forall j = \{1, \dots, n\}, h = \{1, \dots, r\} \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n \mathbf{Y}_j^h = \sum_{s=1}^n \mathbf{s} \mathbf{W}_s^h \quad \forall j = \{1, \dots, n\}, h = \{1, \dots, r\} \quad (12)$$

$$\sum_{s=1}^n \mathbf{W}_s^h = 1 \quad \forall h = \{1, \dots, r\} \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{h=1}^r \mathbf{Pr}^h \mathbf{X}_{jk}^h \mathbf{ICMS}_{jk} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^r \mathbf{Co}^h \mathbf{V}_{ij}^h \mathbf{ICMS}_i - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^r \mathbf{Co}^h \mathbf{V}_{ij}^h \mathbf{ICMS}_{ij} \geq 0 \quad (14)$$

Onde:

$$\mathbf{I}_s^h = SS_n \text{ para cada classe } h \text{ de produto}$$

Calculados de acordo com as equações apresentadas no capítulo 2

$$SS_1 = k \sqrt{t \sigma_d^2 + d^2 \sigma_t^2}$$

A função objetivo (1) minimiza a soma dos custos fixos dos CD's, os custos de transporte dos portos aos CD's e destes até os clientes, bem como os custos de estoque. Os últimos três fatores representam o balanço entre crédito e débito (débito – crédito) de ICMS até o CD.  $\mathbf{W}_s^h$  é uma variável binária indicativa de quantos CD's são escolhidos para determinada classe de produtos. Este termo é uma função discreta. Já o cálculo de  $\mathbf{I}_s^h$  é o cálculo do estoque ( $SS_n$ ) apresentado no tópico 2.2.1 que leva em consideração a regra da raiz quadrada. As restrições de (6) a (8) são as restrições que mantêm o balanço entre fluxo de demanda dos clientes e as entradas de produtos. A equação (7) foi mantida para tornar o modelo mais generalista e poder ser aplicado nos casos em que há restrições de capacidade. As restrições (9) e (10) asseguram que o produto pode fluir por um CD somente se o CD estiver aberto. A restrição (11) define a variável  $\mathbf{Y}_j$ . Se um CD é utilizado por qualquer classificação  $h$  do produto, então o custo fixo é aplicado. As restrições (12) e (13) definem  $\mathbf{W}_s^h$  de modo que os custos possam ser apropriadamente aplicados. Como a equação (12), somente uma das variáveis  $\mathbf{W}_s^h$  pode ser igual a um, o lado direito da equação (12) será igual

ao número de CD's que o produto classificação  $h$  utiliza, que deve ser igual à soma das variáveis  $Y_j^h$ .

### 3.2 OS CENÁRIOS DO MODELO E SUA CONTRIBUIÇÃO

O modelo proposto oferece como contribuição uma análise dos efeitos dos ICMS sobre produtos importados numa rede que minimiza os custos totais, adicionando um fator aos modelos apresentados anteriormente na literatura. A aplicação do modelo em um caso real aumenta sua contribuição ao demonstrar os impactos financeiros ao importador e distribuidor.

O modelo permite que o gestor tenha em mãos a configuração de rede logística com menor custo total considerando os custos do transporte, fixos do CD e de estoques, bem como os do impacto do ICMS de produtos importados. Além disso, o modelo analisa a rede dos itens classe ABC em função da variabilidade de demanda e do nível de serviço separadamente, mas os custos relacionados com manutenção dos estoques são aplicados a toda a rede.

Os dados do modelo utilizaram como referência um importador e distribuidor que atende clientes em todo o território nacional, cuja base encontra-se no Sudeste brasileiro e que foi representado no primeiro cenário estudado. A partir deste, foram criados mais quatorze cenários diferentes e em cada um deles se comparou o resultado do modelo com ICMS aplicado a produtos importados versus modelo que não considera o ICMS aplicado. Nos casos em que o ICMS não foi integrado à função objetivo, é necessário fazer o cálculo do ICMS com base nos volumes definidos pelo resultado da otimização e adicionar ao resultado para poder comparar com o resultado do modelo que considera o ICMS em sua formulação. O resultado desta comparação mostra o impacto potencial de incluir custos de impostos no projeto de redes.

Para construir os cenários, considera-se os efeitos da alteração dos seguintes parâmetros de entrada:

- a) coeficiente de variação de demanda para os itens classe ABC;
- b) nível de serviço (SL) para itens ABC;
- c) custos de manutenção de estoque;
- d) fator multiplicador do custo de transporte;
- e) fator multiplicador do custo de demanda;
- f) fator multiplicador do custo de estoque;
- g) fator do custo e valor do produto;

h) fator multiplicador do custo do CD.

O valor dos parâmetros do Coeficiente de Variação de Demanda (CVD) apresentados na Tabela 6 são baseados em aplicações similares na literatura (CROXTON e ZINN, 2005). Para simplificar a disposição dos dados, classificam-se os coeficientes de variação de demanda e de nível de serviço em alto e baixo.

Tabela 6: Variações e nível de serviço ao cliente

	Nível	A	B	C
CVD	Low	0.25	0.35	0.45
Ro	High	0.38	0.53	0.68
	C-High	0.25	0.35	1.35
SL	Low	97%	94%	91%
	High	99%	97%	95%
Média	Demanda	5.040	3.294	2.932
	Lead-time	2	2	2

Fonte: O Autor, adaptado de Croxton e Zinn (2005)

Ao considerar os níveis altos e baixos, pretende-se alterar o nível de serviço de cada classe ABC de produtos.

O fator de transporte altera proporcionalmente os custos de transporte do cenário-base. Significa que serão alterados todos os custos de transporte para entradas e saídas do CD.

O fator de demanda altera proporcionalmente a demanda de todas as classes de produto. Por exemplo, um fator de demanda de 1,5 significa aumentar 50% a demanda-base.

Analogamente, são aplicados os fatores para os custos de estoque, valor de produto e custos dos CD's. Cada fator apresentado é aplicado em todos os valores do cenário-base.

A Tabela 7 apresenta todos os quinze cenários que foram criados para o estudo e comparativo dos dados. Cada linha representa um cenário estudado e cada coluna representa um fator que sofreu alteração antes de aplicada a otimização.

Tabela 7 - Cenários de Análise

Cenário	CVD (Coeficiente de Variação de Demanda)	NS (Nível de Serviço)	Taxa estocagem anual	Fator custo de Transporte	Fator Demand a	Fator Custos Fixos CD	Fator Valor do Produto
1	Low	Low	20%	1	1	1	1
2	<b>High</b>	Low	20%	1	1	1	1
3	Low	<b>High</b>	20%	1	1	1	1
4	Low	Low	<b>50%</b>	1	1	1	1
5	Low	Low	20%	<b>1,5</b>	1	1	1
6	Low	Low	20%	1	<b>1,5</b>	1	1
7	Low	Low	20%	1	1	<b>1,5</b>	1
8	Low	Low	20%	1	1	1	<b>1,5</b>
9	<b>High</b>	Low	<b>50%</b>	<b>1,5</b>	1	1	1
10	<b>High</b>	Low	<b>50%</b>	<b>1,5</b>	1	1	<b>1,5</b>
11	<b>High</b>	<b>High</b>	<b>50%</b>	1	<b>1,5</b>	1	<b>1,5</b>
12	<b>C-High</b>	<b>High</b>	20%	1	<b>2</b>	1	1
13	<b>C-High</b>	<b>High</b>	20%	1	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1,5</b>
14	<b>C-High</b>	<b>High</b>	20%	1	<b>1,5</b>	1	<b>1,5</b>
15	<b>C-High</b>	<b>High</b>	20%	<b>2</b>	1	<b>2</b>	<b>2</b>

Fonte: O Autor, adaptado de Croxton e Zinn (2005)

Para a derivação dos cenários, primeiramente considerou-se o efeito de mudar um parâmetro de cada vez em relação ao cenário-base. Esses cenários são mostrados desde o cenário 2 até o cenário 8, na tabela 7. As células em negrito indicam quais parâmetros foram alterados.

O objetivo nos cenários 9 a 11 é ilustrar quais são os principais impactos de adicionar custos do ICMS ao projeto de redes quando há variações dos custos de transporte acima do cenário-base. Neste, foram feitas as variações de demanda e de valor do produto para que seus efeitos fossem analisados. As variações de custo de transporte representam a preocupação da empresa com um dos principais custos da rede logística. A variação do custo do produto pode representar a variação de efeitos externos, tais como variação cambial, ou até mesmo outros fatores que tenham impacto no produto. E o fator de demanda representa alterações nas expectativas de vendas da empresa, o que na simulação aqui representa um aumento de demanda.

Nos cenários de 12 a 15, ilustram-se casos em que os custos de transporte são menores em relação ao problema original. Esses cenários verificam quais regiões poderiam ser escolhidas caso houvesse custos de transporte mais competitivos para a empresa. Este caso é útil quando a empresa tem uma negociação de custos de transporte mais agressivo do que o atual, talvez por fazer uma grande negociação de consolidação, ou pelo excesso de oferta.

Foram alterados também os coeficientes de variação de demanda para C-High, desta forma, as maiores variações estão concentradas nos itens classificados como C, de acordo com a Figura 4.

Para cada cenário, comparamos a solução da otimização sem ICMS incorporado ao modelo versus a otimização com ICMS incorporado ao modelo. Os resultados da solução de cada cenário utilizados para a comparação são:

- a) custos totais;
- b) custos de transporte;
- c) número de CD's abertos para cada classe ABC de produto;
- d) redução do custo total da rede considerando ICMS versus sem ICMS.

## 4 OS DADOS

Os dados utilizados nos cenários de análise foram coletados de uma empresa que importa produtos e distribui para clientes em vários estados brasileiros. Especificaram-se os locais utilizados para nacionalização dos produtos. Por vezes, o importador pode escolher nacionalizar um produto em portos na região costeira, em portos secos ou aeroportos, quando o modal for aéreo.

A partir destes dados de entrada, foram determinados dez potenciais locais de armazenagem. Esses diferentes locais têm capacidades e, conseqüentemente, custos diferentes. As taxas de ICMS sobre produtos interestaduais e intraestaduais são aplicadas de acordo com a tabela da Secretaria da Fazenda (SEFAZ), vide Anexo A. A única taxa de ICMS adicional é a aplicação de 4% nas transações interestaduais para os produtos importados.

No Quadro 1 são descritos os locais que foram escolhidos como opção para a nacionalização dos produtos. Esses potenciais locais representam lugares em que a empresa já fez algum processo de nacionalização ou tem interesse em considerar, pois tem disponibilidade junto aos fornecedores atuais.

Quadro 1: Locais para nacionalização

<b>Índice</b>	<b>Estado</b>	<b>Cidade</b>
<b>S1</b>	SP	Santos
<b>S2</b>	RS	Porto Alegre
<b>S3</b>	BA	Salvador
<b>S4</b>	PE	Suape
<b>S5</b>	GO	Goiânia
<b>S6</b>	CE	Fortaleza
<b>S7</b>	RJ	Rio de Janeiro
<b>S8</b>	MG	Belo Horizonte
<b>S9</b>	SE	Aracaju
<b>S10</b>	SC	Itajaí

Fonte: O Autor

Para as considerações de estoque do modelo, foi necessário calcular os fatores de custo de estoque para os produtos. Como o modelo avalia o impacto em cada uma das classes, a taxa de estocagem para cada classe foi calculada. A tabela a seguir apresenta a tabela destes custos para cada uma das classificações A, B ou C do produto.

Estes valores aplicam-se quando considerados 20% no fator custo de estoque e com baixo (*low*) Coeficiente de Variação de Demanda e baixo (*low*) Nível de Serviço. Esses

valores correspondem ao  $I_{hs}$  que aparece na função objetivo do modelo.

Tabela 8: Fator  $I_{hs}$  – consideração de estoque aplicado ao modelo (R\$/ano)

Número de CD's	# A	# B	# C
1	2.032.030	1.684.946	1.518.963
2	3.448.469	2.859.449	2.577.766
3	4.223.494	3.502.095	3.157.106
4	4.876.871	4.043.871	3.645.512
5	5.452.508	4.521.185	4.075.806
6	5.972.923	4.952.710	4.464.822
7	6.451.494	5.349.538	4.822.559
8	6.896.938	5.718.897	5.155.532
9	7.315.307	6.065.806	5.468.268
10	7.711.011	6.393.921	5.764.060

Fonte: O Autor

Foram definidas dez localizações de armazéns, considerando-se os potenciais operadores logísticos que possuem estrutura física e sistêmica para atender às necessidades de movimentação e conservação dos produtos. Os custos fixos dos armazéns são baseados nos custos do armazém atual e de acordo com cotações de diferentes localidades dos operadores logísticos em cada estado escolhido como potencial localização das instalações. Esses locais são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Possíveis locais de distribuição

Nome	Localização do Armazém	Custos fixos dos armazéns (R\$/ano)
WH1	Barueri/SP	1.100.000,00
WH2	Porto Alegre/RS	1.600.000,00
WH3	Vitória da Conquista/BA	1.000.000,00
WH4	Recife/PE	1.150.000,00
WH5	Goiânia/GO	1.350.000,00
WH6	Juazeiro/CE	1.321.000,00
WH7	Rio de Janeiro/RJ	1.100.000,00
WH8	Belo Horizonte/MG	1.100.000,00
WH9	Aracaju/SE	1.600.000,00
WH10	Joinville/SC	1.200.000,00

Fonte: O Autor

Os diferentes locais dos CD's implicam diferentes distâncias até os mercados

consumidores. Neste trabalho, foram considerados os custos de transporte por unidade de produto. Foram levantadas as distâncias entre o local de origem até o local de destino para poder definir um custo unitário de transporte do produto entre os locais especificados no modelo.

Na tabela 10, são apresentados os custos do CD aos mercados, considerando-se as características dos produtos e suas tabelas de frete. Aqui o frete costuma ser mais caro do que o frete de entrada no CD, pois o produto é entregue ao cliente de modo fracionado.

Tabela 10: Custos de frete para entrega (R\$/unidade)

Local	WH1 SP	WH2 RS	WH3 BA	WH4 PE	WH5 GO	WH6 CE	WH7 RJ	WH8 MG	WH9 SE	WH10 SC
AC-capital	33,5	30,4	36,5	33,5	27,3	31,9	35,0	29,6	31,9	30,4
AL-capital	28,9	32,7	14,3	8,9	25,0	15,8	27,3	23,5	8,2	28,9
AM-capital	34,2	36,5	38,8	41,1	17,3	28,1	35,8	28,9	29,6	30,4
BA-capital	17,3	28,1	7,1	15,1	22,0	20,4	22,0	19,7	8,9	17,3
BA-interior	48,4	78,7	20,0	42,2	61,5	57,2	61,5	55,1	25,0	48,4
CE-capital	31,2	35,8	22,7	16,6	28,9	9,1	30,4	26,6	17,4	30,4
CE-interior	87,3	100,1	63,6	46,5	80,8	9,3	85,1	74,4	48,6	85,1
DF-capital	20,4	27,3	23,5	27,3	8,2	27,3	21,2	14,3	22,0	25,0
ES-capital	15,8	24,3	17,4	23,5	20,4	26,6	11,2	10,5	21,2	21,2
ES-interior	44,3	67,9	48,6	65,8	57,2	74,4	31,4	29,3	59,4	59,4
GO-capital	18,9	26,6	25,0	28,1	9,1	26,6	22,7	15,1	23,5	22,0
GO-interior	52,9	74,4	70,1	78,7	9,3	74,4	63,6	42,2	65,8	61,5
MA-capital	30,4	31,2	22,7	22,0	25,0	15,1	28,1	17,3	22,0	30,4
MA-interior	85,1	87,3	63,6	61,5	70,1	42,2	78,7	48,4	61,5	85,1
MG-capital	13,5	25,8	22,7	27,3	18,9	28,9	11,2	9,1	22,0	22,7
MG-interior	37,9	72,2	63,6	76,5	52,9	80,8	31,4	9,3	61,5	63,6
MS-capital	20,4	24,3	28,9	31,9	18,9	32,7	23,5	21,2	27,3	22,0
MT-capital	25,0	28,1	28,9	31,9	18,9	32,7	27,3	22,7	27,3	17,3
PA-capital	30,4	34,2	27,3	27,3	27,3	25,0	31,9	30,4	25,0	32,7
PA-interior	85,1	95,8	76,5	76,5	76,5	70,1	89,4	85,1	70,1	91,6
PB-capital	29,6	34,2	18,9	6,6	26,6	13,5	28,9	25,8	12,0	29,6
PB-interior	83,0	95,8	52,9	18,6	74,4	37,9	80,8	72,2	33,6	83,0
PE-capital	29,6	30,4	17,4	9,1	26,6	14,3	28,1	25,0	10,5	29,6
PE-interior	83,0	85,1	48,6	9,3	74,4	40,0	78,7	70,1	29,3	83,0
PI-capital	27,3	30,4	19,7	18,9	23,5	12,0	17,3	25,0	18,9	28,9
PR-capital	11,2	15,8	28,1	31,2	21,2	32,7	18,1	17,4	27,3	8,9
PR-interior	31,4	44,3	78,7	87,3	59,4	91,6	50,8	48,6	76,5	25,0
RJ-capital	11,2	21,2	25,0	26,6	18,9	27,3	9,1	9,7	23,5	15,8
RJ-interior	31,4	59,4	70,1	74,4	52,9	76,5	9,3	27,2	65,8	44,3
RN-capital	30,4	35,0	21,2	8,9	17,3	11,2	29,6	26,6	14,3	30,4
RN-interior	85,1	98,0	59,4	25,0	48,4	31,4	83,0	74,4	40,0	85,1
RO-capital	31,2	29,6	35,0	37,3	26,6	30,4	32,7	28,9	30,4	29,6
RS-capital	9,1	9,1	31,2	33,5	23,5	31,9	24,3	22,7	28,9	10,5
RS-interior	9,3	9,3	87,3	93,7	65,8	89,4	67,9	63,6	80,8	29,3
SC-capital	15,8	12,0	29,6	31,9	23,5	34,2	21,2	19,7	28,1	9,1
SC-interior	44,3	33,6	83,0	89,4	65,8	95,8	59,4	55,1	78,7	9,3
SE-capital	27,3	31,9	10,5	12,8	26,6	21,2	26,6	24,3	9,1	30,4
SP-capital	5,1	10,5	23,5	27,3	12,2	28,1	10,5	12,0	9,3	12,0
SP-interior	11,2	29,3	65,8	76,5	34,0	78,7	29,3	33,6	26,1	33,6

Fonte: O Autor

A Tabela 11 apresenta os custos de frete dos potenciais locais de nacionalização até o CD que levou em consideração os tipos de produtos, seus custos de frete e as distâncias entre os locais. Os fretes de transporte entre os locais de nacionalização até o CD costumam ser fretes dedicados e um veículo consegue consolidar muitos produtos em uma única carga.

As considerações de quantidade de entregas foram aplicadas, por exemplo, o custo de entregar a partir do WH1 para o local ES-capital tem mais cargas consolidadas, ou seja, menos entregas em quantidades maiores se comparado com o local ES-interior, pois no interior a característica é de mais entregas em menor quantidade. Sendo assim, os custos por unidade de transporte para ES-interior são maiores do que ES-capital a partir do mesmo CD.

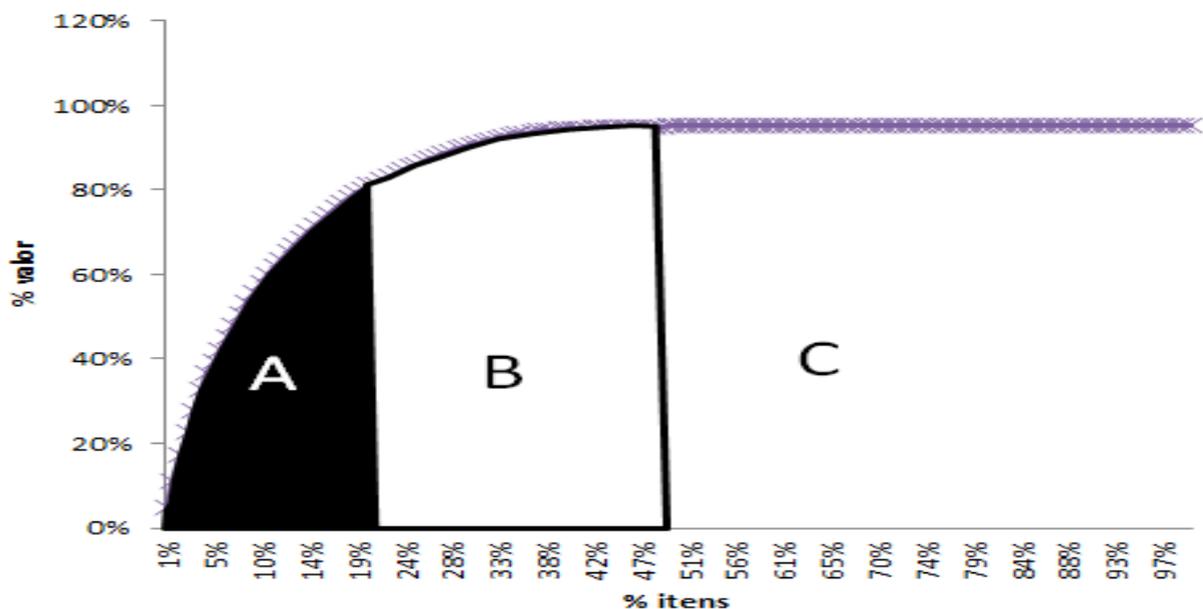
Tabela 11: Custos de frete de abastecimento (R\$/unidade)

Origem	WH1 SP	WH2 RS	WH3 BA	WH4 PE	WH5 GO	WH6 CE	WH7 RJ	WH8 MG	WH9 SE	WH10 SC
<b>S1 SP</b>	2,5	10,6	8,7	14,8	9,4	15,6	5,6	6,8	13,7	7,9
<b>S2 RS</b>	9,1	2,5	14,0	15,2	13,3	17,9	10,6	12,9	16,0	6,0
<b>S3 BA</b>	14,0	15,6	2,5	8,7	12,5	11,4	12,5	11,4	5,2	14,8
<b>S4 PE</b>	13,7	16,7	7,5	2,5	14,0	8,3	13,3	13,7	6,4	16,0
<b>S5 GO</b>	8,7	11,7	11,0	13,3	2,5	14,4	9,4	9,4	13,3	11,7
<b>S6 CE</b>	14,0	16,0	10,2	7,1	13,3	2,5	13,7	14,4	10,6	17,1
<b>S7 RJ</b>	5,2	12,1	11,0	14,0	11,4	15,2	2,5	5,6	13,3	10,6
<b>S8 MG</b>	6,0	11,4	9,8	12,5	7,5	13,3	4,8	2,5	12,1	9,8
<b>S9 SE</b>	12,9	14,4	4,5	5,2	11,7	8,7	11,7	11,0	2,5	14,0
<b>S10 SC</b>	15,2	5,2	8,7	14,8	11,0	15,2	7,9	11,4	15,2	2,5

Fonte: O Autor

Foram coletados dados equivalentes a um ano de estoques de toda a lista de produtos. Com base nesses dados, foi realizada uma classificação de acordo com a curva ABC dos produtos, em que A equivale a 80% A, B a 15% B e C a 5%. A partir dessa classificação, foram calculadas as variações de demanda. As médias de demanda, por sua vez, foram calculadas em função dessa classe ABC.

Figura 4: Curva ABC



Fonte: O Autor

Os custos dos produtos foram considerados em suas classes ABC e, para efeito de aplicação no modelo, foram calculadas as médias do preço de compra para cada classe ABC. Cálculo similar foi feito para o preço de venda dos produtos. Nos modelos anteriores, a consideração foi um único valor de produto para compra e outro para venda. O modelo aqui

apresentado permite ao gestor fazer análises em cada classe e avaliar as implicações de cada perfil de classe de produto.

Tabela 12: Custos por classe ABC (R\$)

<b>Classe do produto</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Média custo produto</b>	8,2	10,7	15,6
<b>Média preço de venda</b>	13,6	17,8	21,7

Fonte: O Autor

Os clientes foram agregados por região e subdivididos em capital e interior, dentro de cada região. Ao somar todas as meso-regiões, consolida-se o universo de clientes atendidos por esta rede logística. Estes locais foram listados na Tabela 13 e suas respectivas demandas foram agregadas de acordo com a classificação ABC dos produtos.

A simplicidade da gestão do estoque pela classificação ABC, que tornou o método tão popular, pode ser aqui utilizada e considerada nos cenários de otimização, contribuindo com análise crítica dos gestores. A agregação de demanda da forma apresentada traz uma quantidade suficiente de informação que permite o tratamento adequado do modelo.

Tabela 13: Demanda por estado (unidades)

<b>Local de demanda</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe B</b>	<b>Classe C</b>
AC-capital	8.192	787	402
AL-capital	31.827	7.892	6.959
AM-capital	9.192	3.632	1.561
BA-capital	34.651	9.572	7.000
BA-interior	19.858	15.250	5.944
CE-capital	92.987	91.250	21.259
CE-interior	6.276	7.373	2.540
DF-capital	39.490	14.841	8.100
ES-capital	70.122	64.946	23.286
ES-interior	70.122	64.946	23.286
GO-capital	4.500	20.205	8.979
GO-interior	118.907	70.029	30.205
MA-capital	5.087	2.173	2.172
MA-interior	5.605	1.974	1.182
MG-capital	115.160	21.302	14.992
MG-interior	48.186	45.520	14.778
MS-capital	16.428	3.880	2.771
MT-capital	21.567	5.048	1.838
PA-capital	45.963	28.368	11.542
PA-interior	6.579	7.879	1.748
PB-capital	69.261	47.432	4.869
PB-interior	17.578	7.543	4.137
PE-capital	38.657	67.211	11.505
PE-interior	17.422	30.853	3.715
PI-capital	14.754	3.489	4.534
PR-capital	66.395	25.750	17.410
PR-interior	84.336	32.245	17.508
RJ-capital	252.254	123.251	64.339
RJ-interior	77.629	98.703	16.143
RN-capital	4.242	17.260	2.654
RN-interior	1.478	2.069	784
RO-capital	9.313	1.654	1.213
RS-capital	35.475	16.272	9.304
RS-interior	34.752	7.719	8.387
SC-capital	2.880	3.117	1.971
SC-interior	14.300	8.323	4.405
SE-capital	3.478	2.648	3.641
SP-capital	607.452	97.894	145.729
SP-interior	363.565	188.934	71.337

Fonte: O Autor

Poder analisar uma quantidade grande de clientes e produtos de forma agregada é a característica dos modelos estratégicos. Tratar problemas complexos demais e ter dificuldades em tratar todos os dados prejudica não somente a análise como também a interpretação dos resultados (SHAPIRO, 2006).

## 5 A ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 14 apresenta os quinze cenários descritos e os respectivos resultados. Os resultados de cada cenário são apresentados em duas linhas. A primeira linha mostra o resultado do modelo apenas considerando os custos logísticos e o custo do ICMS é adicionado posteriormente em função da movimentação recomendada pelo modelo de otimização. A segunda linha apresenta o resultado do modelo considerando os fatores logísticos e o custo relativo ao ICMS calculado na função objetivo. Esses dois resultados devem ser comparados para a análise do impacto do ICMS no modelo. Na última coluna, são mostrados os ganhos ou perdas em valor percentual.

Os resultados da otimização, considerando o ICMS, em sua grande maioria apresentam um ganho nos custos totais da rede. Esses resultados corroboram a importância de considerar os impostos integrados à função objetivo do modelo. O maior ganho dentre os cenários apresentados foi de 6%.

O cenário 1, que representa a base atual, apresenta uma redução de 1 % em relação ao cenário da rede sem considerar o ICMS na função objetivo. A alteração sugerida foi transferir o Centro de Distribuição de SP para o estado de MG. A principal razão foi desembolsar um valor menor de ICMS, o que compensou os outros custos, principalmente o aumento do transporte. A mesma lógica justifica a mesma rede para os cenários de 2, 3, 4, 7 e 8.

No cenário 5, o fator em análise foi o transporte, a rede sugerida foi a mesma nos dois cenários com ICMS e sem ICMS e o custo total da rede se manteve. Entende-se que, a partir de determinado custo de transporte, os custos relacionados com a redução de impostos não justificam mais a transferência para outro estado.

No cenário 6, em que a demanda aumentou 50%, foram sugeridos em ambos os casos dois CD's para distribuição dos produtos, um em Sergipe (SE), que se manteve nos dois resultados, porém o CD de SP foi alterado para MG quando incluído o ICMS à função objetivo, e novamente o *trade-off* entre transporte e impostos justificou a escolha.

Tabela 14: Resultado dos cenários

#	CVD	SL	C. Estoque	C. Tra ns- porte	C. Dema nda	C. Fijos	C. produ to	Custo total (KR\$)	Transp orte	ICMS	CD -A-	CD -B-	CD -C-	CD's -A-	CD's -B-	CD's -C-	delta (%)
1	Low	Low	20%	1	1	1	1	37.697	25.381	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	
2	High	Low	20%	1	1	1	1	37.282	27.624	3.322	1	1	1	MG	MG	MG	1
3	Low	High	20%	1	1	1	1	39.853	25.381	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	1
4	Low	Low	50%	1	1	1	1	39.438	27.624	3.322	1	1	1	MG	MG	MG	1
5	Low	Low	20%	1,5	1	1	1	37.859	25.381	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	1
6	Low	Low	20%	1	1,5	1	1	37.445	27.624	3.322	1	1	1	MG	MG	MG	1
7	Low	Low	20%	1	1	1,5	1	39.006	25.381	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	1
8	Low	Low	20%	1	1	1	1,5	38.591	27.624	3.322	1	1	1	MG	MG	MG	1
9	High	Low	50%	1,5	1	1	1	46.865	34.549	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	0
10	High	Low	50%	1,5	1	1	1,5	46.865	34.549	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	0
11	High	High	50%	1	1,5	1	1,5	46.865	34.549	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	0
12	C-High	High	20%	1	2	1	1	46.865	34.549	5.980	1	1	1	MG	MG	MG	2
13	C-High	High	20%	1	2	2	1,5	53.823	33.275	8.962	2	2	2	SP SE	SP SE	SP SE	2
14	C-High	High	20%	1	1,5	1	1,5	52.147	36.429	4.132	2	2	2	MG SE	MG SE	MG SE	3
15	C-High	High	20%	2	1	2	2	37.697	25.381	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	3
								37.282	27.624	3.322	1	1	1	MG	MG	MG	1
								43.305	25.381	8.970	1	1	1	SP	SP	SP	1
								41.561	27.624	4.983	1	1	1	MG	MG	MG	4
								50.869	34.549	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	4
								50.869	34.549	5.980	1	1	1	SP	SP	SP	0
								58.479	34.549	8.970	1	1	1	SP	SP	SP	2
								57.589	37.646	4.983	1	1	1	MG	MG	MG	2
								79.731	33.275	13.443	2	2	2	SP SE	SP SE	SP SE	5
								75.641	36.429	6.198	2	2	2	MG SE	MG SE	MG SE	5
								70.260	45.385	11.950	2	2	2	SP SE	SP SE	SP SE	3
								68.294	49.680	5.690	2	2	2	MG SE	MG SE	MG SE	3
								81.347	45.385	17.925	2	2	2	SP SE	SP SE	SP SE	6
								76.252	49.680	8.536	2	2	2	MG SE	MG SE	MG SE	6
								67.485	33.275	13.443	2	2	2	SP SE	SP SE	SP SE	6
								63.394	36.429	6.198	2	2	2	MG SE	MG SE	MG SE	6
								72.654	45.399	11.960	1	1	1	SP	SP	SP	2
								71.565	49.626	6.644	1	1	1	MG	MG	MG	2

Fonte: O Autor

No cenário 9, em que os custos de estoque e transporte aumentaram os custos com ICMS, já não se justificou a alteração da rede de suprimentos. O aumento dos custos do estoque mais o transporte ao mesmo tempo não justificaram a mudança do CD de local em função dos ganhos em ICMS. O cenário 10 manteve os mesmos fatores do cenário 9 e aumentou em 50% o valor de compra e venda dos produtos. Este novo valor de produto impacta nos gastos com ICMS. O ICMS é proporcional ao valor de compra e venda. O cenário analisado demonstra que o aumento no desembolso de ICMS justificou a alteração do CD de SP para MG. Ao comparar esses dois cenários, foi possível demonstrar como a consideração de todos os fatores importantes da logística mais o ICMS afetam a decisão sobre localização das instalações.

No cenário 11, o aumento nos fatores de demanda levou ao desenvolvimento de uma rede com dois CD's. Novamente, na análise os ganhos no ICMS justificaram o aumento dos custos de frete.

Nos cenários 12 e 13, o aumento da demanda e da variação de demanda dos itens C justificou uma rede que considerasse os dois CD's que atendessem os itens classe A e B, porém um único CD para os itens C. E, novamente, embora com o mesmo número de CD's na rede, nas otimizações com ICMS e sem ICMS, a mudança de estados foi sugerida. Similar foi o resultado no cenário 14, porém foram sugeridos que todos os CD's tivessem produtos de todas as classes. Neste último cenário, foi apresentada a maior redução de custos em relação ao modelo que não considera o ICMS na função objetivo.

No último cenário, a sugestão do modelo considerando o ICMS foi somente da alteração de endereço do CD e obter ganhos na ordem de 2%.

A Figura 7 representa o cenário 1, em que o estado escolhido para nacionalização foi MG e o Centro de Distribuição é em MG. A figura identifica no mapa a localização sugerida pelo projeto de redes no cenário-base que foi calculado levando em conta o ICMS na função objetivo.

Figura 5: Mapa Cenário 1



Fonte: O Autor

A Tabela 15 mostra as quantidades que foram importadas nesses cenários para cada classificação de produto. Nesse cenário, um CD foi selecionado e todo produto é nacionalizado somente no estado de MG.

Tabela 15: Cenário 1 - Nacionalização

Nacionalização	CD	Classe de Produto	Quantidade
S8 MG	WH8 MG	A	2.485.920
S8 MG	WH8 MG	B	1.269.234
S8 MG	WH8 MG	C	584.129

Fonte: O Autor

Os volumes de produtos para atender o mercado a partir do CD escolhido no Cenário 1 é apresentado na Tabela 16. Essa tabela demonstra que todos os mercados foram atendidos por um único CD dentro das condições do cenário estudado.

Tabela 16: Cenário 1 - Mercados atendidos em quantidade de unidades

Mercado	CD	A	B	C
AC-capital	WH8	8192	787	402
AL-capital	WH8	31827	7892	6959
AM-capital	WH8	9192	3632	1561
BA-capital	WH8	34651	9572	7000
BA-interior	WH8	19858	15250	5944
CE-capital	WH8	92987	91250	21259
CE-interior	WH8	6276	7373	2540
DF-capital	WH8	39490	14841	8100
ES-capital	WH8	70122	64946	23286
ES-interior	WH8	70122	64946	23286
GO-capital	WH8	4500	20205	8979
GO-interior	WH8	118907	70029	30205
MA-capital	WH8	5087	2173	2172
MA-interior	WH8	5605	1974	1182
MG-capital	WH8	115160	21302	14992
MG-interior	WH8	48186	45520	14778
MS-capital	WH8	16428	3880	2771
MT-capital	WH8	21567	5048	1838
PA-capital	WH8	45963	28368	11542
PA-interior	WH8	6579	7879	1748
PB-capital	WH8	69261	47432	4869
PB-interior	WH8	17578	7543	4137
PE-capital	WH8	38657	67211	11505
PE-interior	WH8	17422	30853	3715
PI-capital	WH8	14754	3489	4534
PR-capital	WH8	66395	25750	17410
PR-interior	WH8	84336	32245	17508
RJ-interior	WH8	77629	98703	16143
RN-capital	WH8	4242	17260	2654
RN-interior	WH8	1478	2069	784
RO-capital	WH8	9313	1654	1213
RS-capital	WH8	35475	16272	9304
RS-interior	WH8	34752	7719	8387
SC-capital	WH8	2880	3117	1971
SC-interior	WH8	14300	8323	4405
SE-capital	WH8	3478	2648	3641
SP-capital	WH8	607452	97894	145729
SP-interior	WH8	363565	188934	71337

Fonte: O Autor

A Figura 8 apresenta o Cenário 14, em que 2 CD's em dois estados diferentes foram escolhidos para atender toda a demanda dos mercados.

Figura 6: Mapa - Cenário 14



Fonte: Autor

A Tabela 17 apresenta as quantidades importadas em suas localidades escolhidas e as quantidades que são transferidas para cada um dos CD's escolhidos. Os volumes foram divididos entre os dois CD's para que os ganhos relacionados com os custos fiscais sejam maiores do que os custos logísticos desta rede.

Tabela 17: Cenário 14 - Nacionalização

Nacionalização	CD	Classe de Produto	Quantidade
S8 MG	WH8 MG	A	2.881.564
S8 MG	WH8 MG	B	1.288.458
S8 MG	WH8 MG	C	697.753
S9 SE	WH9 SE	A	847.324
S9 SE	WH9 SE	B	615.402
S9 SE	WH9 SE	C	178.450

Fonte: O Autor

A Tabela 18 apresenta as quantidades que atendem cada um dos mercados a partir dos

dois CD's apresentados. Os custos de ICMS compensam até mesmo trazer produtos do Estado SE para atender MG e a justificativa para esta escolha é o fato de pagarem 18% na transferência para o cliente no mesmo Estado e em compensação pagam-se 4% na transferência de outro Estado. Esta diferença é suficiente para justificar a operação em um local fiscalmente mais atrativo.

Tabela 18: Cenário de 14 mercados atendidos em quantidade de unidades

Mercado	CD	A	B	C
<b>AC-capital</b>	WH8	12288	1180	603
<b>AL-capital</b>	WH9	47741	11838	10439
<b>AM-capital</b>	WH8	13788	5448	2342
<b>BA-capital</b>	WH9	51976	14358	10500
<b>BA-interior</b>	WH9	29787	22875	8916
<b>CE-capital</b>	WH9	139480	136875	31888
<b>CE-interior</b>	WH9	9415	11059	3811
<b>DF-capital</b>	WH8	59235	22261	12150
<b>ES-capital</b>	WH8	105183	97419	34929
<b>ES-interior</b>	WH8	105183	97419	34929
<b>GO-capital</b>	WH8	6750	30308	13469
<b>GO-interior</b>	WH8	178361	105044	45308
<b>MA-capital</b>	WH8	7630	3259	3258
<b>MA-interior</b>	WH8	8407	2961	1773
<b>MG-capital</b>	WH9	172740	31953	22488
<b>MG-interior</b>	WH9	72279	68280	22167
<b>MS-capital</b>	WH8	24642	5820	4157
<b>MT-capital</b>	WH8	32350	7572	2757
<b>PA-capital</b>	WH9	68944	42552	17313
<b>PA-interior</b>	WH9	9868	11818	2622
<b>PB-capital</b>	WH9	103891	71148	7303
<b>PB-interior</b>	WH9	26368	11314	6206
<b>PE-capital</b>	WH9	57985	100817	17258
<b>PE-interior</b>	WH9	26134	46280	5573
<b>PI-capital</b>	WH9	22131	5234	6802
<b>PR-capital</b>	WH8	99592	38625	26115
<b>PR-interior</b>	WH8	126504	48367	26262
<b>RJ-capital</b>	WH8	378381	184877	96509
<b>RJ-interior</b>	WH8	116444	148055	24215
<b>RN-capital</b>	WH9	6363	25890	3981
<b>RN-interior</b>	WH9	2217	3103	1176
<b>RO-capital</b>	WH8	13970	2481	1820
<b>RS-capital</b>	WH8	53212	24408	13956
<b>RS-interior</b>	WH8	52128	11579	12581
<b>SC-capital</b>	WH8	4320	4676	2957
<b>SC-interior</b>	WH8	21450	12485	6608
<b>SE-capital</b>	WH8	5217	3972	5462
<b>SP-capital</b>	WH8	911178	146841	218594
<b>SP-interior</b>	WH8	545348	283401	107006

Fonte: O Autor

## 6 CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa era avaliar o impacto da inclusão de impostos no modelo de Croxton e Zinn (2005). Para atingir este objetivo, foi desenvolvido um modelo de projeto de redes que minimizou os custos logísticos e tributários totais, ilustrou sua aplicação e avaliou os impactos da inclusão dos impostos em diferentes cenários. O presente trabalho demonstra como o modelo foi desenvolvido e seus resultados foram apresentados.

A contribuição do modelo de otimização da rede de suprimentos de produtos importados apresentado neste trabalho pode ser descrita nos seguintes tópicos:

- a) Apresenta um modelo que considera os principais fatores estratégicos logísticos mais o ICMS;
- b) ilustra a aplicação do modelo em cenários realistas da rede de produtos importados;
- c) demonstra a redução do custo total quando o ICMS sobre produtos importados é considerado na função objetivo.

A contribuição acadêmica do modelo foi adicionar o fator ICMS de produtos importados no modelo desenvolvido por Croxton e Zinn (2005). Ao ser incorporado o ICMS de produto importado ao modelo que considera os fatores estratégicos da rede, tais como transporte, estoques e custos fixos, obteve-se um custo total menor se comparado a um modelo que considera somente os fatores logísticos.

Nos trabalhos de Yoshizaki (2002) e Frias (2014), foi demonstrada a importância de considerar o impacto do ICMS para redes de suprimentos em que as fábricas se localizavam no Brasil. Além de corroborar a importância de considerar o ICMS no projeto de redes, este trabalho aumenta a abrangência ao analisar seus impactos sobre uma rede de suprimentos em que os produtos são importados.

O trabalho de Yoshizaki (2002), o primeiro a demonstrar a importância do ICMS, considerou os impostos sobre produtos nacionais na função objetivo. O presente trabalho incorporou o ICMS de produtos importados cujas características diferem daquele aplicado em produtos nacionais. As alíquotas interestaduais para produtos importados é de 4%, ao passo que para produtos nacionais variam entre 7% a 12% e, apesar da diferença, o ICMS continua a exercer um forte impacto no projeto de redes.

Em função da importância do estoque no projeto de redes, Frias et al (2014) desenvolveram um modelo que considera o ICMS e estoques, a consideração dos estoques de ciclo e de segurança é feita de modo não linear. Além disso considera a possibilidade de entrega a partir da fábrica. No trabalho aqui apresentado, os custos de estoque foram considerados de forma agregada e proporcional à regra da raiz quadrada, cuja solução é linear. Como o modelo aqui apresentado é aplicado a produtos importados, não foi considerada a entrega de produtos diretamente dos locais de nacionalização aos mercados consumidores.

A análise de sensibilidade a partir de cenários realistas demonstra a eficiência da sua aplicação nas decisões estratégicas de localização de instalações e identifica reduções no custo total da rede de suprimentos. As reduções de custo ocorrem, pois a relação entre fatores logísticos e ICMS é comparada dentro do modelo simultaneamente e o menor custo total é calculado. Quanto maior o tamanho da rede, maior a redução de custos da aplicação do modelo.

Os gestores que têm interesse em reduzir seu fluxo de caixa podem se utilizar do presente modelo para definir o centro de distribuição de seus produtos com menor incidência de impostos e assim postergar para as próximas etapas da cadeia o pagamento do ICMS.

A análise dos resultados demonstra que ainda é vantajoso transitar mercadorias entre os estados da Federação em função dos custos do ICMS. Uma das motivações é a diferença de alíquota de 18% para 4% em que o crédito é alto mas, se utilizado pela empresa para compensar os custos de importação, não terá crédito em excesso.

O trânsito de mercadorias entre os estados se justifica a partir de um determinado custo logístico total. Os cenários que considera o fator ICMS tem a mesma rede daquele que considera somente os custos logísticos, sendo assim, o trânsito de mercadorias por motivações fiscais só será justificado em certos cenários.

O ICMS interestadual de 4% aplicado após 2013 para reduzir a guerra fiscal foi modelado e a análise demonstrou a redução do custo total do projeto de redes. Significa que o fato de a alíquota interestadual ser única não erradica o turismo fiscal de produtos importados, porém não foi analisado o impacto dos incentivos fiscais. Uma proposta de trabalho futuro é analisar os incentivos fiscais sobre produtos importados e sua influência sobre o projeto de redes.

O modelo faz a análise do número de armazéns em função das variações de demanda para cada classe de produto e em alguns casos o modelo concentra itens C em um número menor de Centros de Distribuição. A redução do número de Centros de Distribuição para uma classe leva a uma redução proporcional aos custos de estoque e contribui também para a

redução dos custos totais da rede.

Uma das limitações do modelo é não considerar os incentivos fiscais dos estados praticados atualmente. Outra limitação é o fato de não considerar os impostos PIS e COFINS que são aplicados na nacionalização dos produtos.

No desenvolvimento de trabalhos futuros, pode-se considerar o presente modelo para compra de produtos nacionais e importados e definir o projeto de redes que minimize os custos totais da rede de suprimentos.

Outro potencial desenvolvimento futuro é considerar custos associados dos CD's em função de cada nível de capacidade.

## REFERÊNCIAS

AMBROSINO, Daniela; GRAZIA SCUTELLÀ, Maria. Distribution network design: new problems and related models. **European Journal of Operational Research**, v. 165, n. 3, p. 610-624, 2005.

ANDRADE, Luiz Eduardo Wilbert Albernaz. **Impactos da reforma tributária: avaliando a influência do novo Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) na reconfiguração da malha logística brasileira**. 2012. 162 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ARAÚJO, Ana Carolina de et al. Logística reversa no comércio eletrônico: um estudo de caso. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 2, p. 303-320, 2013.

BALLOU, Ronald H. Unresolved issues in supply chain network design. **Information Systems Frontiers**, v. 3, n. 4, p. 417-426, 2001.

BALLOU, Ronald H.; BURNETAS, Apostolos. Planning multiple location inventories. **Journal of Business Logistics**, v. 24, n. 2, p. 65-89, 2003.

BRANDEAU, Margaret L.; CHIU, Samuel S. An overview of representative problems in location research. **Management science**, v. 35, n. 6, p. 645-674, 1989.

CARRARO, P. R. **Avaliação da influência de aspectos logísticos, fiscais e ambientais no projeto de distribuição física e ambiental**. 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos - Escola Politécnica da USP. Universidade de São Paulo, São Paulo.

CALCIOLARI, Ricardo Pires. Aspectos jurídicos da guerra fiscal no Brasil. **Caderno de Finanças Públicas**, n. 7, p. 5-29, 2006.

CHUNG, Shen-Lian; WEE, Hui-Ming; YANG, Po-Chung. Optimal policy for a closed-loop supply chain inventory system with remanufacturing. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 48, n. 5, p. 867-881, 2008.

CHURCH, Richard; VELLE, Charles R. The maximal covering location problem. **Papers in regional science**, v. 32, n. 1, p. 101-118, 1974.

CROXTON, Keely L.; ZINN, Walter. Inventory considerations in network design. **Journal of Business Logistics**, v. 26, n. 1, p. 149-168, 2005.

DAS, Chandrasekhar; TYAGI, Rajesh. Role of inventory and transportation costs in determining the optimal degree of centralization. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 33, n. 3, p. 171-179, 1997.

\_\_\_\_\_. Effect of correlated demands on safety stock centralization: patterns of correlation versus degree of centralization. **Journal of Business Logistics**, v. 20, p. 205-214, 1999.

DASKIN, Mark S. **Network and discrete location: models, algorithms, and applications**. Michigan, Ann Arbor: John Wiley & Sons, 2011.

DAVARIZ, R. C. **Procedimento para análise de rede logística**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.

ALMEIDA, Alexandre Fernando de; SILVA, Laércio Baptista da. Governo federal fixa a alíquota de ICMS interestadual em 4% para os produtos importados, independente do estado da federação e tenta acabar com a guerra fiscal entre os portos. **Revista de Administração do Unisal**, v. 3, n. 3, 2013.

DE CASTRO, Isaneide Ribeiro; MORAES, Rinaldo Ribeiro. O ICMS e a guerra fiscal entre estados: uma análise a respeito desse tributo. **Revista de Administração e Contabilidade**, v. 1, n. 1, p. 93-109, 2015.

DE SOUZA, Vitor Márcio; ÁVILA, Lucimar Antônio Cabral. Impactos da redução do ICMS para produtos importados em empresas mineiras do Lucro Real e Simples Nacional. **RAGC**, v. 4, n. 9, p. 47-62, 2015.

EASWARAN, Gopalakrishnan; ÜSTER, Halit. A closed-loop supply chain network design problem with integrated forward and reverse channel decisions. **IIE Transactions**, v. 42, n. 11, p. 779-792, 2010.

ELZINGA, D. Jack; HEARN, Donald W. The minimum covering sphere problem. **Management Science**, v. 19, n. 1, p. 96-104, 1972.

EVERS, Philip T. Expanding the square root law: an analysis of both safety and cycle stocks. **Logistics and Transportation Review**, v. 31, n. 1, p. 34-56, 1995.

FLEISCHMANN, Moritz et al. The impact of product recovery on logistics network design. **Production and operations management**, v. 10, n. 2, p. 156-173, 2001.

FRIAS, Luiz Felipe de Medeiros; FARIAS, Isabel de Abreu; WANKE, Peter Fernandes. Logistics network planning: a Brazilian petrochemical industry case study. **RAM - Revista de Administração Mackenzie**, v. 14, n. 4, p. 222-250, 2013.

FRIAS, Luiz Felipe et al. Tax-related aspects of logistics network planning: a case study in the Brazilian petrochemical industry. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 17, n. 2, p. 114-135, 2014.

GUIDE, V. Daniel R.; WASSENHOVE, Luk N. Closed-Loop Supply Chains: An Introduction to the Feature Issue (Part 1). **Production and Operations Management**, v. 15, n. 3, p. 345-350, 2006.

GUIDE JR, V. Daniel R.; VAN WASSENHOVE, Luk N. OR FORUM - The evolution of closed-loop supply chain research. **Operations Research**, v. 57, n. 1, p. 10-18, 2009.

HAMAD, Ricardo; GUALDA, Nicolau Dionísio Fares. Modeling of logistic networks with seasonality: influence of carrying cost and ICMS credit. **Journal of Transport Literature**, v. 8, n. 2, p. 295-324, 2014.

HAKIMI, S. Louis. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. **Operations research**, v. 12, n. 3, p. 450-459, 1964.

HARRIS, Ford W. How many parts to make at once. **Operations Research**, v. 38, n. 6, p. 947-950, 1990.

IKEDA, Daisaku. **Universal respect for human dignity: the great path to peace**. 2016. Disponível em: <http://www.sgi.org/about-us/president-ikedas-proposals/>> Acesso em: mar. 2016.

JAYARAMAN, Vaidyanathan. Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design: an investigation. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 5, p. 471-494, 1998.

JAYARAMAN, Vaidyanathan; PIRKUL, Hasan. Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. **European Journal of Operational Research**, v. 133, n. 2, p. 394-408, 2001.

JIMENEZ, Sue; BROWN, Tim; JORDAN, Joe. Network-modelling tools: enhancing supply chain decision making. **Strategic Supply Chain Alignment: best practice in supply chain management**, p. 302-324, 1998.

JUNQUEIRA, R. A. R.; MORABITO, Reinaldo. Um modelo de otimização linear para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho. **Produção**, v. 16, n. 3, p. 510-525, 2006.

JUNQUEIRA, Leonardo et al. Optimization models for the three-dimensional container loading problem with practical constraints. **Modeling and Optimization in Space Engineering**. Springer New York, 2012. p. 271-293.

KO, Hyun Jeung; EVANS, Gerald W. A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3 PLs. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 2, p. 346-366, 2007.

LACERDA, Leonardo et al. Armazenagem estratégica: analisando novos conceitos. **Centro de Estudos em Logística (CEL), COPPEAD/UFRJ**, 2000.

LEE, Der-Horng; DONG, Meng. A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 44, n. 3, p. 455-474, 2008.

\_\_\_\_\_. Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 1, p. 61-71, 2009.

MAHMOUD, Mohamed M. Optimal inventory consolidation schemes: a portfolio effect analysis. **Journal of Business Logistics**, v. 13, n. 1, p. 193-214, 1992.

MAISTER, D. H. Centralisation of Inventories and the “Square Root Law”. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 6, n. 3, p. 124-134, 1976.

Maluf Júnior, João. **Do Brazilian States Engage in the Fiscal War of Ports? An Empiric Study of Tax Competition and an Analysis of a Natural Experiment: The Brazilian Senate Resolution 13/2012**. Dissertação de Mestrado, João Maluf Júnior. – 2015.

MARTOS, A.; YOSHIZAKI, H. Projeto de rede de distribuição considerando localização, estoques e transportes simultaneamente. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, v. 20, 1999.

MELO, M. Teresa; NICKEL, Stefan; SALDANHA-DA-GAMA, Francisco. Facility location and supply chain management: a review. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 2, p. 401-412, 2009.

MIN, Hokey; KO, Hyun-Jeung. The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers. **International Journal of Production Economics**, v. 113, n. 1, p. 176-192, 2008.

MINIEKA, Edward. The m-center problem. **Siam Review**, v. 12, n. 1, p. 138-139, 1970.

MIRANDA, Pablo A.; GARRIDO, Rodrigo A. Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 40, n. 3, p. 183-207, 2004.

MONTEBELLER JUNIOR, Edson João. **Incorporando o efeito de consolidação dos estoques no planejamento de redes logísticas**. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

NASCIMENTO, Danielle Ediene; ANDRADE, Nelson Lambert. A carga tributária incidente nos medicamentos no Brasil: uma comparação dos impostos sobre medicamentos versus produtos de primeira necessidade. **Revista Científica e Locução**, v. 1, n. 7, pag. 124-140, 2015.

NOZICK, Linda K.; TURNQUIST, Mark A. A two-echelon inventory allocation and distribution center location analysis. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 37, n. 6, p. 425-441, 2001.

OWEN, Susan Hesse; DASKIN, Mark S. Strategic facility location: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 111, n. 3, p. 423-447, 1998.

PISHVAEE, Mir Saman; FARAHANI, Reza Zanjirani; DULLAERT, Wout. A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. **Computers & Operations Research**, v. 37, n. 6, p. 1100-1112, 2010.

QUEIROZ, I. S. **Planejamento de Redes Logísticas Considerando o Efeito do ICMS**. 2011. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) - COPPEAD, Rio de Janeiro.

RAMEZANI, Majid; BASHIRI, Mahdi; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, Reza. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 1, p. 328-344, 2013.

\_\_\_\_\_. A robust design for a closed-loop supply chain network under an uncertain environment. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 66, n. 5-8, p. 825-843, 2013.

SALEMA, Maria Isabel Gomes; BARBOSA-POVOA, Ana Paula; NOVAIS, Augusto Q. A warehouse-based design model for reverse logistics. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, n. 6, p. 615-629, 2006.

\_\_\_\_\_. An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 179, n. 3, p. 1063-1077, 2007.

SILVA, Mariana Bergmann da. **Otimização de redes de distribuição física considerando incentivo fiscal baseado no crédito presumido de ICMS**. 2007. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo.

SHAPIRO, Jeremy. **Modeling the supply chain**. Belmont, Califórnia: Cengage Learning, 2006.

SHAPIRO, Jeremy F.; WAGNER, Stephen N. Strategic inventory optimization. **Journal of Business Logistics**, v. 30, n. 2, p. 161-173, 2009.

SOUZA, Gilvan C. Closed-Loop Supply Chains: a critical review, and future research. **Decision Sciences**, v. 44, n. 1, p. 7-38, 2013.

TYAGI, R.; DAS, Ch. Extension of the square-root law for safety stock to demands with unequal variances. **Journal of Business Logistics**, v. 19, p. 197-203, 1998.

ÜSTER, Halit et al. Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model. **Naval Research Logistics (NRL)**, v. 54, n. 8, p. 890-907, 2007.

YOSHIZAKI, Hugo Tsugunobu Yoshida. **Projeto de redes de distribuição física considerando a influência do imposto de circulação de mercadorias e serviços**. 2002. Dissertação (Livre Docência em Produção) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

YOSHIZAKI, Hugo TY; HINO, Celso M.; ROSIN, Rafael A. Reforma Tributária: avaliando a influência do novo imposto de circulação de mercadorias e serviços (ICMS) na futura configuração da logística brasileira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2008, João Pessoa.

YOSHIZAKI, Hugo Tsugunobu Yoshida et al. Impactos da reforma tributária: avaliando a influência do novo imposto de circulação de mercadorias e serviços (ICMS) na reconfiguração da malha logística brasileira. **Transportes**, v. 20, n. 2, p. 23-32, 2012.

WANKE, Peter F.; ZINN, Walter. Strategic logistics decision making. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 34, n. 6, p. 466-478, 2004.

WANKE, Peter. F.; MONTEBELLER JÚNIOR, Edson J.; TARDELLI, Rafael. V. **Introdução ao planejamento de redes logísticas: aplicações em AIMMS**. São Paulo: Atlas, 2009.

WANG, Hsiao-Fan; HSU, Hsin-Wei. A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. **Computers & Operations Research**, v. 37, n. 2, p. 376-389, 2010.

ZINN, Walter; LEVY, Michael; BOWERSOX, Donald J. Measuring the effect of inventory centralization/decentralization on aggregate safety stock: the “square root law” revisited. **Journal of Business Logistics**, v. 10, n. 1, p. 1-14, 1989.



## APÊNDICE B: Programa computacional

```

/*****
* OPL 12.6.2.0 Model
* Author: André Mello
* Creation Date: 19/12/2015 at 10:16:55
*****/

{string}warehouses=...;
{string}Hclasses=...;
{string}supplier=...;
{string}customers=...;
floatFatorS[warehouses][Hclasses] =...;
floatIstockCost[warehouses][Hclasses] =...;
floatFixCost[warehouses] =...;
floatDemanda[customers][Hclasses] =...;
floatCapacidade[supplier][Hclasses] =...;

floatCprod[Hclasses]=...;// custo unitário do produto
floatPreco[Hclasses]=... ;// preço de venda

floatICMS_SUP_CD[supplier][warehouses]=...;// imposto Sup ap CD
floatICMS_CD_CLI[warehouses][customers]=...;// imposto CD ao cliente
floatICMS_Nac[supplier] =...;

//Tij = per unit transportation cost for shipments between location Supp and CD
floatTranspSuCDCost[supplier][warehouses]=...;

//TCLij = per unit transportation cost for shipments between location Warehouse and
Customer
floattranspCostWHCLI[warehouses][customers] =...;

//Vhij = units of product classification h shipped from supplier i to warehouse j
dvarint+V[supplier][warehouses][Hclasses] ;
//Yj = binary variable indicates if warehouse j is selected
dvarbooleanY[warehouses] ;
//binary variable indicates if warehouse j is selected to store product classification h
dvarbooleanYh[warehouses][Hclasses] ;
// Xji = units of product classification h shipped from warehouse j to customer k
dvarint+X[warehouses][customers][Hclasses] ;
// Wj = binary variable indicates if j warehouses are used for product classification h
dvarbooleanWestoque[warehouses][Hclasses] ;
// Soma dos custos fixos
dexprfloatTotalCustoFixoCD=sum(jinwarehouses) (FixCost[j]*Y[j]) ;// custo fixo do
Warehouse
// soma dos custos de transferência
dexprfloatTotalCustoTFab=sum(iinsupplier,jinwarehouses,hinHclasses)

TranspSuCDCost[i][j]*V[i][j][h] ;

```

```

// custos de entrega
dexprfloatTotalCustoEntrega=sum(jinwarehouses,kincustomers,hinHclasses)

        transpCostWHCLI[j][k]*X[j][k][h];
// ***** CUSTO do ESTOQUE
//custo fixo do estoque = In = SSn = SS1raiz(n)
dexprfloatCustTotalEstoque=
sum(jinwarehouses,hinHclasses)(IstockCost[j][h] *Westoque[j][h]) ;
//*****
// cálculo credito ICMS SUP CD

dexprfloatICMS_DEBITO=
sum(hinHclasses,jinwarehouses,kincustomers)
ICMS_CD_CLI[j,k]*Preco[h]*X[j,k,h]
+
sum(hinHclasses,jinwarehouses,iinsupplier)
Cprod[h]*V[i,j,h]*ICMS_Nac[i]
;
dexprfloatICMS_CREDITO=
sum(hinHclasses,iinsupplier,jinwarehouses)
ICMS_SUP_CD[i,j]*Cprod[h]*V[i,j,h];

//*****
// Expressão dos custos totais
dexprfloatCustoTotal=TotalCustoFixoCD+TotalCustoTFab+TotalCustoEntrega+Cust
TotalEstoque
+ICMS_DEBITO-ICMS_CREDITO
;

//+ CustTotalEstoque
minimizeCustoTotal;// (1) ZinnCroxtton

subjectto{

// soma das quantidades Nacionalização-CD igual às quantidades CD-Mercado
//
forall(jinwarehouses,hinHclasses)
sum(iinsupplier)V[i,j,h]==sum(kincustomers)X[j][k][h] ;

// quantidades das Nacionalizações menores que a capacidade para uso na evolução
do //modelo
//
forall(iinsupplier,hinHclasses)
sum(jinwarehouses)
V[i][j][h] <=Capacidade[i][h] ;

// quantidades do Cd aos clientes maior ou igual à demanda
//

```

```

forall(kincustomers,hinHclasses)
sum(jinwarehouses)
X[j][k][h] >=Demanda[k][h] ;

// Quantidades do fornecedor ao warehouse menor que a capacidade se Warehouse
aberto
//
forall(iinsupplier,jinwarehouses,hinHclasses)
V[i][j][h] <=Capacidade[i][h]*Yh[j][h] ;

//Quantidade do CD-CLI menor que a demanda do cliente para aquele warehouse
//
forall(jinwarehouses,kincustomers,hinHclasses)
X[j][k][h] <=Demanda[k][h]*Yh[j][h] ;

// restrição (7)
forall(jinwarehouses,hinHclasses)
Yh[j][h] <=Y[j] ;

//
forall(hinHclasses)
sum(jinwarehouses)Yh[j][h]==sum(jinwarehouses) (Westoque[j][h]*FatorS[j][h]) ;

//
forall(hinHclasses)
sum(jinwarehouses)Westoque[j][h] ==1;

//restrição icms
ICMS_DEBITO-ICMS_CREDITO>=0;

}

```

#### Coleta de dados

```

/*****
* OPL 12.6.2.0 Data
* Author: André Mello
* Creation Date: 19/12/2015 at 10:16:55
*****/

```

```

SheetConnectionsheet("C:\\Users\\André
Mello\\opl\\ZinnCroxtonExcel\\DadosZxCclasse9.xls") ;

```

```

HclassesfromSheetRead(sheet,"Hclasses"); //Classes de produto ;
supplierfromSheetRead(sheet,"Suppliers"); // Lista de Fornecedores ;
CapacidadefromSheetRead(sheet,"SuplCapacidade");//Capacidade
warehousesfromSheetRead(sheet,"warehouses"); //warehouses

```

```
FixCostfromSheetRead(sheet,"FixCost"); //FixCost = [1,4] ;
customersfromSheetRead(sheet,"Customers"); //customers

DemandafromSheetRead(sheet,"DemandaWhCustom");
TranspSuCDCostfromSheetRead(sheet,"SupplierCDCost");
transpCostWHCLIfromSheetRead(sheet,"transpCostWHCLI");
IstockCostfromSheetRead(sheet,"IstockCost");
FatorSfromSheetRead(sheet,"FatorS");
CprodfromSheetRead(sheet,"Cprod");
PrecofromSheetRead(sheet,"Preco");
ICMS_SUP_CDfromSheetRead(sheet,"ICMS_SUP_CD_IMP");

ICMS_CD_CLIfromSheetRead(sheet,"ICMS_CD_CLI_IMP"); // produtoimportado
ICMS_NacfromSheetRead(sheet,"ICMS_NACION");

CustoTotaltoSheetWrite(sheet,"Result!D5");
CustTotalEstoquetosheetWrite(sheet,"Result!D6");
TotalCustoFixoCDtosheetWrite(sheet,"Result!D7");
TotalCustoTFabtosheetWrite(sheet,"Result!D8");
TotalCustoEntregatosheetWrite(sheet,"Result!D9");
ICMS_DEBITOtosheetWrite(sheet,"Result!D10");
ICMS_CREDITOtosheetWrite(sheet,"Result!D11");
YtosheetWrite(sheet,"Y_Variable");
YhtosheetWrite(sheet,"Yh_variable");
WestoquetosheetWrite(sheet,"Westoque");
```