

Bruno Vinícius Ribeiro Furlanetto

UM MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE REDES LOGÍSTICAS-
TRIBUTÁRIAS MULTIPRODUTO: O CASO DA INDÚSTRIA DE
ALIMENTOS PARA ANIMAIS

Guaratinguetá

2016

BRUNO VINÍCIUS RIBEIRO FURLANETTO

UM MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE REDES LOGÍSTICAS-
TRIBUTÁRIAS MULTIPRODUTO: O CASO DA INDÚSTRIA DE
ALIMENTOS PARA ANIMAIS

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de
Curso de Graduação em Engenharia de Produção
Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como
parte dos requisitos para obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

Guaratinguetá

2016

F985m Furlanetto, Bruno Vinicius Ribeiro
Um modelo de otimização de redes logísticas-tributárias
multiproduto: o caso da indústria de alimentos para animais / Bruno
Vinicius Ribeiro Furlanetto– Guaratinguetá, 2016.
80 f : il.

Bibliografia: f. 72-75

Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica –
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de
Guaratinguetá, 2016.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

1. Cadeia de logística integrada 2. Programação linear 3. Tributos.
I. Título

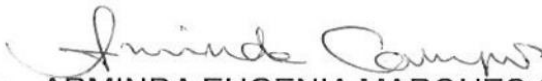
CDU 658.5

UM MODELO DE OTIMIZAÇÃO DE REDES LOGÍSTICAS-TRIBUTÁRIAS
MULTIPRODUTO: O CASO DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS PARA
ANIMAIS

BRUNO VINÍCIUS RIBEIRO FURLANETT

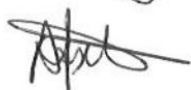
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO


Profa. Dra. ARMINDA EUGENIA MARQUES CAMPOS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. ANEIRSON FRANCISCO DA SILVA
UNESP-FEG


Prof. Dr. FRANCISCO ALEXANDRE DE OLIVEIRA
UNESP-FEG

Dezembro 2016

DADOS CURRICULARES
BRUNO VINÍCIUS RIBEIRO FURLANETTO

NASCIMENTO	02/06/1993 – São Paulo/SP
FILIAÇÃO	Divina de Jesus Ribeiro Furlanetto Arlindo Furlanetto
2011/2016	Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

Dedico este trabalho especialmente à minha família,
os verdadeiros responsáveis por esta conquista e
meus maiores motivos para concluir mais essa
etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por ter guiado meus passos;
aos meus pais, Arlindo e Divina que mesmo sem entender meu trabalho direito,
me apoiaram incondicionalmente, me dando suporte para concretizar meus sonhos;

à minha querida irmã Patrícia e à minha namorada Ana Paula, que me suportaram
durante toda a minha vida acadêmica, muitas vezes fazendo com que eu me sentisse
indestrutível, não deixando que eu me esquecesse do valor de uma carreira com propósito;

aos meus queridos irmãos e irmãs;

aos amigos que sempre estiveram ao meu lado;

aos meus orientadores, Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins, Prof. Dr.
Messias Borges, Prof. Dr. Aneíron Francisco e Prof. Dr. Francisco Oliveira pelas
colaborações, sabedoria, amizade, e oportunidades que me foram dadas,

aos professores do departamento de Engenharia de Produção da Faculdade de
Engenharia de Guaratinguetá que contribuíram para a minha construção profissional me
orientando e proporcionando experiências únicas.

e finalmente, à FAPESP e à CAPES pelo suporte recebida ao longo de minha
graduação, que me permitiu expandir meus conhecimentos através de desafios
acadêmicos e aventuras.

RESUMO

Este trabalho analisou o impacto do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), Imposto de Importação (II), ICMS-ST, PIS/COFINS e IPI, assim como a influência de incorporações e terceirização de serviços de distribuição, na solução de problemas de localização em âmbito global, envolvendo vários elos na cadeia de suprimentos. Foi proposta um procedimento e um modelo de Programação Linear Inteira Mista que minimizam custos operacionais, levando em conta benefícios fiscais e o melhor aproveitamento dos créditos referentes ao ICMS de uma rede multiproduto. Buscou-se analisar os custos logísticos e tributários, sua representatividade e influência na determinação do resultado da otimização. O modelo desenvolvido foi aplicado em uma empresa do setor de alimentos que produz rações para animais. Por meio de simulações e análises de cenários, analisou-se o efeito que a adoção de novas estratégias de otimização logística trouxe ao fluxo de caixa da empresa estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Localização de instalações, Problemas *multicommodity*, Redes logísticas, Otimização, Tributos brasileiros, Programação linear inteira mista, Indústria de rações para animais.

ABSTRACT

This work analyzed the impact of Brazilian taxes such as the Tax on the Circulation of Goods and Services (ICMS), Importation Tax (II), ICMS-ST, PIS / COFINS and IPI, as well as the influence of mergers and outsourcing of distribution services in the solution of global location problems, involving several echelons in the supply chain. A methodology and a Mixed Integer Linear Programming model was proposed, which minimizes operational costs, taking into account tax benefits and the best utilization of the ICMS credits on a multicommodity network. This work sought to analyze logistics and tax costs, their representativeness and influence in determining the optimal results. The developed model was applied in a feed company. Through simulations and scenario analysis, the effect on the cash flow generated by of the adoption of new optimal logistic strategies was analysed.

KEYWORDS: Facilities localization, Multicommodity problems, Logistics networks, Optimization, Brazilian taxes, Mixed integer linear programming, Feed industry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Configuração básica da malha logística da situação problema	16
Figura 2: Demanda mundial por alimentos para pets em milhões de US\$	18
Figura 3: Produção de carne em milhões de toneladas	18
Figura 4: Número de artigos publicados sobre PLIM entre 2012 e 2016 por país	20
Figura 5 – Método de Pesquisa	21
Figura 6 - Fluxograma.....	23
Figura 7: Modelos de localização envolvendo quatro elos da cadeia	26
Figura 8: Tributos incidentes sobre insumos (valores em milhares de reais)	32
Figura 9: Evolução da carga tributária brasileira em % do PIB.....	33
Figura 10: Exemplo de cálculo de ICMS	36
Figura 11: Localização das instalações	39
Figura 12: Estrutura societária atual	40
Figura 13: Localização geográfica da demanda.....	42
Figura 14: Comportamento da demanda no tempo	42
Figura 15: Sazonalidade da demanda.....	43
Figura 16: Número de notas fiscais (NFs) por faixas de distância de entrega.....	44
Figura 17: Localização dos fornecedores.....	46
Figura 18: Operações fiscais da empresa objeto de estudo.....	46
Figura 19: Operações fiscais da empresa incorporada (Insumos).....	47
Figura 20: Operações fiscais da empresa incorporada (produtos pet)	48
Figura 21: Estrutura de Custos Atual - Operação Completa.....	48
Figura 22: Projeções de custos para os cenários futuros.....	49
Figura 23: Modelagem stepwise de custos de armazenagem.....	53
Figura 24: Volume de vendas por instalação, caso base versus cenário 1 (2020/2021) .	63
Figura 25: Figura 30: Diferença dos ganhos entre os cenários (CB vs. C1).....	64
Figura 26: Faixas de distância percorridas, caso base versus cenário 2 (2020/2021).....	64
Figura 27: Detalhamento dos custos tributários cenário 1	65
Figura 28: Volume de vendas por instalação, caso base versus cenário 2 (2020/2021) .	66
Figura 29: Faixas de distância percorridas, caso base versus cenário 2 (2020/2021).....	66
Figura 30: Atendimento de produtos pet da empresa incorporada -MG (2020/2021)....	67
Figura 31: Atendimento de produtos pet da empresa incorporada - SP (2020/2021).....	68
Figura 32: Diferença dos ganhos entre os cenários (CB vs. C2)	69
Figura 33: Detalhamento dos custos tributários cenário 2	69
Figura 34: Nova proposta de estruturação societária	70
Figura 35: Nova proposta de faturamento para produtos da empresa incorporada.....	71
Figura 36: Faixas de distâncias percorridas para distribuir produtos no cenário 3	72
Figura 37: Estrutura de custos do cenário 3	72
Figura 38: Detalhamento dos custos tributários do cenário 3	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelos de otimização globais de localização	27
Tabela 2: Tributos incidentes sobre insumos (valores em milhões de reais)	32
Tabela 3: Alíquota de ICMS por par origem e destino	35
Tabela 4: Relação entre tipo de linha de produção e tipo de produto acabado (PA)	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Modelos de otimização globais de localização	27
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>Bill of Materials</i>	- Lista de Materiais
CEO	- <i>Chief Executive Officer</i>
CFO	- <i>Chief Financial Officer</i>
C-Level	- Executivos sênior com o título <i>Chief</i>
COFINS	- Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
II	- Imposto de Importação
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPI	- Imposto sobre Produto Industrializado
MILP	- <i>Mixed Integer Linear Programming</i>
PIS	- Programa Integração Social
PO	- Pesquisa Operacional
PL	- Programação Linear
PLIM	- Programação Linear Inteira Mista
NCM	- Nomenclatura Comum do Mercosul
SCM	- <i>Supply Chain Management</i>
SCND	- <i>Supply Chain Network Design</i>
ST	- Substituição Tributária
SC	- <i>Supply Chain</i>
<i>Multicommodity</i>	- Multiproduto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	14
1.2. OBJETIVOS E DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	17
1.3. JUSTIFICATIVA.....	18
1.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1. GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	24
2.2. PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO.....	25
2.3. MODELOS DE OTIMIZAÇÃO.....	26
2.4. PROGRAMAÇÃO LINEAR	28
2.5. PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA	29
2.6. IMPOSTOS E BENEFÍCIOS FISCAIS.....	32
3. DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA	39
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA	39
3.1.1 A ESTRUTURA SOCIETÁRIA.....	40
3.1.2 A DEMANDA	41
3.1.3 AS REGRAS DE DISTRIBUIÇÃO	43
3.1.4 AS REGRAS DE PRODUÇÃO.....	44
3.1.5 A AQUISIÇÃO	45
3.1.6 TRIBUTOS E BENEFÍCIOS FISCAIS.....	46
3.2. MODELAGEM DO PROBLEMA	49
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	62
4.1. CENÁRIO 1 - OTIMIZAÇÃO LOGÍSTICA.....	62
4.2. CENÁRIO 2 - OTIMIZAÇÃO LOGÍSTICO-TRIBUTÁRIA.....	65
4.3. CENÁRIO 3 - OTIMIZAÇÃO LOGÍSTICO-TRIBUTÁRIA EM AQUISIÇÃO.....	70
4.4. COMPARATIVOS COM A LITERATURA	70
5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
5.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS	74
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	75
REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em um mundo de negócios competitivo, empresas precisam se apropriar de estratégias flexíveis e planos de longo prazo que garantam a possibilidade de resposta ao dinamismo do ambiente. Estas estratégias devem ser usadas para alocar de maneira otimizada os recursos da empresa nas principais fontes de desenvolvimento, para a expansão de atividades e serviços (BADRI, 2013). As preocupações apresentadas se relacionam diretamente com a geração de um modelo de negócios consistente, que reconheça as oportunidades, restrições e riscos associados ao local de operação. Investir em diferentes regiões do mundo, passou a ser um requisito estratégico para empresas que visam ampliar sua presença, adquirir novas tecnologias e talentos (BALANJI, 2008).

Em 2001, Jim O’Niell, então presidente do Goldman Sachs Asset Management, cunhou o termo BRIC, um acrônimo mundialmente conhecido que representa a associação das quatro maiores economias emergentes da época, Brasil, Rússia, Índia e China, mais recentemente este termo foi alterado para BRICS, com a inclusão da África do Sul (South Africa). A disseminação do termo se tornou combustível para os ânimos dos investidores estrangeiros. Visando acessar um mercado doméstico de aproximadamente 200 milhões de habitantes, um completo portfólio de matérias-primas, uma economia diversificada e uma posição geográfica estratégica para atuar em toda a América do Sul, várias companhias transnacionais instalaram escritórios, CDs e fábricas no Brasil.

Operar competitivamente no território brasileiro é um desafio reconhecido mundialmente. Um país com dimensões geográficas continentais, carente de infraestrutura, burocracia lenta e uma das maiores cargas tributárias do mundo tornam a escolha de um modelo de negócios altamente complexa. Os mercados são exigentes, obrigando as empresas a reduzirem seus custos para que seus produtos ganhem força perante outros, vertentes da literatura defendem um progresso humano com o estacionamento do crescimento econômico e atividade exacerbada da atividade industrial (SCHNEIDER; KALLIS; MARTINEZ-ALIER, 2010). Para administrar as restrições do país e atingir seus objetivos um número crescente de empresas buscam o desenvolvimento e aplicação de modelos matemáticos para desenhar suas cadeias de suprimento de maneira otimizada.

Geografia, custos fixos e variáveis, concentração de renda, benefícios fiscais, impostos, fontes de matéria-prima, disponibilidade de mão-de-obra qualificada e energia são elementos

de elevada relevância na solução de problemas de localização de instalações (HAMAD; GUALDA, 2012). A complexidade desses problemas é proveniente da existência de um sistema com muitos subsistemas interligados e conflitantes, otimizar os subsistemas de maneira isolada não garante a otimalidade da cadeia global. Segundo Rocco e Morabito (2016), modelos matemáticos de otimização, em geral, buscam decompor as variáveis presente no problema mantendo uma visão sistemática do todo, o que facilita a resolução e suporta esse tipo de metodologia.

O gerenciamento da cadeia de suprimentos abrange uma variedade de tópicos como previsão, compra, distribuição, produção, logística e outros, cada tópico deve ser tratado separadamente de forma estratégica, tática e operacional (LIAO; CHANG, 2010). A literatura evidencia as contribuições realizadas por acadêmicos de Pesquisa Operacional (PO) no desenvolvimento de ferramentas e modelos quantitativos para fundamentar e para facilitar o processo de tomada de decisão. A PO trata, em resumo, da modelagem matemática de fenômenos estáticos, também chamados de determinísticos, e dinâmicos, onde os elementos do modelo se associam com probabilidades (BORENSTEIN; FOGLIATTO, 2001).

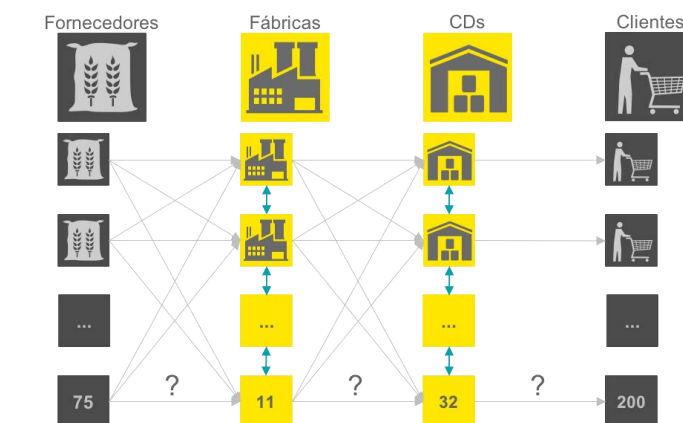
Otimização via Programação Linear (PL) é um dos métodos mais tradicionais para a resolução de problemas logísticos de transporte e roteirização, todavia, essa metodologia se limita a problemas lineares onde não há decisão quanto a abertura e/ou fechamento de instalações e parcerias estratégica operacionais. Segundo Soleimani-Damaneh, Hamidi e Sajadi (2011), PL pode ser definida como a maximização ou minimização de uma função linear, sujeita à restrições lineares. Em busca de suprir as limitações da PL, desenvolveu-se a Programação Linear Inteira Mista (PLIM) que permite que um modelo avalie as interligações dos subsistemas que compõem a situação problema, em cenários diferentes, considerando que os nós de uma rede podem ser desfeitos quando essa ação resulta em uma configuração logística com custos globais mais atrativos (SHAPIRO, 2001).

Segundo Pereira (2011), PLIM multiproduto (multicommodity) é uma metodologia comumente empregada em problemas das áreas de telecomunicações, transportes, produção de bens de consumo e alocação de recursos. Esse trabalho apresenta um modelo aplicado em um problema real logístico de uma empresa industrial do setor alimentício, envolvendo o impacto da aquisição de um competidor, terceirização do serviço de distribuição e a influência de tributos tais como, Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e serviços (ICMS), ICMS em Substituição Tributária (ICMS-ST), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), Imposto de Importação (II) e Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/COFINS), na escolha dos fluxos dos materiais.

Após uma recente incorporação, a empresa estudada passou a ter 11 unidades fabris distribuídas em 9 estados, 8 tipos de linha de produção e um *mix* de 10 grupos de produtos acabados. A nova relação de negócios entre as empresas iniciou um debate em relação à capacidade excedente de produção de alguns produtos e a relevância estratégica da atual configuração das fábricas.

Com focos de demanda em todos os estados brasileiros, a empresa e seu parceiro distribuidor dispõem de um conjunto de 32 centros de distribuição para garantir o atendimento e nível de serviço estabelecidos. Quanto à aquisição de matéria-prima, a empresa compra de aproximadamente 75 fornecedores diferentes uma variedade de 8 grupos de matérias-primas nacionais e importadas, sendo a maior parte delas *commodities*. A Figura 1 apresenta a esquematização desta configuração mencionada.

Figura 1: Configuração básica da malha logística da situação problema



Fonte: Autor

As linhas produtivas possuem capacidades anuais de processamento bem definidas, há casos onde equipamentos e recursos são compartilhados entre diferentes linhas. Assume-se inicialmente, que as empresas produtoras não realizam transferências de produtos entre si, operando de forma independente. Os custos atrelados a operações de transporte, fabricação, movimentação e armazenagem são conhecidos, assim como as regras tributárias e possíveis benefícios fiscais atrelados ao ICMS.

A questão da pesquisa, foco deste trabalho, foi: quanto relevante é a utilização de modelos de otimização via PLIM na definição de uma estratégia operacional eficiente?

O trabalho também visou avaliar os impactos gerados nas soluções de um modelo pela adição de tributos, eventos de aquisição de concorrentes e terceirização de serviços de distribuição em sua formulação.

1.2. OBJETIVOS E DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O objetivo geral deste trabalho foi utilizar a otimização via PLIM para observar as mudanças operacionais e tributárias em uma malha logística e seus impactos na estratégia operacional das empresas.

Os objetivos específicos foram:

- Adaptar os modelos de PLIM existentes para a realidade de uma empresa do ramo alimentício, especificamente no ramo de produções de alimentos para animais;
- Validar a acuracidade do modelo matemático com os dados fornecidos pela Empresa estudada;
- Avaliar os impactos nos custos logísticos tributários da Empresa estudada ao se considerar a otimização via PLIM na malha atual e nos cenários de aquisição de concorrente e terceirização do serviço de distribuição; e
- Comparar os resultados obtidos com os da literatura.

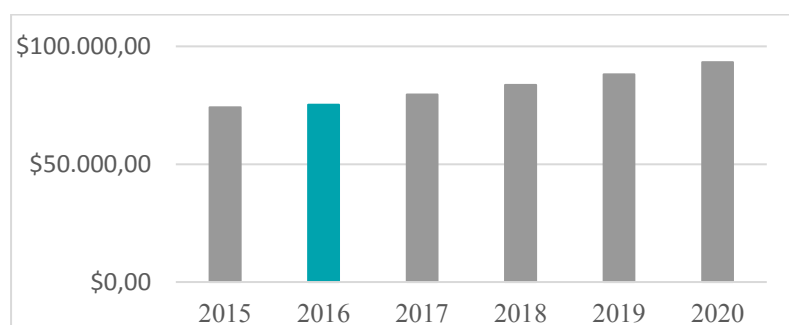
Assim, aplicou-se a PLIM a fim de otimizar a configuração de uma malha logística-tributária *multicommodity* com vários elos. Para ilustrar a aplicação deste modelo proposto na prática, foi utilizada uma empresa do ramo alimentício, especificamente no ramo de produções de alimentos para animais, que recentemente adquiriu um de seus competidores e que estava interessada em avaliar a manutenção da terceirização de seus serviços de distribuição. Os dados para realização do trabalho foram coletados entre os anos de 2014 e 2015, e por observações de campo e entrevistas com os executivos das empresas. Foi utilizado o *software* AIMMS (*Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software*) para a modelagem e solução do problema real tratado. Segundo Bisschop (2002), o AIMMS é uma ferramenta que inclui as duas formas gerais de uso dos modelos matemáticos, já que permite construí-los ao nível estratégico e ao nível tático operacional, através de ferramentas de apoio à decisão iterativa para solução dos problemas.

Distorções entre os resultados encontrados pelo modelo matemático poderão ser justificados em função de imprecisões realizadas na mensuração dos dados imputados no algoritmo e/ou falhas realizadas durante o processo de projeção de demanda e custos para cenários futuros. É imprescindível considerar que os resultados tributários obtidos pelo modelo só são válidos para cada configuração societária específica e para as regras atuais de tributação. Reformas tributárias, tornarão o modelo passível de revisão por parte do modelador.

1.3. JUSTIFICATIVA

Segundo a revista Exame (2014), o Brasil é o segundo maior produtor de rações para animais do mundo, contendo em seu portfólio de clientes, mais de 40 países. O jornal O Estado de São Paulo (2015) pontua o setor de alimentos para animais, como um mercado promissor dada as projeções de crescimento da pecuária no país, bem como o número de animais de estimação. A Figura 2, apresenta a evolução da demanda por alimentos para animais (pets) no mundo, demonstrando o crescimento linear previsto para o mercado até 2020.

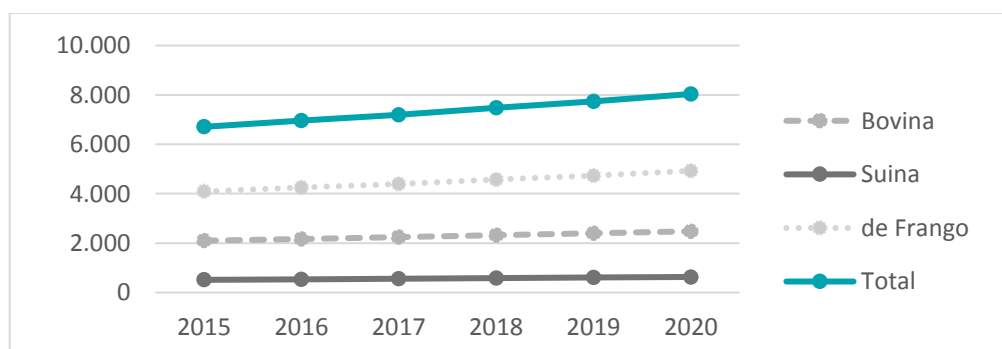
Figura 2: Demanda mundial por alimentos para pets em milhões de US\$



Fonte: Euromonitor (2015)

Em concomitância ao crescimento do mercado de alimentos para animais domésticos ao redor do mundo, o Ministério da Agricultura (2015) do Brasil chamou a atenção para um crescimento constante e linear para a pecuária do país. A evolução da produção de carne, e consequentemente da criação de animais para corte é apresentada na Figura 3.

Figura 3: Produção de carne em milhões de toneladas



Fonte: Ministério da Agricultura (2015)

Assim, desenvolver modelos matemáticos voltados para o mercado de alimentos para animais tem o potencial de impactar positivamente a operação de um grande número de empresas no país, dado o tamanho do mercado existente.

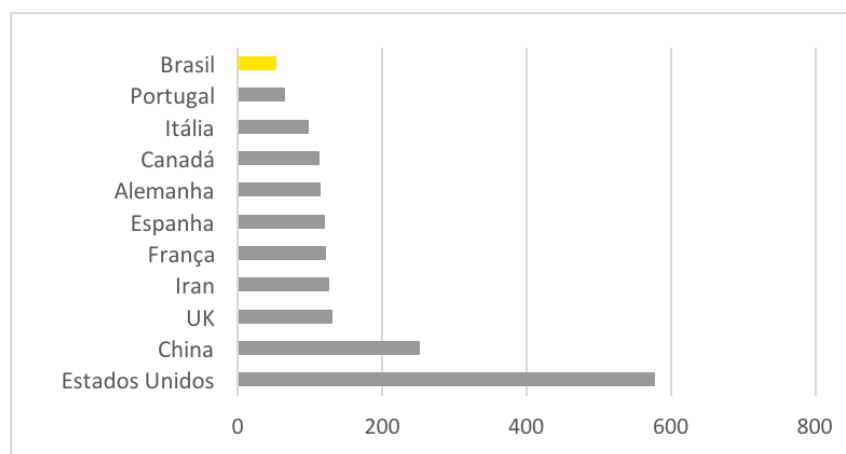
Apesar de projeções de crescimento para o mercado, a instabilidade política e econômica do Brasil, neste período de 2015-2017, torna o desenvolvimento de uma estratégia de operação uma tarefa altamente complexa. Para tornar suas cadeias de suprimento menos vulneráveis às oscilações de mercado, líderes de empresas buscam adotar técnicas de otimização para reduzir seus custos operacionais e eliminar desperdícios.

Pesquisas realizadas pela Crimson & CO (2011), maior consultoria em cadeias de suprimentos (SC - *Supply Chain*) do Reino Unido, com aproximadamente 300 líderes de empresas multinacionais, indicou a otimização da rede logística como a terceira maior preocupação de CEOs (*Chief Executive Officers*) naquele momento. Corroborando com estes resultados, uma outra pesquisa realizada pela EY (2013) indicou que CFOs (*Chief Financial Officers*) passaram a dedicar uma parte maior de suas agendas para acompanhar projetos de redução de custos via técnicas de otimização.

Dentre as possíveis ferramentas utilizadas para otimizar malhas logísticas, modelos de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) têm sido adotados para solucionar problemas de localização (BHUTTA, 2004). Esta área da PO teve seu ápice de utilização na década de 90, porém, com o avanço da complexidade dos problemas, alguns analistas adotaram heurísticas e metaheurísticas para obter soluções mais rapidamente, mesmo que estas não tenham a garantia de serem as ótimas. Segundo Fávero e Belfiore (2013), heurísticas e meta-heurísticas representam uma combinação de procedimentos de busca com estratégias em mais alto nível, incluindo intensificação e diversificação, buscando anular o efeito de ótimos locais buscando atingir valores próximos ao ótimo global, porém sem garantir a otimalidade.

De toda forma a PLIM continua sendo uma aliada de empresas que buscam soluções ótimas, e após um levantamento realizado na base de dados SCOPUS, na Figura 4, apresenta-se o número de publicações de modelos de PLIM entre os anos de 2012 e 2016.

Figura 4: Número de artigos publicados sobre PLIM entre 2012 e 2016 por país



Fonte: SCOPUS (2006)

Observa-se que o Brasil assume a décima primeira colocação em relação ao número de publicações sobre PLIM, sendo que das publicações de autores brasileiros apenas 12% dos artigos publicados trabalham com problemas voltados às questões de SC.

Utilizar um modelo da PLIM aplicado a otimização de malhas logísticas brasileiras pode trazer diferenciais competitivos significativos para as indústrias que adotam a ferramenta (EY, 2013). A complexidade operacional e tributária vivenciada pelas empresas brasileiras gera a necessidade de soluções exatas para suportar processos de tomada de decisão. Um estudo da PwC (2010) indica a tributação como a maior preocupação do empreendedor brasileiro, todavia não foi encontrado nenhum artigo brasileiro publicado em periódicos internacionais, na base de dados do SCOPUS, nos últimos 5 anos, que tratasse de otimização de malhas logísticas considerando aspectos tributários.

Salienta-se que as pesquisas realizadas na base SCOPUS utilizaram combinações do seguinte conjunto de palavras chave: *Mixed Integer Linear Programming, PLIM, Network Design, Supply Chain*.

Pelo que foi aqui exposto fica evidente a importância deste trabalho como contribuição teórica e prática para a otimização de malhas logísticas-tributárias, por meio de modelos matemáticos da PO no Brasil.

1.4. MATERIAL E MÉTODOS

Como o objetivo desta pesquisa foi investigar a veracidade de um conceito teórico existente e atestar sua eficiência para a situação estudada, considera-se que a sua natureza pode

ser definida como aplicada. Com relação ao seu objetivo de descrever o comportamento de uma malha logística-tributária com múltiplos elos, a pesquisa pode ser classificada como empírica normativa. Como o objetivo da pesquisa foi descrever comportamentos em função dos parâmetros modelados e a interrelação entre eles, a pesquisa pode ser definida como empírica descritiva (GIL, 2008).

O modelo matemático proposto visa retratar a realidade, os resultados encontrados pelo processo de otimização são suportados por uma grande variedade de dados que representam uma população e comportamento, são aspectos que caracterizam este trabalho como uma pesquisa quantitativa. Por meio de modelagem e simulação, buscou-se analisar múltiplos cenários com combinações de fusões entre as empresas estudadas e otimizações totais e parciais das operações. Também, como o estudo visa encontrar um modelo matemático para analisar cenários, a pesquisa pode ser definida mais precisamente definida como empírica quantitativa, sendo modelagem e simulação o método de pesquisa utilizado (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

A Figura 5 resume a classificação do método de pesquisa usado nesse estudo.

Figura 5 – Método de Pesquisa

Pesquisa	Empírica normativa
Natureza	Aplicada
Objetivos	Pesquisa descritiva
Abordagem	Pesquisa Quantitativa
Procedimentos	Modelagem e Simulação

Fonte: Autor

Os dados necessários foram coletados da própria empresa por meio de observação dos processos em visitas técnicas, transferências de arquivos por meios digitais e durante reuniões com os colaboradores das empresas estudadas. Após a coleta dos dados, estes foram modelados

no software Excel® afim de garantir sua linearidade, condição necessária para que o algoritmo funcione.

Após o término da modelagem, e a validação dos custos encontrados nos diferentes cenários, serão justificadas as oportunidades pontuadas pelo modelo para que os negócios estudados minimizem seus custos de operação.

Modelos de PLIM voltados a problemas atuais, em geral, se deparam com uma complexidade que dificulta sua solução, pois se faz necessário adotar variáveis inteiras e binárias. De fato, ao se trabalhar com empresas com várias instalações, que utilizem variados modais de transporte, e com um portfólio incluindo muitos produtos e parceiros, é comum que o número de variáveis e o tempo de processamento do modelo o tornem pouco atraente para ser utilizado com ferramenta de apoio ao processo de tomada de decisão.

Para mitigar os impactos gerados por um grande número de variáveis inteiras e binárias, pesquisadores procuram simplificar seus problemas por meio de agrupamentos. Balaji e Viswanadham (2008) propuseram a simplificação de alguns parâmetros para viabilizar a solução do problema por meio de PL.

Um *Thread*, linha ou encadeamento de execução, é uma forma de dividir um processo em duas ou mais tarefas que podem ser executadas concomitantemente. Um *thread* permite, por exemplo, que o usuário de um programa utilize uma funcionalidade do ambiente enquanto outras linhas de execução realizam outros cálculos e operações. A utilização de *threads* pode auxiliar no processo decisório de modelos de PLIM, diminuindo o tempo necessário para a solução ótima. Este recurso foi adotado na solução do modelo proposto neste trabalho.

A Figura 6 apresenta as etapas que foram seguidas no processo de modelagem desse trabalho do começo (coleta de dados) até o final (análise de cenários). Este trabalho buscou avaliar todas operações logísticas e tributárias com uma visão holística do negócio, em busca de identificar oportunidades de redução de custos para as empresas estudadas.

Figura 6 - Fluxograma



Fonte: Autor

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado como segue: no Capítulo 1 está a introdução, com as considerações iniciais, objetivos e delimitações do trabalho, justificativa e materiais e métodos utilizados; No Capítulo 2 está a fundamentação teórica com os conceitos e modelos utilizados; no Capítulo 3 está a descrição do problema e a modelagem realizada para solucionar o problema, no Capítulo 4 apresenta-se a análise dos resultados da otimização dos cenários simulados; finalmente no Capítulo 5 estão as Considerações Finais do trabalho seguidas das referências bibliográficas consultadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS (*SUPPLY CHAIN MANAGEMENT*)

Temas como a globalização como integração social, política, cultural e econômica dos países vem se tornando cada vez mais fortes no mundo dos negócios. Hamad (2014) também pontuou a resiliência, como a capacidade de uma companhia suportar as oscilações de mercado. Esses dois fatores foram catalisadores para que a preocupação de empresários com o desenvolvimento de uma malha de suprimentos eficiente passasse a tomar a frente dos holofotes. Neste contexto, a corrida deixou de ser entre produtos e sim entre eficiências na cadeia de suprimentos (BHUTTA, 2004).

O escopo de operação da cadeia de suprimento é desde a fonte de fornecimento de recursos até o ponto de consumo, priorizando a integração dos sistemas de informações, bem como as atividades administrativas de operações e serviços disponibilizados aos clientes (MORABITO; SOUZA; VAZQUEZ, 2013).

Há um reconhecimento crescente de que é possível se apropriar de uma importante vantagem competitiva a partir da eficiência das operações internas e solidez da rede da cadeia de fornecimento (OLHAGER; PRAJOLO, 2012). Companhias que lideram seus mercados tendem a buscar proximidade de seus parceiros da cadeia de suprimentos atingindo, assim, relações diferenciadas de sinergia e consequentemente benefícios a partir da integração das atividades (Kim, 2013). Relações sinérgicas são provenientes de proximidade com parceiros e boas práticas de planejamento, essas relações tem o potencial de aumentar o poder de leitura das empresas frente as demandas de seus clientes, por meio da troca de informações com fornecedores (KOUFTEROS *et al.*, 2010; ALLRED *et al.*, 2011).

Estudos realizados por Allred *et al.* (2011) e Droge *et al.* (2012) apresentam resultados semelhantes, pontuando que a busca de conhecimento e alinhamento, dos parâmetros que regulam uma malha logística, pode aumentar a colaboração ao longo de diferentes funções internas da empresa avaliada, beneficiando a produtividade, satisfação do cliente, *lead time* para desenvolvimento de novos produtos e performance financeira.

Empresas que experimentam crescimento acelerado, mudando sua configuração de operação (fábricas e CDs), em geral, enfrentam uma grande oportunidade de reduzir custos atrelados a atividades de produção e logística (JUNQUEIRA; MORABITO, 2012), torna-se necessário um bom processo de avaliação e tomada de decisão.

O processo de tomada de decisão está presente em todas as áreas de uma empresa, muitas vezes pode ser estratificado em decisões estratégicas, táticas e operacionais. Estas estratégias são usadas para otimizar a alocação de recursos da empresa para as principais fontes de desenvolvimento, para a expansão das atividades da empresa e para a expansão de serviços (BADRI; BASHIRI; HEJAZI, 2013).

- Nível estratégico: maior flexibilidade no processo de tomada de decisão em função da utilização de dados de um horizonte de tempo maior. Envolve decisões de abertura e dimensionamento de instalações fabris e de distribuição;
- Nível tático: decisões tomadas em função de dados agregados de um horizonte de tempo flexível. São decisões menores e podem envolver definição da malha de distribuição;
- Nível operacional: em geral são decisões que precisam ser tomadas em curto período de tempo, processo voltado para as atividades diárias de uma companhia.

2.2. PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO

O planejamento globalizado e resiliente de uma cadeia de suprimentos é essencial para garantir vantagens estratégicas para as empresas (FINE, 1999).

Weber (1909) é reconhecido pela incorporação de elementos econômicos à teoria da amplamente utilizados na solução de problemas de decisão de instalação de centros de distribuição, fábricas e no processo de seleção de fornecedores.

Love *et al.* (1988) realizou um levantamento abrangente das metodologias até então disponíveis para solucionar problemas de localização. Em seguida, Geoffrion (1989) apresentou um estudo descrevendo a evolução das metodologias, ferramentas, métricas e conceitos atrelados a localização de instalações.

A localização de fábricas, fornecedores e/ou CDs é um problema de grande complexidade, principalmente em empresas com operações internacionais. Na literatura mundial são poucos os modelos desenvolvidos que tratam da localização de instalações em escala global (HAMAD; GUALDA, 2012).

Problemas de localização-alocação de instalações envolvem escolher o melhor local para uma ou mais facilidades, dentro de um conjunto de locais possíveis, a fim de minimizar os custos de transporte, considerando a restrição de limite máximo de capacidade. É um problema complexo por envolver, na maioria das vezes, um grande número de variáveis inteiras e binárias e grandes volumes de dados. Uma valiosa ferramenta para a resolução desses problemas são os

Sistemas de Informação s Geográficas (SIG), pela sua grande capacidade em armazenar, exibir e manipular dados espacialmente distribuídos e gerar resultados gráficos.

A missão da Logística, segundo Ballou (2006), é dispor a mercadoria ou o serviço solicitado no local e no momento oportunos, na quantidade exata e nas condições desejadas, de forma eficiente ao cliente e, ao mesmo tempo, fornecendo a maior contribuição possível à empresa. Somente assim o produto, ou serviço, terá valor para o cliente, sendo a eficiência na gestão logística a principal responsável para a consecução de tal objetivo. Para alcançar esta eficiência, faz-se necessário um planejamento de toda a rede logística. Ao realizar o planejamento destas redes, profissionais geralmente esbarram em problemas de localização.

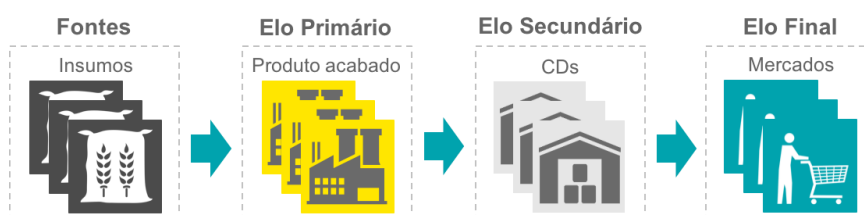
2.3. MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

Modelos são representações matemáticas da realidade que têm como objetivo facilitar a compreensão desta realidade, ou explicar seu comportamento (PACHECO, 1999).

Smits (2001) e Bhutta (2004) realizaram uma ampla revisão dos trabalhos acadêmicos de modelos de otimização existentes na literatura, podendo ser destacado que Smits (2001) comparou cerca de 34 modelos de localização, classificando-os segundo 14 critérios de complexidade. As considerações levantadas por esses trabalhos serão avaliadas no decorrer deste documento.

Modelos de otimização aplicados em problemas de localização podem apresentar graus diferentes de complexidade. Essa complexidade pode ser gerada em função da quantidade de elos que compõem a rede trabalhada na questão, a quantidade de itens por elo, diversidade de modais transportadores, regras e benefícios fiscais, bem como a adição de variáveis de dimensionamento de instalações.

Figura 7: Modelos de localização envolvendo quatro elos da cadeia



Fonte: Autor.

Os modelos mais populares na literatura são desenvolvidos por meio de Programação Linear (PL) e Programação Linear Inteira Mista (PLIM), e dentre os modelos estudados neste trabalho, apenas os trabalhos de Melachrinoudis (1996), Flipo (2000), Hadjinicola e Kumar (2002) e Verter (2002) apresentaram modelagens menos convencionais. Em geral, modelos de otimização tem dois potenciais objetivos, gerar uma nova configuração que maximize o lucro decorrente de vendas (Max lucro) ou gerar uma configuração que minimize os custos da operação (Min custo). Saliente-se que a modelagem de uma situação problema pode apresentar diferentes formas em função do objetivo estabelecido.

Outra fonte de complexidade para um problema de otimização pode ser a existência de múltiplos períodos a serem considerados na solução do problema, a quantidade de instalações consideradas para o fluxo de material e a variabilidade dos produtos que compõe o portfólio da malha estudada. Problemas onde há fluxo de produtos diferentes no interior de uma rede, são chamados de multiprodutos (*multicommodity*).

Tendo como base Bhutta (2004) e Hamad (2012), foi construído o Quadro 1 que apresenta um comparativo de alguns dos modelos de localização mais referenciados da literatura.

Quadro 1: Modelos de otimização globais de localização

Autor	Haug (1985)	Arntzen (1995)	Kirka (1996)	Melachri. (1996)	Khumew (1996)	Mohamed (1999)	Bhutta (2001)	Flipo (2000)	Kumar (2002)	Syam (2002)	Verter (2002)	Hamad G. (2008)	Furlanetto (2016)
Tipo Modelo	PLIM	PLIM	PL	Algoritmo Próprio	PLIM Binário	PLIM	PLIM	Modelo de Rede	Program. por metas	PLIM Binário	Algoritmo Próprio	PLIM	PLIM
Objetivo	Max Lc	Min Custo	Max Lucro	Max Lucro	Max Lucro	Min Custo	Max Lucro	Min Custo	Min Custo	Min Custo	Min Custo	Min Custo	Min Custo
Períodos	2	18	12	3	4	3	3	12	1	12	1	1	1
Instalações	2	33	1	5	5	2	3	10	3	10	13	17	32
Mercados	1			1	6	3	4				49	27	200
Produtos	1		1	1	1	1	2	16	1	16	1	4	8
Elos	2		2	2	2	2	2	3	2	3	3	4	4
Demanda	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Capacidade	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Investimento			Sim	Sim	Sim				Sim	Sim	Sim	Sim	
Inventário		Sim	Sim		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim		Sim	Sim
Tx. Câmbio				Sim	Sim	Sim	Sim		Sim			Sim	Sim
Impostos		Sim			Sim		Sim					Sim	Sim

Fonte: Bhutta, (2004), Hamad (2012), Autor (2016).

A literatura internacional também apresenta uma série de outros autores que trabalharam com modelagem de problemas de localização em escala global. Hamad (2014) fez um levantamento de vários artigos, incluindo: Tong e Walter (1980), Hodder e Dincer (1984), Allen (1991), Haug (1992), Bijayamada e Chakravarty (1994), Mejiboom e Vos (1997) e Flipo

e Flinke (2001). Todos estes trabalhos mencionados tratam com problemas com no máximo três elos da SC.

Já no Brasil, os pesquisadores têm focado em problemas de escala regional, sendo poucos os autores que pontuaram questões de importação e exportação em seus modelos. Hamad (2014) realizou um levantamento dos trabalhos brasileiros mais referenciados, sendo eles: Amaral *et al.* (2012), Heiderich (2011), Zucchi (2010), Xavier (2008), Ferrari (2006), Oliveira (2005), Pantalena (2004), Vallim (2004), Nazar (2003), Yoshizaki (2002), Martos (2000) e Medina (1996). Brito (2004) e Hamad (2006 e 2014) compõem o grupo de pesquisadores que mantêm em suas formulações algumas variáveis voltadas para problemas de escala global.

Shapiro (2001) realizou um levantamento de modelos até então desenvolvidos e destacou as soluções determinísticas baseadas em PL (especialmente PLIM) como as mais promissoras para solucionar problemas de localização em diferentes escalas, o que foi corroborado por Lacerda (2005).

2.4. PROGRAMAÇÃO LINEAR

Programação Linear (PL) é uma importante área da otimização por várias razões. Muitos problemas práticos de Pesquisa Operacional (PO) podem ser expressos como problemas de programação linear, como os de fluxos de redes e problemas de fluxos multiproduto. Ideias da PL inspiraram muitos dos conceitos centrais de teoria da otimização, como decomposição, dualidade e convexidade (SILVA, 1999).

A PL é constantemente utilizada por autores brasileiros na solução de problemas do setor de agronegócios, seleção de modais adequados e formas de escoar produtos estão entre os principais objetivos dos trabalhos. Dentre os trabalhos que exploram questões de intermodalidade, escoamento de produção agrícola e localização de instalações, pode-se citar: Amaral *et al.* (2012), Zucchi (2010), Xavier (2008), Oliveira (2005) e Ferrari (2006).

Brito (2004) publicou um modelo voltado para o processo de seleção de modais para o abastecimento da indústria aeronáutica, considerando questões de tipo de entrega, transbordo e importação de produtos. Nazar (2003) agregou aos modelos de PL existentes o conceito de nível de serviço oferecido, uma variável incomum, e este modelo também envolve a seleção de modais para o planejamento dos serviços de transporte. Martos (2000) desenvolveu um modelo voltado para a configuração de redes logísticas e, de semelhante modo, centralizou sua formulação no processo de decisão do modal a ser utilizado.

A PL já foi amplamente utilizada para a resolução de problemas que consideram demanda e restrições de capacidade de armazenagem e movimentação. Kirca e Koksan (1996) utilizaram a PL para solucionar problemas logísticos, sendo pioneiros na adição de variáveis de inflação e, conseqüentemente, possibilitando soluções de planejamento de produção e financeiro mais assertivas.

2.5. PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA

A Programação Linear Inteira Mista (PLIM) é a metodologia mais utilizada em problemas de localizações de instalações, pois permite que custos fixos, bem como diferentes níveis de custos variáveis sejam incluídos na análise. Nos modelos de PPLI Mista, parte das variáveis ou todas elas assumem valor inteiro, podendo haver variáveis binárias, estes modelos são amplamente usados no apoio à tomada de decisão (DAS; CHOWDHURY, 2012).

Hamad (2014) realizou um levantamento de autores que suportam a Programação Linear Inteira Mista como a metodologia que apresenta os melhores resultados para problemas de localização no universo de ferramentas da PO, sendo eles: Love et. al (1988), Ballou (1998), Smits (2001) e Bhutta (2004). Segundo Geoffrion e Powers (1995), saliente-se que na década de 90 aproximadamente 90% dos trabalhos desenvolvidos para solucionar problemas de localização utilizaram PLIM como algoritmo de otimização.

Em 1974, Geoffrion e Graves apresentaram um modelo de localização utilizando a PLIM, e a primeira aplicação do modelo proposto foi em um caso real em 1976 pelo próprio Geoffrion. Deste então pode-se observar utilizações e variações deste modelo em trabalhos nacionais e internacionais. Dentre os autores que se basearam no modelo de Geoffrion e Graves (1974), estão Gutierrez (1996), Yoshizaki (2002), Bhutta *et al.* (2003), Hamad (2006), Yoshizaki (2008) e Hamad (2014).

Na literatura nacional, o primeiro trabalho estudado que apresenta um modelo de PLIM é o de Medina (1996), onde o autor buscou dimensionar o tamanho de frotas de veículos e localizar embarcações para atender situações de acidente marítimo. Ao modelo convencional da PLIM, Medina adicionou variáveis probabilísticas, considerando a aleatoriedade dos eventos estudados no problema.

Yoshizaki (2002) considerou em sua formulação uma complexidade adicional típica de problemas logísticos brasileiros: a tributação. Pela primeira vez, a importância de considerar impostos ao solucionar problemas de rede de transporte no Brasil foi evidenciada. Seu modelo apresentou uma formulação para uma SC com 3 elos, sendo eles: fábricas, centros de

distribuição e clientes finais. O trabalho de Yoshizaki (2002) passou a ser referenciado pelos demais autores brasileiros por ter sido pioneiro no tema.

Em 2004 houve a publicação de mais dois trabalhos de autores brasileiros, Pantalena (2004) e Vallim (2004), apresentando modelos de PLIM. Vallim (2004) propôs um modelo de localização de centros de distribuição de uma empresa do varejo presente em todo o país. Já Pantalena (2004) apresentou um modelo com formulações tributárias bem trabalhadas aplicadas a um problema de localização de CDs de uma indústria química instalada no país. Apesar de Pantalena (2004) considerar instalações fabris, ele desconsiderou a existência de estoques em sua formulação.

Hamad (2006) apresentou um modelo de PLIM para uma SC com quatro elos, podendo avaliar cenários com a presença do fornecedor de insumos para os processos de fabricação. Neste trabalho, Hamad também buscou avaliar impactos ao considerar aspectos tributários ao solucionar problemas de redes logísticas. Diferentemente dos demais autores brasileiros apresentados nesta seção, Hamad trabalhou com um problema de escala global, aplicável para empresas exportadoras do agronegócio.

Hamad (2014) revisou seu modelo anteriormente proposto adicionando variáveis para avaliar o impacto do custo de carregamento de estoques; ele considerou também, nesta formulação, benefícios fiscais decorrentes de exportação, e as dificuldades enfrentadas por algumas empresas instaladas no Brasil frente ao acúmulo de créditos fiscais.

Além dos trabalhos acima, a literatura internacional apresenta uma série de modelos aplicáveis a problemas de múltiplos elos em SC e em escala global, sendo que se observa que a utilização de PLMI vem sendo melhor explorada por autores do exterior. Modelos que trabalham com problemas deste porte, em geral, buscam introduzir parâmetros, variáveis e restrições para aumentar a efetividade dos processos de tomada de decisão frente às oscilações macroeconômicas, custo de capital e instabilidade política. Esse tipo de complexidade passou a se tornar cada vez comum em função de demandas de empresas que buscam definir soluções flexíveis às suas malhas logísticas-tributárias, ou seja, a capacidade de uma cadeia de suprimentos absorver oscilações de mercado vem se tornando uma característica cada vez mais valorizada.

Balaji e Viswanadham (2008) propuseram um modelo para atender uma questão frequentemente discutida no ambiente corporativo: a terceirização. Ao trabalharem em sua formulação, os autores consideraram questões tributárias e estoques ao longo da cadeia de suprimentos de uma empresa de computação.

Basset e Gardner (2010) trabalharam com a otimização da malha logística global da Dow AgroSciences via PLIM desconsiderando a existência de centros de distribuição e focando sua análise em apenas três elos, os fornecedores, fábricas e consumidores. Suas contribuições são diferenciadas, pois incorporaram o tratamento do imposto de importação de cada país considerado na malha.

Dentre outros modelos de otimização logística-tributária presentes na literatura internacional, alguns trabalhos desenvolvidos para empresas transnacionais, vêm recebendo destaque por suas consistentes contribuições, sendo eles: Hodder e Jucker (1985), Haug (1985 e 1992), Bijayananda e Chakravarty (1994), Min e Melachrinoudis (1996), Mejboom e Vos (1997), Hadjinicola e Kumar (2002) e Bhutta *et al.* (2004).

Susarla (2012) apresentou um modelo para uma SC de múltiplos elos com uma abordagem diferenciada, trabalhando com fluxo de matérias-primas, produtos acabados e semi-acabados que fluem de entre fornecedores, plantas primárias, secundárias, centros de distribuição, clientes e centros de tratamento de resíduos.

Ivanov e Stoyanov (2016) também apresentaram um modelo voltado para o processo de produção de biodiesel, que pode ser considerado de múltiplos elos, contando com uma compilação de fábricas que se integram para gerar os *blends* de petróleo-biodiesel.

Se comparado com o volume de publicações da década de 90, estima-se que o percentual de modelos que utilizam PLIM para solucionar problemas seja menor (GUALDA, 2004). A queda do número de publicações que utilizam a metodologia é justificada por Gualda (2004) em função do avanço das heurísticas e metaheurísticas, metodologias que não garantem a exatidão e otimalidade da solução, mas apresentam resultados interessantes e com menor tempo de processamento para problemas complexos. Bhutta (2004) pontua que nem sempre empresas consideram necessário avaliar todos os parâmetros envolvidos em um sistema para tomada de decisão, mas quando essa consideração sistêmica é considerada fundamental ainda há preferência pela utilização de PLIM.

Atualmente, a PLIM vem agregando novas aplicabilidades, a ferramenta que outrora fora utilizada essencialmente para solucionar problemas de empresas passou a ser utilizada para auxiliar equipes de organizações sem fins lucrativos a gerirem situações críticas, como desastres ambientais e naturais. Esse tipo de problema passou a ser estudado por vários pesquisadores, incluindo: Liu *et al.* (2015), que apresentaram uma proposta de modelo da PLIM aplicado a problemas de logística reversa e Zheng (2013) que aplicou a PLIM ao gerenciamento emergencial de transportes para o atendimento de demandas de desastres naturais

2.6. IMPOSTOS E BENEFÍCIOS FISCAIS

O Brasil é mundialmente conhecido por sua complexidade tributária, os elevados impostos somados às complexas regras que os regulam fazem do país um grande desafio para que empresas operem minimizando seus custos. Segundo Hamad (2014), a instabilidade política e econômica presente no país, reforçam diariamente a necessidade revisar as atuais legislações tributárias.

Segundo IBPT (2013), o Brasil possui 86 impostos, contribuições e taxas que permeiam a economia do país. Hamad *et al.* (1999) reforçam a classificação destes tributos em três bases clássicas: tributos sobre a renda, o patrimônio e o consumo, as demais sendo variações destas bases.

Yoshizaki (2008) classificou o sistema tributário brasileiro como uma estrutura obsoleta e com exagerada complexidade, o que prejudica a competitividade de produtos nacionais e promove cenários mais propensos a sonegação fiscal. A Tabela 1 apresenta um levantamento da incidência de impostos sobre os insumos e componentes no Brasil em 2010, realizada pelo Ministério da Fazenda em 2011 os (valores em milhares de reais)

Tabela 1: Tributos incidentes sobre insumos (valores em milhões de reais)

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

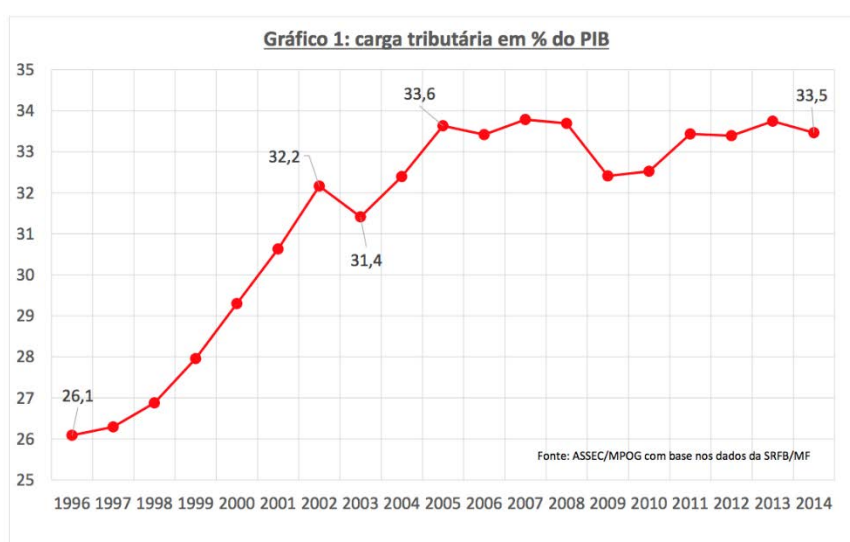
Fonte: Ministério da Fazenda (2011), Hamad (2014)

Segundo Patu (2010), a falta de simplicidade do sistema tributário brasileiro é resultado de vários anos de planos políticos inconsistentes, legislações e medidas incongruentes. Esse

cenário dificulta que o sistema tributário nacional se adeque à globalização, impactando as relações comerciais com outros países e blocos econômicos como é o caso do Mercosul.

Hamad (2014) comentou que apesar de mudanças realizadas na estrutura tributária do país ao longo dos últimos 20 anos (eliminação da correção monetária, introdução do desconto simplificado no IRPF, isenção de ICMS para exportações, etc) elas se mostraram restritas quanto a redução do número total de impostos do sistema e apresentaram dificuldades para serem implantadas de maneira eficiente. A evolução da carga tributária brasileira pode ser observada na Figura 9.

Figura 8: Evolução da carga tributária brasileira em % do PIB



Fonte: Ministério do planejamento (2015)

O processo que envolve produção e compra de produtos no Brasil é permeado por uma série de impostos, estes podem ser divididos em diretos e indiretos. Neste trabalho considerou-se apenas impostos indiretos, ou seja, tributos que os contribuintes podem transferir o ônus da contribuição, total ou parcialmente, para terceiros:

- Imposto de Importação (II);
- Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS);
- ICMS em Substituição Tributária (ICMS-ST);
- Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI); e
- Programa de Integração Social - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (PIS/COFINS).

Com exceção do II, os demais impostos considerados neste trabalho são calculados por um método denominado “por dentro” ou *gross up*, ou seja, integram a própria base de cálculo. Esse tipo de cálculo é representado pelo *gross up* variável presente na formulação (1) – (7):

$$PL = C + M \quad (1)$$

$$Grossup = PL / (1 - \widehat{ICMS} - \widehat{PC}) \quad (2)$$

$$ICMS = Grossup * \widehat{ICMS} \quad (3)$$

$$PC = Grossup * \widehat{PC} \quad (4)$$

$$IPI = Grossup * \widehat{IPI} \quad (5)$$

$$ST = (Grossup + IPI) * (1 + MVA_{ajustado}) * \widehat{ICMS}_{Destino} - ICMS \quad (6)$$

$$PB = PL + ICMS + PC + IPI + ST \quad (7)$$

sendo,

PL – Preço líquido;

C – Custos;

M – Margem;

PC – PIS-COFINS;

ST – ICMS-ST;

MVA – Margem de valor agregado ou ajustado;

$\widehat{ICMS}$ – Alíquota de ICMS;

$\widehat{PC}$ – Alíquota de PIS-COFINS; e

$\widehat{IPI}$ – Alíquota de IPI.

2.6.1. IMPOSTO SOBRE A CIRCULAÇÃO DE MERCADORIAS E SERVIÇOS

Por se tratar da tarifa com maior impacto financeiro em problemas de localização de instalações no Brasil, o ICMS foi analisado em maior nível de detalhe neste estudo. O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços é um imposto estadual brasileiro, apenas podendo ser instituído pelos governos de cada estado e do Distrito Federal. Esse imposto é aplicável a movimentação de mercadorias nacionais e estrangeiras, pagamento de serviços aduaneiros, transporte intermunicipal e interestadual e serviços de comunicação. Esse imposto é

regulamentado em cada governo estadual, contudo algumas características são mantidas a nível nacional, o imposto é considerado seletivo, não-acumulativo, indireto e proporcional, podendo ser isento para um caso específico, como explicado na sequência:

- Indireto - um fator momentâneo gera a sua necessidade, mas é possível repassar seu valor ao longo da cadeia comercial;
- Isenção - só há a possibilidade de isenção de ICMS em processos de compra de automóveis por consumidores portadores de deficiência;
- Não-cumulativo - o imposto é calculado sobre a agregação de valor do produto, todavia é realizada uma dedução dos valores já contribuídos em etapas anteriores do valor devido do estágio em questão;
- Proporcional - a tarifa é cobrada com base em uma proporção constante sobre o valor a ser tributado; e
- Seletivo - as alíquotas podem variar em relação a produtos e serviços.

O ICMS é cobrado no estado de origem do produto, apenas eletricidade, petróleo e derivados. A Tabela 2 apresenta todas as combinações de fluxos interestaduais possíveis nacionalmente, atribuindo para cada fluxo o valor da alíquota de ICMS revisado para o ano de 2016.

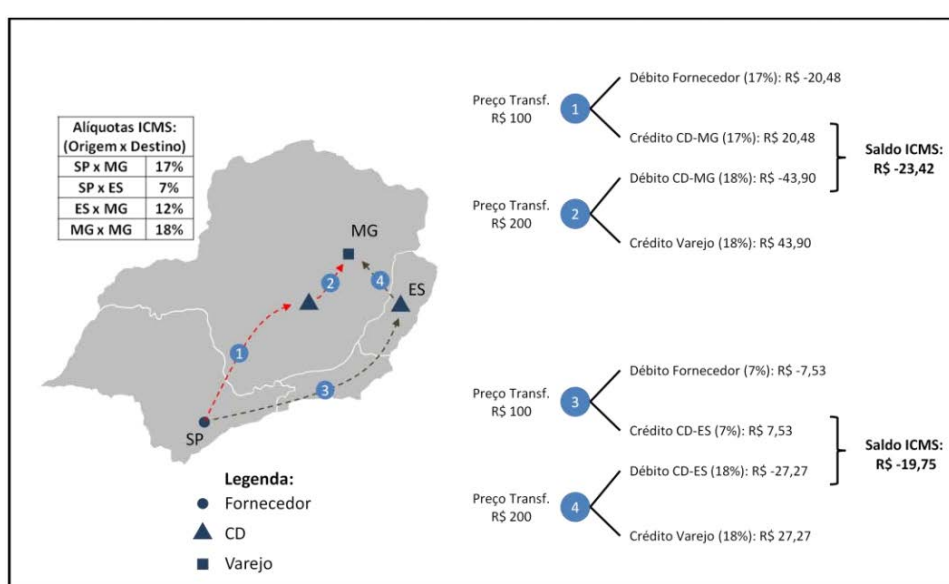
Tabela 2: Alíquota de ICMS por par origem e destino

		DESTINO																											
ORIGEM		AC	AL	AM	AP	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MT	MS	MG	PA	PB	PR	PE	PI	RN	RS	RJ	RO	RR	SC	SP	SE	TO	
	AC	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	AL	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	AM	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	AP	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	BA	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	CE	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	DF	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	ES	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	GO	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	MA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	MT	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	MS	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	MG	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	18	7	7	12	7	7	7	12	12	7	7	12	12	7	7	
	PA	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	PB	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	PR	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	18	7	7	7	12	12	7	7	12	12	7	7	
	PE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	PI	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	RN	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	12	12	
	RS	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	18	12	7	7	12	12	7	7	
	RJ	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12	19	7	7	12	12	7	7	
	RO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	12	
	RR	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	17	12	12	12	12	
	SC	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12	12	7	7	17	12	7	7	
	SP	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	12	7	7	12	7	7	7	12	12	7	7	12	18	7	7	
	SE	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	12	
TO	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18		

Fonte: Ministério da Fazenda (2016)

A Tabela 2, ilustra a não uniformidade das alíquotas cobradas nos fluxos intra e interestaduais brasileiros. Tradicionalmente, em cenários considerados otimizados pelas empresas, os custos atrelados ao pagamento do ICMS são repassados para o consumidor final, entretanto, esse cenário não é factível em todos os casos (Hamad, 2014). Em cenários onde o repasse não é possível, cabe a empresa realizar um balanço otimizado entre créditos e débitos de ICMS ao longo de sua cadeia de valor. Para exemplificar de que forma o cálculo do ICMS é realizado, Pantalena (2012) propôs a situação apresentada na Figura 10.

Figura 9: Exemplo de cálculo de ICMS



Fonte: Pantalena (2012)

Neste cálculo, quando as transações de uma empresa geram um crédito de ICMS e não o utiliza, há a geração de um saldo credor do imposto. Mesmo não havendo um montante efetivamente pago ao governo, créditos não utilizados são considerados custos no balanço geral de uma empresa quando se é provado que o mecanismo que os gera não pode ser retardado por ações contábeis.

O saldo credor é comumente chamado de “crédito podre”, crédito inutilizável ou “crédito morto” e pode ser gerado por vários fatores, como por exemplo: produtos presentes em cestas básicas são desonerados do ICMS no estado em que são vendidos, situação que gera desbalanceamento dos créditos da cadeia. A empresa estudada neste trabalho sofria com o acúmulo de créditos inutilizáveis, decorrentes de benefícios para parte de seus produtos em vendas internas intra-estaduais.

Junqueira e Morabito (2006; 2008) introduziram em seus estudos a terminologia turismo fiscal, como a prática utilizada por empresas de transitar com seus produtos por rotas não diretas para minimizar os custos com impostos. Segundo a PwC (2011), os níveis de sonegação no Brasil são elevados e a distribuição da carga tributária é considerada pouco justa. A prática do turismo fiscal vem sendo amplamente utilizada por empresas brasileiras para reduzir o custo total das operações, muitas vezes gerando um custo operacional superior ao atribuído para uma rota origem-destino direta.

Andrade (2013), complementando o estudo realizado por Yoshizaki (2008), concluiu que uma reforma tributária no Brasil teria o potencial de trazer impactos positivos para o aspecto dos fluxos origem-destino e na localização de instalações, atualmente distorcidos pelas práticas do turismo fiscal e assimetria de alíquotas de impostos. Ambos os trabalhos também salientaram que uma reforma fiscal, com uma permanência da assimetria de alíquotas não necessariamente minimizariam as práticas do turismo fiscal.

O ICMS em Substituição Tributária (ST) é considerado um grande avanço dos estados brasileiros no combate da sonegação e a informalidade de muitas empresas. O regime de ST é uma obrigação tributária que transfere a responsabilidade pelo pagamento do imposto ou contribuição ao sujeito passivo, ou seja, o estado cobra os impostos da venda do produto no momento em que ele sai da indústria e elege um terceiro para o cumprimento da obrigação tributária. A empresa estudada neste trabalho utiliza a figura de um distribuidor para minimizar os custos desse imposto, dado que produtos do tipo PET (animais domésticos) são isentos do recolhimento de ICMS-ST em vendas intra-estaduais.

2.6.2. II, IPI E PIS-COFINS

O Imposto de Importação é uma tarifa alfandegária brasileira. O fator gerador do II ocorre quando há a entrada de produtos fabricados no exterior no território nacional. A alíquota atribuída ao imposto depende de decreto presidencial, dado que sua classificação extrafiscal está apenas parcialmente sujeita ao princípio da legalidade. O princípio da legalidade (art. 150, I da CF/88) institui que o imposto deve ser obrigatoriamente, formalizado por lei ordinária federal. Em casos específicos o imposto pode ser isento, restituído ou suspenso, conforme explicado na sequência:

- Isenção - em caso de reposição de insumos anteriormente importados, utilizados por empresas exportadoras existe a possibilidade de isenção da tarifa;

- Restituição - caso o produto acabado originado pelo insumo importado seja exportado, a restituição do imposto é possível;
- Suspensão - caso a empresa responsável pelo produto acabado originado pelo insumo importado declare a certeza de sua exportação, o II é passível de suspensão.

Semelhantemente, o Imposto sobre Produtos Industrializados é um imposto federal onde apenas a União pode instituí-lo ou modificá-lo. O governo considera como prática de industrialização qualquer processo de transformação, beneficiamento, montagem, acondicionamento e renovação que modifique a natureza, o funcionamento, o acabamento, a apresentação, a finalidade ou aperfeiçoe um produto para o consumo. O IPI é um imposto considerado não-cumulativo e pode sofrer isenção ou redução em função de decretos do executivo, conforme explicação a seguir:

- Isenção - produtos voltados para deficientes são isentos do recolhimento do imposto;
- Não-cumulativo - a não-cumulatividade é efetivada pelo sistema de crédito do imposto relativo a insumos e mercadorias adquiridas pelo estabelecimento do contribuinte, para ser abatido do que for devido pelos produtos fabricados e vendidos, num mesmo período;
- Redução - Não é incomum, que decretos presidenciais sejam utilizados para reduzir as alíquotas de IPI para determinados produtos, a prática é utilizada para aquecer o consumo no país.

O PIS e COFINS são duas tarifas diferentes, comumente cobradas em conjunto. O Programa de Integração Social (PIS) é destinado a promoção da integração do empregado na vida e no desenvolvimento das empresas. As contribuições do PIS são utilizadas para financiar o programa de seguro desemprego e abono salarial. Diferentemente dos demais tributos apresentados o PIS pode ser cumulativo para microempresas e empresas de pequeno porte. A Contribuição para Financiamento da Seguridade Social, COFINS, tem como fator gerador as receitas obtidas pela pessoa jurídica, independentemente de sua denominação ou classificação contábil. Esse imposto é considerado não-cumulativo.

3 DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa objeto de estudo trata-se de uma cooperativa francesa que possui 60 anos de experiência no fornecimento de alimentos para animais diversos, de produtos para pets a rações para animais de grande porte. A empresa vem crescendo linearmente no mundo, chegando a um faturamento superior a 6 bilhões de dólares em 2015, e hoje possui mais de 70 unidades produtivas espalhadas por 4 continentes.

Neste estudo, focou-se nas operações realizadas no Brasil, onde a cooperativa concentrava mais de 2.000 de seus colaboradores, equipe responsável pela manutenção das 11 instalações fabris, e 32 centros de distribuição. Com mais de 20.000 clientes, distribuídos em aproximadamente 2.500 cidades, a empresa tinha um patamar de faturamento superior a 1 bilhão de reais. A representação gráfica da localização das instalações está na Figura 11.

Figura 10: Localização das instalações



Fonte: Autor.

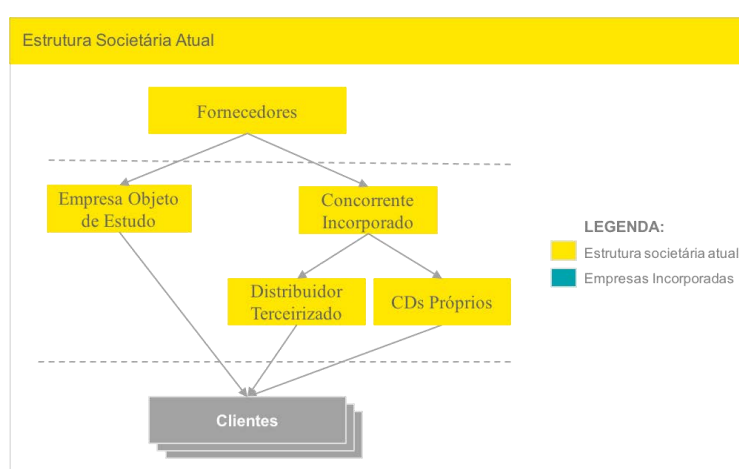
O portfólio de produtos existentes pode ser dividido em dois grandes grupos: os considerados rações insumos (*premix* e produtos voltados a avicultura, suinicultura, piscicultura, criação de equinos e ruminantes) e rações do tipo consumo (produtos PET e *snacks*). Os produtos possuem comportamentos diferentes no mercado, insumos possuem maior expressividade em volume, já consumo são considerados produtos de maior valor agregado.

A estrutura dos dados apresentados neste trabalho é referente a um cenário real, mas com dados alterados para preservar a confidencialidade das informações fornecidas para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1.1 A ESTRUTURA SOCIETÁRIA

Apesar da fusão com a concorrente, as empresas atualmente operam de maneira independente, reportando seus resultados para sua *holding*. As diferenças operacionais podem ser observadas nitidamente por meio de um primeiro contato com a malha logística estabelecida. A Figura 12 apresenta, de maneira simplificada, o comportamento dos fluxos de materiais nas operações das companhias relevantes para este estudo.

Figura 11: Estrutura societária atual



Fonte: Autor.

A empresa objeto deste trabalho distribuía diretamente todos os seus produtos aos consumidores e cada instalação fabril possuía seu próprio centro de distribuição para atender a demanda de seus clientes. No entanto, a organização anexada possuía dois canais de distribuição distintos, sendo que, para produtos do tipo insumo, a distribuição era direta e ocorria de maneira semelhante à apresentada no caso anteriormente citado, já para produtos do tipo PET, a existência de benefícios fiscais levaram a empresa a trabalhar optar por um contrato de exclusividade de serviços de um agente distribuidor terceirizado.

3.1.1.1 A EMPRESA INCORPORADA

Em busca de ampliar seu *market share* em diferentes frentes da alimentação animal e se fortalecer competitivamente, a empresa (objeto deste estudo) vinha realizando aquisições de vários negócios do segmento no país. A companhia adquiriu, recentemente, um de seus rivais

no segmento de *pet food* (seus produtos vão de *standard* até *super premium*, *snacks*, etc.), que se localizava na região sul de Minas Gerais, com uma instalação fabril dividida em 6 unidades e com capacidade de produção agregada de mais de 400.000 toneladas de ração por ano.

A empresa incorporada se destacava pelo modelo de negócios adotado, diferentemente da operação anteriormente descrita, centralizando suas atividades produtivas em uma única cidade, distribuindo diretamente seus produtos insumo e terceirizando a distribuição de seus produtos PET, o que lhe possibilitava ganhos tributários.

3.1.1.2 O PARCEIRO DISTRIBUIDOR

O Ministério da Fazenda determina que a distribuição de produtos PET no segmento de alimentos são isentos do recolhimento do ICMS-ST caso a venda da unidade de distribuição seja realizada dentro do estado onde a mesma se localiza. Para ter acesso aos benefícios fiscais, a empresa que fora incorporada criou a figura de um distribuidor, com negócio independente da empresa produtora, mas que prestava serviços com exclusividade para ela.

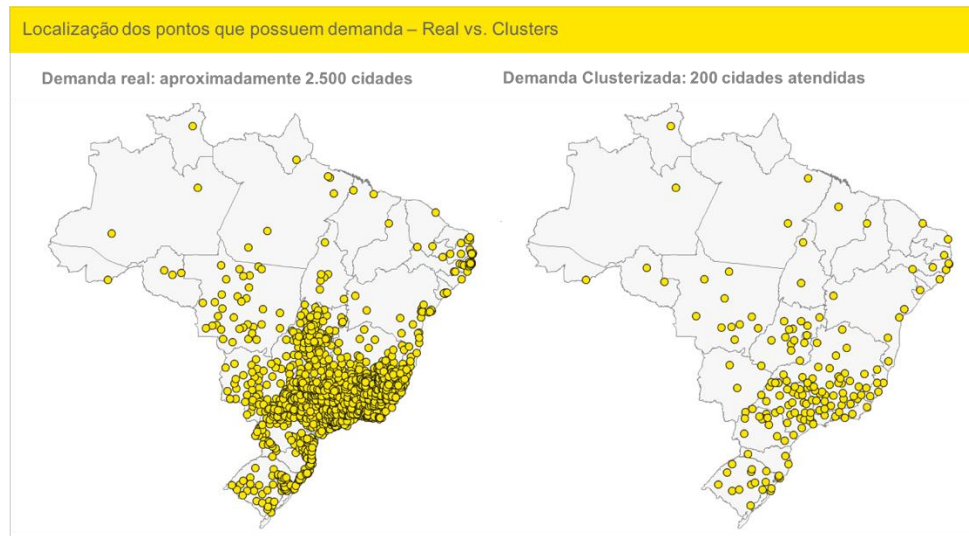
O distribuidor criado passou a ser a instituição responsável pela distribuição de 93% do volume de produtos PET produzidos pela empresa incorporada, os 32 CDs espalhados pelo Brasil garantiam os níveis de serviço requeridos pelos clientes. A discussão sobre a adoção deste modelo para toda a operação está tratada na Seção 4, resultados.

3.1.2 A DEMANDA

As empresas estudadas atendiam clientes em mais de 2.000 cidades. A força das atividades agropecuárias no país, seu crescimento populacional e econômico, consolidavam um cenário onde há demanda em toda a extensão territorial brasileira.

Trabalhar com esse volume de destinos em um problema de PLIM não é recomendável, pois restrições de processamento computacional impediriam a obtenção da solução ótima em tempo hábil para a tomada de decisão. Desta forma optou-se pela clusterização da demanda, utilizando como critério de centralização a representatividade em volume de produtos distribuídos aos municípios e a distância entre os mesmos. Após a utilização deste procedimento, o número de destinos reduziu-se para 200 pontos. A simplificação da complexidade geográfica da demanda pode ser verificada na Figura 13.

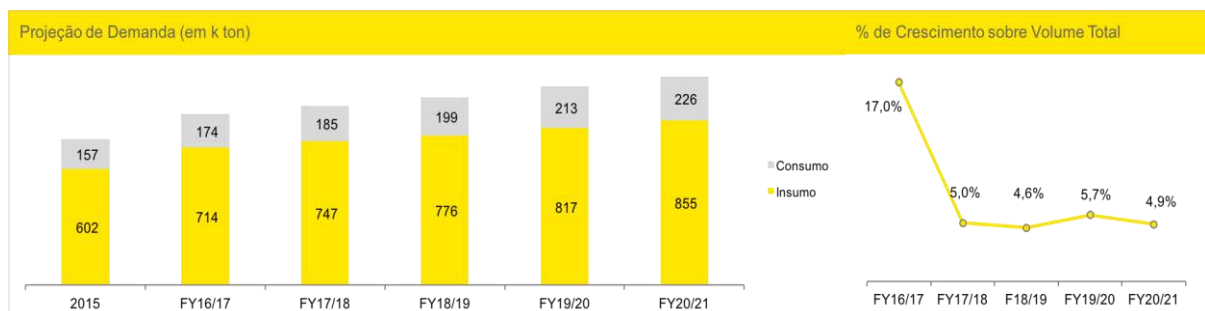
Figura 12: Localização geográfica da demanda



Fonte: Autor.

O planejamento e controle das atividades da cadeia de suprimentos dependem da previsão dos volumes de produtos e serviços a serem distribuídos rede logística estabelecida (JAIPURIA; MAHAPATRA, 2014). O entendimento do comportamento da demanda é essencial para a geração de um modelo operacional resistente às oscilações da demanda ao longo do tempo.

Figura 13: Comportamento da demanda no tempo

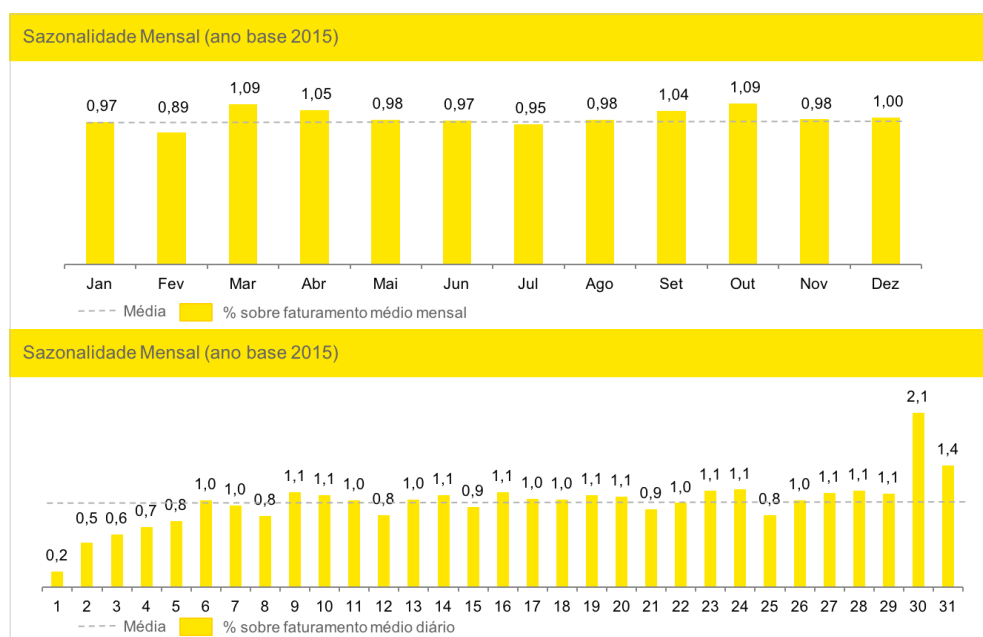


Fonte: Autor.

A Figura 14 apresenta as projeções de demanda aproximadas pela empresa para os próximos anos fiscais. Os dados consideram que a projeção iria manter as mesmas proporções de canais, segmentos e distribuição geográfica da demanda atual. Considerando as operações de todas as empresas do sistema em conjunto, o crescimento médio nos próximos anos seria da ordem de 4,6% para insumos e 6,8% para consumo (PET).

Além das projeções futuras, outro comportamento passível de análise para problemas de otimização é o comportamento da demanda ao longo do tempo dentro de um ano fiscal. A sazonalidade é um parâmetro importante, pois sua existência torna a modelagem de capacidade de armazenagem e movimentação do sistema mais complexa. A solução ótima de um modelo deve ser flexível, garantindo a operacionalidade da rede frente aos diferentes fluxos de produtos.

Figura 14: Sazonalidade da demanda



Fonte: Autor.

Pela Figura 15, pode-se inferir que não existe sazonalidade mensal na demanda dada a similaridade dos volumes de faturamento ao longo do ano. Todavia, observando o comportamento do fluxo médio de materiais dentro de um mês nota-se a existência de sazonalidade, justificada primeiros e últimos dias do mês.

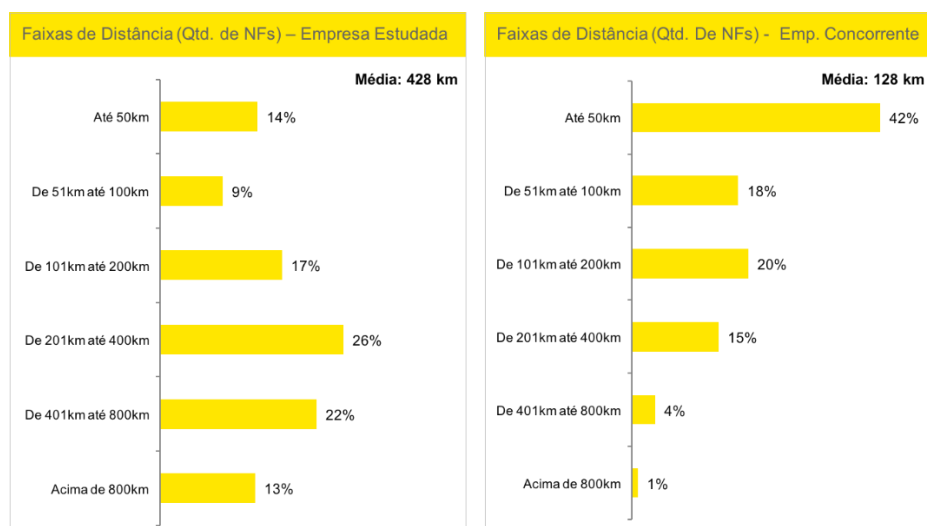
O modelo de PLIM a ser definido busca uma solução estratégica para as operações, desta forma sua formulação considerará os volumes movimentados consolidados anualmente. Sendo assim a sazonalidade diária não será considerada na modelagem.

3.1.3 AS REGRAS DE DISTRIBUIÇÃO

Cadeias de suprimentos de indústrias de alimentos são caracterizadas pela sua eficiência operacional em virtude da validade de seus produtos. No caso da indústria de alimentos animais

o nível de serviço requerido era no máximo 48 horas, sendo assim, as entregas deveriam ser realizadas dentro deste período para garantir a satisfação dos clientes.

Figura 15: Número de notas fiscais (NFs) por faixas de distância de entrega



Fonte: Autor.

A Figura 16 apresenta um histograma da frequência de notas fiscais para cada faixa de distância de entrega para a operação atual, isto foi utilizado como indicador para monitorar se o nível de serviço estabelecido estava sendo cumprido nas novas propostas de malha logística.

3.1.4 AS REGRAS DE PRODUÇÃO

No que tange ao processo de fabricação na empresa estudada, destacavam-se oito tipos distintos de linhas produtivas, sendo elas:

- ❖ Extrusados + Peixes *Starter*;
- ❖ Farelados;
- ❖ Multi Componentes;
- ❖ Peletizados;
- ❖ Peletizados de Camarão;
- ❖ *Premix* + *Premix* de Alta Inclusão;
- ❖ Sais Minerais; e
- ❖ *Snacks*.

Para facilitar o entendimento do processo, as linhas produtivas foram nomeadas de acordo com o nome do grupo de produtos acabados que elas fabricam. Dentro do grupo citado há a divisão de dois subgrupos de linhas: as verdes e as vermelhas. Linhas verdes podem produzir qualquer tipo de produto, em contrapartida as linhas vermelhas só podem produzir produtos vermelhos (em geral são produtos de origem animal voltados para a exportação), conforme ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2: Relação entre tipo de linha de produção e tipo de produto acabado (PA)

	Linha Verde	Linha Vermelha
PA Verde	Produz (1)	Não Produz (0)
PA Vermelho	Produz (1)	Produz (1)

Fonte: Autor.

Saliente-se, também, que alguns tipos de linha de fabricação compartilhavam equipamentos no decorrer de seus processos produtivos, desta forma a modelagem deveria respeitar uma restrição de capacidade adicional, para que o modelo matemático não gerasse soluções impraticáveis operacionalmente.

3.1.5 A AQUISIÇÃO

Grande parte das matérias-primas consideradas neste trabalho são *commodities*, cujo valor não é constante ao longo do tempo. O comportamento não linear dos preços destes produtos gera a necessidade de uma análise mais profunda dos cenários de otimização do processo de aquisição.

O Brasil é conhecido pela sua força no agronegócio, atividade presente em todas as regiões do país. Trigo, soja, milho e insumos de origem animal estão entres os principais produtos que compõe portfólio brasileiro.

No problema apresentado, os fornecedores foram clusterizados em 75 fornecedores de 8 grupos de insumos nacionais e importados, geograficamente localizados na Figura 17. Os insumos considerados no problema foram: embalagens, líquidos, milho, origem animal, fosfato, soja e trigo.

Figura 16: Localização dos fornecedores

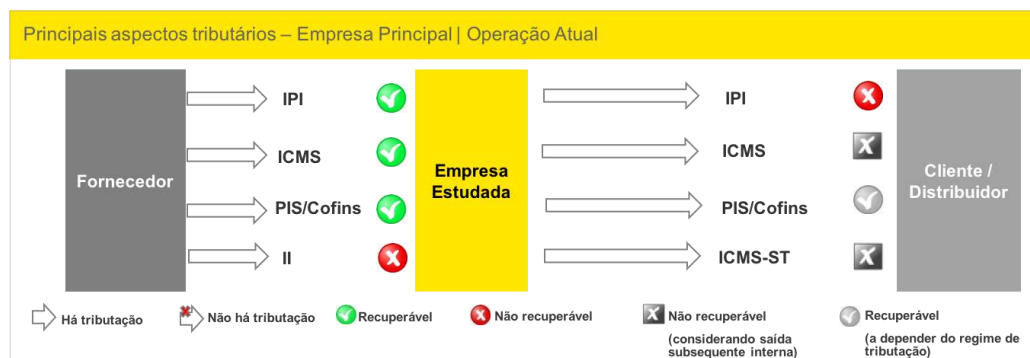


Fonte: Autor.

3.1.6 TRIBUTOS E BENEFÍCIOS FISCAIS

Os produtos comercializados pela empresa estudada eram fabricados nas 10 unidades industriais da companhia, distribuídas em 9 estados brasileiros, e vendidos aos distribuidores e/ou clientes finais. A Figura 18 ilustra a relação entre o fluxo dos produtos e os tributos atrelados à empresa estudada.

Figura 17: Operações fiscais da empresa objeto de estudo



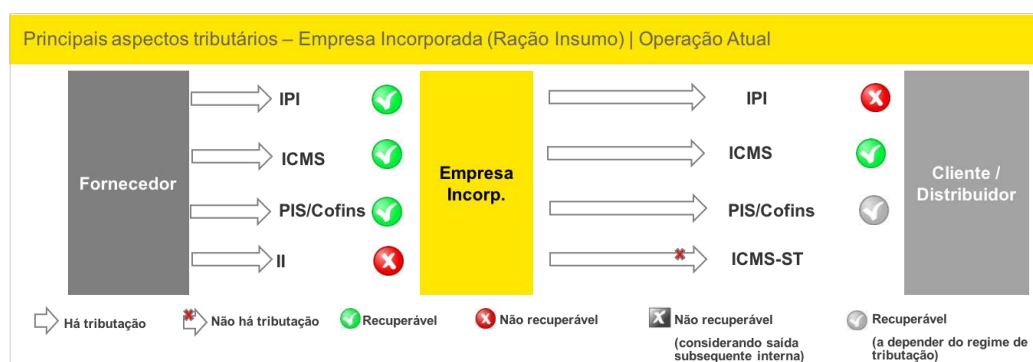
Fonte: Autor.

As rações PET são tributadas pelo IPI à alíquota de 10%, já as rações insumo são tributadas à alíquota zero. As rações da linha pet estão sujeitas à tributação pelo ICMS-ST. Quanto a tributação de PIS e COFINS, são realizadas a 1,65% e 7,6% respectivamente, com exceção das rações insumo destinadas à avicultura e suinicultura, cuja tributação é suspensa. O ICMS sobre ração insumo é regido pelo Convênio ICMS n. 100/97, que reduz a base de cálculo

nas operações interestaduais e possibilita aos estados a concessão de isenção nas operações internas.

As rações insumo comercializadas pela empresa incorporada eram fabricadas por sua unidade localizada ao sul de Minas Gerais, e vendidas aos distribuidores e aos consumidores finais. A Figura 19 apresenta a relação entre o fluxo dos produtos insumo e os tributos atrelados à empresa incorporada.

Figura 18: Operações fiscais da empresa incorporada (Insumos)



Fonte: Autor.

As rações insumo são tributadas à alíquota zero para IPI, já PIS e COFINS 1,65% e 7,6% respectivamente, com exceção das rações insumo destinadas à avicultura e suinicultura, cuja tributação é suspensa. Os principais insumos em termos de volume são as Farinhas de Milho, Soja e Trigo não são tributadas pelo IPI ou estão sujeitos à alíquota zero. No caso do ICMS sobre produtos acabados há a redução da base de cálculo nas operações interestaduais o que possibilita aos estados a concessão de isenção nas operações internas.

Quanto às rações da linha PET comercializadas pela empresa incorporada, essas também são fabricados no sul de Minas Gerais, sendo 95% de sua produção vendida para o parceiro comercial que realiza a distribuição no mercado. A Figura 20 mostra a relação entre o fluxo dos produtos PET e os tributos atrelados à empresa incorporada e seu parceiro distribuidor.

Figura 19: Operações fiscais da empresa incorporada (produtos pet)



Fonte: Autor.

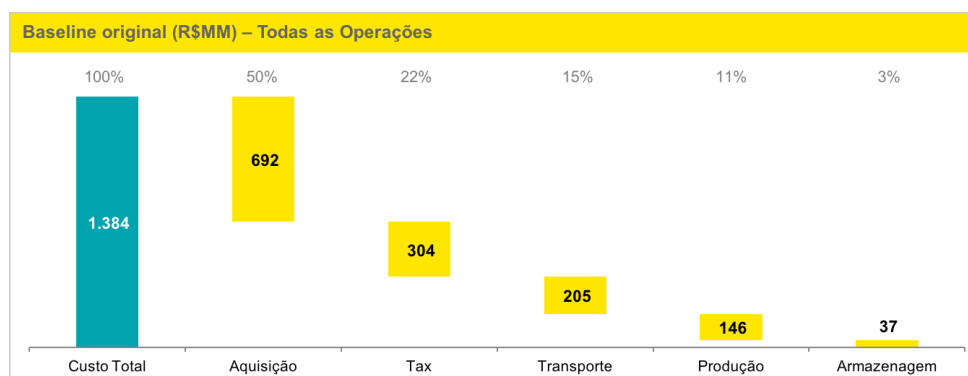
As Rações da Linha PET são classificadas em abaixo e acima de 10Kg, sendo tributadas à alíquota tributadas a 10% no IPI. Recomenda-se uma análise mais apurada da classificação fiscal adotada, uma vez que, mesmo com a publicação do decreto, se houver subsídios suficientes para manter a mesma Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), há oportunidade de manter alíquota 0% do IPI, PIS e COFINS a 1,65% e 7,6%, respectivamente.

As alíquotas de ICMS variam conforme a operação seja intra ou interestadual. As rações da linha PET estão sujeitas à tributação pelo ICMS-ST.

3.1.7 ESTRUTURA DE CUSTOS ATUAL

O custo total contabilizado na fase de mapeamento das operações logísticas e tributárias foi de aproximadamente R\$1,4 bilhão, considerando, de forma conjunta, as operações de todas as empresas envolvidas. A Figura 21 apresenta uma visão geral do *baseline* de custos que foi construído neste trabalho. A estrutura apresentada foi utilizada nas discussões e análise de cenários.

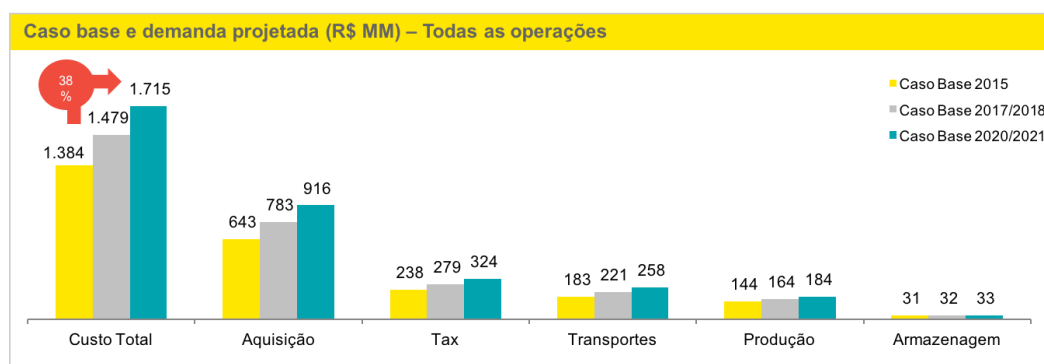
Figura 20: Estrutura de Custos Atual - Operação Completa



Fonte: Autor.

Os custos na Figura 22 representam os custos mapeados, com base das informações fornecidas pelas empresas estudadas. Observa-se que os custos de aquisição compõem a maior parcela das despesas do grupo, seguidos por tributos (*tax*) e transporte. Para efeitos de comparação com cenários futuros, a situação atual foi projetada a partir do *baseline* para os próximos 5 anos, considerando as premissas de crescimento de demanda apresentados pela companhia.

Figura 21: Projeções de custos para os cenários futuros



Fonte: Autor.

Para o cálculo de capacidade futura foram considerados os planos de expansão física das linhas de produção e propostas de aumento de jornadas de trabalho informados pelas equipes das empresas avaliadas. O caso base 2020/2021 aumenta os custos variáveis em aproximadamente 42%, o que está em linha com a projeção de demanda. Já no caso base 2017/2018 o aumento é por volta de 22%.

3.2. MODELAGEM DO PROBLEMA

Dos trabalhos analisados no referencial teórico, observou-se que a tendência de autores, que trabalham com PLIM, é de envolver o menor número possível de elos na SC, com foco em decisões consideradas estratégicas ou táticas como é o caso da escolha de localização de instalações de distribuição e fabricação. Saliente-se também que, em geral, os modelos apresentados na literatura buscam trabalhar com a localização de apenas um tipo de instalação. Autores nacionais e estrangeiros, tendem a trabalhar com funções objetivo formuladas para a minimização de custos ao invés de maximização de lucros.

A preocupação com a experiência de compra e satisfação do cliente vem sendo refletida nos modelos mais recentes por meio da adição de formulações para maximizar o nível de serviço, ou seja, minimizar o *lead-time* de entrega ou aumentar sua precisão. Poucos modelos publicados apresentaram preocupações a respeito desta questão.

O modelo elaborado neste trabalho foi influenciado pelo proposto por Geoffrion e Graves (1974) e adaptado por Hamad (2014). Por meio de uma função objetivo orientada para a minimização de custos, buscou-se balancear as linhas de produção, definindo onde cada produto será produzido, quais fábricas comporão o sistema de produção, quais centros de distribuição serão abertos e de que forma a distribuição e aquisição serão realizadas.

Em relação ao modelo de Hamad (2014), apontam-se as seguintes diferenças:

- Adição da restrição de exclusividade de atendimento, presente no modelo de Geoffrion e Graves (1974), onde apenas um centro distribuição pode atender a um cliente;
- Os custos de estoques são baseados em dados históricos e não são calculados dentro do modelo;
- A capacidade de movimentação e armazenagem não utiliza o número de posições de paletes, e é definida como capacidade de fluxo de armazenagem por meio de estoques de pico históricos;
- Adição de restrição de nível de serviço;
- Otimização dos tributos é realizada em função da adição de custos na função objetivo, e não por restrições;
- Custos de armazenagem em degraus (*stepwise*), com possibilidade de incorporar economias de escala;
- Adição do IPI, ICMS-ST e PIS-COFINS aos impostos considerados;
- Não há a inclusão de *ad-valorem* e o benefício do *drawback* à lógica do modelo.
- Há a apresentação de apenas uma lógica de configuração da malha, fornecedor-fábrica-CD-cliente.

Segundo Ramad 2014, *ad-valorem* no segmento de transportes é o valor agregado ao valor total do frete de uma mercadoria, tendo como base o valor da nota fiscal do produto. Já *drawback* pode ser considerado regime especial aduaneiro.

Índices utilizados na formulação do modelo de PLIM proposto:

- ❖ ***fo*** – Fornecedores de matéria-prima para o sistema;
- ❖ ***fa*** – Fábricas capazes de produzir produto acabado;
- ❖ ***linha*** – Linhas de produção presentes na fábrica *j*;
- ❖ ***cd*** – Centros de Distribuição com potencial de receber, armazenar e expedir produtos para os clientes finais;
- ❖ ***x*** – Mercados consumidores dos produtos acabados (clientes);
- ❖ ***pa*** – Grupos de produtos acabados;
- ❖ ***mp*** – Grupos de matéria-prima fornecidas por *i*;
- ❖ ***fx*** – Faixas de custo de armazenagem definidas pelo fluxo anual de produtos em um dado CD *k*;
- ❖ ***eb*** – Estados brasileiros por onde as mercadorias transitam;
- ❖ ***origem, destino*** – Referência a todas as cidades presentes no problema

Variáveis utilizadas na formulação do modelo de PLIM proposto:

Variáveis de decisão de fluxo de materiais

- ***Volume_Aquisicao_{fo, fa, mp}*** – Volume de matéria-prima *mp* adquirida do fornecedor *fo* para a fábrica *fa*;
- ***Volume_Transferencia_{fa, cd, pa}*** – Volume de produto acabado *pa* transferido da fábrica *fa* para o CD *cd*;
- ***Volume_Distribuiçao_{cd, x, pa}*** – Volume de produto acabado *pa* faturado do CD *cd* para o cliente *x*;
- ***Volume_Producao_{fa, linha, pa}*** – Volume de produto acabado *pa* produzido na fábrica *fa* pela linha *linha*;

Variáveis binárias de decisão

- ***BX_{cd, x}*** = $\begin{cases} 1, & \text{Cliente } x \text{ é atendido pelo CD } cd \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$;
- ***B_FaixaCD_{cd, fx}*** = $\begin{cases} 1, & \text{caso o } cd \text{ opere na determinada faixa } fx \text{ de custo} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$;
- ***BCD_{cd}*** = $\begin{cases} 1, & \text{O respectivo } cd \text{ é aberto} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$;

- $BFabrica_{fa} = \begin{cases} 1, & \text{A respectiva fábrica } fa \text{ é aberta} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$; e
- $BFabrica_Linha_{fa, linha} = \begin{cases} 1, & \text{A respectiva linha da fábrica } fa \text{ é aberta} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$.

Parâmetros utilizados no modelo de PLIM proposto:

Parâmetros relativos a transporte

- ***Distancia***_{origem, destino} – Distância em quilômetros entre uma dada *origem* e um dado *destino*;
- ***Velocidade_Media***_{origem, destino} – Velocidade média de viagem entre uma dada *origem* e um dado *destino*;
- ***Tempo_viagem***_{origem, destino} – Tempo médio de viagem entre uma dada *origem* e um dado *destino*.
- ***Frete_Aquisicao***_{fo, fa} – Custo de frete por tonelada de um fornecedor *fo* para uma fábrica *fa*;
- ***Frete_Transferencia***_{fa, cd} – Custo de frete por tonelada de uma fábrica *fa* para um CD *cd*;
- ***Frete_Distribuição***_{cd, x} – Custo de frete por tonelada de um CD *cd* para um cliente *x*.

Para considerar fábricas que atendem seus clientes diretamente de seus CDs integrados, atribuiu-se o valor da distância entre Fábrica e CD (da fábrica) igual a zero.

Os parâmetros relativos às demandas são:

- ***Nivel_Serviço***_{x, pa} – Nível de serviço requerido pelo cliente *x* para o produto *pa* em dias;
- ***Fator_Tolerância_NS***_{x, pa} – Fator de tolerância ao nível de serviço estabelecido pelo cliente *x* para o produto *pa* em percentual; e
- ***Demanda***_{x, pa, sc} – Demanda de produto *pa* no cliente *x* em um dado cenário *sc* em toneladas.

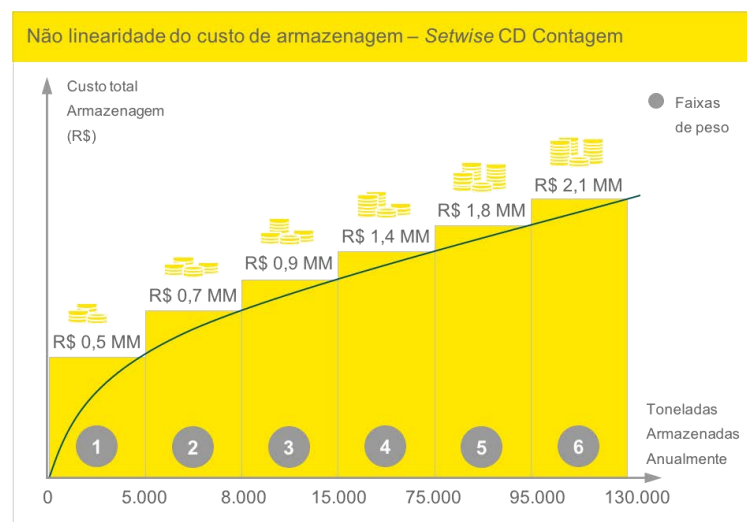
Os parâmetros para representar os centros de distribuição são:

- ***DOM_CD***_{cd, eb} – Domínio binário de estados brasileiros *eb* que podem ser atendidos pelo CD *cd* para que o processo seja beneficiado fiscalmente;

- **$Cap_Armazenagem_{cd}$** – Capacidade de fluxo de armazenagem anual instalada no CD, em toneladas;
- **$Custo_Fixo_CD_{cd}$** – Custo Fixo, em reais, atrelado à abertura e funcionamento do CD;
- **$Custo_Variável_CD_{cd, fx}$** – Custo variável de armazenagem no CD em reais, para cada faixa de total de peso armazenado em um ano fiscal;

A partir do método de linearização por partes (*stepwise*) foi possível abstrair matematicamente o comportamento dos custos em função do incremento de volume. A utilização das faixas torna o modelo sensível a economia de escala neste nó. A Figura 23 representa a linearização dos custos de um CD localizado em Minas Gerais.

Figura 22: Modelagem stepwise de custos de armazenagem



Fonte: Autor.

Os parâmetros importantes para fábricas, relativos às produções, são:

- **$DOM_Fa_Linha_{fa, linha}$** – Domínio binário de linhas de produção *linha* instaladas em cada fábrica *fa*;
- **$DOM_Linha_Verde_Vermelha_{fa, linha}$** – Domínio binário de linhas de produção *linha* verdes e vermelhas instaladas em cada fábrica *fa*;
- **$DOM_Linha_Pa_{fa, linha, pa}$** – Domínio binário de produtos acabados *pa* que podem ser produzidos em cada linha de produção *linha* instaladas em uma dada fábrica *fa*;

- **$Qtd_Turnos_Trabalhados_{fa, linha}$** – Quantidade de turnos regulares trabalhados na *linha* da fábrica *fa* no período estudado para validação do modelo;
- **$Qtd_Turnos_Max_{fa, linha}$** – Quantidade máxima de turnos regulares admitidos pela *linha* da fábrica *fa*, considerando restrições trabalhistas e de disponibilidade de energia/recursos necessários para que cada instalação funcione normalmente;
- **$Qtd_Turnos_Max_Exp_{fa, linha}$** – Quantidade máxima de turnos regulares admitidos pela *linha* da fábrica *fa*, considerando restrições trabalhistas e de disponibilidade de energia/recursos necessários para que cada instalação funcione normalmente dada uma expansão física;
- **$Produtividade_{fa, linha}$** – Volume produzido, em toneladas, na *linha* da fábrica *fa* por turno trabalhado, considerando período estudado para validação do modelo;
- **$Produtividade_Melhoria_{fa, linha}$** – Novo volume produzido, em toneladas, na *linha* da fábrica *fa* por turno trabalhado, considerando a implementação de um projeto de melhoria de produtividade;

As capacidades de produção foram calculadas em função de dados atrelados a escalas temporais, bem como parâmetros que representavam a possibilidade de incrementar o desempenho em função de projetos de melhoria.

Os parâmetros utilizados no processo de otimização são:

- **$Cap_Atual_Prod_Linha_{fa, linha}$** – Capacidade de produção, em toneladas, de uma dada *linha* na fábrica *fa* utilizada atualmente;

$$Cap_Atual_Prod_Linha_{fa, linha} = Qtd_Turnos_Trabalhados_{fa, linha} * Produtividade_{fa, linha} \quad (8)$$

- **$Cap_Instalada_Prod_Linha_{fa, linha}$** – Capacidade de produção instalada/máxima de uma dada *linha* na fábrica *fa*, em toneladas;

$$Cap_Instalada_Prod_Linha_{fa, linha} = Qtd_Turnos_Max_{fa, linha} * Produtividade_{fa, linha} \quad (9)$$

- **$Cap_Expansao_Prod_Linha_{fa, linha}$** – Nova capacidade de produção de uma dada *linha* na fábrica *fa* dado um projeto de melhoria de produtividade ou expansão física da *linha*, em toneladas;

$$Cap_Expansao_Prod_Linha_{fa, linha} = \left\{ \begin{array}{l} (Qtd_Turnos_Max_{fa, linha} * Produtividade_Melhoria_{fa, linha}) \\ + \\ (Qtd_Turnos_Max_Exp_{fa, linha} * Produtividade_{fa, linha}) \end{array} \right. \quad (10)$$

- **$Cap_Compartilhada_Prod_Linha_{fa, linha1, linha2}$** – Existindo duas linhas de produção (*linha 1* e *linha 2*) que partilham os mesmos equipamentos a somatória das produções de ambas não devem ultrapassar um dado limite de capacidade, estabelecido pela multiplicação da *Produtividade* da linha mais eficiente pela linha que possui o maior valor de *Qtd_Turnos_Max*;

Os custos fixos das instalações são:

- **$Custo_Fixo_Fábrica_{fa}$** – Custos fixos gerais relacionados ao funcionamento da planta *fa* em reais;

Em busca de parametrizar os custos variáveis de produção, serão listados alguns dados de fácil obtenção por gestores de produção separados em dois grandes grupos, Mão-de-Obra e Energia. Em virtude de projetos de modelagem de redes logísticas buscarem uma abordagem estratégica e de longo prazo, considerou-se que os demais custos, atrelados às operações nessas instalações, estão diluídos nos custos fixos e variáveis apresentados.

Os custos de Mão-de-Obra são:

- **$Custo_Total_Mão_de_Obra_{fa}$** – Custo total anual de mão-de-obra apresentado no relatório da empresa estudada para uma dada fábrica *fa*;
- **$Numero_Pessoas_{fa, linha}$** – Número de pessoas dedicadas a uma *linha* de produção de uma dada fábrica *fa*;
- **$Qtd_Produzida_Ano_{fa, linha}$** – Volume anual produzido em uma dada *linha* de *fa*, em toneladas;
- **$Custo_Mão_de_Obra_Tonelada_{fa, linha}$** – Custo de mão-de-obra por tonelada produzida de uma determinada *linha*, em uma dada fábrica *fa*;

$$\begin{aligned}
& \text{Custo_Mão_de_Obra_Tonelada}_{fa, \text{ linha}} \\
&= \text{Custo_Total_Mão_de_Obra}_{fa} \\
&\quad \left(\frac{\text{Numero_Pessoas}_{fa, \text{ linha}}}{\sum_{\text{linha}} \text{Numero_Pessoas}_{fa, \text{ linha}}} \right) \\
&\quad * \frac{\quad}{\text{Qtd_Produzida_Ano}_{fa, \text{ linha}}}
\end{aligned} \tag{11}$$

Os custos de Energia são:

- ***Custo_Total_Energia_{fa}*** – Custo total dispendido pela empresa estudada com energia elétrica em uma certa instalação *fa*, geralmente considera-se o valor consolidado de um ano de operação [R\$];
- ***Fator_Utilização_Energética_{fa, linha}*** – Quantidade de KW utilizados para uma hora de operação de uma *linha* de *fa* [kW/h];
- ***Qtd_Produzida_Ano_{fa, linha}*** – Volume de produção em uma dada *linha* de *fa* [Unid. Padrão];
- ***Custo_Energia_Tonelada_{fa, linha}*** – Custo de energia por tonelada produzida de uma determinada *linha*, em uma dada fábrica *fa*;

$$\begin{aligned}
& \text{Custo_Energia_Tonelada}_{fa, \text{ linha}} \\
&= \text{Custo_Total_Energia}_{fa} \\
&\quad * \frac{\text{Fator_Utilização_Energética}_{fa, \text{ linha}}}{\text{Qtd_Produzida_Ano}_{fa, \text{ linha}}}
\end{aligned} \tag{12}$$

Estabeleceu-se que o custo variável de produção é dado por tonelada de produto produzido, e é composto pela relação entre custo por tonelada de mão-de-obra e energia.

- ***Custo_Variavel_Produção_{fa, linha}*** – Custo variável por tonelada de produto produzido.

$$\begin{aligned}
& \text{Custo_Variavel_Produção}_{fa, \text{ linha}} \\
&= \text{Custo_Mão_de_Obra_Tonelada}_{fa, \text{ linha}} \\
&\quad + \text{Custo_Energia_Tonelada}_{fa, \text{ linha}}
\end{aligned} \tag{13}$$

A relação de matéria-prima necessária para a produção de um produto acabado é dada pela Lista de Materiais (*Bill of Materials*):

- ***Bill_of_Materials_{mp, pa}*** – Relação da quantidade de matéria-prima *mp* utilizada para produzir uma tonelada de *pa*.

Os parâmetros relativos ao processo de aquisição e aos pontos fornecedores são:

- ***DOM_FO_{fo, mp}*** – Domínio binário de matérias-primas *mp* disponíveis em cada fornecedor *fo*;
- ***Cap_Fornecimento_{fo, mp}*** – Capacidade de fornecimento de matérias-primas *mp* de cada fornecedor *fo* em toneladas;
- ***Custo_Insumo_{fo, mp}*** – Custo por tonelada de matérias-primas *mp* disponíveis em cada fornecedor *fo*.

Os parâmetros relativos à tributação, considerando-se que estes já estão multiplicados pelos valores de transferência ou venda, de forma a se ter uma relação de imposto por tonelada de produto, são:

- ***ICMS_{origem, destino}*** – ICMS cobrado pela movimentação de material de uma *origem* para um *destino*;
- ***ICMS_ST_{origem, destino}*** – ICMS em Substituição Tributária cobrado pela movimentação de material de uma *origem* para um *destino*;
- ***II_{mp}*** – Imposto de importação cobrado pela matéria-prima *mp* importada;
- ***IPI_{mp}*** – IPI cobrado pela matéria-prima *mp* industrializada;
- ***IPI_{pa}*** – IPI cobrado pelo produto acabado *pa* industrializado;
- ***PIS_COFINS_{eb, pa}*** – Imposto PIS-COFINS cobrado por um determinado estado brasileiro *eb* pelo produto *pa*;
- ***Preço_Transferencia_{pa origem, destino, pa}*** – Preço de transferência de uma tonelada de produto acabado *pa* de uma *origem* para um *destino*;
- ***Preço_Venda_{pa destino, pa}*** – Preço de venda de uma tonelada de produto acabado *pa* para um *destino*.
- ***Saldo_Credor_ICMS_{eb}*** – Situação onde o balanço de créditos e débitos é positivo, gerando acúmulo de crédito inutilizável por estado brasileiro;
- ***ICMS_Crd_{eb}*** – Crédito de ICMS dos bens que são produzidos no estado *eb*;

- **$ICMS_T_Debt_{eb}$** – Débito do ICMS dos itens que sairão de instalações situadas no estado eb ;
- **$ICMS_S_Debt_{eb}$** – Débito do ICMS dos itens que vendidos no estado eb ;

Sendo que cada parâmetro foi calculado por:

$$\mathbf{Saldo_Credor_ICMS}_{eb} = ICMS_Crd_{eb} - ICMS_T_Debt_{eb} - ICMS_S_Debt_{eb} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} ICMS_Crd_e = & \sum_{mp} \sum_{fo} \sum_{fa} (Volume_Aquisicao_{fo, fa, mp} * Custo_Insumo_{fo, mp}) * \\ & ICMS_{fo, fa} + \sum_{pa} \sum_{fa} \sum_{cd} Volume_Transferencia_{fa, cd, pa} * \\ & Preço_Transferencia_{pa_{fa, cd, pa}} * ICMS_{fa, cd} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} ICMS_T_Debt_e & = \sum_{pa} \sum_{fa} \sum_{cd} (Volume_Transferencia_{fa, cd, pa} \\ & * Preço_Transferencia_{pa_{fa, cd, pa}} * ICMS_{fa, cd}) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} ICMS_S_Debt_e & = \sum_{pa} \sum_{cd} \sum_x (Volume_Distribuição_{cd, x, pa} \\ & * Preço_Venda_{x, pa} * ICMS_{cd, x}) \end{aligned} \quad (17)$$

Objetivou-se minimizar o Custo do Sistema (CS) que envolveu o custo de aquisição de matéria-prima, transportes, armazenagem, produção e tributação:

$Min\ Custo\ Sistema =$

$$\begin{aligned} & \sum_{mp} \sum_{fo} \sum_{fa} [(Frete_Aquisicao_{fo, fa} + Custo_Insumo_{fo, mp}) * Volume_Aquisicao_{fo, fa, mp}] \rightarrow (A) \\ & + \sum_{pa} \sum_{fa} \sum_{linha} (Custo_Variavel_Producao_{fa, linha} * Volume_Producao_{fa, linha, pa}) \rightarrow (B) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{pa} \sum_{fa} \sum_{cd} (Frete_Transferencia_{fo, cd} * Volume_Transferencia_{fa, cd, pa}) \\
& \quad \rightarrow (C) \\
& + \sum_{cd} \sum_{fx} (Custo_Variável_CD_{cd, fx} * B_FaixaCD_{cd, fx}) \rightarrow (D) \\
& + \sum_{pa} \sum_{cd} \sum_x (Frete_Distribuição_{fo, cd} * Volume_Distribuição_{cd, x, pa}) \rightarrow (E) \\
& + \sum_{fa} (Custo_Fixo_Fabrica_{fa} * BFabrica_{fa}) + \sum_{cd} (Custo_Fixo_CD_{cd} * BCD_{cd}) \\
& \quad \rightarrow (F) \\
& + \\
& \sum_{mp} \sum_{fo} \sum_{fa} [(II_{mp} + IPI_{mp} + PIS/COFINS_{fo} + ICMS_{fo, fa}) \\
& \quad * Volume_Aquisição_{fo, fa, mp}] \\
& + \sum_{pa} \sum_{cd} \sum_{fa} [(IPI_{pa} + PIS/COFINS_{fa} + ICMS_{fa, cd} \\
& \quad + ICMS/ST_{fa, cd}) * Volume_Transferencia_{fo, fa, pa}] \\
& + \sum_{pa} \sum_x \sum_{fa} [(IPI_{pa} + PIS/COFINS_{cd} + ICMS_{cd, x} + ICMS/ST_{cd, x}) \\
& \quad * Volume_Distribuição_{cd, x, pa}] + \sum_{eb} (Saldo_Credor_ICMS_{eb}) \\
& \quad \rightarrow (G)
\end{aligned}$$

sendo,

- (A) – Custos de Aquisição de Matéria-prima e Transporte para fábrica;
- (B) – Custos de Produção;
- (C) – Custos de Transporte em transferência aos CDs;
- (D) – Custos de Movimentação e Armazenagem;
- (E) – Custos de Transporte ao distribuírem produtos;
- (F) – Custos fixos das instalações abertas;
- (G) – Custos Tributários.

As restrições do modelo de PLIM são:

Para a demanda a ser integralmente atendida

- $Demanda_{x, pa, sc} = \sum_{cd} (Volume_Distribuição_{cd, x, pa} * BX_{cd, x})$

Para o Nível de serviço considerando a tolerância que deve ser respeitada:

- $(1 + Fator_Tolerancia_{x, pa}) * Nivel_Serviço_{x, pa} \geq Tempo_viagem_{cd, x}$

Apenas um CD pode atender as demandas de um dado cliente

- $\sum_{cd} (BX_{cd, x}) = 1$

A capacidade de Armazenagem nos CDs deve ser respeitada

- $\sum_{fa} \sum_{pa} (Volume_Transferencia_{fa, cd, pa}) \leq Cap_Armazenagem_{cd}$

O volume de material que entra em um CD deve ser igual ao que sai

- $\sum_x \sum_{pa} (Volume_Distribuição_{cd, x, pa}) =$
 $\sum_{fa} \sum_{pa} (Volume_Transferencia_{fa, cd, pa})$

A restrição de faixa de custo de armazenagem

- $\sum_{fx} (B_{FaixaCD_{cd, fx}}) = 1$

O balanço de massa nas fábricas

- $\sum_{mp} \sum_{fo} (Volume_Aquisicao_{fo, fa, mp}) * Bill_of_Materials_{mp, pa} =$
 $\sum_{pa} \sum_{linha} Volume_Producao_{fa, linha, pa}$

A capacidade de produção por linha na planta fa em um cenário e com e sem expansão

- $\sum_{pa} Volume_Producao_{fa, linha, pa} \leq Cap_Instalada_Prod_Linha_{fa, linha}$
- $\sum_{pa} Volume_Producao_{fa, linha, pa} \leq Cap_Expansao_Prod_Linha_{fa, linha}$

Em casos onde diferentes linhas dividem equipamentos, a capacidade de produção compartilhada deve ser respeitada

- $\sum_{pa} Volume_Producao_{fa, linha1, pa} + \sum_{pa} Volume_Producao_{fa, linha2, pa} \leq Cap_Compartilhada_Prod_Linha_{fa, linha1, linha2}$

A capacidade de fornecimento de mp dos fornecedores também deve ser respeitada

- $\sum_{fa} (Volume_Aquisicao_{fo, fa, mp}) \leq Cap_Fornecimento_{fo, mp}$

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados pelo modelo de otimização foram analisados por uma equipe de profissionais tributários e de SC, sendo de responsabilidade do autor deste trabalho o desenvolvimento do modelo matemático, seus ajustes e o suporte na validação dos cenários obtidos durante as otimizações. A Tabela 5 apresenta o tamanho de cada cenário otimizado neste trabalho, em termos de número de variáveis comuns, inteiras e restrições.

Tabela 5: Tamanho de cada cenário

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Número de Variáveis	115.938	141.603	189.332
Número de Binárias	4.372	4372	4.372
Número de Restrições	23.039	23.758	27.501

Fonte: Autor.

Pontua-se inicialmente que, para o processo de otimização, utilizou-se a técnica *Threads* para minimizar o tempo de processamento computacional. Os cenários apresentados foram inicialmente trabalhados utilizando apenas 1 núcleo para encontrar as soluções, o que gerou em tempos de programação de aproximadamente 30 minutos por rodada, em uma máquina com 8 *gigabytes* de memória RAM e processador Intel® Core™ i5. Optou-se pela utilização de 4 *threads* para processar as soluções dos cenários, desta forma o tempo máximo de computação para obtenção da solução ótima foi de 20 minutos. Saliente-se que os resultados encontrados com mais e menos *threads* foram os mesmos.

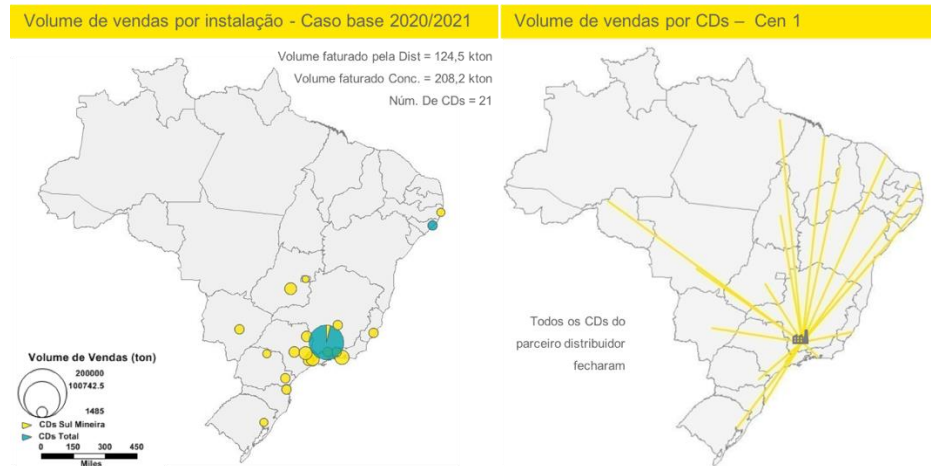
4.1. CENÁRIO 1 - OTIMIZAÇÃO LOGÍSTICA

Com o intuito de avaliar o impacto de um modelo de otimização via PLIM na configuração de uma malha logística de uma companhia do setor de alimentos para animais, o cenário 1 foi estruturado.

O Cenário 1, onde ocorreu a otimização logística, utilizou a mesma estrutura societária apresentada na Figura 12. Este cenário apontou para o fechamento de todos os CDs do parceiro distribuidor da empresa incorporada e, portanto, a distribuição de todos os seus produtos passa a ser feita diretamente da fábrica para todos os estados brasileiros. A Figura 24 apresenta um

comparativo entre os volumes das vendas por instalação, sendo que no cenário 1 todo o volume de vendas passa a ser concentrado na fábrica localizada em Minas Gerais.

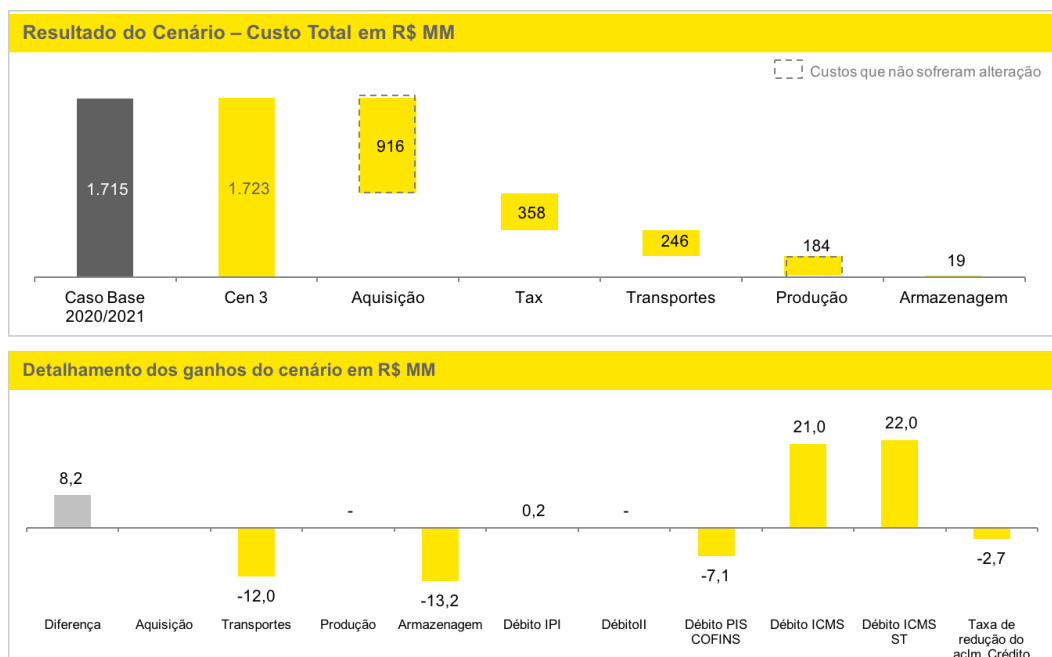
Figura 23: Volume de vendas por instalação, caso base versus cenário 1 (2020/2021)



Fonte: Autor.

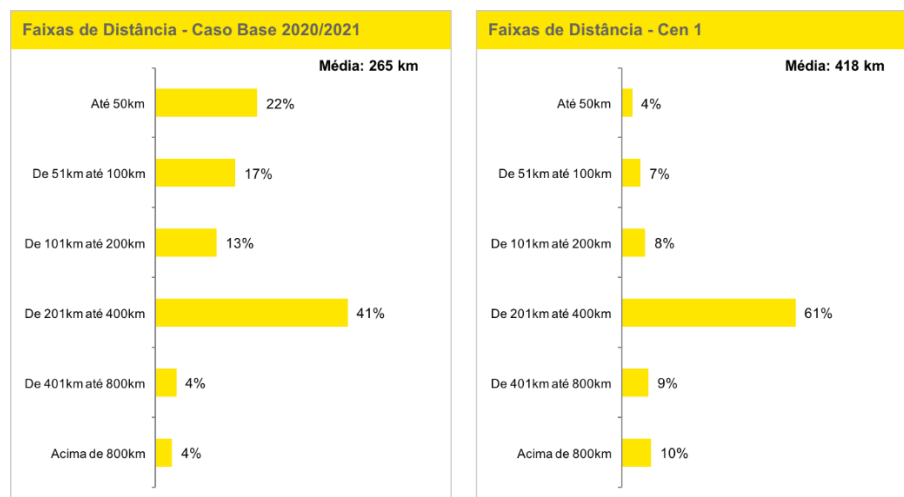
Os Estados de MG, SP e RJ representam 86% da demanda da empresa incorporada, desta forma, a proximidade com a fábrica é um dos fatores que favorecem a distribuição direta. O fechamento de todos os CDs do distribuidor resulta em uma queda na ordem de grandeza de R\$12 milhões no frete *intercompany* (vendas da empresa incorporada para seu parceiro de distribuição) e aumento de R\$7 milhões no frete outbound (custo atrelado à contratação, planejamento e monitoramento do transporte dos produtos acabados até seus clientes), em função do aumento das distâncias percorridas, situações descritas nas Figuras 25 e 26.

Figura 24: Diferença dos ganhos entre os cenários (CB vs. C1)



Fonte: Autor

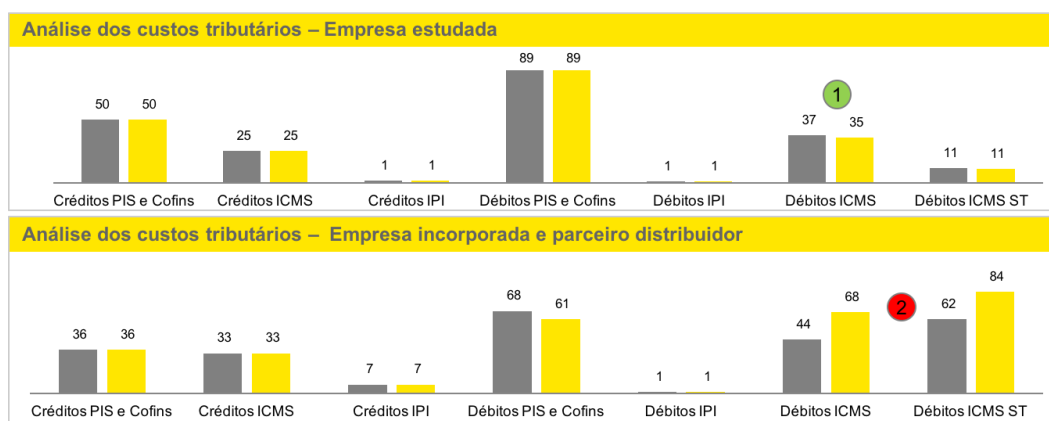
Figura 25: Faixas de distância percorridas, caso base versus cenário 2 (2020/2021)



Fonte: Autor.

Apesar de os tributos não terem feito parte do modelo implementado, buscou-se avaliar os impactos decorrentes da reconfiguração da malha operacional frente aos impostos pagos pelas companhias. Apesar das economias operacionais obtidas, a Figura 26 mostra as complicações tributárias geradas em função de sua exclusão no processo de tomada de decisão.

Figura 26: Detalhamento dos custos tributários cenário 1



Fonte: Autor.

Conforme descrito na Figura 26, a redução dos débitos de ICMS, sinalizados pelo círculo 1, é decorrente da transferência da distribuição de 26 mil toneladas de ração insumo, tributadas a 7,2% em Minas Gerais, para São Paulo, passando a ser tributada a 4,8% na operação interestadual. As rações destinadas à suinicultura e/ou avicultura passaram a ser distribuídas dentro do estado de MG diretamente da fábrica da empresa estudada, sendo beneficiadas pela isenção nas saídas internas. Tais alterações de fluxos de produção e distribuição geraram uma economia de R\$1,1 milhão.

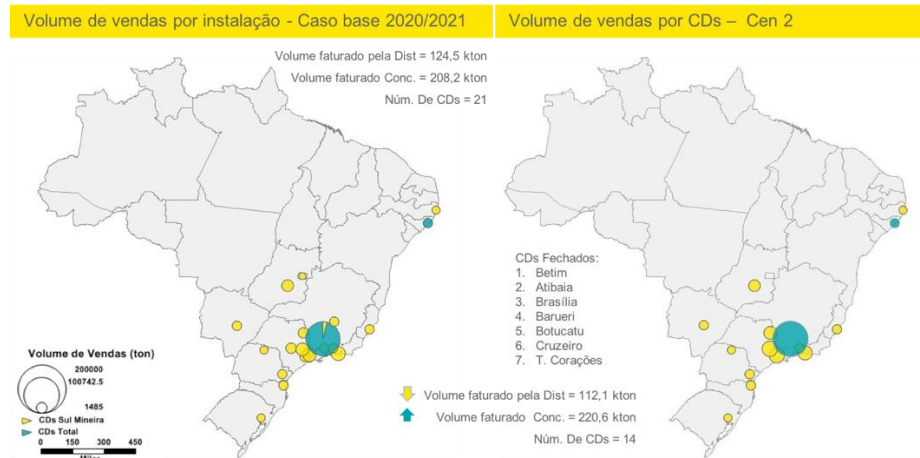
O fechamento das filiais do parceiro de distribuição, impactou diretamente na apuração de ICMS, ICMS-ST da empresa incorporada. Verificou-se que ao fim do planejamento adotado houve geração de uma perda total de aproximadamente R\$45 milhões para esses impostos.

4.2. CENÁRIO 2 - OTIMIZAÇÃO LOGÍSTICO-TRIBUTÁRIA

Com o intuito de avaliar o impacto da complexidade tributária brasileira em processos de definição da malha de operações de uma companhia, elaborou-se um cenário de otimização considerando os impostos pontuados nesse trabalho no algoritmo de otimização.

O Cenário 2, onde ocorreu a otimização logística e tributária, utiliza a mesma estrutura societária apresentada na Figura 12. O cenário apontou para o fechamento de alguns CDs do parceiro de distribuição da empresa incorporada nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, consequentemente as maiores variações de fluxo dessas empresas ocorreram nos centros de distribuição destes estados. A Figura 27 apresenta um comparativo entre os volumes das vendas por instalação para a demanda de 2020 do caso base (manutenção das regras de negócios atuais) e um cenário otimizado logístico e tributariamente.

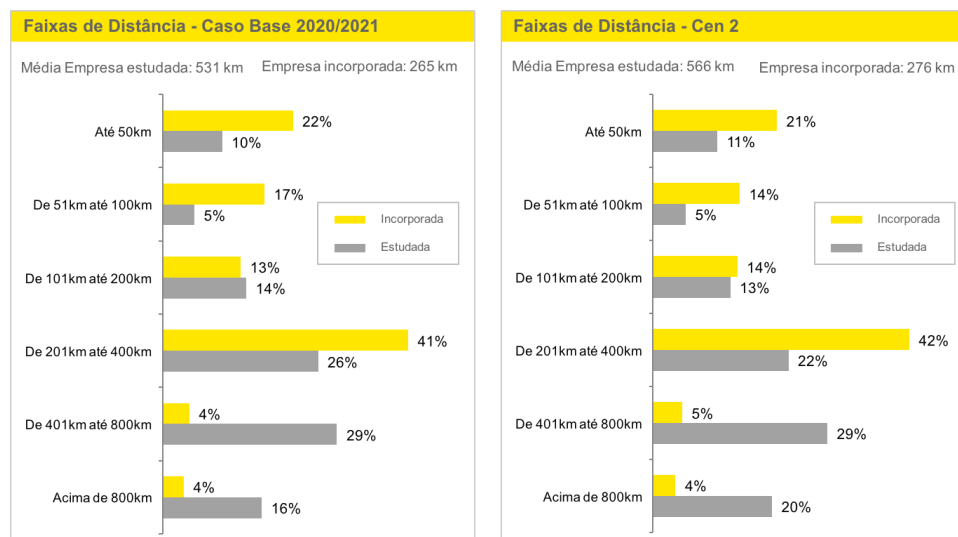
Figura 27: Volume de vendas por instalação, caso base versus cenário 2 (2020/2021)



Fonte: Autor.

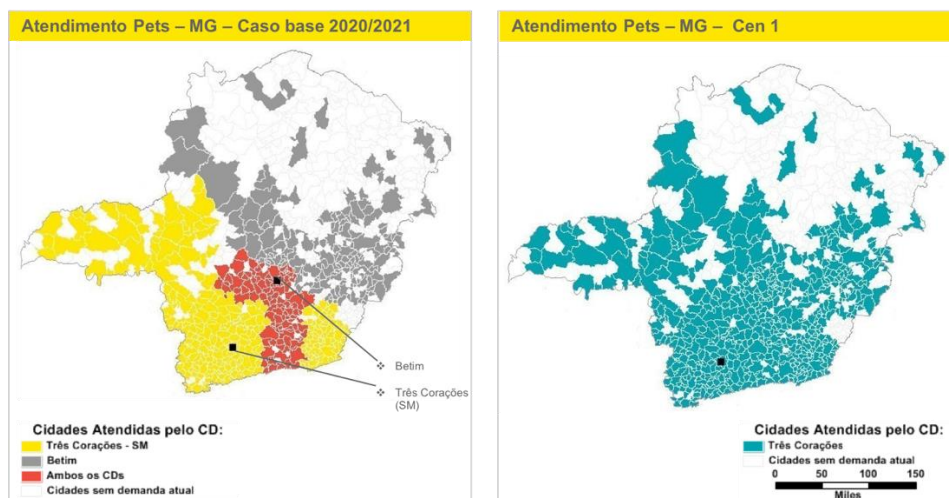
Na empresa estudada, houve variações de fluxo em alguns CDs por ajustes entre transferência e venda direta, de forma geral, estas mudanças geram pequenos aumentos nas distâncias percorridas para as empresas atenderem seus clientes. Estes aumentos não tendem a impactar de forma significativa o nível de serviço, o mantendo dentro das especificações do cliente. A Figura 28 apresenta um comparativo entre as faixas de distância percorridas pelos caminhões para realizar as entregas no caso base 2020/2021 e no cenário 2.

Figura 28: Faixas de distância percorridas, caso base versus cenário 2 (2020/2021)



Fonte: Autor.

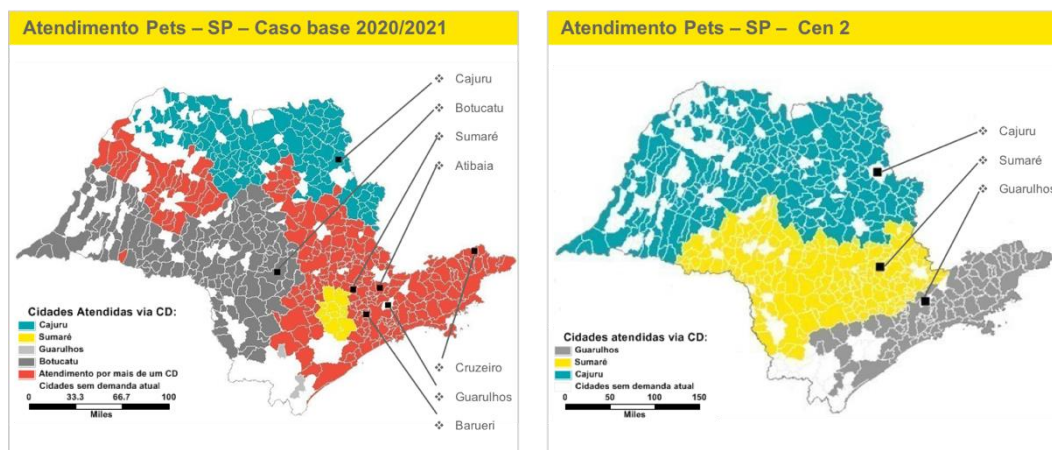
Figura 29: Atendimento de produtos pet da empresa incorporada -MG (2020/2021)



Fonte: Autor.

Com o fechamento das filiais do parceiro distribuidor em Minas Gerais, toda a demanda de produtos PET da empresa incorporada passou a ser atendida diretamente da fábrica, em todo o estado. Consequentemente houve um aumento nas distâncias de entrega de produtos na região, pode-se inferir que a adoção de um processo de distribuição em que a mercadoria é recebida e redirecionada sem uma armazenagem prévia (*crossdocking*) teria o potencial de manter os níveis de serviço em bons patamares sem agregar custos substanciais ao sistema, a utilização deste tipo de instalação poderia beneficiar os processos de entrega dentro da complexidade urbana de Belo Horizonte. Estas mudanças de fluxo no estado de Minas Gerais geraram reduções de custos operacionais na ordem de R\$1,9 milhão. A Figura 29 ilustra a forma que o atendimento em Minas Gerais passou a ser realizado após o processo de otimização, considerando a restrição da exclusividade de atendimento.

Figura 30: Atendimento de produtos pet da empresa incorporada - SP (2020/2021)

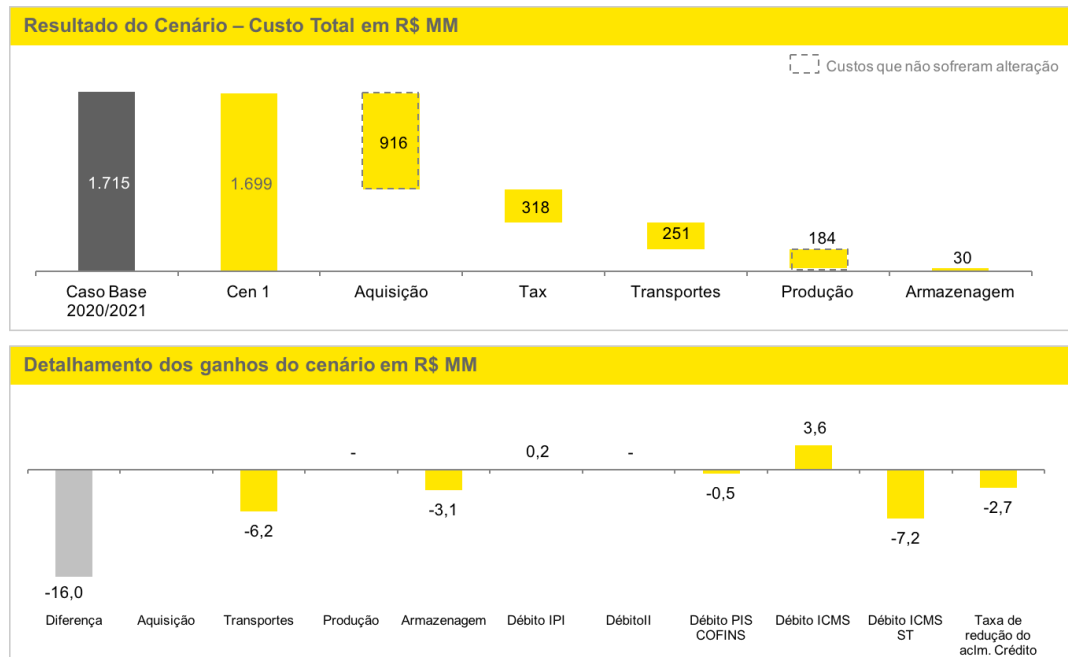


Fonte: Autor.

Em São Paulo também há a recomendação do fechamento de instalações do parceiro de distribuição, de modo que, das 7 instalações anteriormente abertas, apenas 3 continuariam operando, ou seja, os produtos do tipo PET da empresa incorporada passariam a ser distribuídos pelas filiais de Cajuru, Guarulhos e Sumaré. Estas mudanças geram um pequeno aumento das distâncias percorridas, não sendo significativo para impactar o nível de serviço em São Paulo. Estas mudanças de fluxo dos produtos PET no estado de São Paulo geram reduções de custos operacionais na ordem de R\$0,8 milhão. A Figura 30 apresenta de que forma o atendimento em São Paulo passou a ser realizado após o processo de otimização, considerando a restrição da exclusividade de atendimento.

O cenário 2 apresentou um ganho na ordem de R\$16 milhões, obtido por meio de redução dos custos tributários e operacionais, as mudanças relacionadas aos ajustes de transferências e venda direta nas fábricas da empresa objeto de estudo deste trabalho, tem potencial de ganho de R\$6,3 milhões para o sistema. A redução de transferências de entre as fábricas da empresa, o aumento de faturamento direto para diversos estados brasileiros a partir de instalações nos estados de São Paulo, Goiás e Paraná são responsáveis pela maior parte deste ganho.

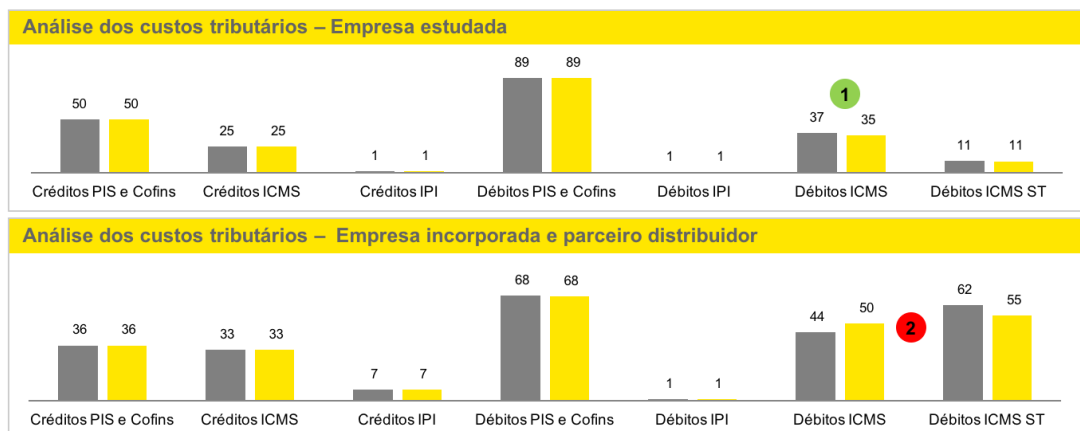
Figura 31: Diferença dos ganhos entre os cenários (CB vs. C2)



Fonte: Autor.

Dentre as economias apontadas na Figura 31 pode-se atribuir às economias operacionais os ajustes indicados em transportes e armazenagem. Em termos de transporte, o modelo buscou minimizar os custos de frete entre todos os elos da cadeia de valor. Quanto a armazenagem, a economia pode ser atribuída a dois fatores: o fechamento de instalações e a busca de redução do custo fixo e economia de escala, dado que o modelo busca explorar as ociosidades das instalações.

Figura 32: Detalhamento dos custos tributários cenário 2



Fonte: Autor.

Conforme disposto na Figura 32, a redução dos débitos de ICMS, indicados pelo círculo 1 é justificada pelo mesmo motivo apresentado no cenário 1.

Ainda se observando a Figura 32, o aumento do ICMS próprio e a redução do ICMS-S, sinalizados pelo círculo 2, se deve à utilização do PMPF pelo estado de Minas Gerais, a fim de formação da base de cálculo do ICMS-ST. Assim, o ICMS próprio passa a ser calculado pelo preço de venda, aumentando sua base de cálculo e consequentemente seu valor. Uma vez que a pauta utilizada se mantém, o ICMS-ST a recolher diminui, gerando um aumento líquido de R\$800 mil na tributação.

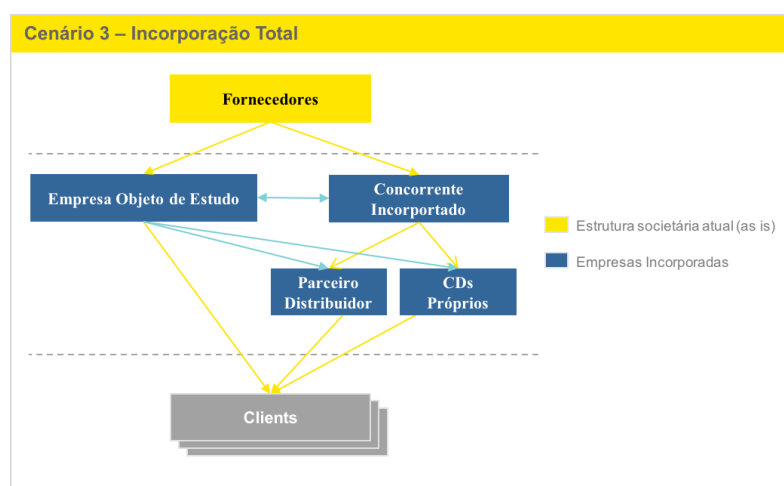
Do ponto de vista de impostos diretos, considerando que a estrutura societária irá se manter, não são esperadas consequências relevantes para IRPJ/CSLL.

4.3. CENÁRIO 3 - OTIMIZAÇÃO LOGÍSTICA-TRIBUTÁRIA EM AQUISIÇÃO

Com o intuito de avaliar o impacto de incorporação de concorrentes em processos de definição da malha de operações de uma companhia, elaborou-se um cenário de otimização considerando os impostos, operação e incorporação de empresas já citadas anteriormente.

O Cenário 3, onde ocorreu a otimização logística e tributária em meio a incorporações, utilizou uma nova estrutura societária, apresentada na Figura 33, onde todas as empresas operam abaixo da mesma bandeira de forma unificada. Assim como no primeiro cenário a otimização apontou para o fechamento de todos os CDs do parceiro de distribuição

Figura 33: Nova proposta de estruturação societária

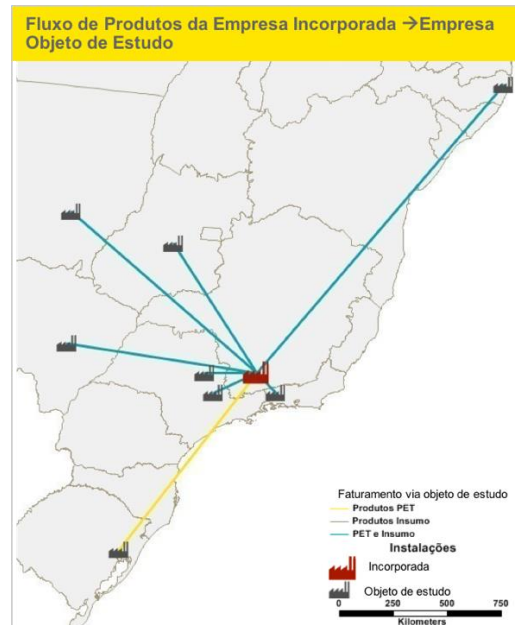


Fonte: Autor.

A Figura 34 apresenta a nova proposta de faturamento adotado pela empresa incorporada, ao invés de vender diretamente seus produtos aos clientes espalhados no Brasil, a empresa

utiliza a estrutura da empresa objeto de estudo desse trabalho para apoiar sua distribuição. Aproximadamente 30 mil toneladas de rações passam a ser faturadas pela estrutura da empresa incorporadora. O volume é composto 18 mil toneladas de ração pet (64% da demanda) e 11 mil toneladas de ração insumo (36% da demanda).

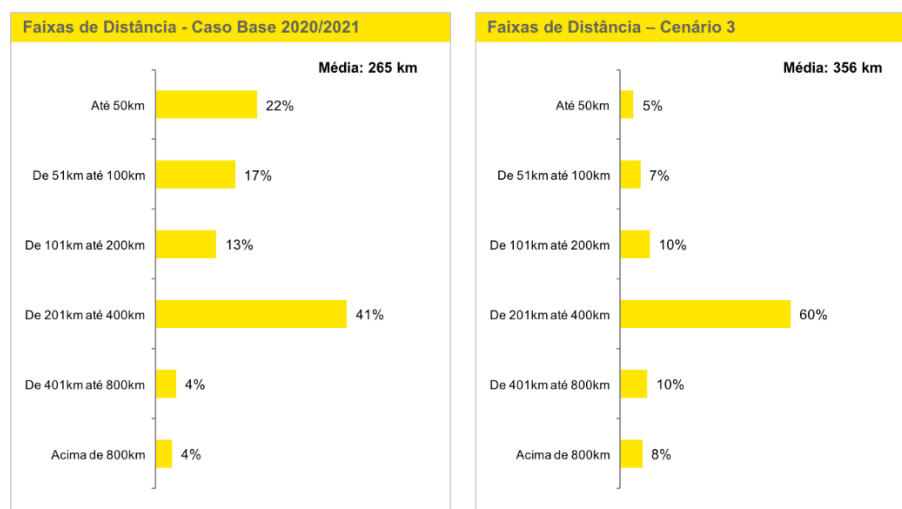
Figura 34: Nova proposta de faturamento para produtos da empresa incorporada



Fonte: Autor.

Apesar da nova estrutura permitir um número maior de combinação de transferências, as faixas de distância percorridas para a distribuição dos produtos aos clientes finais tiveram um impacto similar ao cenário 1, como pode ser identificado na Figura 35.

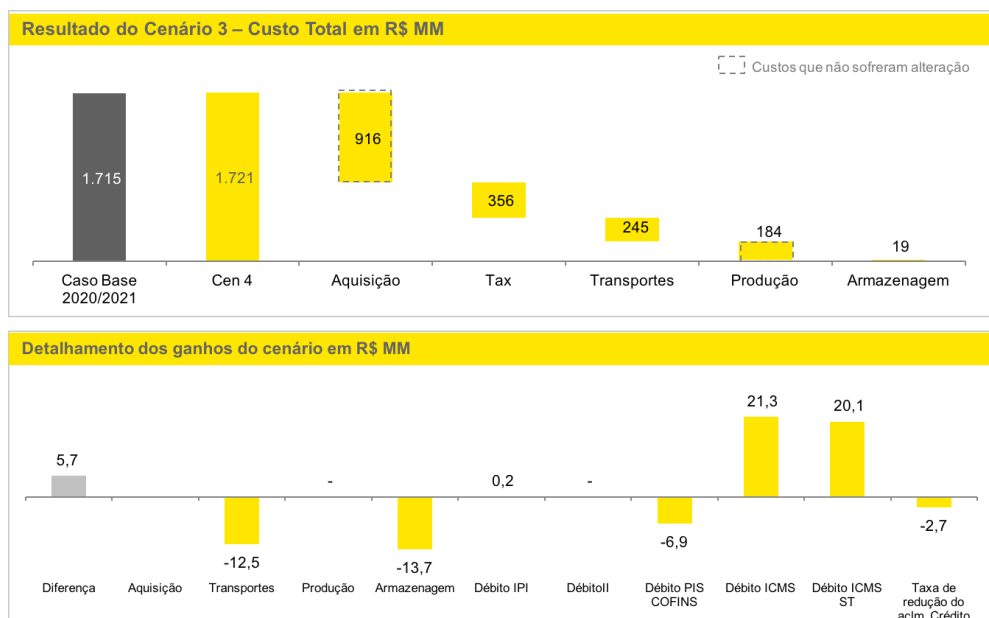
Figura 35: Faixas de distâncias percorridas para distribuir produtos no cenário 3



Fonte: Autor.

Em termos de custos e economias, o comportamento deste cenário em muito se assemelha ao primeiro, onde há economias por fechamento de instalações e por ganhos de escala em outras. O único diferencial apresentado foi o ganho de escala em algumas instalações da empresa objeto de estudos em função do fluxo adicional recebido.

Figura 36: Estrutura de custos do cenário 3

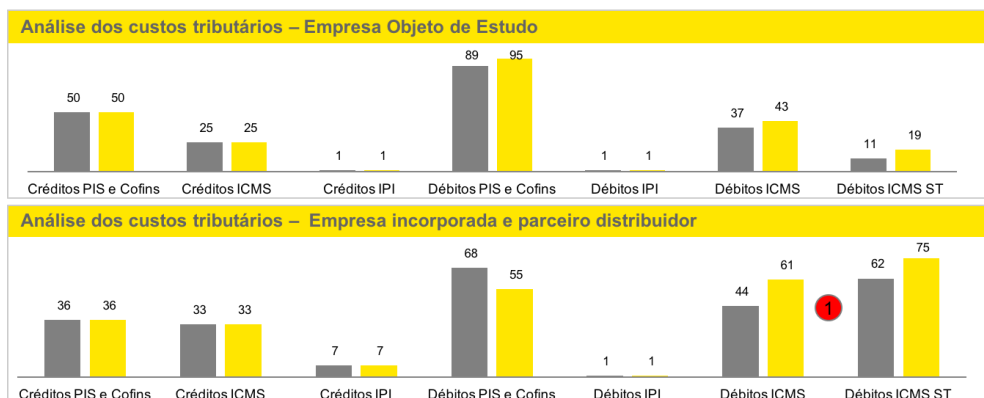


Fonte: Autor.

Na Figura 36 mostra-se a perda de R\$5,7 milhões nos custos em função de implicações tributárias geradas no cenário (manutenção das regras de negócios atuais) e um cenário

otimizado logístico e tributariamente. A incorporação e fechamento do parceiro distribuidor impacta diretamente na apuração de ICMS, ICMS-ST e IPI da empresa incorporada. Verifica-se que há uma perda total de R\$45 milhões com relação a esses impostos (Figura 37, círculo 1).

Figura 37: Detalhamento dos custos tributários do cenário 3



Fonte: Autor.

4.4. COMPARATIVOS COM A LITERATURA

Os resultados obtidos pelo modelo endossam as conclusões apresentadas por outros autores consagrados na utilização de PLIM. Hamad (2014), pontua a eficiência deste tipo de abordagem na proposição de estratégias de operação e evidencia formas de como a utilização deste tipo de ferramenta pode auxiliar as empresas a obter reduções de custos em um breve intervalo de tempo, fatos que também podem ser observados ao longo deste estudo.

Junqueira e Morabito (2006 e 2008) delinearam em seu trabalho a importância de incorporar o planejamento tributário nas atividades logísticas, por conta da complexidade relativa ao ambiente nacional. Os resultados encontrados neste trabalho reiteram a necessidade de tomar uma decisão com base em ambos os parâmetros, a partir do momento que os cenários sem otimização tributária geraram perdas substanciais às companhias.

Andrade (2013) pontuou em seu trabalho os impactos de uma reforma tributária na definição de malhas logísticas. Uma eventual reforma tributária geraria a necessidade de revisar todas as estratégias e modelos já definidos para solucionar problemas desta natureza, todavia essa mudança teria o potencial de reduzir a prática do turismo fiscal. As soluções inicialmente obtidas pelo modelo proposto nesse trabalho trouxeram propostas de fluxos operacionalmente inconsistentes, mas que apresentavam benefícios tributários, uma reforma poderia suprimir esse tipo de resultado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi utilizar a otimização via PLIM para observar as mudanças operacionais e tributárias em uma malha logística. A metodologia e o modelo matemático propostos mostraram aplicações práticas imediatas para problemas de localização de indústrias de alimentos para animais presentes no Brasil.

A adaptação dos modelos de PLIM existentes na literatura podem ser consideradas bem-sucedidas para a realidade da empresa estudada, dado que foi possível validar sua acuracidade por meio da comparação dos custos atuais e os resultados obtidos por meio do modelo travado com as regras de negócio válidas hoje.

A ferramenta se mostrou de essencial importância para suportar processos de tomada de decisão a nível estratégico. Considerar apenas um aspecto no processo de otimização pode guiar a empresa a cenários que a prejudicarão. O modelo se mostrou interessante para avaliar de que forma a escolha das instalações que serão abertas e as características dos fluxos de produtos podem impactar nos custos globais do sistema.

Utilizar PLIM em múltiplos elos de uma SC é um fator diferenciador para executivos que pretendem tomar decisões que mudem a forma de operação das empresas, mas acreditam ser imprescindível que a ferramenta garanta uma visão holística das unidades produtoras e distribuidoras que compõe a malha.

A complexidade tributária brasileira novamente se mostrou como um fator de essencial importância para geração de estratégias de operação sólidas e resilientes, não ter uma boa avaliação de impostos e/ou de processos de aquisição pode ser perigoso. A falta de visibilidade do cenário como um todo pode gerar ganhos expressivos pelo fechamento de instalações, mas perdas tributárias superiores.

No que tange ao acúmulo de crédito inutilizável, o modelo se mostrou eficiente ao buscar alternativas de fluxo aos atuais reduzindo as taxas de acúmulo e simplificando as operações outrora realizadas pelas empresas estudadas.

Algumas empresas buscam manter instalações armazenagem com alto grau de ociosidade em determinados locais sob a justificativa de manutenção de nível de serviço. Essa proposta torna-se infundada para alguns casos, como fora apresentado nos cenários estudados. Apesar

de ocorrerem múltiplos fechamentos de instalações em todos os cenários, o nível de serviço do sistema não foi afetado de forma substancial.

A otimização via PLIM mostra-se eficaz, sendo uma ferramenta que pode auxiliar gestores em definições de estratégias de longo prazo, trazendo dados suficientes para uma análise consistente. Todavia o trabalho de modelagem se mostra altamente técnico, sendo necessário a capacitação de funcionários para a execução da modelagem e análise.

A escolha do software AIMMS se mostrou satisfatória, os recursos gráficos permitidos pela plataforma facilitam o processo de análise e tornam o material mais fácil de utilização por parte do C-Level (grupo de executivos sênior com títulos antecedidos pela palavra *chief*) das empresas. Apesar da assertividade e eficiência da ferramenta, o software não é uma ferramenta de baixo custo, desta forma, recomenda-se às empresas uma análise de opções similares antes de adquiri-la.

O levantamento e modelagem de dados se destacam como uma das etapas de maior dificuldade no desenvolvimento deste trabalho, essa questão mostra a necessidade de um bom gerenciamento e qualidade dos dados de uma empresa para tomar decisões de forma eficiente.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- Modelos mais sofisticados quanto ao processo de aquisição de matéria-prima seriam benéficos para a indústria e seus colaboradores.
- Trabalhar com a otimização do processo de compras a partir de um modelo de PLIM, pode representar riscos para empresas. Os modelos não são sensíveis às oscilações de preços ao longo do tempo, desta forma as soluções exatas não se aplicam.
- O desenvolvimento de modelos multi-período seria interessante para tornar a abordagem mais interessante para decisões de nível estratégico tático e operacional.
- Otimização sob incerteza, otimização robusta e a adição de lógica *fuzzy* podem trazer soluções interessantes para lidar com as incertezas provenientes da oscilação de preços de um determinado produto/ matéria-prima.

REFERÊNCIAS

- ALLRED, C.R; FAWCETT, S.E; WALLIM, C; MAGNAM, G.M. A dynamic collaboration capability as a source of competitive advantage. **Decision Science**, v. 42, n.1, 2011, p.129-161.
- AMARAL, M., ALMEIDA, M.S., MORABITO, R.; Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação, **Revista Gestão da Produção**, V. 19, No. 2, p. 717-732, 2012, São Carlos, SP.
- ANDRADE, L.E.W.A. **Impactos da reforma tributária: avaliando a influencia do novo ICMSna reconFiguração da malha logística brasileira**. Dissertação de mestrado. Programa de Mestrado em Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2013.
- ARNTZEN, B.C; BROWN, G.G.; HARRISON, T.P.; TRAFTON, L.L. Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation. **Interfaces**, V. 25, No. 1, 1995, p. 69-93.
- BADRI, H., BASHIRI, M. and HEJAZI, T.H. Integrated strategic and tactical planning in a supply chain network design with a heuristic solution method. **Computers and Operations Research**, 40(4), pp. 1143-1154, 2013
- BALAJI, K, VISWANADHAM, N., A Tax Integrated Approach for Global Supply Chain Network Planning, **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, V.5, No. 4, 2008.
- BALLOU, R. H. **Business Logistics Management**. 4e, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1998.
- _____. Unresolved Issues in Supply Chain Network Design. **Information Systems Frontiers**, Vol. 3, No. 4, 2001, p. 417-426.
- _____. **Business logistics supply chain management**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 597 p.
- BASSET, M.; GARDNER, L. Designing optimal global supply chains at Dow AgroSciences. **Computers and Chemical Engineering**. Vol. 34, 2010, p. 254-265.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241–264, 2002.
- BISSCHOP, J.; ENTRIEN, R. (2002). AIMMS the Modeling System. Paragon Decision Technology. Disponível em <http://www.aimms.com>. Acessado em setembro de 2016.
- BHUTTA, K.S. **Global Supply Chains: An Integration Location, Productions, Distribution and Investment Model for a Multinational Corporation Operating Under Varying Exchange Rates and Tariff Structures**, Doctoral Dissertation, University of Texas at Arlington, 2001.
- _____, International Facility Location Decisions: A Review of The Modeling Literature. **International Journal of Integrated Supply Management**, V. 1, No. 1, 2004, p. 33-50.

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

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

BIROU, L.; GERMAIN, R. N.; CHRISTENSEN, W. J. Applied logistics knowledge impact on financial performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, n. 8, p. 816–834, 2011.

BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. Mass customization: Literature review and research directions. **International Journal of Operations & Production Economics**, v. 72, p. 1–13, 2001.

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

BRONZATTO, T. Invivo compra Total Alimentos. Revista Exame 15/10/2014.

CAO, M.; ZHANG, Q. Supply chain collaboration: impact on collaborative advantage and firm performance. **Journal of Operations Management**, v. 29, p.163-180, 2011.

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

Crimson & Co. Top 10 Supply Chain Concerns of 2011, v.1, p. 7-10, 2011.

DAS, K. and CHOWDHURY, A.H. Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning. **International Journal of Production Economics**, 135(1), pp. 209-221, 2012.

DROGE, C; VICKERY, S.K; JACOBS, M.A. Does supply chain integration mediate the relationship between product/process strategy and service performance? Na empirical study. **International Journal of Production Economics**, v. 132, n.2, 2012, p.250-262.

EY. The Master CFO Collection – Partneting the Performance, v.5, p. 4-16, 2013.

EUROMONITOR. Mars Inc in PET Care, v.9, p.43, 2015.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 277 p

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

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

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

GARCIA, E.S.; REIS, L.M.T.V.; MACHADO, L.R.; FERREIRA, V.J.M. **Gestão de estoques: Otimizando a Logística e a Cadeia de Suprimentos**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda., 2006. Disponível em <http://books.google.com/books?id=AvfRM51NLcqC&dq=pt-PT>, acessado em julho de 2016

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

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

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

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

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

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

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

GOLDRATT, E.M. *Cost Accounting: the number one enemy of productivity*. 1989 **APICS International Conference Proceedings**, 1983, p. 89-92.

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

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

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

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

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

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

HAMAD, R. **Modelagem de redes logísticas com vários elos: a influencia dos impostos e do custo de carregamento de estoques**. Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2014.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Instituto Brasileiro de Planejamento Tributário (IBPT), Carga Tributária Brasileira 2012 e 2013, disponível em <http://www.ibpt.com.br/img/uploads/novelty/estudo/559/CargaTributaria2016IBPT.pdf> acessado em setembro de 2016.

IVANOV, B.; STOYANOV, S. A mathematical model formulation for the design of an integrated biodiesel-petroleum diesel blends system. **Energy**, v.99, p.221-236, 2016.

JOHANSEN, S.G. Base-stock policies for the lost sales inventory system with Poisson demand and Erlangian lead times. **International Journal of Production Economics**, 93-94, 2005, p. 429-537.

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

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

_____, _____. Production and logistics planning considering circulation taxes in a multi-plant seed corn company. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 84, p.100-110, 2012.

KIM, D. Relationship between supply chain integration and performance. **Operations Management Research**, v. 6, p. 74-90, 2013.

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

KIRKPATRICK, S.; GELATT, C.D.; VECCHI, M.P. Optimization by Simulated Annealing, **Science**, 220, 1983, p. 671-666.

KOUFTEROS, X.A; EDWIN CHENG, T.C; LAI, K.H. Black-box and gray-box supplier integration in product development: antecedents, consequences and the moderating role of firm size. **Journal of Operations Management**, v.25, n.4, 2007, p.847-870.

LACERDA, L. **Consideração sobre o estudo de localização de instalações**, Disponível em <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-busca.htm?fr-loc-inst.htm> (acessado em novembro, 2016) Artigos do Centro de Estudo em Logística, COPPEAD, Rio de Janeiro, 2005.

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

LIU, H; LEI, M; DENG, H; LEONG, G. K.; HUANG, T. A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling market with government subsidy. **Omega**, v. 59, p.290-302, 2015.

LOVE, R.F.; MORRIS, J.G.; WESOLOWSKY, G. O. **Facilities Location: models & methods**. New York, North Holland, 1988, p. 186-200.

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

METE, H. O.; ZABINSKY, Z. B. Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management. **International Journal of Production Economics**, v. 126, n. 1, p. 76-84, 2010.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Projeções do Agronegócio 2014/2015 a 2024/2025 – Projeções de Longo Prazo. Distrito Federal, v. 6, p. 61-70, 2015.

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

MORABITO, R., DE SOUZA, M.C. and VAZQUEZ, M. Approximate decomposition methods for the analysis of multicommodity flow routing in generalized queuing networks. **European**

Journal of Operational Research, 232(3), pp. 618-629, 2014.

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

MOURTZIS, D. Challenges and the future perspectives for the life cycle of manufacturing networks in the mass customization era. **Logistics Research**, V. 9, n. 2, 2016.

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

OLHAGER, J; PRAJOLO D. The impact of manufacturing and the supply chain improvement initiatives: a survey comparing make-to-order and make-to-stock firms. **Omega**, v.40, n.2, 2012, p.159-165.

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

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

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

PATU, G. Carga Tributária no Brasil é maior do que EUA; Dinamarca Lidera. **Folha de S. Paulo**. <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/792959-carga-tributaria-no-brasil-e-maior-do-que-nos-eua-dinamarca-lidera.shtml>, 2010, acessado em 06/10/2016

PEREIRA, F.R. **Problemas de otimização de restrições: um modelo específico de fluxo multiproduto**. Dissertação de mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2011.

PwC. **Sétima Pesquisa de Líderes empresariais brasileiros, Crescimento Reinventado**. <HTTP://www.pwc.com/ceosurveybrazil>, 2010, acessado em 11/11/16.

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

ROCCO, C. D.; MORABITO, R. Production and logistics planning in the tomato processing industry: A conceptual scheme and mathematical model. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.127, p.763-774, 2016.

SARKER, B. R. Consignment stocking policy models for supply chain systems: A critical review and comparative perspectives. **International Journal of Production Economics**, v. 155, p. 52–67, 2013.

SCARPATI, K. **Top 10 supply chain concerns of 2011**. http://www.supplychaindigital.com/global_logistics/top-10-supply-chain-concerns-of-2011. 2011, acessado em 09/04/16.

SCHNEIDER, F.; KALLIS, G.; MARTINEZ-ALIER, J. Crisis or opportunity? Economic degrowth for social equity and ecological sustainability. Introduction to this special issue. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 6, p. 511–518, 2010.

SETHI, D. Are multinational enterprises from emerging economies global or regional? **European Management Journal**, v. 27, p. 356-365, 2009.

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

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

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

SOLEIMANI-DAMANEH, J.; HAMIDI, M; SAJADI, N. Evaluating the performance of Iranian Football Teams Utilizing Linear Programming. **American Journal of Operations Research**, v. 1, p. 65-72, 2011.

SUSARLA, N.; KARIMI, I.A. Integrated supply chain planning for multinational pharmaceutical enterprises. **Computers and Chemical Engineering**, v. 42, p.168-177, 2012.

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

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

TROM, G. Francesa Invivo compra produtora brasileira de rações para animais de estimação. *Jornal O Estado de São Paulo* 15/10/2015.

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

WARREN LIAO, T.; CHANG, P. C. Impacts of forecast, inventory policy, and lead time on supply chain inventoryA numerical study. **International Journal of Production Economics**, v. 128, n. 2, p. 527–537, 2010.

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

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

_____, HINO, C.M., ROSIN, R.A. A Reforma Tributária: avaliando a influência de novo ICMS na futura conFiguração da malha logística brasileira, **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, João Pessoa, 2008.

ZHENG, Y.J; LING, H.F. Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach, **Soft Computing**, v.17, n.7, 2013, p.1301-1314.

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