

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
RODRIGO DE CASTRO BARROS

**ANÁLISE DO IMPACTO DA INCLUSÃO DA VARIÁVEL CO₂ NO PROJETO DE
REDE DE DISTRIBUIÇÃO**

São Bernardo do Campo

2019

RODRIGO DE CASTRO BARROS

**ANÁLISE DO IMPACTO DA INCLUSÃO DA VARIÁVEL CO₂ NO PROJETO DE
REDE DE DISTRIBUIÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Centro Universitário FEI para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia Mecânica.
Orientado pelo Prof. Dr. Mauro Sampaio.

São Bernardo do Campo

2019

Barros, Rodrigo de Castro.

Análise do impacto da inclusão da variável CO2 no projeto de rede de distribuição / Rodrigo de Castro Barros. São Bernardo do Campo, 2019. 89 p. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Sampaio.

1. Projeto de rede de distribuição. 2. Rede de distribuição ecoeficiente. 3. Otimização. 4. Decisões estratégicas. 5. Custo de CO2. I. Sampaio, Mauro, orient. II. Título.

Dedico este trabalho a Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida. À minha família, que tem me incentivado e me ajudado a escrever a minha história.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que tem me sustentado nas adversidades em minha vida e me ofertado bênçãos imensuráveis.

Em especial, à minha família, que está sempre ao meu lado, me incentivando e acreditando em mim, sobretudo quando estou sob grande provação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Mauro Sampaio, pelo tempo e paciência dedicados durante esse percurso. Eu não conseguiria ter concluído essa importante etapa em minha vida sem a sua ajuda. Muito obrigado!

Ao Prof. Dr. Alexandre Augusto Massote e ao Prof. Dr. Marcio Luiz Borinelli, que contribuíram bastante com esse trabalho ao participarem da etapa de qualificação.

Aos professores do departamento de Engenharia de Produção do Centro Universitário FEI, em especial à Prof.^a Dra. Gabriela Scur, que me ajudou no desenvolvimento da revisão de literatura apresentada nesta dissertação.

Ao amigo, Edson Carillo, que tem sido um grande mentor e incentivador das minhas lutas durante esses meus últimos anos.

Por fim, agradeço à CAPES, pois o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 0001.

“A responsabilidade social e a preservação ambiental
significa um compromisso com a vida.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

A necessidade de projetar redes de distribuição que considerem os impactos ambientais como um fator relevante para aumento da competitividade empresarial tem se tornado uma tendência desde o surgimento do Protocolo de Kyoto e tem sido reforçada com as recentes regulações globais apresentadas na COP 21, em 2015. Ainda, acerca do conceito *Triple Bottom Line* (TBL), a sustentabilidade das empresas reside no alcance de resultados nas dimensões econômico-financeiras, sociais e ambientais. Portanto, o projeto de uma rede de distribuição ecoeficiente, ou seja, que pondere as variáveis ambientais e econômicas simultaneamente, contribui para a sustentabilidade da empresa e para o ganho da competitividade por meio da redução de custos. Como a literatura atual sobre projeto de rede ecoeficiente é consoante em afirmar que esse tema carece de mais pesquisas até o presente, esse trabalho tem o objetivo de avaliar o impacto econômico-financeiro que a inclusão da variável custo de CO₂, atribuída às atividades de transporte e fabricação (por meio do consumo de energia elétrica), representa em um projeto de rede de distribuição em relação à otimização da rede somente com o objetivo de redução de custos. Para viabilizar o alcance do objetivo, esta pesquisa propõe-se a aprofundar o entendimento do custo de CO₂ no projeto de rede em uma empresa brasileira do ramo alimentício que atua na fabricação de farinha de trigo e possui ampla abrangência de distribuição no território nacional. Para viabilizar a modelagem dos cenários ecoeficiente e custo eficiente, foi utilizado um software de otimização especialista em rede logística. A partir dos resultados, foi possível concluir qual o impacto econômico-financeiro que o custo de CO₂ possui no projeto da rede de distribuição estudada.

Palavras-chave: Projeto de rede de distribuição. Rede de distribuição ecoeficiente. Otimização. Decisões estratégicas. Custo de CO₂.

ABSTRACT

The need to design distribution networks that consider environmental impacts as a relevant factor for the increasing of entrepreneurial competitiveness has become a trend since the emergence of the Kyoto Protocol and has been reinforced with the recent global regulations presented at COP 21 in 2015. Still, about the concept of Triple Bottom Line (TBL), the sustainability of companies resides in the achievement of results in the economic-financial, social and environmental dimensions. Therefore, the project of an eco-efficient distribution network, in other words, that weighs the environmental and economic variables simultaneously, contributes to the sustainability of the company and to the gain of competitiveness by means of the reduction of costs. As the current literature on eco-efficient network project is consonant in stating that this topic lacks further research to date, this work has the objective of evaluating the economic-financial impact that the inclusion of the CO₂ cost variable, attributed to the activities of transportation and manufacturing (by means of the consumption of electric energy), represents in a distribution network project in relation to network optimization only with the objective of the costs reduction. In order to achieve the objective, this research proposes to deepen the understanding of the cost of CO₂ in the network project in a Brazilian food company that operates in the manufacture of wheat flour and has a wide coverage of distribution in the national territory. In order to enable the modeling of the eco-efficient and cost-efficient scenarios, an optimization software was used, specialist in logistics network. From the results, it was possible to conclude what is the impact economic-financial of the CO₂ cost on the distribution network project studied.

Keywords: Distribution network project. Eco-efficient distribution network. Optimization. Strategic decisions. CO₂ cost.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Rede de suprimentos genérica.....	26
Figura 2 – Principais dimensões de estudo da rede ecoeficiente.....	38
Figura 3 – Cenário 0: portos e fornecedores.....	52
Figura 4 – Cenário 0: portos, fornecedores e fábricas.....	53
Figura 5 – Cenário 0: portos, fornecedores, fábricas e armazéns.....	54
Figura 6 – Cenário 0: clientes.....	54
Figura 7 – Cenário 0: modelagem	55
Figura 8 – Relação origem-destino.....	59
Figura 9 – Fluxos: Cenário 0	59
Figura 10 – Fluxos: Cenário 1	63
Figura 11 – Fluxos: Cenário 2	68
Figura 12 – Trade-off: custo logístico total vs. custo de CO ₂	71
Figura 13 – Trade-off: custo logístico total vs. atendimento ao cliente	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação por tipo de Journal.....	27
Tabela 2 – Classificação por país	27
Tabela 3 – Classificação por tipo de modelo.....	28
Tabela 4 – Classificação por função objetivo dos artigos quantitativos.....	29
Tabela 5 – Classificação por decisão estratégica: estrutura da rede.....	31
Tabela 6 – Classificação por decisão estratégica: políticas de gestão	32
Tabela 7 – Grupo de fatores críticos.....	33
Tabela 8 – Instalações: restrições de capacidade dos fornecedores	56
Tabela 9 – Instalações: restrições de capacidade dos portos	56
Tabela 10 – Instalações: restrições de capacidade dos silos.....	56
Tabela 11 – Instalações: restrições de capacidade dos TP	57
Tabela 12 – Restrições: capacidade dos transportadores	58
Tabela 13 – Validação do Cenário 0	60
Tabela 14 – Cenário 0: custo de CO ₂ por fonte de emissão	61
Tabela 15 – Cenário 0: demanda por origem	61
Tabela 16 – Cenário 0: atendimento por faixa de distância	62
Tabela 17 – Resultados: Cenário 1	63
Tabela 18 – Comparação: custo de CO ₂ por fonte de emissão entre Cenário 0 e Cenário 1....	64
Tabela 19 – Cenário 1 vs. Cenário 0: demanda por origem	64
Tabela 20 – Cenário 1: atendimento por faixa de distância	65
Tabela 21 – Cenários ecoeficientes	66
Tabela 22 – Cenário 2: ecoeficiente	67
Tabela 23 – Cenário 2 vs. Cenário 0: demanda por origem	68
Tabela 24 – Cenário 2: atendimento por faixa de distância	69
Tabela 25 – Comparativo dos cenários: custo logístico total e CO ₂	70
Tabela 26 – Comparativo dos cenários: custo e atendimento	71

LISTA DE ABREVIATURAS

ARAI	<i>Automotive Research Association of India</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
COP	<i>Conference of the Parties</i>
CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Metano
CSAR	<i>Conceptual System Assessment and Reformulation</i>
CPCB	<i>Central Pollution Control Board</i>
CSV	Cadeias de Suprimentos Verdes
DEFRA	<i>Department for Environment, Food and Rural Affairs</i>
DP	<i>Delivery Points</i>
DRE	Demonstrativo do Resultado do Exercício
EPA	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
GVCES	Centro de Estudos de Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
MP	Material Particulado
NO _x	Óxidos de nitrogênio
OMB	<i>Office of Management and Budget</i>
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PNMC	Política Nacional de Mudanças Climáticas
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
TBL	<i>Triple Bottom Line</i>
TP	<i>Transit Points</i>
UNFCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	ÁREA DO CONHECIMENTO	15
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA	16
1.4	OBJETIVOS.....	16
1.5	JUSTIFICATIVAS.....	17
1.6	RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO	17
1.7	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	PROJETO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	22
2.1.1	Estratégia de operações na cadeia de suprimentos	23
2.1.2	O projeto de rede de distribuição	255
2.1.3	Classificação da literatura sobre o projeto de rede de distribuição	27
2.1.4	Revisão do <i>framework</i> referencial	32
2.2	APROFUNDAMENTO DA LITERATURA SOBRE REDES ECOEFICIENTES.....	37
2.2.1	Redes ecoeficientes	37
2.2.2	CO₂	42
2.3	ICMS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	44
3	METODOLOGIA DO TRABALHO	45
4	ANÁLISE DOS CENÁRIOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	51
4.1	CENÁRIO 0 (BASE).....	51
4.1.1	Restrições do Cenário 0	55
4.1.2	Resultados do Cenário 0	59
4.2	CENÁRIO 1 (CUSTO EFICIENTE)	62
4.3	CENÁRIO 2 (ECOEFICIENTE)	66
4.4	COMPARATIVO DOS RESULTADOS DOS CENÁRIOS	70
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	73

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Nurjanni, Carvalho e Costa (2017), a crescente industrialização, associada às tendências da globalização, cria novos desafios competitivos para o gerenciamento da cadeia de suprimentos, pois a necessidade de distribuir os produtos, independentemente da localização geográfica dos clientes, alterou o conceito tradicional de competitividade entre empresas no que tange a competitividade entre as redes de suprimentos (BALLOU, 2006).

Além disso, os novos avanços da tecnologia de informação alteraram o comportamento dos consumidores significativamente (por exemplo, menor periodicidade de compra, menor tempo de entrega), que, por sua vez, contribuíram para o aumento da incerteza da demanda (MELO; NICKEL; SALDANHA-DA-GAMA, 2009).

Portanto, conforme exposto por Chowdhury e Quaddus (2017), as empresas necessitam de redes de distribuição (também chamadas de redes logísticas ou rede de suprimentos) mais resilientes - robustas e ágeis. Para que uma empresa se mantenha competitiva, o projeto da rede de distribuição é uma decisão estratégica importante para as organizações (MOHAMMED; WANG, 2017; CHESHMEHGAZ; DESA; WIBOWO, 2013).

De acordo com Mangiaracina, Song e Perego (2015), as publicações científicas sobre o tema “projeto de rede de distribuição” têm apresentado os objetivos de: (1) minimização dos custos; (2) maximização dos lucros; e (3) nível de serviço. Para que esses objetivos sejam alcançados, o projeto de rede logística deve tomar decisões sobre: (a) instalações; (b) transportes; e (c) alocação de estoques (KADZIŃSKI *et al.*, 2017).

Todavia, Mohammed e Wang (2017) e Fahimnia *et al.* (2016) explicam que a dificuldade em tomar decisões para adoção da estratégia logística mais eficaz reside na dificuldade de analisar os *trade-offs* entre as variáveis que compõem o projeto de rede. Dessa forma, para que esses objetivos sejam alcançados, faz-se necessário o desenvolvimento de um projeto de rede robusto (AMBROSINO; SCUTELLA, 2005).

Pela complexidade da integração dessas decisões e sua consequente influência nos objetivos estratégicos das organizações, a abordagem mais adequada para projetar uma rede logística é a utilização de métodos de otimização (ZINN; CROXTON, 2005).

Por outro lado, em 2010, durante a COP 16 (*Conference of the Parties*) da UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*), a comunidade internacional comprometeu-se a manter o aumento da temperatura média global a 2°C acima dos níveis pré-industriais pela primeira vez, o que foi conhecido como *The Cancun Agreements* (UNFCCC,

2010). Já em 2015, durante a COP 21, foi firmado o Acordo de Paris (*Paris Agreement*), o qual contribuiu para os países firmarem um compromisso mais rigoroso, mantendo o aumento na temperatura média global abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e buscando esforços para restringir o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2015).

Considerando esse cenário global, o Brasil tem adotado uma postura de vanguarda quanto à sua contribuição voluntária na redução dos Gases do Efeito Estufa (GEE) ao firmar um compromisso de redução de 37% até 2020 e 43% até 2025 (GVCES/FGV-EAESP, 2018).

Dessa forma, esses compromissos e regulações globais de âmbito ambiental fazem com que as empresas comecem a reavaliar os seus objetivos empresariais e repensem o seu planejamento de longo prazo de modo a buscar sua permanência competitiva no mercado em que atuam. Portanto, de acordo com Shaw *et al.* (2013), Büyüközkan, e Cifci (2012) e Seuring (2012), a sustentabilidade ambiental das cadeias de suprimentos tem se tornado uma prioridade competitiva para empresas de diversos portes e indústrias em todo o mundo.

Colicchia *et al.* (2015) afirmam que a competitividade tem sido, cada vez mais, impulsionada pelas crescentes pressões, tanto externas (por exemplo, requisitos legislativos, pressão do consumidor, forças competitivas) como internas (por exemplo, necessidade de um uso mais eficiente dos recursos), para implementar cadeias de fornecimento ecoeficientes, ou seja, que atinjam a redução de custos e de emissão de CO₂, simultaneamente..

Portanto, a fim de avaliar a busca por redes de suprimento eficientes no aspecto econômico e ambiental, primeiramente, esta pesquisa pretende entender como a literatura sobre o projeto de rede de distribuição está classificada e assim compreender as contribuições relevantes para acadêmicos e profissionais; em seguida, foi realizada uma revisão da literatura para aprofundar o conhecimento sobre as redes de distribuição ecoeficientes.

Por fim, utilizando um software de otimização, foi desenvolvido um cenário ecoeficiente para a rede de distribuição, ou seja, incluiu na função objetivo o custo de CO₂, e os resultados foram comparados com o resultado do cenário atual, a fim de entender o impacto econômico financeiro da inclusão do CO₂ no projeto de rede. Os cenários desenvolvidos tiveram o objetivo de minimização de custos logísticos totais e incluíram os custos tributários. A pesquisa desta dissertação foi desenvolvida em uma empresa fabricante de farinha de trigo que possui 5 fábricas e distribui os seus produtos em quase todo o território nacional.

1.1 ÁREA DO CONHECIMENTO

Este trabalho aborda seu principal tema de pesquisa relacionado à área de conhecimento do estudo da logística e redes de distribuição, sendo seu enfoque central o estudo do projeto da rede de distribuição sob a perspectiva da sustentabilidade ambiental.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Das e Jharkharia (2018) argumentam que a busca pelos objetivos de redução de emissão de GEE tem sido amplamente estudada nos últimos anos, pois a integração da Pegada de Carbono (*Carbon Footprint*) no processo de tomada de decisão do projeto da rede de suprimentos tem recebido grande atenção de acadêmicos e profissionais, contudo, os autores afirmam que a literatura global ainda apresenta lacunas quanto à abrangência do entendimento dos impactos econômico-financeiros do CO₂ e em relação à contabilização direta e indireta do CO₂ no projeto da rede de distribuição ecoeficiente.

Em complemento, Colicchia *et al.* (2015) argumentam que a sustentabilidade ambiental nas redes de suprimentos ainda é fonte de conflito no debate acadêmico, pois os *trade-offs* ainda não estão claros e justificados na literatura, por exemplo, em diversas pesquisas a busca pela redução da emissão do CO₂ resultou em um aumento de custos, logo, não encontrou-se ainda um consenso quanto ao método para atingir a sustentabilidade nas redes, portanto, a literatura permanece sujeita à exploração das pesquisas com o viés sustentável.

Ala-Harja e Helo (2015) reforçam que, apesar de existirem diversos modelos quantitativos na literatura sobre cadeias de suprimentos ecoeficientes, o assunto ainda permanece em desenvolvimento e pede por mais estudos, dado que diversas pesquisas não encontraram uma alternativa para atingir a ecoeficiência da rede de distribuição. Além disso, os autores destacam que existe uma importante lacuna a ser preenchida nas pesquisas referentes ao projeto de rede de distribuição, pois a literatura não elucida por completo a conexão entre o desempenho ambiental com a performance geral da cadeia de suprimentos; os autores ainda ressaltam que há uma quantidade limitada de estudos que apresentam como as decisões logísticas são afetadas não somente econômica, mas ambientalmente.

Colicchia *et al.* (2015) demonstram que, nem sempre, a inclusão de variáveis ambientais no projeto de rede de distribuição impacta na alteração da configuração da rede, logo, o esclarecimento e aprofundamento dos estudos sobre esse tema para o meio acadêmico

são relevantes, pois, os impactos na cadeia de suprimentos ao incluir o custo de CO₂ no projeto da rede de distribuição ainda não apresentam consenso.

Por outro lado, para Gimenez, Sierra e Rodon (2012), as empresas precisam se esforçar em atingir a sustentabilidade das operações por meio da perspectiva do conceito do *Triple Bottom Line* (TBL), o qual sugere que as empresas precisam se engajar em atingir a sustentabilidade por meio de três pilares: ambiental, social e econômico-financeiro. Logo, a busca pela configuração ecoeficiente da rede de distribuição contribui para o atingimento de dois desses pilares: o ambiental e o financeiro.

Portanto, o problema apresentado neste trabalho consiste na ausência de uma solução conhecida para a configuração da rede de distribuição de uma empresa, que atua na fabricação e distribuição de farinha de trigo em grande parte do território nacional, a fim de atingir a ecoeficiência de suas operações logísticas e, dessa forma, buscar atender dois pilares do TBL e atingir melhores patamares competitivos.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

Em síntese, pretende-se responder à seguinte pergunta de pesquisa:

- a) qual o impacto econômico-financeiro no projeto de otimização dos custos da rede de distribuição provocado pela inclusão da variável ambiental custo de CO₂?

1.4 OBJETIVOS

Este trabalho apresenta o objetivo principal de avaliar o impacto econômico-financeiro que a inclusão da variável ambiental custo de CO₂, atribuída às atividades de transporte (por meio do consumo de combustível) e fabricação (por meio do consumo de energia elétrica), representa em um projeto de otimização da rede de distribuição.

A fim de possibilitar a mensuração do impacto econômico-financeiro utilizando a variável CO₂, esta pesquisa se propõe a atribuir um custo ao CO₂ gerado no projeto da rede de distribuição estudada, desenvolvendo um cenário da rede de distribuição otimizada em custos e um cenário da rede ecoeficiente para uma empresa que fabrica e comercializa farinha de trigo no Brasil.

1.5 JUSTIFICATIVAS

Primeiramente, este trabalho reforça a importância que o projeto de rede de distribuição possui para a obtenção de vantagem competitiva das empresas, por se tratar de uma decisão estratégica das organizações (NURJANNI; CARVALHO; COSTA, 2017; CHOWDHURY; QUADDUS, 2017; MANGIARACINA; SONG; PEREGO, 2015).

Em segundo lugar, conforme exposto por Nurjanni, Carvalho e Costa (2017), a inclusão das variáveis ambientais nos objetivos empresariais tem sido incentivada e reforçada pelas regulações internacionais e pelo compromisso voluntário dos países em reduzir a emissão dos GEE. Portanto, o tema “projeto de rede de distribuição ecoeficiente” é relevante para o meio acadêmico pois ainda não está claro para os pesquisadores quais os impactos e *trade-offs* que as variáveis ambientais possuem sobre o projeto da rede (DAS; JHARKHARIA, 2018; COLICCHIA *et al.*, 2015; ALA-HARJA; HELO, 2015).

Ademais, os recentes comprometimentos dos países com as regulações ambientais oriundas do Acordo de Paris durante a COP 21, e, no Brasil, o início da Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), fizeram com que o tema se torne cada vez mais importante para os profissionais de logística e cadeia de suprimentos.

Em complemento à visão de sustentabilidade ambiental, Gimenez, Sierra e Rodon (2012) reforçam a importância do TBL para melhorar a competitividade das empresas, não apenas por meio da imagem verde, mas também pelo viés dos ganhos financeiros que a economia de recursos pode trazer para as organizações.

Sendo assim, a importância deste trabalho reside na contribuição das pesquisas para maior entendimento do impacto do CO₂ em um projeto de rede de distribuição de uma empresa alimentícia no Brasil. Dessa forma, este trabalho busca contribuir, mais especificamente, para o maior esclarecimento do meio acadêmico quanto aos impactos econômico-financeiros causados na tomada de decisão quando incluída a variável ambiental CO₂ no projeto de rede de distribuição.

1.6 RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO

A oportunidade de contribuição de uma pesquisa sobre o projeto de rede de distribuição com a inclusão de variáveis ambientais nos objetivos da otimização torna-se relevante para o meio acadêmico e para os profissionais de logística a fim de esclarecer os impactos que estas variáveis possuem nas decisões do projeto da rede de distribuição, ou seja,

nas decisões referentes às localizações das instalações, políticas de abastecimento e alocação dos estoques (ALA-HARJA; HELO, 2015).

Em complemento, Ala-Harja e Helo (2015) demonstraram em seu estudo que os esforços para a redução dos impactos ambientais em cadeias de suprimentos alimentícias ainda apresentam lacunas a serem exploradas. Os autores ressaltam que a literatura ainda carece de esclarecimentos sobre a relação e os impactos entre os indicadores de performance econômica e as variáveis ambientais.

Nikolopoulou e Ierapetritou (2012) destacam o desalinhamento entre indústria e academia sobre os objetivos do projeto da rede de distribuição ecoeficiente, pois, enquanto a indústria está mais focada em aspectos de sustentabilidade relacionados aos processos, a academia se concentra na sustentabilidade como um quadro mais amplo, os métodos e as ferramentas para o projeto da rede de distribuição ecoeficiente, os quais são ignorados pelo setor profissional.

Em complemento, Seuring (2013) argumenta que há uma falta de dados empíricos aplicados às pesquisas de rede de distribuição, ou seja, poucas contribuições acadêmicas realmente se baseiam em pesquisas empíricas.

Ala-Harja e Helo (2015) avaliam que as cadeias de suprimentos alimentícias representam uma importante parte da economia global, de modo que seus altos volumes de produção e alto giro são características importantes dessa cadeia. Por outro lado, os autores ainda argumentam que essa cadeia tem sido bastante regulamentada por órgãos governamentais e apresentam preocupação quanto à perecibilidade de seus produtos, pois, muitas vezes esses possuem baixos prazos de vencimentos. Portanto, Ala-Harja e Helo (2015) afirmam que as redes de suprimentos de indústrias alimentícias abordadas pelo viés de sustentabilidade ambiental são de grande relevância para o meio acadêmico. Por fim, o impacto dos custos logísticos é bastante relevante em cadeias de suprimentos alimentícias devido ao baixo preço que geralmente esse tipo de produto possui. Ala-Harja e Helo (2015) destacam que por muitas vezes os custos logísticos representam de 10% a 15% do preço do produto.

1.7 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para lograr êxito nos objetivos propostos neste trabalho, primeiramente, na seção 2.1, realiza-se uma revisão sistemática da literatura sobre projeto de rede de distribuição a fim de entender o estado da arte das pesquisas sobre o tema. Em seguida, na seção 2.2, a revisão de

literatura é complementada com o esclarecimento sobre as cadeias de suprimentos ecoeficientes, desse modo, permitindo aprofundar o entendimento da variável ambiental custo da emissão de dióxido de carbono (CO₂) no escopo do projeto de rede de distribuição. Já a seção 2.3 apresenta, brevemente, a importância do imposto ICMS no projeto de rede de distribuição.

Por fim, após a fase de revisão da literatura e com base nesta, o capítulo 3 apresenta a metodologia adotada na pesquisa em modelagem e otimização. Sendo que, no capítulo 4, analisa-se a inclusão da variável ambiental do custo de emissão de dióxido de carbono (CO₂) em um projeto de rede de distribuição de uma empresa de fabricação e distribuição de farinha de trigo, com o propósito de avaliar qual o impacto que esta variável ambiental exerce no projeto da rede.

A metodologia para conduzir a revisão de literatura, sobre projetos de redes de distribuição, utilizou uma sequência de passos sistemáticos e objetivos, baseados em um artigo referencial publicado por Mangiaracina, Song e Perego (2015). Analogamente, adotando a metodologia de Tranfield, Denyer e Smart (2003), o trabalho apresentou três estágios para a revisão da literatura: seleção dos artigos, revisão dos artigos e identificação de *gaps* e oportunidade de pesquisas futuras.

Na primeira etapa, seleção dos artigos, foi definido o objetivo de estudo como sendo toda publicação que tivesse como objetivo entender o projeto da rede de distribuição, incluindo as redes logísticas reversas. Em seguida, foi definida a unidade de análise, a qual trata de artigos acadêmicos sobre o projeto de rede de distribuição, publicados em *journals* internacionais revisados por pares e escritos no idioma inglês.

Foram considerados os periódicos internacionais relevantes que tiveram ao menos uma publicação sobre o tema e pertencentes às áreas de pesquisa relacionadas às disciplinas de Engenharia, Administração e Economia: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*; *International Journal of Production Economics*; *Journal of Manufacturing Technology Management*; *Management Science*; *Omega*; *Production Planning & Control*; *The International Journal of Logistics Management*; *Transportation Research Part E*.

O próximo passo foi selecionar as palavras-chave: *distribution network design*, *logistics network*, *supply chain design*; as quais tiveram buscas nas bases de dados (Scopus, Web of Science e Science Direct), incluindo suas possíveis combinações. Ao final da busca, a fim de atualizar a revisão de literatura publicada por Mangiaracina, Song e Perego (2015), foram selecionadas as publicações do período entre 2015 a agosto de 2018, retornando um

total de 161 artigos. Então, os *journals* investigados por Mangiaracina, Song e Perego (2015) foram selecionados a fim de possibilitar a atualização da pesquisa com a mesma metodologia, sendo que, nessa etapa, foram encontrados 24 artigos.

Por fim, ao ler o *abstract* de cada artigo para validação da aderência do trabalho com o tema de pesquisa, foram selecionados 16 artigos para prosseguir com a revisão de literatura proposta para este trabalho. Portanto, para efeito de contabilização e classificação do material, foram considerados os 126 artigos selecionados e classificados por Mangiaracina, Song e Perego (2015) e os 16 artigos complementares, totalizando 142 artigos. A avaliação do material selecionado (16 artigos) foi conduzida com a finalidade de atualizar a classificação proposta por Mangiaracina, Song e Perego (2015) e descobriu-se uma contribuição relevante nas pesquisas sobre projeto de rede de distribuição com base nos artigos delimitados, pois, a partir da análise das publicações, foi possível complementar o *framework* apresentado por Mangiaracina, Song e Perego (2015) com um novo grupo de variáveis críticas que influenciam o projeto de rede de distribuição, adicionando, assim, valor à revisão sistemática da literatura referencial, o qual está apresentado na seção 2.1.4.

Ao terminar a revisão sistemática da literatura sobre o projeto de rede de distribuição e descobrir que as publicações têm, cada vez mais, abordado o viés sustentável, foi realizado um complemento da revisão de literatura com o propósito de aprofundar o entendimento sobre as cadeias de suprimentos ecoeficientes. Dessa forma, foi possível entender como estas redes são compreendidas e apresentadas pela literatura e qual a direção de pesquisa tem sido relevante nas publicações recentes.

Em seguida, após a etapa da revisão sistemática da literatura sobre projeto de rede de distribuição, aprofundamento da literatura sobre cadeias de suprimento ecoeficientes e entendimento da importância do ICMS no projeto de rede, este trabalho segue para uma pesquisa quantitativa por meio da criação de um modelo otimizador de uma cadeia de suprimentos com base em dados reais. Para tanto, foi utilizado o software especialista em otimização de redes logísticas IBM ILOG LogicNet Plus XE 7.2 analogamente à metodologia de otimização aplicada na pesquisa de Bing, Bloemhof-Ruwaard e Vorst (2012).

Esta pesquisa se propõe a criar um modelo otimizador para o atingimento de uma configuração ecoeficiente de uma rede de suprimentos em uma empresa do ramo alimentício de produção e venda de farinha de trigo no Brasil, com base em dados reais coletados no período de janeiro a dezembro de 2017, em que pretende-se analisar os impactos econômico-financeiros que a inclusão da variável “custo de emissão de dióxido de carbono” (CO₂), gerada pelas atividades de transporte e fabricação, exerce nas decisões do projeto da rede de

distribuição. Para este fim, foi selecionada uma importante empresa do mercado nacional, que possui uma ampla rede de distribuição no território brasileiro, a qual obteve uma receita de vendas bruta de aproximadamente R\$890 milhões, em 2017, e encontra-se como uma das 4 maiores empresas desse segmento no Brasil.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo está dividido em duas partes (seções secundárias) principais. A primeira (seção 2.1) está desdobrada em quatro itens. Inicialmente é apresentado o projeto de rede de distribuição no contexto da estratégia de operações (seção 2.1.1); em seguida, o projeto de rede de distribuição é definido conforme a literatura recente (seção 2.1.2); depois apresenta-se uma revisão sistemática da literatura sobre o projeto de rede de distribuição com base em um artigo referencial publicado por Mangiaracina, Song e Perego (2015), em que é feita uma atualização da classificação originalmente proposta pelos autores (seção 2.1.3). Por fim, foi possível identificar a direção das pesquisas recentes sobre projeto de rede de distribuição e permitir uma atualização do *framework* apresentado por Mangiaracina, Song e Perego (2015) trazendo uma contribuição desta pesquisa para a literatura sobre projeto de rede de distribuição (seção 2.1.4).

A escolha do artigo publicado por Mangiaracina, Song e Perego (2015) deve-se ao fato do artigo ser uma revisão de literatura recente sobre projeto de rede de distribuição, publicado em um *journal* bastante relevante na área de logística e *supply chain*, classificado pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) na avaliação QUALIS como A1 e com fator de impacto na base de dados SCOPUS, em 2017, de 4,15.

Em seguida, com base na direção apontada a partir da revisão da literatura inicial apresentada na primeira parte deste capítulo e com base no artigo sobre a revisão de literatura publicada por Das e Jharkharia (2018), este capítulo segue para a sua segunda parte (seção 2.2), a qual inicia-se com um melhor entendimento da literatura sobre as redes de distribuição ecoeficientes (seção 2.2.1) e finaliza com o esclarecimento sobre como o CO₂ tem sido pesquisado e entendido no projeto de rede de distribuição (seção 2.2.2).

2.1 PROJETO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo Mohammed e Wang (2017), o projeto de rede de distribuição é uma decisão estratégica importante para as empresas, pois resulta em decisões de longo prazo e de altos investimentos. Portanto, a fim de permitir o maior aprofundamento em relação ao projeto rede, esta etapa da literatura se propõe a realizar uma revisão sistemática com base em publicações recentes e relevantes do meio acadêmico.

2.1.1 Estratégia de operações na cadeia de suprimentos

Apesar de muitos estudos terem investigado as estratégias de operações desde o texto seminal de Skinner (1969), de acordo com Qi *et al.* (2017), uma das principais fraquezas nesse campo ainda reside no fato da teoria de estratégia de operações não tecer considerações contextuais sobre a perspectiva da cadeia de suprimentos. Em resumo, os estudos acadêmicos iniciaram a abordagem da estratégia de operações com foco no ambiente fabril, permanecendo, portanto, conforme defendido por Stevens (1989), uma lacuna no âmbito da estratégia com foco na cadeia de suprimentos de forma sistêmica. Por outro lado, Perez-Franco *et al.* (2016) ressaltam que a importância de estudar a estratégia da cadeia de suprimentos tem sido reconhecida desde o surgimento do gerenciamento da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Management* ou SCM), contudo, deve ser entendida como um importante desdobramento da estratégia de operações da organização.

Ao longo dos últimos anos, vários esforços foram feitos para auxiliar na formulação da estratégia da logística, de modo que Perez-Franco *et al.* (2016) apresentaram um *framework* conceitual que permite capturar, avaliar e repensar a estratégia da cadeia de suprimentos a partir da estratégia do negócio. O estudo de Perez-Franco *et al.* (2016) apresenta uma nova abordagem para repensar a estratégia da cadeia de suprimentos de uma unidade de negócio denominada de Avaliação e Reformulação do Sistema Conceitual (*Conceptual System Assessment and Reformulation*, ou, CSAR), o qual faz o desdobramento da estratégia de negócios em uma estratégia da cadeia de suprimentos, alcançando até o nível das atividades exercidas na cadeia de suprimentos. O CSAR é o *framework* conceitual que contribuiu para a elaboração da estratégia logística, pois é apresentado de forma estruturada, ou seja, um grupo de ideias inter-relacionadas que trabalham juntas para atingir uma meta em comum para suportar a estratégia de negócios da unidade de negócios fazendo a ponte entre a estratégia corporativa e as práticas na cadeia de suprimentos.

No entanto, apesar da busca pela estruturação de um modelo genérico da estratégia de operações ao nível da cadeia de suprimentos, Macchion *et al.* (2015) afirmam que não existe uma estratégia de operação específica que seja melhor que a outra, de forma generalista, pois, a escolha da estratégia de operação deve estar vinculada com as prioridades competitivas (custo, qualidade, rapidez e flexibilidade), a fim de gerar vantagem competitiva para a organização, e sua escolha depende diretamente de características internas e externas à organização.

A literatura concorda que as decisões relacionadas à cadeia de suprimentos são, normalmente, distinguidas em 3 (três) níveis de planejamento, conforme o horizonte de tempo: estratégico, tático e operacional. Sendo assim, analisando sob a ótica do projeto de rede logística, o nível estratégico trata das decisões que influenciam o planejamento de longo prazo para a empresa, tais como: as localizações das instalações (armazéns ou fábricas), a quantidade das instalações, as capacidades das instalações, bem como o fluxo dos produtos por meio das redes logísticas (MELO; NICKEL; SALDANHA-DA-GAMA, 2009; CHESHMEHGAZ, DESA; WIBOWO, 2013).

De acordo com Mangiaracina, Song e Perego (2015), nessa etapa de planejamento é possível estabelecer uma relação clara entre as decisões de localização das instalações com os objetivos estratégicos da cadeia de suprimentos: minimização dos custos, maximização do lucro e atingimento de uma meta de nível de serviço.

Além disso, Macchion *et al.* (2015) afirmam que é amplamente reconhecido que a decisão de localização das instalações pode contribuir para a obtenção de vantagem, ao passo que permite às empresas entregarem melhores preços, por meio da redução do custo logístico total ou por meio da melhoria da qualidade na prestação do serviço através da redução do tempo de entrega; no entanto, é essencial que esse tipo de decisão seja parte da estratégia corporativa da organização, o que indica uma relação direta entre a localização das instalações com a estratégia corporativa.

Já no âmbito do planejamento tático, Melo, Nickel e Saldanha-da-Gama (2009) discorrem que o projeto de rede logística permite a tomada de decisões com impacto no médio prazo, como, por exemplo: as políticas de estoque, os modais de transporte, as capacidades do transporte e o *layout* das instalações. Por exemplo, John, Sridharan e Kumar (2017) discutem que os estudos que buscam reavaliar a consolidação dos estoques na cadeia de suprimentos estão focados na busca pela redução dos custos totais de transporte, sendo este um *trade-off* comum nessa fase da formulação da estratégia logística.

Por fim, no escopo do planejamento operacional, tem-se que o projeto de uma rede logística possibilita a tomada de decisões de curto prazo, como, por exemplo: o dimensionamento e alocação das equipes de trabalho, a distribuição das atividades e a sequência de priorização dos pedidos.

2.1.2 O projeto de rede de distribuição

Uma das etapas da formulação da estratégia da cadeia de suprimentos é o projeto da rede de suprimentos (ou projeto de rede logística), o qual, ao longo dos anos, foi abordado por diversos autores: Ambrosino e Scutella (2005); Amiri (2006); Cheshmehgaz, Desa e Wibowo (2013), Chowdhury e Quaddus (2017); John, Sridharan e Kumar (2017); Macchion *et al.* (2015); Mangiaracina, Song e Perego (2015); Mohammed e Wang (2017); Qi *et al.* (2016); Lim, Mak e Shen (2017); Zinn e Croxton (2005).

A decisão de projeto de rede envolve a seleção de sites para a localização de novas instalações, a determinação do número e tamanho das instalações, identificando os canais de distribuição e os requisitos de transporte para atender às demandas dos clientes (MELO; NICKEL; SALDANHA-DA-GAMA, 2014).

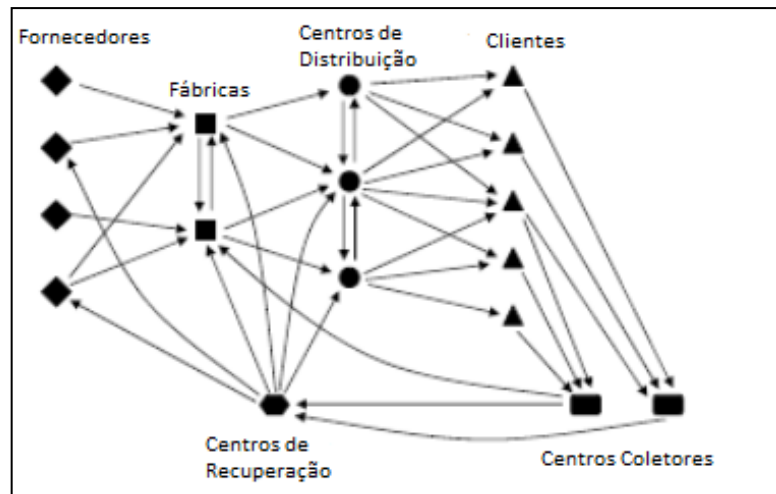
Ambrosino e Scutella (2005) explicam que o desafio do projeto de rede logística consiste em determinar o melhor processo para transferir os produtos dos fornecedores para o abastecimento dos pontos de venda, por meio da escolha da estrutura da rede (a quantidade, o número e a localização das instalações), enquanto minimizam os custos totais. Cheshmehgaz, Desa e Wibowo (2013) afirmam que o desafio vai além da minimização dos custos, mas que o atendimento aos consumidores deve ocorrer no custo mais baixo e no prazo.

No entanto, Zinn e Croxton (2005) enfatizam a importância do dimensionamento, da alocação e dos custos dos estoques ao projeto da rede. Complementarmente, Macchion *et al.* (2015) fornecem evidências da relação profunda entre a configuração da rede logística e seus efeitos no atingimento das prioridades competitivas (ou fatores críticos de sucesso).

Segundo Mohammed e Wang (2017), pode-se entender o projeto de rede de suprimentos (ou projeto de rede logística ou projeto de rede de distribuição) como uma etapa importante e complexa na estratégia de operações, pois implicam em decisões de longo prazo devido aos seus altos investimentos. Para melhor entendimento, é possível exemplificar a estrutura básica de uma rede de suprimentos, genericamente, conforme a Figura 1.

Qi *et al.* (2016) provam que a configuração de uma rede logística enxuta (em inglês, *lean logistics*) contribui para o atingimento das prioridades competitivas de custo e qualidade, já para as organizações que buscam flexibilidade, a configuração mais adequada é a adoção de uma rede ágil devido ao maior grau de colaboração entre as empresas da cadeia de suprimentos.

Figura 1 – Rede de suprimentos genérica



Fonte: Autor “adaptado de” Melo, Nickel e Saldanha-da-Gama, 2009, p. 402.

Mangiaracina, Song e Perego (2015) classificam que o objetivo mais frequente do projeto de rede de distribuição é a redução do custo. Amiri (2006) reforça que um objetivo comum na concepção dessa rede de distribuição é determinar a configuração (projeto) do sistema de menor custo, de forma que as demandas de todos os clientes sejam satisfeitas sem exceder as capacidades dos armazéns e plantas. Por fim, John, Sridharan e Kumar (2017) lembram que, além de todas as etapas de disponibilização dos produtos nos pontos de venda, é essencial que o projeto da rede também contemple o processo de logística reversa. Sendo que, neste caso, é importante considerar o estágio do ciclo de vida do produto retornado, geralmente medido pela vida útil remanescente, para que seja possível determinar o seu destino adequado e projetar a rede de forma mais assertiva.

Além disso, segundo Chowdhury e Quaddus (2017), o projeto da rede logística é visto como uma etapa fundamental para o planejamento de uma cadeia de suprimentos competitiva, pois, a partir dos cenários gerados da incerteza da demanda para o longo prazo, ele permite a avaliação das alternativas de localização e fluxo de produtos a serem adotadas e dos *trade-offs* para o atingimento dos objetivos estratégicos determinados pela organização (MANGIARACINA, SONG; PEREGO, 2015).

Por fim, os autores Cheshmehgaz, Desa e Wibowo (2013), Lim, Mak e Shen (2017) e Melo, Nickel e Saldanha-da-Gama (2009) ressaltam que, devido aos altos investimentos que são associados a essa etapa do processo decisório, uma característica bastante desejada é que a rede logística projetada apresente estabilidade por bastante tempo.

2.1.3 Classificação da literatura sobre o projeto de rede de distribuição

Conforme mostrado na Tabela 1, a seguir, 70% dos trabalhos acadêmicos publicados em *journals* relevantes internacionalmente, sobre o tema projeto de rede de distribuição, estão concentrados em duas áreas de estudos principais. Os *journals* da área de Operações & Gestão da Produção lideram as publicações, com 49% de representatividade, seguidos dos *journals* da área de Logística & Gestão da Cadeia de Suprimentos, com 21%.

Tabela 1 – Classificação por tipo de *Journal*

Tipo de <i>Journal</i>	Artigo Referencial*	Artigos Pesquisados	Nº Total de artigos	%
Operações & Gestão da Produção	60	9	69	49%
Logística & Gestão da Cadeia de Suprimentos	28	2	30	21%
Industrial & Engenharia de Manufatura	22	1	23	16%
Gestão de Transporte	14	4	18	13%
Outro tipo de <i>Journal</i>	2	0	2	1%
Total	126	16	140	100%

Fonte: Autor.

* Dados extraídos do artigo de Mangiaracina, Song e Perego (2015).

A origem das publicações (Tabela 2) tem os Estados Unidos (EUA) como o país que mais produz pesquisas (42%), seguido do Reino Unido e da Itália, ambos com 6%. Esse resultado corrobora com os resultados apresentados por Mangiaracina, Song e Perego (2015).

Tabela 2 – Classificação por país

País	Artigo Referencial*	Artigos Pesquisados	Nº Total de Artigos	%
EUA	55	5	60	42%
Reino Unido	8	1	9	6%
Itália	7	1	8	6%
Holanda	6	1	7	5%
Taiwan	6	0	6	4%
China	5	0	5	4%
Finlândia	4	1	5	4%
Suécia	3	0	3	2%
Chile	3	0	3	2%
Canadá	3	0	3	2%
Outros	26	7	33	23%
Total	126	16	142	100%

Fonte: Autor.

* Dados extraídos do artigo de Mangiaracina, Song e Perego (2015).

No entanto, percebeu-se que as parcerias globais têm sido cada vez mais significativas para a produção de pesquisas sobre o tema. As publicações entre 2015 e 2018 apresentaram 44% de cooperação entre autores de mais de um país – foram 7 de 16 artigos. Isso ratifica que o crescimento da competitividade em um cenário globalizado proporciona oportunidades e motivações para as investigações de cadeias em âmbito internacional (NURJANNI *et al.*, 2017).

Para melhor estratificação dos artigos, pode-se aprofundar a análise do viés do tipo de modelo adotado em cada uma das publicações acadêmicas desta revisão, classificando-os entre: quantitativos, conceituais e empíricos. Logo, primeiramente, é importante esclarecer os critérios adotados para cada classificação, conforme segue:

- a) quantitativos: utilizam formulação matemática para otimização ou simulação do projeto de rede de distribuição;
- b) conceituais: são aqueles que propõem uma classificação geral e/ou apresentam *frameworks*;
- c) empíricos: utilizam *surveys*, estudos de caso ou entrevistas para entender a dinâmica e fatores a fim de analisar o projeto da rede.

Posto isso, ao analisar os artigos por tipo de modelo apresentado (Tabela 3), percebe-se que a maior parte dos artigos utiliza modelos quantitativos (85%), seguidos pelos modelos conceituais (11%), e, por fim, poucos investigavam o projeto de rede de suprimentos de forma empírica (apenas 4%). O único trabalho empírico identificado na coleta de publicações entre 2015 e 2018 foi a pesquisa de Ala-Harja e Helo (2015), que analisou como as decisões da cadeia de suprimento têm efeito sobre os parâmetros “verdes” (sustentáveis) e as métricas tradicionais da cadeia de suprimentos, como a eficiência de custos e a entrega no tempo, por meio da análise de casos em 3 (três) empresas diferentes do ramo alimentício com a proposição de um *framework*.

Tabela 3 – Classificação por tipo de modelo

Tipo de modelos	Artigo Referencial	Artigos Pesquisados	Nº Total de Artigos	%
Quantitativo	108	13	121	85%
Conceitual	13	2	15	11%
Empírico	5	1	6	4%
Total	126	16	142	100%

Fonte: Autor.

* Dados extraídos do artigo de Mangiaracina, Song e Perego (2015).

Apesar de Mangiaracina, Song e Perego (2015) e Melo, Nickel e Saldanha-da-Gama (2009) argumentarem que ainda existem poucos trabalhos publicados nos principais meios acadêmicos internacionais que avaliaram os projetos de redes logísticas utilizando métodos de otimização multiobjetivo (que consideram simultaneamente mais de um objetivo na otimização) em estudos quantitativos, ao considerar somente os artigos revisados no período entre 2015 e 2018, do total de 13 artigos que apresentaram modelos quantitativos, 8 artigos (62%) abordaram o projeto de rede de distribuição utilizando funções de otimização multiobjetivo – o que representa significativo crescimento de pesquisas utilizando esse método nos últimos anos.

Além do trabalho conceitual de Mangiaracina, Song e Perego (2015), o qual procurou revisar a literatura para entender, classificar e apresentar gaps sobre as pesquisas relacionadas ao projeto de rede de distribuição, o trabalho de Kristianto, Gunasekaran e Helo (2017) baseia-se, também, numa revisão de literatura para incorporar ao projeto de rede de distribuição global o conceito “Triplo R”, o qual reforça que o projeto deve apresentar as dimensões de resiliência, responsividade e robustez para atender às necessidades rapidamente e permitir flexibilidade frente às variações do mercado e ambiente de negócios.

Considerando somente os modelos quantitativos (Tabela 4), os artigos foram agrupados conforme a sua função objetivo.

Tabela 4 – Classificação por função objetivo dos artigos quantitativos

Função objetivo	Artigo Referencial	Artigos Pesquisados	Nº Total de Artigos	%
Objetivo único	100	5	105	87%
Minimização de custo	86	5	91	75%
Target de Nível de serviço	7	0	7	6%
Maximização de lucro	7	0	7	6%
Multiobjetivo	8	8	16	13%
Total	108	13	121	100%

Fonte: Autor.

* Dados extraídos do artigo de Mangiaracina, Song e Perego (2015).

Percebe-se que 87% dos artigos apresentaram objetivo único, sendo o mais frequente a minimização de custos, e apenas 13% abordaram o projeto de rede ponderando mais de um único objetivo, ou seja, multiobjetivo (por exemplo: minimizar o custo e reduzir o tempo de entrega; minimizar o custo e reduzir a emissão de CO₂; etc.).

Mohammaddust *et al.* (2017) desenvolveram um problema multiobjetivo para aumentar o lucro e reduzir a variância através da avaliação de 4 (quatro) estratégias para projetar a rede de suprimentos com foco na mitigação de riscos de incerteza de demanda e incerteza de fornecimento, a fim de permitir uma rede mais enxuta e responsiva, de modo a propiciar decisões sobre a localização das instalações, o número das instalações e as suas capacidades.

Cui *et al.* (2016) incorporaram ao projeto de rede de distribuição a possibilidade de falhas de fornecedores no projeto de sistema logístico integrado envolvendo planejamento de rede logística e gerenciamento de operações de longo prazo. O projeto da rede de distribuição apresentado por Cui *et al.* (2016) propõe um modelo de projeto de sistema de cadeia de suprimentos integrado que simultaneamente determina a localização do fornecedor, a configuração do transporte multimodal e as decisões de gerenciamento de inventário em conjunto, tanto em termos de riscos de interrupção de transporte quanto de incertezas operacionais.

Muitos trabalhos quantitativos permaneceram na análise de *trade-offs* no projeto de rede, todavia, Kadziński *et al.* (2017) demonstraram que os *trade-offs* de redução de CO₂ e custos não são tão significantes como era afirmado na literatura. Kadziński *et al.* (2017) estudaram o projeto de rede comparando os métodos Épsilon Restrito, Soma Ponderada e dois algoritmos evolucionários populares (SPEA2 e NSGA-II) demonstrando que os objetivos de custo e CO₂ estão alinhados, ou seja, soluções para redução do CO₂ podem ser obtidas simultaneamente, contudo, concluíram que o esforço para minimizar as emissões de Material Particulado envolve custos muito mais altos e também pode levar ao aumento das emissões de CO₂.

Lim, Mak e Shen (2017) demonstram que, sob um modelo de cadeia de suprimentos ágil, alguns dos *trade-offs* estratégicos são bastante alterados, em comparação com o caso de um modelo focado em proximidade. Em particular, Lim, Mak e Shen (2017) relatam que pode ser ideal para localizar mais Centros de Distribuição à medida que os custos de penalidade pela falta do produto aumentam. Isso é oposto ao conhecimento convencional de que a rede de Centro de Distribuição deve ser consolidada para a redução do efeito *risk pooling*.

De acordo com Lim, Mak e Shen (2017), apesar dos modelos tradicionais de localização de instalações para o design da cadeia de fornecimento se concentrarem nos *trade-offs* entre os custos e os benefícios da proximidade, ou seja, a distância entre instalações e clientes, esses modelos orientados estrategicamente não consideram a agilidade da cadeia de

suprimentos (sua capacidade de responder rapidamente às flutuações inesperadas nas necessidades do cliente).

Lim, Mak e Shen (2017) expõem que a flexibilidade para responder às ordens dos clientes ao ajustar dinamicamente as operações da rede é crucial para o sucesso da cadeia de suprimentos. Para Lim, Mak e Shen (2017), a agilidade de uma rede de suprimentos é a capacidade de suas operações se ajustarem rapidamente e reagirem às mudanças de fatores do ambiente. No caso em que as quantidades da demanda do cliente são incertas, um elemento crucial da agilidade é mudar dinamicamente o inventário entre os locais de estocagem para assegurar o atendimento da demanda com alta probabilidade e baixo custo. A agilidade traz claramente benefícios para a cadeia de suprimentos.

Além disso, de acordo com Lim, Mak e Shen (2018), a agilidade no compartilhamento dos estoques geralmente aumenta o custo de transporte já que requer uma resposta rápida e de curto prazo e pode requerer redundâncias no sistema, o que vai em desencontro com uma cadeia enxuta. Portanto, é importante avaliar os *trade-offs* entre os benefícios e custos da agilidade no projeto da rede de distribuição.

Conforme Mangiaracina, Song e Perego (2015), as decisões estratégicas para o projeto de rede de distribuição podem ser divididas em: (1) a estrutura da rede de distribuição; (2) as políticas de gestão. Quanto às decisões sobre a estrutura da rede (Tabela 5), apesar da maioria dos artigos (41%) buscarem decisões estratégicas quanto à localização das instalações (centros de distribuição, armazéns, fábricas, etc.), as pesquisas analisadas no período entre 2015 e 2018 revelam que 7 de 12 trabalhos (58%) buscavam tomar decisões quanto ao número de instalações necessárias na rede de distribuição, logo, nota-se que houve um crescimento de decisões desta natureza frente a revisão de literatura referencial apresentada por Mangiaracina, Song e Perego (2015).

Tabela 5 – Classificação por decisão estratégica: estrutura da rede

Decisões estratégicas de estrutura	Artigo Referencial	Artigos Pesquisados	Número Total de Artigos	%
Localização da Instalação	74	3	77	41%
Alocação da demanda na instalação	43	1	44	24%
Nº instalação	41	7	48	26%
Capacidade da instalação	11	1	12	6%
Número de escalões	5	0	5	3%
Total	174	12	186	100%

Fonte: Autor.

* Dados extraídos do artigo de Mangiaracina, Song e Perego (2015).

Fahimnia *et al.* (2016) estudaram o projeto de rede de distribuição de uma cadeia de fornecimento de sangue em casos de desastres através de um modelo estocástico biobjetivo com foco na eficiência (redução de custos) e efetividade (redução do tempo de entrega), bem como analisam os seus possíveis *trade-offs*. Os autores também analisaram as decisões estratégicas da rede com o número de instalações e os níveis de inventário de bancos de sangue e concluíram que a existência de *trade-offs* entre o custo e o tempo de entrega na rede estudada.

Fahimnia *et al.* (2016) observaram que o aumento da capacidade de armazenamento em instalações de sangue resulta em redução do custo da cadeia de suprimentos, no entanto, a magnitude das economias de custos não foi proporcional ao tamanho da rede e nenhum impacto significativo no tempo de entrega pode ser observado para as mesmas mudanças na capacidade da instalação. Por outro lado, os autores concluíram que a abertura de mais instalações de bancos de sangue locais, com maior capilaridade de atendimento para a rede, mostrou reduzir significativamente o custo total da cadeia de suprimentos e o desempenho do tempo de entrega.

Contudo, a respeito das decisões estratégicas sobre as políticas de gestão (Tabela 6), não houve percepção de mudança de tendência significativa, permanecendo como destaque as decisões sobre o nível de estoque e projeto das rotas como as decisões mais abordadas no projeto de rede de distribuição.

Tabela 6 – Classificação por decisão estratégica: políticas de gestão

Decisões estratégicas de gestão	Artigo Referencial	Artigos Pesquisados	Total de Artigos	%
Nível de estoque	40	1	41	33%
Projeto das rotas	39	0	39	33%
Alocação do Est Seg.	16	2	18	14%
Projeto da frota	16	3	19	13%
Política de estoque	9	0	9	7%
Total	120	6	126	100%

Fonte: Autor.

* Dados extraídos do artigo de Mangiaracina, Song e Perego (2015).

2.1.4 Revisão do *framework* referencial

O trabalho de revisão sistemática de literatura conduzido por Mangiaracina, Song e Perego (2015) apresenta um *framework* que contribui para o entendimento dos fatores críticos

que impactam o projeto de rede de distribuição com base nas publicações relevantes sobre o tema.

Recuperando a proposta de agrupamento de Mangiaracina, Song e Perego (2015) a respeito dos fatores críticos que impactam no projeto de rede, percebe-se que, frente à revisão da literatura entre os anos recentes de 2015 a 2018, foi encontrada a ausência de um grupo de fatores críticos que vem sendo amplamente abordado pelas pesquisas acadêmicas: variáveis ambientais.

Dessa forma, ao atualizar a Tabela 7 com base no artigo referencial, o tema passa a figurar com 1% dos fatores críticos estudados desde 1972. No entanto, a literatura recente, que foi revisada nesta dissertação, apresentou as variáveis ambientais em 6 artigos do total de 16 artigos, ou seja, em 37,5% das publicações entre 2015 e 2018, com a decisão variáveis ambientais. Logo, é possível concluir que houve um crescimento de artigos acadêmicos sobre o viés da sustentabilidade ambiental nas pesquisas sobre o projeto de rede de distribuição.

Tabela 7 – Grupo de fatores críticos

Decisões	No artigo Referencial	Nos artigos Pesquisados	Total	% do Total
Características do Produto	23	4	27	6%
Requisitos do Serviço	111	2	113	25%
Características da Demanda	234	2	236	51%
Características da Cadeia	46	11	57	12%
Variáveis Econômicas	11	11	22	5%
Variáveis Ambientais	0	6	6	1%
Total	425	36	461	100%

Fonte: Autor.

* Dados extraídos do artigo de Mangiaracina, Song e Perego (2015).

Nota: um artigo pode apresentar mais de um tipo de decisão (por exemplo, existem artigos que apresentaram os Requisitos do Serviço e as Variáveis Econômicas como decisões da pesquisa), portanto, o total de decisões nos artigos pesquisados (36) é maior que o número de artigos pesquisados (16).

O surgimento dos artigos com o viés da sustentabilidade ambiental foi percebido sempre em conjunto com um fator crítico já existente, o que corrobora com a percepção do crescimento das pesquisas quantitativas com abordagem de otimização multiobjetivo apresentada na seção 2.1.3 por meio da Tabela 4.

Notou-se também que o crescimento do viés sustentável para projetar a rede de distribuição apresentou significativa importância, pois 46% (6 artigos) do total de 13 artigos quantitativos publicados entre 2015 a 2018 propuseram uma função de objetivo único ou

multiobjetivo e incluíam a redução de impactos ambientais ao projeto da rede (por exemplo: redução de CO₂, material particulado, reciclagem de materiais etc.).

Ao revisar os artigos recentes, percebeu-se que a ponderação de objetivos econômicos e ambientais tem sido cada vez mais abordada nas pesquisas sobre o projeto de rede de distribuição. Colicchia *et al.* (2015) utilizaram uma abordagem de otimização multiobjetivo para reduzir os custos logísticos (soma dos custos de recebimento, armazenagem e distribuição) e de emissão de CO₂ com foco no projeto de rede de distribuição eficiente e ecologicamente sustentável. O trabalho de Colicchia *et al.* (2015) comprova e corrobora com atingimento de redução de custos e CO₂ simultaneamente para a construção de uma rede de distribuição.

Nurjanni, Carvalho e Costa (2017) e Banasik *et al.* (2017) apresentam trabalhos com o objetivo de avaliar os desempenhos econômico e ambiental em uma cadeia fechada (em inglês, *closing loops*) e testar os *trade-offs* entre esses dois objetivos.

O modelo de Nurjanni, Carvalho e Costa (2017) utilizou métodos de otimização multiobjetivo para determinar a quantidade de instalações (fábricas, armazéns e centros de distribuição) necessárias para que os custos totais e as emissões de CO₂.

O modelo de Banasik *et al.* (2017) foi desenvolvido para redimensionar a estrutura logística e fechar *loops* na cadeia de abastecimento de cogumelos de modo a permitir aos tomadores de decisão a consciência dos *trade-offs* e facilitar a discussão da escolha de tecnologias de reciclagem para uso em estruturas logísticas alternativas. Para isso, Banasik *et al.* (2017) utilizaram um modelo de programação linear multiobjetivo para suportar as decisões de planejamento de produção e distribuição com foco particular na valorização dos resíduos em uma cadeia fechada com utilização de economia circular.

Banasik *et al.* (2017) descobriram que a adoção de tecnologias em cadeias fechadas na produção industrial de cogumelos tem o potencial de aumentar a rentabilidade total da cadeia em quase 11%, enquanto o desempenho ambiental melhora quase 28%. No entanto, os maiores benefícios e soluções ganha-ganha sob as perspectivas econômica e ambiental foram atingidos em cenários que se concentram no uso de materiais em seu pleno potencial, valorizando os fluxos de resíduos, tanto quanto possível.

Banasik *et al.* (2017) concluíram que uma avaliação abrangente das tecnologias de reciclagem e o redesenho de estruturas logísticas requerem ferramentas quantitativas que otimizem simultaneamente as decisões gerenciais em nível estratégico e tático.

O modelo desenvolvido por John e Sridharam (2015) foi capaz de determinar o número e a localização das diferentes instalações a serem abertas na rede e o fluxo de

materiais entre cada estágio da cadeia de suprimentos de sete estágios. O objetivo do modelo apresentado foi de minimizar o custo total de uma cadeia de logística reversa de produtos em “fim de uso” e “fim de vida”, os quais podem ser remanufaturados, reciclados ou desmontados (desmembrados).

O trabalho publicado por John, Sridharan e Kumar (2017) indica que a consideração dos custos associados à emissão de gases de efeito estufa está se tornando importante. John, Sridharan e Kumar (2017) discursam que a inclusão do custo de emissão pode levar a lucros relativamente menores para qualquer organização no curto prazo, no entanto, os autores acreditam que essa redução nos lucros pode ser compensada com o aprimoramento da "imagem verde" da organização na sociedade, que trará mais clientes e, desse modo, maiores lucros a longo prazo.

John, Sridharan e Kumar (2017) incorporaram ao projeto de rede de suprimentos, com foco na logística reversa, o custo de emissão de poluentes na atmosfera provenientes das atividades de transporte. Contudo, os autores levantam que a limitação do estudo reside no fato de considerarem apenas um tipo modal e um único tipo de veículo.

Fahimnia e Jabbarzadeh (2016) abordaram o projeto da rede de distribuição com o viés sustentável-resiliente por meio de uma modelagem de otimização multiobjetivo. Contudo, Fahimnia e Jabbarzadeh (2016) concluíram que não foi possível satisfazer as demandas do produto sem ruptura no fornecimento quando a rede foi projetada somente para o viés sustentável. Já para uma rede resiliente e sustentável, foi capaz de satisfazer toda a demanda do mercado em um ligeiro aumento no custo geral da rede de distribuição por meio do ajuste das estratégias de fornecimento, produção e distribuição quando ocorrem interrupções. Outrossim, observou-se que a performance ambiente e social simultaneamente atingida pela rede quase não apresentou rupturas.

Portanto, com base na revisão de literatura recente sobre o projeto de rede de distribuição, este trabalho propõe um complemento à pesquisa de Mangiaracina, Song e Perego (2015), incluindo um novo grupo de fatores críticos a fim de complementar o estudo com base na literatura recente.

Logo, com a inclusão do grupo “variáveis ambientais”, representado pelos fatores críticos: “emissão de material particulado” e “emissão de CO₂”; esta revisão de literatura contribui para a literatura sobre o tema a partir da atualização do *framework* referencial de Mangiaracina, Song e Perego (2015).

Sendo assim, o Quadro 1 apresenta a revisão do *framework* do artigo referencial proposto a partir da revisão da literatura recente, entre os anos de 2015 a 2018.

Quadro 1 – Agrupamento de fatores críticos

Grupo	Fator crítico	
Características do produto	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade do produto • Relação peso-volume cúbico • Ciclo de vida do produto • Nível de competição • Características do produto ABC • Tipo de produto 	<ul style="list-style-type: none"> • Variedade de produto • Preço do produto • Substituibilidade • Margem do produto • Validade do produto • Características de manuseio do produto
Requisitos do serviço	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de ciclo • Frequência de entrega • Peso médio de embarque • Volume médio de embarque • <i>Fill rate</i> do item • Capacidade do veículo 	<ul style="list-style-type: none"> • Experiência do cliente • Visibilidade do pedido • Devolução • Tempo de reabastecimento • Capacidade do veículo
Características da demanda	<ul style="list-style-type: none"> • Nível da demanda • Volatilidade da demanda • Densidade da demanda 	<ul style="list-style-type: none"> • Densidade do cliente • Número de clientes • Sazonalidade
Características da cadeia	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de produção • Distância entre nós • Tamanho do lote de produção • Limitações de matéria-prima • Economia de escala 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade da produção • <i>Lead time</i> da produção • Número de fornecedores • Localização dos fornecedores
Variáveis econômicas	<ul style="list-style-type: none"> • Restrições legais • Taxas e impostos • Infraestrutura existente 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade do modal de transporte • Taxa de juros
Variáveis ambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Emissão de material particulado • Emissão de CO₂ 	

Fonte: Autor “adaptado de” Mangiaracina, Song e Perego, 2015, p. 521.

Além disso, a revisão do *framework* referencial, com a inclusão das variáveis ambientais, corrobora com Kadziński *et al.* (2017) à medida que reafirma com base na literatura recente, compreendida entre os anos de 2015 a 2018, a existência de uma relevante tendência para o desenvolvimento de pesquisas sobre o projeto de rede de distribuição com o viés da sustentabilidade ambiental, as quais, até hoje, apresentam lacunas no esclarecimento da mensuração desse fator no projeto da rede e, também, dos seus *trade-offs* em relação às tomadas de decisões no projeto.

Outrossim, é consoante no meio acadêmico que esse grupo tem se tornado cada vez mais significativo para a academia no tocante do projeto de rede de distribuição (COLICCHIA *et al.*, 2015).

2.2 APROFUNDAMENTO DA LITERATURA SOBRE REDES ECOEFICIENTES

Posto que a seção 2.1 complementou o framework referencial com as variáveis ambientais, esta etapa da revisão da literatura propõe-se a aprofundar no entendimento sobre as redes ecoeficientes a partir do aprofundamento do tema com base em uma revisão de literatura recente e relevante.

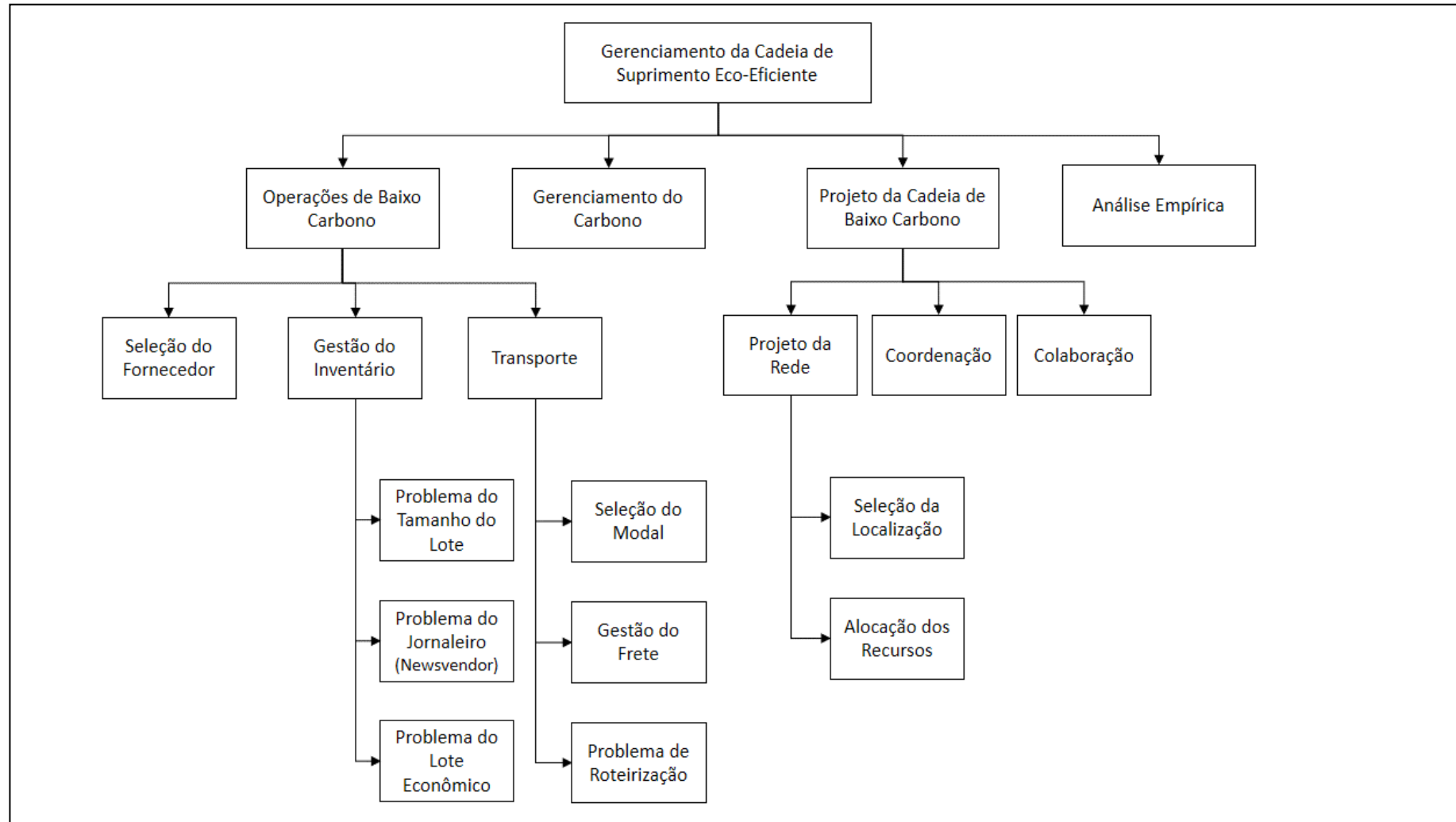
2.2.1 Redes ecoeficientes

Ao incorporar ao *framework* proposto por Mangiaracina, Song e Perego (2015) o grupo de fator crítico das variáveis ambientais, se faz necessário entender como a literatura compreende os objetivos de sustentabilidade ambiental no escopo do projeto de rede de distribuição. Sendo assim, esse capítulo se propõe a aprofundar o conhecimento sobre o tema com base na literatura recente publicada.

Dessa forma, com base no artigo publicado por Das e Jharkharia (2018), que trata de uma revisão sistemática de literatura sobre cadeias de baixo carbono, este capítulo complementa a revisão de literatura sobre o projeto de rede, apresentada no capítulo anterior, a fim de permitir o entendimento mais abrangente para a condução da otimização que será apresentada no capítulo seguinte.

Das e Jharkharia (2018) propõem 4 (quatro) dimensões principais para o estudo das redes de distribuição ecoeficientes: (I) operações de baixo carbono; (II) gerenciamento do carbono; (III) projeto da rede; e (IV) análise empírica. Os autores resumem sua proposta em um esquema gráfico conforme a Figura 2.

Figura 2 – Principais dimensões de estudo da rede ecoeficiente



Fonte: Autor “adaptado de” Das e Jharkharia, 2018, p. 403.

Conforme os autores, menos de 5% dos artigos revisados por Das e Jharkharia (2018) possuem data anterior a 2010 (8 de 181 artigos). Isso deve-se à pouca relevância que o tema emissão de carbono tinha tanto para acadêmicos como para profissionais. Das e Jharkharia (2018) argumentam que as regulações internacionais a partir do Protocolo de Kyoto, ocorrido no Japão em 1997, tiveram grande influência sobre a mudança desse comportamento.

De acordo com Nurjanni, Carvalho e Costa (2017), o setor industrial em países desenvolvidos tem reforçado a adoção da busca por cadeias de suprimentos mais sustentáveis no âmbito ambiental devido às regulações mundiais (Protocolo de Kyoto, Acordo de Paris, Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - em inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC).

No Brasil, tem-se como marco o início da Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), que entrou em vigor em 2009, por meio da Lei nº 12.187, a qual oficializou o compromisso do país em reduzir as emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE) (GVCES/FGV-EAESP, 2018).

Portanto, com o fortalecimento da agenda ambiental, tanto no âmbito internacional como nacional, as empresas têm requisitado redesenhar suas cadeias de suprimentos de modo a incorporar as metas ambientais em sua estratégia de operações. Logo, os projetos de rede de distribuição têm incluído, cada vez mais, as variáveis ambientais como um fator crítico para a tomada de decisão (COLICCHIA *et al.*, 2015).

Como esclarecimento, para as cadeias de suprimentos que incluem variáveis ambientais com um objetivo, encontram-se na literatura as seguintes nomenclaturas: Cadeias de Suprimentos Verdes - CSV (NURJANNI; CARVALHO; COSTA, 2017), Redes de Suprimentos Ecoeficientes (COLICCHIA *et al.*, 2015), Cadeias de Suprimentos Sustentáveis (FAHIMNIA; JABBARZADEH, 2016) ou Cadeias de Baixo Carbono (DAS; JHARKHARIA, 2018).

A fim de padronizar a semântica, neste trabalho, foi adotado o termo *redes de distribuição ecoeficientes* ou simplesmente, redes ecoeficientes, a partir desta etapa do texto.

Das e Jharkharia (2018) relevam que as pesquisas recentes têm duas perspectivas distintas: uma lida com os aspectos funcionais e operacionais do gerenciamento da cadeia de suprimentos, como o abastecimento (em inglês, *sourcing*), produção e planejamento, distribuição, projeto de rede e coordenação da cadeia de suprimentos; já o outro trata da contabilidade e conceituação da “Pegada de Carbono” (em inglês, *Carbon Footprint*). Para entendimento desse conceito, Das e Jharkharia (2018) definiram que a Pegada de Carbono pode ser entendida como uma medida da quantidade total exclusiva de emissões de CO₂

causada direta ou indiretamente por uma atividade ou acumulada ao longo das fases de vida de um produto.

Para Das e Jharkharia (2018), o gerenciamento de uma Cadeia de Ecoeficiente pode ser definido como uma estratégia que integra as emissões de CO₂ (ou CO₂ equivalente - CO₂e) ou de Gases do Efeito Estufa (GEE) como uma restrição ou como um objetivo no planejamento e no projeto da cadeia de suprimentos. Sendo assim, o objetivo final de uma rede de distribuição ecoeficiente é reduzir as emissões globais de carbono da cadeia de suprimentos sem comprometer o interesse econômico da empresa como um todo. Logo, para os autores, existe *trade-offs* entre objetivos econômicos e ambientais em todas as funções da cadeia de suprimentos, todavia, o balanceamento e análise desses objetivos são importantes para viabilizar o alcance de uma cadeia ecoeficiente.

Das e Jharkharia (2018) também discutem que, devido a um maior impulso na preocupação com a redução de emissões de CO₂, uma mudança inevitável está ocorrendo no que diz respeito à gestão da cadeia de suprimentos. Essas alterações são amplamente observadas na seleção de fornecedores, política de gestão, planejamento de transporte, seleção de instalações e na elaboração dos contratos.

Em complemento, John, Sridharan e Kumar (2017) analisam que no fluxo reverso a configuração dos Centros Coletores, Centros de Desmontagem, Centros de Reciclagem e Centros de Remanufatura também impacta nos objetivos relacionados à ecoeficiência de uma Cadeia de Suprimentos. Portanto, percebe-se que para ambos os fluxos, de distribuição e reverso, a configuração dos recursos empregados, ou seja, a quantidade e a localização destes recursos na cadeia de suprimentos, é relevante para a obtenção de melhorias nos objetivos de custo e ambiental.

Nurjanni, Carvalho e Costa (2017) e Das e Jharkharia (2018) avaliam que, dado o interesse das empresas em integrar, cada vez mais, a sustentabilidade ambiental por meio da gestão da emissão de carbono com os objetivos econômicos em sua estratégia de avaliação do desempenho do fornecimento, os fornecedores devem desenvolver diretrizes, padrões e sistemas de gerenciamento a fim de melhorar seu desempenho de carbono para se sustentar nesse ambiente competitivo, o que, conseqüentemente, resultará na redução das emissões em geral. Ainda, foi observado na literatura recente que uma mudança nas práticas operacionais de gerenciamento da cadeia de suprimentos pode levar a uma redução mais ampla das emissões de carbono.

Ademais, Fahimnia e Jabbarzadeh (2016) indicam que os estudos concernentes ao projeto, planejamento e gerenciamento das Cadeias de Suprimentos Ecoeficientes têm seguido ao menos cinco importantes direções:

- a) modelos de otimização para o projeto estratégico da cadeia de suprimentos, buscando o balanceamento entre os custos da cadeia e a emissão de carbono (BRANDENBURG, 2015; ELHEDHLI; MERRICK, 2012; WANG *et al.*, 2013);
- b) ferramentas de planejamento tático e operacional para analisar os *trade-offs* entre os custos e as emissões (COLICCHIA *et al.*, 2015; FAHIMNIA *et al.*, 2016; ZAKERI *et al.*, 2015);
- c) projeto e planejamento de Cadeias de Suprimentos Fechadas (ou, em inglês, conhecidas como *Closed-loop Supply Chain*) focados na performance do custo/emissão do processo de distribuição e reverso (JOHN; SRIDHARAN; KUMAR, 2017; BANASIK *et al.*, 2017);
- d) desenvolvimento e aplicação de indicadores de performance múltiplos para o projeto e gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (NURJANNI; CARVALHO; COSTA, 2017; 2010; PISHVAEE; TORABI; RAZMI, 2012);
- e) introdução e investigação do impacto das políticas ambientais no planejamento e otimização da Cadeia de Suprimentos (ZAKERI *et al.*, 2015).

No entanto, Das e Jharkharia (2018) alertam que, ainda que a busca pela redução das emissões de carbono seja crescente, as soluções possuem certo grau de complexidade. Por exemplo, para Zakeri *et al.* (2015) e Das e Jharkharia (2018), ao alterar a política de gerenciamento de estoque, as emissões de CO₂ podem ser reduzidas, porém, isso incorrerá em um aumento no custo total.

Da mesma forma, a consolidação da demanda, o planejamento de transporte colaborativo e a estratégia de carga total de caminhões reduzem significativamente as emissões de transporte, mas, para que isso seja possível, é necessária uma estreita cooperação entre os parceiros da cadeia de suprimentos.

Todavia, chegar a um acordo aceitável entre muitos desses critérios conflitantes ainda permanece um desafio para futuros gestores e, portanto, uma questão a ser investigada em pesquisas futuras. No futuro, o planejamento logístico inteligente será apropriado para essa mudança na exigência de serviço e performance da logística. Também é destacado nesta revisão que as emissões podem ser reduzidas pela seleção efetiva de instalações e sua localização.

A incerteza da demanda pode ser um desafio para o desenvolvimento de projetos de redes de cadeia de suprimentos ecoeficientes. Assim sendo, para Das e Jharkharia (2018), no futuro, a modelagem matemática estocástica será mais apropriada para as decisões de localização das instalações.

Das e Jharkharia (2018) expõem que, devido a um maior impulso na redução de emissões, um tipo diferente de mudanças inevitável está ocorrendo no âmbito da gestão da cadeia de suprimentos. Para os autores, essas mudanças são amplamente observadas na seleção de fornecedores, na política de gerenciamento de estoques, no planejamento de transportes, na seleção de instalações e na elaboração dos contratos. Por fim, os autores ainda dissertam que atingir um *trade-off* aceitável entre essas mudanças e a redução do CO₂ permanece como um fator conflitante em muitas cadeias de suprimento. Por isso, trabalhos dessa natureza são relevantes para o esclarecimento da academia e profissionais de logística quanto aos métodos e alternativas para obter a sustentabilidade ambiental por meio projeto de rede de distribuição.

2.2.2 CO₂

Segundo Greenstone, Kopits e Wolverton (2013), a emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE) altera o clima da Terra, aumentando a temperatura, alterando os padrões de precipitação e aumentando a variabilidade climática, sendo a atividade de transporte um dos potenciais geradores do GEE, o qual é gerado pelo consumo de combustível. John, Sridharan e Kumar (2017) expõem que os principais constituintes das emissões dos veículos são os óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado (PM), metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂).

Segundo Nordhaus (1993), pode-se entender o custo de CO₂ como um custo social do carbono, ou seja, um custo econômico causado por uma tonelada adicional de emissões de dióxido de carbono (ou, simplificada, carbono) ou seu equivalente. Greenstone, Kopits e Wolverton (2013) expõem que as estimativas monetarizadas dos danos econômicos associados às emissões de CO₂ possibilitam que as análises de custo-benefício incorporem os benefícios sociais das ações regulatórias que devem reduzir essas emissões.

Para John, Sridharan e Kumar (2017), até recentemente, o custo de transporte, o custo de coleta, o custo de processamento e o custo fixo das instalações eram os custos mais amplamente considerados nos estudos de projeto de rede de distribuição. Porém, atualmente, além desses custos, a consideração dos custos associados à emissão de GEE está se tornando

cada vez mais importante. Ademais, conforme exposto por Paksoy, Bektaş e Özceylan (2011), as atividades de transporte entre os escalões da cadeia de suprimentos formam uma importante fonte de emissões de GEE.

No entanto, para John, Sridharan e Kumar (2017), estimar o custo de emissão dos GEE no transporte é um processo difícil, pois, para mensurar o custo logístico total de emissão de CO₂ são necessários dados referentes à taxa de emissão por unidade de distância e o custo por tonelada de emissão.

Outrossim, John, Sridharan e Kumar (2017) reforçam que existem diferentes estudos realizados por órgãos governamentais e não governamentais, como a Associação de Pesquisa Automotiva da Índia (em inglês, *Automotive Research Association of India - ARAI*), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (em inglês, *U.S. Environmental Protection Agency - EPA*), Gabinete de Gestão e Orçamento (em inglês, *Office of Management and Budget - OMB*), dos Estados Unidos da América, o Conselho Central de Controle de Poluição (em inglês, *Central Pollution Control Board - CPCB*), da Índia, dentre outros, que estimam a taxa de emissão e o custo correspondente das atividades de transporte. No Brasil, esse papel é desenvolvido pelo Centro de Estudos de Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVCES).

Para Piecyk e McKinnon (2010), o transporte é a principal fonte de emissões secundárias de carbono. Tais emissões de carbono podem ser significativamente reduzidas pelo gerenciamento da seleção do modal de transporte (HOEN *et al.*, 2014; BOUCHERY *et al.*, 2016), gerenciamento do frete (RUDI *et al.*, 2016), pelas decisões de roteirização (VALIDI; BHATTACHARYA; BYRNE, 2014; GLOCK; KIM, 2015; KUMAR *et al.*, 2016; SUZUKI, 2016; QIU; QIAO; PARDALOS, 2017), consolidação da carga (BROWN; GUIFFRIDA, 2014; LOON *et al.*, 2015), escolha da localização (LAM; VARBANOV; KLEMES, 2010; RAO *et al.*, 2015; MUSAVI; BOZORGI-AMIRI, 2017), terceirização da logística (AMEKNASSI; AÏT-KADI; REZG, 2016; LI; SHU; MA, 2017) e conservação de energia (MÜLLER; STOCK; SCHILLIG, 2014).

Tradicionalmente, a seleção do modal de transporte depende do tempo de entrega e do custo de transporte, ou seja, quanto maior o *lead time*, maior o estoque requerido. No entanto, para Chen e Wang (2016), hoje em dia, além desses critérios (custo e *lead time*), as emissões de carbono também têm sido consideradas como um critério importante na decisão dos modos de transporte.

Esta pesquisa abordará a variação da localização das instalações para entender a sua relação com o projeto ecoeficiente da rede de distribuição.

2.3 ICMS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

De acordo com Pessoa, Silva e Campanário (2011), o Imposto sobre operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre prestações de serviço de transporte interestadual, intermunicipal e de comunicação (ICMS) foi instituído pela Lei complementar 87/1996, conhecida também como Lei Kandir, e atribuiu a incidência do imposto na origem.

Trata-se de um imposto de competência tributária dos estados e do Distrito Federal (art. 155, II, da Constituição Federal de 1988), ou seja, cada estado determina a alíquota por meio do Regulamento do ICMS (RICMS). O ICMS é calculado sobre o preço de venda (fato gerador), sendo que, ao longo das etapas da cadeia de suprimentos, é aplicado somente sobre o valor agregado ao produto ou serviço (YOSHIZAKI, 2002).

Após a instituição do ICMS, os Estados e o Distrito Federal têm concedido benefícios ou isenções com o objetivo de atrair investimentos privados a fim de alavancar o desenvolvimento regional. No entanto, Frias, Farias e Wanke (2013) afirmam que essas iniciativas trazem como consequência um “turismo fiscal” na distribuição dos produtos no território nacional, ou seja, para que uma empresa obtenha redução de custos na sua operação de distribuição, o percurso para a entrega dos produtos não é determinado pela menor distância, mas pela rota que possui a menor alíquota de ICMS somada aos custos de transporte.

Portanto, a inclusão do ICMS no planejamento logístico pode trazer vantagens competitivas por meio de ganhos no custo logístico total para as empresas, pois “[...] a utilização de rotas com tarifas de ICMS favoráveis na distribuição pode trazer grandes ganhos econômicos” (JUNQUEIRA; MORABITO, 2008, p. 369).

Em vista disso, além dos custos logísticos no projeto de rede de distribuição, considerar esse imposto no projeto é de fundamental importância para que seja possível avaliar a efetiva redução dos custos totais.

Apesar da evidente importância do ICMS no projeto da rede de distribuição para o obter menores custos, a propensão das redes em adotarem o “turismo fiscal” em prol do melhor resultado financeiro, faz com que as rotas de transporte sejam mais longas em relação a uma rede em que o ICMS não configura como um fator decisivo. Dessa forma, com rotas mais distantes, o consumo de combustível dos veículos é maior e, portanto, implica no aumento da emissão de CO₂. Sendo assim, além da importância do ICMS na rede com o viés de performance em custos totais, pode haver a relação desse imposto nos objetivos de sustentabilidade ambiental na rede de distribuição.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Após a etapa inicial de revisão sistemática da literatura sobre projeto de rede de distribuição (seção 2.1), aprofundamento da literatura sobre cadeias de suprimentos ecoeficientes (seção 2.2) e entendimento sobre a importância do ICMS na rede de distribuição (seção 2.3), este trabalho segue para a modelagem e otimização de uma rede de distribuição com base em dados reais fornecidos por uma empresa de farinha de trigo que atua amplamente no território nacional.

A fim de viabilizar o atingimento dos objetivos desta pesquisa, analogamente a Bing, Bloemhof-Ruwaard e Vorst (2012), foi utilizado o software de otimização IBM ILOG LogicNet Plus XE 7.2 para o mapeamento e otimização da rede de distribuição estudada. Utilizando o software espera-se conseguir analisar o impacto econômico-financeiro que a inclusão da variável custo de emissão de dióxido de carbono equivalente (custo de CO₂e), gerado pelas atividades de transporte e consumo de energia elétrica, exerce no projeto da rede.

Sendo assim, foram atribuídos fatores de conversão de CO₂e para as atividades de transporte e consumo de energia elétrica de acordo com os dados do Programa Brasileiro GHG Protocol, o qual existe desde 2008 como uma adaptação nacional do GHG Protocol – desenvolvido em 1998 nos Estados Unidos da América; promovida pelo Ministério do Meio Ambiente do Brasil em parceria com o Centro de Estudos de Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas e o *World Resource Institute* - WRI (GVCES/FGV-EAESP, 2018).

Para tanto, foi considerado um fator de conversão de CO₂ para cada tipo de veículo, expresso em kgCO₂e/t.km, e para o consumo de energia elétrica, expresso em tCO₂e/MWh, no projeto da rede, conforme ANEXO A. Por se tratar do valor oficial utilizado pela DEFRA (*Department for Environment, Food and Rural Affairs*), de onde são assumidos os dados para o Programa Brasileiro GHG Protocol, base para esta pesquisa, o custo do CO₂ (de £4,19/t CO₂) foi baseado no valor central projetado pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial do Reino Unido (BEIS, 2018).

Além disso, seguindo o Programa Brasileiro GHG Protocol, a pesquisa considerou a geração de GEE no âmbito do Escopo 1¹, Escopo 2² e Escopo 3³ (GVCES/FGV-EAESP, 2018).

¹ Escopo 1: emissões de GEE diretas (da própria empresa) como por exemplo: queima de combustível, transporte da própria empresa.

² Escopo 2: emissões de GEE indiretas, por exemplo, a compra de energia elétrica consumida.

³ Escopo 3: outras emissões de GEE indiretas (provenientes de outras fontes de emissão atribuídas às atividades da empresa, como por exemplo, os serviços de transportes terceirizados).

A metodologia da análise da modelagem baseia-se no artigo publicado por Colicchia *et al.* (2015), o qual apresentou diferentes cenários a fim de medir o impacto econômico-financeiro que o custo de CO₂ possui em diferentes configurações da rede de distribuição. Dessa forma, pretende-se obter uma configuração que resulte em um cenário ecoeficiente.

A metodologia da pesquisa da modelagem seguiu o estudo referencial publicado por Bing, Bloemhof-Ruwaard e Vorst (2012). Abaixo segue um breve resumo sobre os cenários que foram desenvolvidos:

- a) Cenário 0: representa a rede de distribuição atual da empresa - considerado como cenário base. Nesta etapa, a rede de distribuição atual da empresa foi modelada no software com as condições reais de operação. Este cenário apresenta proximidade com os resultados da empresa durante o ano de 2017 - mesmo período dos dados coletados. A fim de viabilizar o desenvolvimento, foram impostas ao modelo as restrições de capacidade das instalações e fluxo de distribuição. Para a validação do modelo, foram considerados a receita bruta, o ICMS (imposto sobre vendas) e o custo da matéria-prima apresentados no DRE (Demonstrativo do Resultado do Exercício) gerencial do exercício 2017 fornecido pela empresa. Nesta etapa, o custo de CO₂ resultante do cenário foi considerado como valor de referência a fim de permitir a comparação com os cenários futuros.
- b) Cenário 1: com base no Cenário 0, as restrições de fluxo de distribuição impostas ao modelo foram relaxadas com o propósito de reduzir o custo logístico total - considerado como o cenário custo eficiente. Neste cenário foi possível desenvolver o projeto otimizado da rede com o menor custo e entender qual a variação econômico-financeira que o custo de CO₂ teve em relação ao Cenário 0.
- c) Cenário 2: foi incluído o custo de CO₂ no custo logístico total e manteve-se o objetivo de redução de custos – considerado o cenário ecoeficiente. Dessa forma, foi possível determinar a rede ecoeficiente, ou seja, com ponderação dos objetivos de custo e CO₂, simultaneamente. A partir desse cenário é possível entender os impactos econômico-financeiros resultantes da busca pela ecoeficiência da rede de distribuição.

O software IBM ILOG LogicNet Plus XE 7.2 utiliza a Programação Linear Inteira Mista (PLIM) como algoritmo de otimização. O modelo matemático clássico de PLIM a ser utilizado nesta pesquisa para a otimização do projeto de uma rede de distribuição, considerando o custo de CO₂ como uma variável, é apresentado no trabalho publicado por Bing, Bloemhof-Ruwaard e Vorst (2012).

Em resumo, pode-se entender a PLIM como uma estrutura geral de otimização matemática que possui a vantagem de permitir uma perspectiva global de todas as restrições (JAIN; GROSSMANN, 2011).

Huang, Lau e Mak (2003) afirmam que este método é utilizado para a otimização da rede e permite a análise computacional comparativa de diferentes cenários. Além disso, a PLIM é a técnica mais frequentemente utilizada em formulações de problemas relacionados ao projeto de rede de distribuição (SRIVASTAVA, 2007).

A seguir estão descritos os índices, os parâmetros e as variáveis do modelo clássico de PLIM para o projeto de otimização da rede de distribuição (ZINN; CROXTON, 2005).

Descrição dos índices do modelo:

i : índice dos fornecedores

j : índice das fábricas

k : índice dos armazéns

l : índice dos clientes

m : índice das matérias-primas

p : índice dos produtos acabados

Descrição dos parâmetros do modelo:

F_j : custo fixo da fábrica j

V_j^p : custo variável da fábrica j para produzir um produto p

F_k : custo fixo do armazém k

V_k^p : custo variável do armazém k para receber, armazenar e expedir um produto p

T_{ij}^m : custo de transporte de um fornecedor i para uma fábrica j de uma unidade da matéria-prima m

T_{jk}^p : custo de transporte de uma fábrica j para um armazém k de uma unidade do produto p

T_{kl}^p : custo de transporte de um armazém k para um cliente l de uma unidade do produto p

A_{ij}^m : custo de emissão de CO₂ no transporte da matéria-prima m entre um fornecedor i e uma fábrica j

A_{jk}^p : custo de emissão de CO₂ no transporte do produto p entre uma fábrica j e um armazém k

A_{kl}^p : custo de emissão de CO₂ no transporte do produto p entre um armazém k e um cliente l

A_j : custo de emissão de CO₂ proveniente do consumo de energia elétrica da fábrica j

C_i^m : capacidade do fornecedor i para fornecimento do produto m

C_j^p : capacidade da fábrica j para produzir o produto p

C_k^p : capacidade do armazém k para armazenagem do produto p

D_l^p : demanda do produto p no cliente l

E_j : energia elétrica consumida pela fábrica j

M_{kl}^p : custo tributário relativo ao ICMS na venda do produto p a partir do armazém k para o cliente l

Descrição das variáveis do modelo:

$X_{ij}^m \in \mathbb{R}_+$ unidades da matéria-prima m fornecidos pelo fornecedor i para a fábrica j

$X_j^p \in \mathbb{R}_+$ unidades do produto p produzidos na fábrica j

$X_k^p \in \mathbb{R}_+$ unidades do produto p operador pelo armazém k

$X_{jk}^p \in \mathbb{R}_+$ unidades do produto p entregues da fábrica j para o armazém k

$X_{kl}^p \in \mathbb{R}_+$ unidades do produto p entregues do armazém k para o cliente l

$Y_j^p \in \{0,1\}$ variável binária que indica se a fábrica j é utilizada para produzir o produto p

$Y_k^p \in \{0,1\}$ variável binária que indica se o armazém k é utilizado para operar o produto p

Com base no modelo proposto por Zinn e Croxton (2005), a notação do modelo de otimização da rede é descrita assumindo “ z ” fornecedores, “ w ” potenciais fábricas, “ u ” potenciais armazéns, “ n ” clientes, “ t ” matérias-primas e “ v ” produtos acabados.

Sendo assim, a formulação matemática do modelo pode ser descrita na forma genérica por meio da função objetiva:

Minimizar:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{m=1}^t \sum_{i=1}^z T_{ij}^m X_{ij}^m + \sum_{j=1}^w (F_j + V_j^p X_j^p) Y_j^p + \sum_{k=1}^u \sum_{p=1}^v \sum_{j=1}^w T_{jk}^p X_{jk}^p \\
 & + \sum_{j=1}^w (F_k + V_k^p X_k^p) Y_k^p + \sum_{k=1}^u \sum_{p=1}^v \sum_{l=1}^n T_{kl}^p X_{kl}^p \\
 & + \sum_{k=1}^u \sum_{p=1}^v \sum_{l=1}^n M_{kl}^p
 \end{aligned} \tag{1}$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i=1}^z X_{ij}^m = \sum_{j=1}^w X_j^p \quad \forall i = \{1, \dots, z\}, j = \{1, \dots, w\}, m = \{1, \dots, t\}, p = \{1, \dots, v\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^w X_j^p = \sum_{k=1}^u X_{jk}^p \quad \forall j = \{1, \dots, w\}, k = \{1, \dots, u\}, p = \{1, \dots, v\} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^u X_{jk}^p = \sum_{l=1}^n X_{kl}^p \quad \forall k = \{1, \dots, u\}, l = \{1, \dots, n\}, p = \{1, \dots, v\} \quad (4)$$

$$\sum_{l=1}^n X_{kl}^p \geq D_l^p \quad \forall l = \{1, \dots, n\}, p = \{1, \dots, v\} \quad (5)$$

$$X_{ij}^m \leq C_i^m \quad \forall i = \{1, \dots, z\}, m = \{1, \dots, t\} \quad (6)$$

$$X_j^p \leq C_j^p Y_j^p \quad \forall j = \{1, \dots, w\}, p = \{1, \dots, v\} \quad (7)$$

$$X_{jk}^p \leq C_j^p Y_j^p \quad \forall j = \{1, \dots, w\}, p = \{1, \dots, v\} \quad (8)$$

$$X_{kl}^p \leq C_k^p Y_k^p \quad \forall k = \{1, \dots, u\}, p = \{1, \dots, v\} \quad (9)$$

$$X_{ij}^m, X_j^p, X_{jk}^p, X_{kl}^p \geq 0 \quad \forall i, j, k \quad (10)$$

$$Y_j^p \in \{0, 1\} \quad \forall j \quad (11)$$

$$Y_k^p \in \{0, 1\} \quad \forall k \quad (12)$$

$$M_{kl}^p \geq 0 \quad \forall k = \{1, \dots, u\}, p = \{1, \dots, v\}, l = \{1, \dots, n\} \quad (13)$$

A função objetivo (1) minimiza a soma dos custos fixos, variáveis e custos de transporte do fornecedor para a fábrica, da fábrica para o armazém e do armazém para os clientes. As restrições de (2) a (9) são restrições padrões do projeto de rede de distribuição para a manutenção do balanceamento do fluxo do fornecedor para a fábrica, da fábrica para o armazém e do armazém para o cliente. A restrição (10) garante a não negatividade das unidades de produto transportados e produzidos e as restrições (11) e (12) garantem que as variáveis Y_j^p e Y_k^p são inteiras e binárias e permitem a utilização (abertura) ou não (fechamento ou não abertura) das fábricas e armazéns, respectivamente. Por fim, a restrição (13) garante a não negatividade do custo tributário referente ao ICMS aplicado na venda do produto p a partir do armazém k para o cliente l .

Contudo, quando incluída a variável ambiental CO_2 , o modelo matemático é representado conforme segue:

Minimizar:

$$\begin{aligned}
& \sum_{m=1}^t \sum_{i=1}^z (T_{ij}^m + A_{ij}^h) X_{ij}^m + \sum_{j=1}^w (F_j + V_j^p X_j^p + A_j E_j) Y_j^p \\
& + \sum_{k=1}^u \sum_{p=1}^v \sum_{j=1}^w (T_{jk}^p + A_{jk}^h) X_{jk}^p + \sum_{j=1}^w (F_k + V_k^p X_k^p) Y_k^p \\
& + \sum_{k=1}^u \sum_{p=1}^v \sum_{l=1}^n (T_{kl}^p + A_{kl}^h) X_{kl}^p + \sum_{k=1}^u \sum_{p=1}^v \sum_{l=1}^n M_{kl}^p
\end{aligned} \tag{14}$$

Além das restrições anteriores, de (2) a (13), o modelo também está sujeito às restrições a seguir:

$$A_{jk}^p \geq 0 \quad \forall j, k \tag{15}$$

$$A_{kl}^p \geq 0 \quad \forall k, l \tag{16}$$

$$A_{ij}^m \geq 0 \quad \forall i, j \tag{17}$$

$$A_j^p \geq 0 \quad \forall j \tag{18}$$

$$M_{kl}^p \geq 0 \quad \forall k = \{1, \dots, u\}, p = \{1, \dots, v\}, l = \{1, \dots, n\} \tag{19}$$

Portanto, a nova função objetivo, além de minimizar a soma dos custos fixos, variáveis, custos de transporte do fornecedor para a fábrica, da fábrica para o armazém, do armazém para os clientes e os custos tributários de ICMS, acrescenta os custos de CO₂ emitidos no transporte entre a fornecedor e a fábrica, a fábrica para o armazém, o armazém e o cliente, e também inclui o custo de CO₂ oriundo do consumo de energia elétrica proveniente da fabricação.

4 ANÁLISE DOS CENÁRIOS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Este capítulo está dividido em quatro partes principais, as quais dedicam-se para o desenvolvimento da pesquisa de otimização proposta nesta dissertação. A seção 4.1 demonstra as principais etapas para o mapeamento da rede de distribuição e desdobra-se em dois itens. A seção 4.1.1 apresenta as principais restrições consideradas no Cenário 0. A seção 4.1.2 discute os resultados do Cenário 0 e demonstra a validação da modelagem do cenário por meio da análise dos resultados com a aderência à realidade das operações da empresa. Em seguida, a seção 4.2 apresenta os resultados da otimização com o objetivo de redução dos custos da rede de distribuição. Na seção 4.3 é apresentada a otimização da rede com a solução ecoeficiente. Por fim, a seção 4.4 discute comparativamente os resultados das seções anteriores.

4.1 CENÁRIO 0 (BASE)

O mapeamento da rede de distribuição para o projeto de otimização inicia-se com a construção da modelagem que representa a operação real da empresa, a qual foi desenvolvida com base nos dados operacionais coletados de janeiro a dezembro de 2017. A esta modelagem, que reproduz as operações da empresa, é dado o nome de Cenário 0 ou Cenário Base.

O Cenário 0 foi estabelecido por meio do mapeamento das instalações (fábricas, armazéns, portos), fornecedores, clientes, matérias-primas, produtos acabados e pela fixação dos fluxos de: abastecimento das fábricas; transferências entre armazéns e distribuição aos clientes.

O trigo foi a matéria-prima inserida neste cenário. Foram considerados quatro fornecedores de trigo (três na Argentina e um no Brasil). Pelo fato de haver importação de trigo, foram mapeados os portos de destino utilizados nesse processo: Porto do Rio de Janeiro (RJ), Porto de Recife (PE), Porto do Itaqui (MA) e Porto de Belém (PA). Há também um fornecedor de fermento no estado de São Paulo – SP. Este fornecedor foi considerado como fornecedor de revenda, pois o fermento é adquirido na forma de produto acabado, portanto, não passa por processo de fabricação da empresa. Todos os cinco fornecedores estão representados na Figura 3.

Figura 3 – Cenário 0: portos e fornecedores



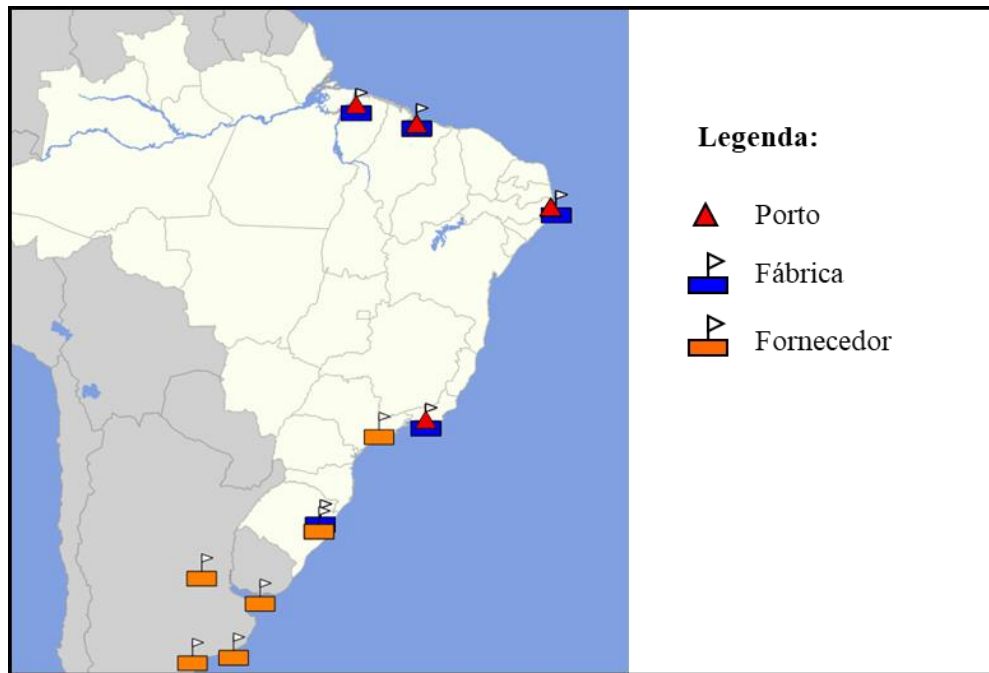
Fonte: Autor⁴.

As matérias-primas são transformadas em produtos acabados por meio de instalações fabris de moagem (moinhos de trigo ou, simplesmente, fábricas). A empresa possui cinco fábricas no território nacional, as quais estão localizadas em: (1) Canoas - RS; (2) Rio de Janeiro – RJ; (3) Recife – PE; (4) São Luís – MA; (5) Belém – PA; e fabricam dois produtos: a farinha de trigo e o farelo de trigo. O farelo de trigo (ou, simplesmente, farelo) é um subproduto do processo produtivo, sendo que, a cada 1 tonelada de trigo, aproximadamente 25,13% é convertida em farelo de trigo, logo, o restante (78,87%) em farinha de trigo.

A disposição geográfica da rede de distribuição com os fornecedores, portos e fábricas está apresentada na Figura 4.

⁴ Utilizado o software IBM ILOG LOGICNET PLUS XE 7.2.

Figura 4 – Cenário 0: portos, fornecedores e fábricas



Fonte: Autor⁵.

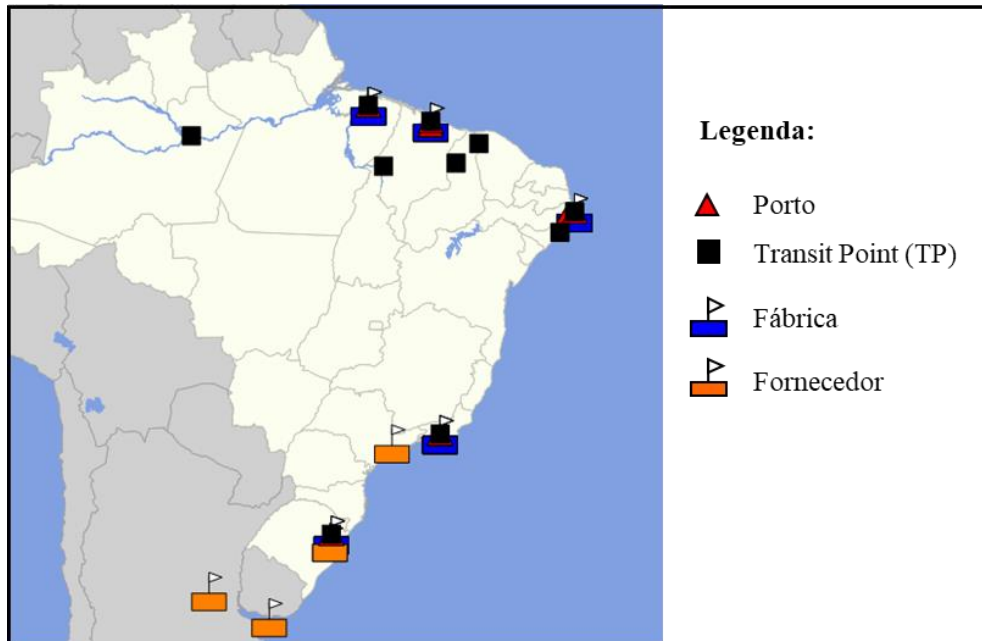
Os armazéns foram divididos em três tipos: (1) os silos de trigo; (2) os armazéns de expedição dos produtos a partir das fábricas; e (3) os *Transit Points* (TP). Os silos têm a função de armazenar o trigo após o recebimento do navio e são integrados às fábricas. Foram mapeados 5 silos de trigo: (1) Silo Canoas; (2) Silo Rio de Janeiro; (3) Silo Recife; (4) Silo São Luís; (5) Silo Belém.

Cada fábrica também possui um armazém integrado à sua planta industrial e são destinados à estocagem dos produtos acabados e posterior expedição. Ao todo, foram considerados cinco armazéns: (1) Armazém Canoas; (2) Armazém Rio de Janeiro; (3) Armazém Recife; (4) Armazém São Luís; (5) Armazém Belém. No entanto, as localidades dos silos, armazéns e fábricas se sobrepõem ao serem geolocalizadas no mapa, ou seja, possuem as mesmas coordenadas de latitude e longitude.

Os TP são centros de distribuição avançados que recebem os produtos já com seus respectivos destinos, portanto, não possuem a armazenagem como principal função logística, mas a distribuição dos produtos aos clientes, podendo utilizar-se de veículos menores para atender às demandas. Os TP possuem geolocalizações diferentes das fábricas e foram classificados conforme segue: (1) TP Imperatriz – MA; (2) TP Maceió – AL; (3) TP Manaus – AM; (4) TP Santarém – PA; (5) TP Teresina (PI); (6) TP Tianguá (CE). O mapa com as representações de todas as instalações geolocalizadas é demonstrado na Figura 5.

⁵ Utilizado o software IBM ILOG LOGICNET PLUS XE 7.2.

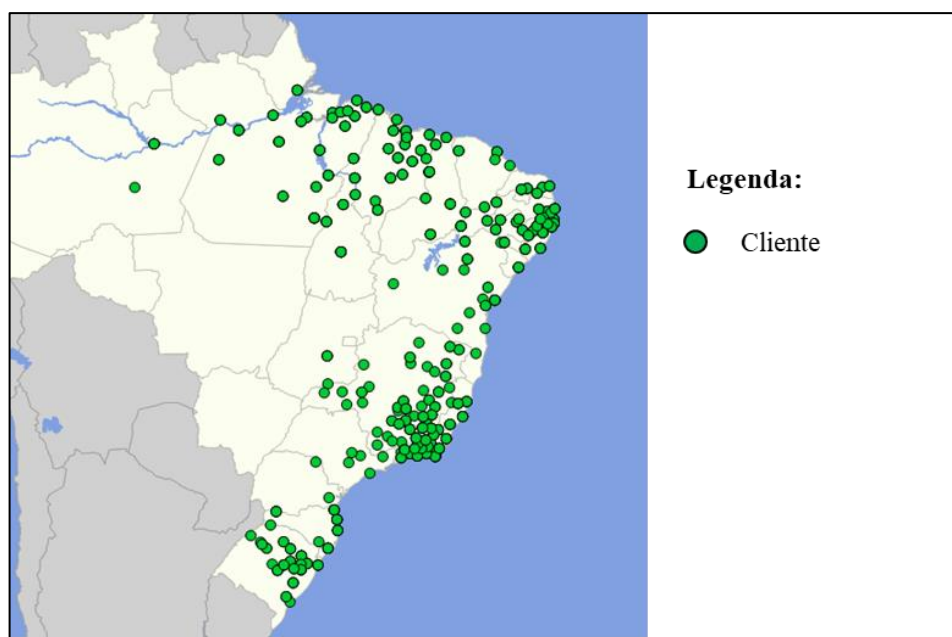
Figura 5 – Cenário 0: portos, fornecedores, fábricas e armazéns



Fonte: Autor⁶.

Os clientes da empresa são padarias, restaurantes, lanchonetes, fábricas (de pães, de bolos, de massas e de biscoitos), mercados e distribuidores que consomem os produtos acabados (farinha de trigo, farelo de trigo e fermento). Ao todo, estão distribuídos em 21 estados no território nacional, conforme Figura 6.

Figura 6 – Cenário 0: clientes

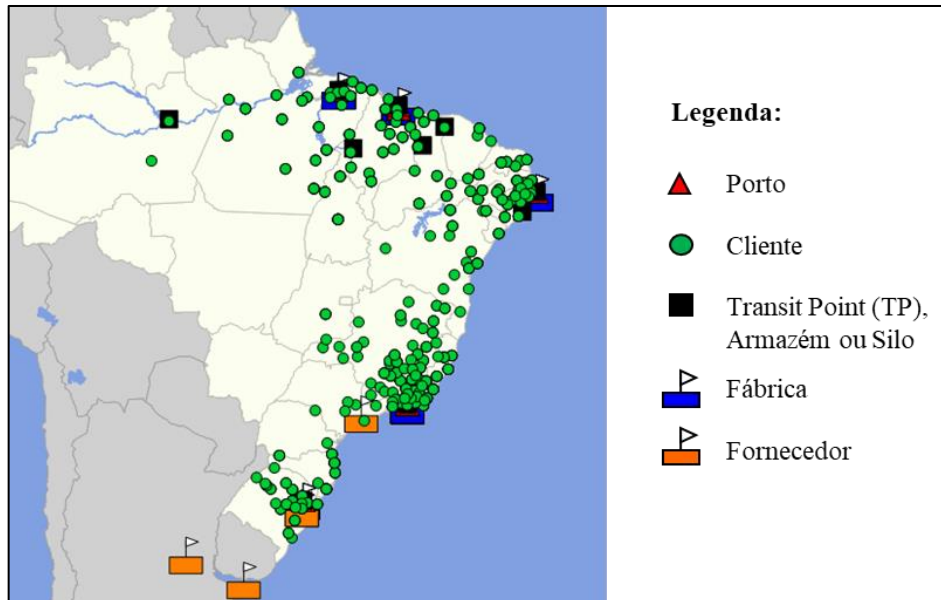


Fonte: Autor⁴.

⁶ Utilizado o software IBM ILOG LOGICNET PLUS XE 7.2.

Logo, após o mapeamento da rede de distribuição foi possível representá-la graficamente por meio da Figura 7, a qual demonstra a geolocalização dos fornecedores, portos, silos, fábricas, armazéns, TP e clientes.

Figura 7 – Cenário 0: modelagem



Fonte: Autor⁷.

Por fim, foram inseridos, no Cenário 0, os modais de transporte marítimo (navios) e rodoviário (com veículos tipo van, 3/4, toco, truck, carreta e carreta graneleira), os quais são responsáveis pelos fluxos de abastecimento das fábricas, transferências entre armazéns e distribuição aos clientes.

4.1.1 Restrições do Cenário 0

Após o mapeamento das instalações físicas, a pesquisa seguiu para as atribuições das restrições de capacidade (para as instalações e transporte) e fluxo de distribuição (origem-destino).

Primeiramente, aos fornecedores, foram atribuídas capacidades de fornecimento mensal de trigo em grão, em toneladas por mês, conforme demonstrado na Tabela 8.

⁷ Utilizado o software IBM ILOG LOGICNET PLUS XE 7.2.

Tabela 8 – Instalações: restrições de capacidade dos fornecedores

Fornecedor	País	Capacidade (ton/mês)
Fornecedor Necochea	Argentina	30.000
Fornecedor Baia Blanca	Argentina	30.000
Fornecedor Up River	Argentina	30.000
Fornecedor Porto Alegre	Brasil	15.000
Total		105.000

Fonte: dados fornecidos pela Empresa e adaptados pelo Autor.

A capacidade de fornecimento de trigo totaliza 105.000 ton por mês, sendo que os maiores fornecedores estão localizados na Argentina. Ao fornecedor de revenda foi atribuída capacidade infinita de fornecimento, pois não houve restrição de pedidos no decorrer do ano.

Para a importação do trigo em grão, proveniente dos fornecedores na Argentina, foram inseridas restrições de capacidades de movimentações de saída dos portos no Brasil, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Instalações: restrições de capacidade dos portos

Porto	UF	Capacidade (ton/mês)
Porto do Itaqui	MA	23.000
Porto de Recife	PE	28.010
Porto do Rio de Janeiro	RJ	21.500
Porto de Belém	PA	23.000

Fonte: dados fornecidos pela Empresa e adaptados pelo Autor.

Aos silos, foram consideradas restrições de capacidade de armazenagem de trigo em cada fábrica, descritas na Tabela 10. Já aos armazéns de expedição, foram atribuídas capacidades infinitas devido à alta disponibilidade de espaço para armazenagem que existe em cada fábrica.

Tabela 10 – Instalações: restrições de capacidade dos silos

Fábrica	UF	Capacidade (ton/mês)
Rio de Janeiro	RJ	30.000
Belém	PA	30.000
Canoas	RS	8.480
Recife	PE	30.000
São Luís	MA	30.000

Fonte: dados fornecidos pela Empresa e adaptados pelo Autor.

Nota-se que, exceto Canoas, todas as fábricas possuem silos com capacidade de 30.000 ton. Isso é devido à fábrica de Canoas comprar trigo somente do fornecedor nacional e com abastecimento rodoviário; já as demais fábricas são abastecidas por meio dos fornecedores na Argentina, utilizando-se do modal marítimo. Logo, a necessidade de armazenagem de trigo em Canoas é menor que as demais fábricas que recebem o trigo por meio de navio.

Por fim, para as instalações, foram inseridas as capacidades de armazenagem dos TP, conforme Tabela 11.

Tabela 11 – Instalações: restrições de capacidade dos TP

Fábrica	UF	Capacidade (ton)
TP Maceió	AL	500
TP Manaus	AM	300
TP Santarém	PA	300
TP Teresina	PI	300
TP Tianguá	MA	200
TP Imperatriz	MA	150

Fonte: dados fornecidos pela Empresa e adaptados pelo Autor.

O TP de maior capacidade é o de Maceió (500 ton), seguido dos TP Manaus, Santarém e Teresina – todos estes com 300 ton.

Para transportar as matérias-primas do fornecedor para a fábrica são utilizados os modais de transporte rodoviário e marítimo, os quais possuem capacidades de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 – Restrições: capacidade dos transportadores

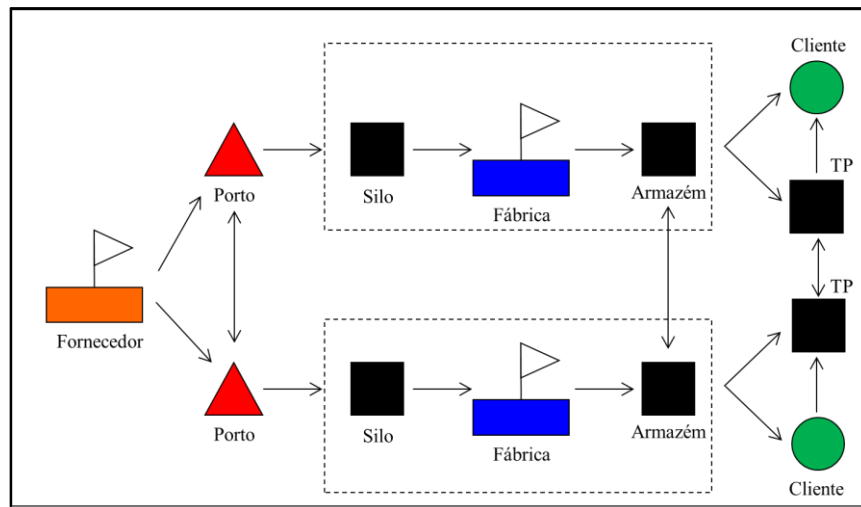
Transportador	Modal de Transporte	Capacidade (ton)
Veículo Van	Rodoviário	1,5
Veículo $\frac{3}{4}$	Rodoviário	4,0
Veículo Toco	Rodoviário	8,0
Veículo Truck	Rodoviário	14,0
Veículo Carreta	Rodoviário	24,0
Veículo Carreta Graneleira	Rodoviário	24,0
Navio 1	Marítimo	19.250,0
Navio 2	Marítimo	17.600,0
Navio 3	Marítimo	20.300,0
Navio 4	Marítimo	25.400,0
Navio 5	Marítimo	12.300,0
Navio 6	Marítimo	25.780,0
Navio 7	Marítimo	13.200,0
Navio 8	Marítimo	24.400,0
Navio 9	Marítimo	17.000,0

Fonte: Empresa.

Além das restrições de capacidade das instalações e transporte, a fim de reproduzir as operações da empresa, foram impostas ao Cenário 0 restrições de fluxo de abastecimento das fábricas, transferências entre os armazéns e distribuição aos clientes. Esses fluxos determinam a relação origem-destino do transporte das matérias-primas e produtos acabados na rede de distribuição.

Portanto, é possível representar genericamente todas as relações origem-destino que foram consideradas no desenvolvimento da modelagem das operações reais da empresa por meio da Figura 8.

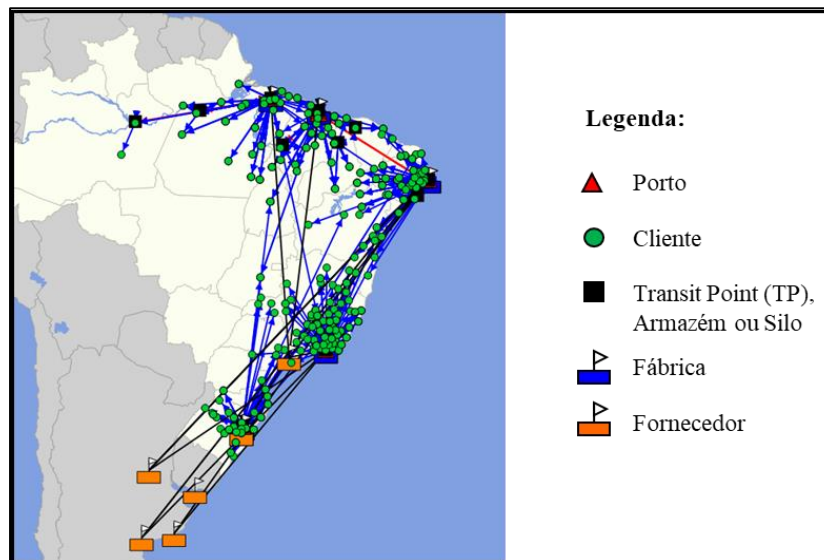
Figura 8 – Relação origem-destino



Fonte: Autor.

Analogamente, os fluxos de origem-destino que representam o Cenário 0, considerando os fornecedores, fábricas, armazéns e clientes da rede de distribuição mapeada, estão representados no mapa por meio da Figura 9.

Figura 9 – Fluxos: Cenário 0



Fonte: Autor⁸.

4.1.2 Resultados do Cenário 0

Portanto, com o propósito de validar o Cenário 0, os resultados obtidos foram comparados com o DRE gerencial, fornecido pela empresa, do exercício de janeiro a

⁸ Utilizado o software IBM ILOG LOGICNET PLUS XE 7.2.

dezembro de 2017, conforme Tabela 13. A fim de fazer a equivalência dos resultados do Cenário 0 com o DRE gerencial, o custo do produto de revenda foi incluído na linha do custo da matéria-prima.

As taxas de câmbio utilizadas para as conversões das moedas foram baseadas na cotação de fechamento do câmbio em 29 de dezembro de 2017 (BANCO CENTRAL DO BRASIL), por ser o mesmo ano base do período estudado: libras esterlinas para o real com a taxa de R\$4,47; e dólar americano para real com a taxa de R\$3,31.

Em relação ao imposto, foram aplicadas as alíquotas efetivas conforme ANEXO B. Nesta pesquisa, análogo ao trabalho de Junqueira e Morabito (2008), o ICMS foi considerado como um componente econômico-financeiro relacionado à logística, logo, incluído no custo logístico total, pois seu resultado pode influenciar diretamente no fluxo de distribuição dos produtos acabados e impactar decisões na rede.

Tabela 13 – Validação do Cenário 0

Item	DRE* (R\$ mil)	Custo sobre Receita (%)	Cenário 0 (R\$ mil)	Custo sobre Receita (%)	Varição (%)
Receita bruta de vendas	890.489	-	889.886	-	-0,07
Custo da matéria-prima	521.054	58,6	517.327	58,1	-0,72
Custo logístico total	147.519	16,6	147.770	16,6	0,17
Imposto sobre vendas	25.257	2,8	25.415	2,9	0,63
Frete – Fábrica para Armazém	60.854	6,8	58.352	6,6	-4,11
Frete – Armazém para Armazém	12.615	1,4	13.206	1,5	4,68
Frete – Armazém para Cliente	48.793	5,5	50.797	5,7	4,11

Fonte: Autor.

*Dados obtidos do DRE gerencial do exercício 2017 fornecido pela empresa e adaptados pelo Autor.

Considerando o Cenário 0, pode-se perceber que as decisões logísticas nesta rede de distribuição podem ser relevantes para a contribuição do resultado empresarial, dado que o custo logístico total representa 16,6% da receita de vendas. Ademais, como as variações dos resultados entre os Cenários 1 e 0 foram menores que 5,0% em cada item, foi possível validar que a modelagem é aderente à realidade dos resultados empresariais do exercício 2017. Assim sendo, foi possível determinar um cenário referencial para a comparação dos resultados com os cenários futuros.

Após o desenvolvimento da modelagem da situação real, com o propósito de mensurar o impacto econômico-financeiro que a variável custo de CO₂ representa na rede de

distribuição desta pesquisa, foram aplicados os fatores de emissão para os fluxos de abastecimento e distribuição, tanto para os transportes terrestres como para os marítimos, bem como o fator de emissão médio do ano de 2017 para a geração de energia elétrica, conforme ANEXO A.

Tabela 14 – Cenário 0: custo de CO₂ por fonte de emissão

Fonte de emissão	Custo de CO₂ (R\$ mil)	Participação (%)
Transporte rodoviário	1.465	74,4
Transporte marítimo	419	21,3
Energia elétrica	85	4,3
Total de emissão	1.969	100,0

Fonte: Autor.

O resultado do custo de CO₂ emitido pela rede de distribuição, no Cenário 0, foi de R\$1,969 milhões, sendo a principal fonte de emissão o transporte rodoviário, com 74,4%, seguido do transporte marítimo, com 21,3%, e consumo de energia elétrica, com 4,3%. Ainda, nota-se que o custo de CO₂ representou 1,33% do custo logístico total (R\$1.969 milhões em R\$147.770 milhões).

A fim de possibilitar a análise das alterações da rede nos próximos cenários em relação ao Cenário 0, a Tabela 15 apresenta a demanda atendida por origem, a partir de algum armazém de expedição ou TP.

Tabela 15 – Cenário 0: demanda por origem

Origem	Demanda (ton)	Participação (%)
Armazém Rio de Janeiro	212.406	33%
Armazém Recife	157.503	24%
Armazém Belém	116.705	18%
Armazém São Luís	64.150	10%
Armazém Canoas	63.900	10%
TP Maceió	10.559	2%
TP Teresina	8.675	1%
TP Imperatriz	6.474	1%
TP Santarém	5.824	1%
TP Manaus	4.201	1%
TP Tianguá	1.697	0%
Total	652.094	100%

Fonte: Autor.

A demanda total atendida foi de aproximadamente 652 mil ton. O Armazém Rio de Janeiro é o maior distribuidor, atendendo 33% da demanda total, seguido do Armazém Recife (24%) e Armazém Belém (18%).

Por fim, a Tabela 16 permite analisar o nível de atendimento aos clientes por faixa de distância.

Tabela 16 – Cenário 0: atendimento por faixa de distância

Distância (km)	Demanda (ton)	Demanda (%)	Demanda acumulada (%)
até 500	588.700	90,3%	90,3%
de 501 a 1.000	55.190	8,5%	98,7%
de 1.001 a 1.500	7.017	1,1%	99,8%
de 1.501 a 2.000	928	0,1%	100,0%
a partir de 2.000	258	0,0%	100,0%
Total	652.094	100,0%	100,0%

Fonte: Autor.

A primeira faixa de atendimento, até 500 km, representa 90,3% da demanda total e 98,7% dos clientes são atendidos até 1.000 km do armazém. Esse resultado demonstra o nível de atendimento com todos os TP abertos e atendendo às demandas dos clientes.

4.2 CENÁRIO 1 (CUSTO EFICIENTE)

Nesta etapa da pesquisa, para o desenvolvimento do Cenário 1, a otimização considerada teve o objetivo de redução de custos, e as restrições de fluxo de distribuição, a partir do armazém de expedição e TP, foram relaxadas - ou seja, a relação origem-destino (armazém-cliente ou TP-cliente) não foi submetida às relações predefinidas no Cenário 0.

Dessa forma, no Cenário 1 foi possível selecionar os fluxos de distribuição com o menor custo para cada cliente e, portanto, encontrar a configuração da rede de distribuição que resulta em um cenário custo eficiente (de menor custo logístico total) para o atendimento da demanda dos clientes.

A Tabela 12 apresenta os resultados econômico-financeiros obtidos no Cenário 1 e compara-os com os resultados do Cenário 0.

Tabela 17 – Resultados: Cenário 1

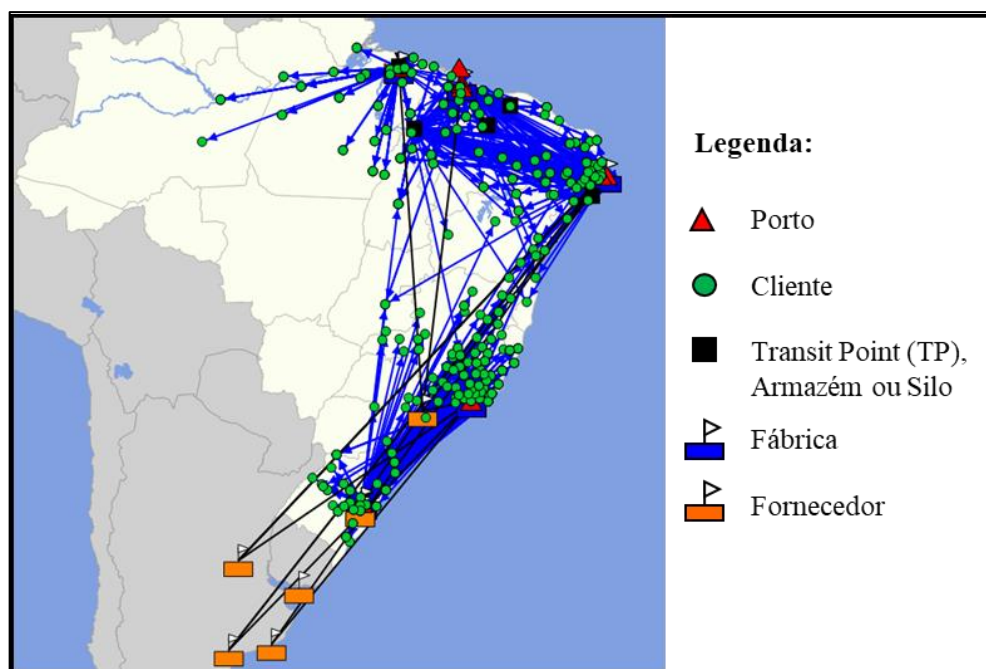
Item	Cenário 0 (R\$ mil)	Cenário 1 (R\$ mil)	Varição (R\$ mil)	Varição (%)
Receita bruta de vendas	889.886	889.886	-	-
Custo logístico total	147.770	142.835	-4.935	-3,3
Imposto sobre vendas	25.415	20.934	-4.481	-17,6
Frete – Fábrica para Armazém	58.352	55.712	-2.640	-4,5
Frete – Armazém para Armazém	13.206	14.161	955	7,2
Frete – Armazém para Cliente	50.797	52.028	1.231	2,4

Fonte: Autor.

O resultado do Cenário 1 indicou o fechamento do TP Manaus e TP Santarém e atingiu uma redução de R\$4,935 milhões no custo logístico total da rede de distribuição. Por meio da Tabela 17, pode-se perceber que o ganho foi alavancado pela redução de 17,6% no imposto sobre vendas (R\$4,481 milhões) devido ao aproveitamento das diferentes alíquotas de ICMS incidentes nas vendas interestaduais. Esse resultado é reforçado pelo aumento concomitante do frete do armazém para o cliente em R\$1,231 milhões, pois, para reduzir o custo logístico total por meio do imposto sobre vendas foi necessário aumentar as distâncias percorridas no transporte de último trecho (em inglês, *last mile*).

A Figura 10 demonstra os fluxos de distribuição resultantes da otimização do Cenário 1.

Figura 10 – Fluxos: Cenário 1



Fonte: Autor⁹.

⁹ Utilizado o software IBM ILOG LOGICNET PLUS XE 7.2.

A representação dos fluxos de Cenário 1 indica que os fluxos de distribuição da rede foram diferentes dos resultados do Cenário 0. Percebe-se o aumento das distâncias percorridas em relação ao Cenário 0 e o fechamento do TP Manaus e TP Santarém.

A Tabela 18 apresenta a comparação dos resultados do custo de CO₂, por fonte de emissão, entre o Cenário 0 e Cenário 1.

Tabela 18 – Comparação: custo de CO₂ por fonte de emissão entre Cenário 0 e Cenário 1

Fonte de emissão	Custo de CO ₂ Cenário 0 (RS mil)	Custo de CO ₂ Cenário 1 (RS)	Varição (%)
Transporte rodoviário	1.465	1.971	34,5
Transporte marítimo	419	406	-3,1
Energia elétrica	85	85	0,0
Total de emissão	1.969	2.462	25,0

Fonte: Autor.

Apesar da redução de custo logístico total, o custo de emissão de CO₂ aumentou em 25,0% (ou R\$493 mil) em relação ao Cenário 0 (Tabela 18). Esse aumento foi predominante no transporte rodoviário (34,5%) devido ao aumento das movimentações de transferências entre os armazéns.

A Tabela 19 demonstra como ficou a demanda atendida por origem no Cenário 1 e compara os resultados com o Cenário 0.

Tabela 19 – Cenário 1 vs. Cenário 0: demanda por origem

Origem	Cenário 0 (ton)	Cenário 1 (ton)	Varição (ton)	Varição (%)
Armazém Rio de Janeiro	212.405	180.526	-31.878	-15
Armazém Recife	157.503	148.444	-9.059	-5,8
Armazém Belém	116.705	126.730	10.025	8,6
Armazém São Luís	64.150	44.412	-19.738	-30,8
Armazém Canoas	63.900	95.778	31.878	49,9
TP Maceió	10.559	10.710	150	1,4
TP Teresina	8.675	10.679	2.003	23,1
TP Imperatriz	6.474	31.795	25.321	391,1
TP Santarém	5.824	-	-5.824	-100
TP Manaus	4.201	-	-4.201	-100
TP Tianguá	1.697	3.020	1.322	77,9
Total	652.094	652.094	-	-

Fonte: Autor.

Ao analisar os resultados do Cenário 1 em relação ao Cenário 0, percebe-se que toda demanda que era atendida pelo TP Manaus (4.201 ton) e TP Santarém (5.824 ton) no Cenário 0 foi transferida para o Armazém Belém, o qual apresentou um acréscimo de 8,6% (ou 10.025 ton) em relação ao resultado no Cenário 0. Portanto, ambos os TP foram fechados no Cenário 1.

Por outro lado, no Cenário 1, parte das demandas antes atendidas pelo Armazém Recife e Armazém São Luís migraram para o TP Imperatriz, TP Maceió, TP Teresina e TP Tianguá. Por fim, o Armazém Canoas teve um acréscimo de 49,9% de expedições (31.878 ton) que antes eram atendidas pelo Armazém Rio de Janeiro.

A Tabela 20 indica o nível de atendimento por faixa de distância que resultou do Cenário 1.

Tabela 20 – Cenário 1: atendimento por faixa de distância

Distância (km)	Cenário 0 (ton)	Cenário 0 (%)	Cenário 1 (ton)	Cenário 1 (%)	Variação (%)
até 500	588.700	90,3%	511.800	78,5%	-13,1
de 501 a 1.000	55.190	8,5%	76.137	11,7%	38,0
de 1.001 a 1.500	7.017	1,1%	30.991	4,8%	341,7
de 1.501 a 2.000	928	0,1%	32.515	5,0%	3.403,8
a partir de 2.000	258	0,0%	651	0,1%	152,3
Total	652.094	100,0%	652.094	100,0%	-

Fonte: Autor.

Por meio da análise do percentual de atendimento na primeira faixa de distância, até 500 km, nota-se que o atendimento reduziu em 13,1% - passou de 90,3% no Cenário 0 para 78,5% no Cenário 1. Essa diferença foi distribuída ao longo das próximas faixas, sendo que a faixa entre 1.500 km a 2.000 km a que recebeu o maior aumento (3.403,8%). Esses resultados são explicados pela maior distância entre o ponto armazém de origem e os clientes devido ao fechamento dos 2 (dois) TP.

Portanto, por meio do desenvolvimento do Cenário 1, pode-se concluir que existe uma configuração da rede de distribuição “custo eficiente” que atende à demanda total de 652.094 ton (Tabela 20) e atinge um custo total inferior ao obtido no Cenário 0.

Além disso, esta etapa da pesquisa ratifica a existência de um *trade-off* entre o objetivo de redução dos custos e o custo de emissão de CO₂, bem como o *trade-off* entre o objetivo de redução de custo e a penalização do nível do atendimento aos clientes.

4.3 CENÁRIO 2 (ECOEFICIENTE)

Nesta etapa da pesquisa, o objetivo da pesquisa reside em encontrar uma configuração das instalações (Cenário 2) que apresente redução no custo de emissão de CO₂ concomitantemente à redução no custo total da rede de distribuição, em relação ao Cenário 0.

Como foi possível perceber por meio do Cenário 1, ao retirar as restrições de fluxo, o custo de emissão de CO₂ aumenta, ao passo que as restrições são eliminadas - posto que as vantagens na redução do imposto sobre vendas contribuem fortemente para a redução do custo total.

Portanto, nesta etapa, as restrições de fluxo foram mantidas como predefinidas no Cenário 0, a fim de forçar a redução das distâncias percorridas na rede de distribuição, dessa forma, a otimização do Cenário 2 não contribui prioritariamente para a redução dos custos totais por meio das oportunidades tributárias da rede de distribuição.

A fim de permitir encontrar a solução ecoeficiente, analogamente à pesquisa realizada por Bing, Bloemhof-Ruwaard e Vorst (2012), foram testados diferentes cenários otimizados em custo, conforme Tabela 21.

Tabela 21 – Cenários ecoeficientes

Item	3 TP (R\$ mil)	2 TP (R\$ mil)	1 TP (R\$ mil)	Sem TP (R\$ mil)
Número de TP ativos	3	2	1	0
Custo de CO₂	1.873	1.868	1.862	1.860
Custo logístico total	147.666	146.471	146.735	146.662
Imposto sobre vendas	26.589	26.303	26.410	26.871
Frete – Fábrica para Armazém	58.352	58.352	58.352	58.352
Frete – Armazém para Armazém	10.080	9.100	8.929	8.207
Frete – Armazém para Cliente	52.445	52.716	53.044	53.232

Fonte: Autor.

Percebe-se que todas as alternativas de configuração testadas na Tabela 21 permitiram redução dos custos e redução do CO₂, simultaneamente, em relação ao Cenário 0. No entanto, a alternativa que resulta no menor custo logístico total foi a configuração da rede com 2 TP (R\$146,471 milhões), portanto, esta foi considerada como a solução ecoeficiente para a rede de distribuição.

Posto isto, a Tabela 22 demonstra a comparação entre os resultados da rede ecoeficiente (Cenário 1) em relação aos resultados da rede custo eficiente (Cenário 0).

Tabela 22 – Cenário 2: ecoeficiente

Item	Cenário 0 (R\$ mil)	Cenário 2 (R\$ mil)	Diferença (R\$ mil)	Variação (%)
Custo de CO₂	1.969	1.868	-101	-5,1
Custo logístico total	147.770	146.471	-1.299	-0,9
Imposto sobre vendas	25.415	26.303	888	3,5
Frete – Fábrica para Armazém	58.352	58.352	-	-
Frete – Armazém para Armazém	13.206	9.100	-4.106	-31,1
Frete – Armazém para Cliente	50.797	52.716	1.919	3,8

Fonte: Autor.

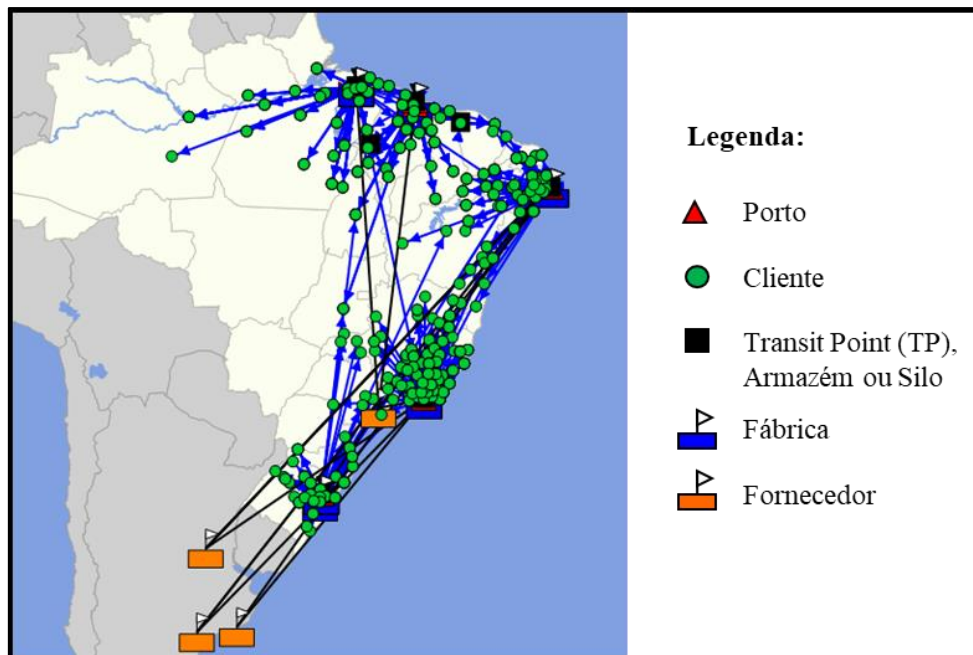
A partir dos resultados da Tabela 22, percebe-se que o Cenário 2 atingiu simultaneamente a redução de 5,1% no custo de emissão de CO₂ e 0,9% no custo total. O atingimento da ecoeficiência, no Cenário 2, foi resultado do fechamento do TP Manaus, TP Santarém, TP Teresina e TP Maceió. O fechamento dos 4 (quatro) TP contribuiu para a redução de R\$4,106 milhões (-31,1%) no frete de transferência entre os armazéns, em relação ao Cenário 0.

Dado que não houve alteração na rota marítima em relação ao Cenário 0, o frete entre a fábrica e o armazém não teve variação. Já o imposto sobre vendas aumentou em 3,8% no Cenário 2 em relação ao Cenário 0, pois, com o fechamento de 4 TP, os clientes passaram a ser atendidos diretamente dos armazéns de expedição (no mesmo local onde estão as fábricas), e, portanto, a otimização não aproveitou as rotas com as menores alíquotas efetivas de imposto como ocorreu no Cenário 0.

Ainda, pode-se perceber que o custo de CO₂ no Cenário 2 (R\$1.868 milhões) representou 1,28% do custo logístico total (R\$146.471 milhões). Dessa forma, houve a redução na representatividade do custo de CO₂ em relação ao resultado apresentado no Cenário 0 (1,33%).

A configuração da rede no Cenário 2, com a manutenção do TP Tianguá e TP Imperatriz, é demonstrada na Figura 11.

Figura 11 – Fluxos: Cenário 2



Fonte: Autor.

Com a imposição das restrições, os fluxos de distribuição no Cenário 2 ficaram semelhantes aos fluxos da rede do Cenário 0. Isso fez com que o imposto sobre as vendas não fosse o principal fator de redução de custos.

A Tabela 23 apresenta a comparação da demanda por origem entre o Cenário 2 e Cenário 0.

Tabela 23 – Cenário 2 vs. Cenário 0: demanda por origem

Origem	Cenário 0 (ton)	Cenário 2 (ton)	Variação (ton)	Variação (%)
Armazém Belém	116.705	126.730	10.025	8,6%
TP Manaus	4.201	-	-4.201	-100,0%
TP Santarém	5.824	-	-5.824	-100,0%
Armazém Recife	157.503	168.063	10.559	6,7%
Armazém São Luís	64.150	72.826	8.675	13,5%
TP Imperatriz	6.474	6.474	0	0,0%
TP Maceió	10.559	-	-10.559	-100,0%
TP Teresina	8.675	-	-8.675	-100,0%
TP Tianguá	1.697	1.697	-	0,0%
Armazém Canoas	63.900	63.900	-	0,0%
Armazém Rio de Janeiro	212.405	212.405	-	0,0%
Total	652.094	652.094	-	0,0%

Fonte: Autor.

Percebe-se que a demanda que era atendida no Cenário 0 pelo TP Manaus (4.201 ton) e TP Santarém (5.824 ton) migrou no Cenário 2 para o Armazém Belém (que aumentou 10.025) - analogamente ao resultado do Cenário 1, que reduziu os custos por meio do fechamento dos mesmos TP. Além disso, as demandas atendidas no Cenário 0 pelo TP Teresina (8.675 ton) migraram para o Armazém São Luís (que aumentou em 8.675 ton no Cenário 2) e a demanda do TP Maceió (10.559 ton) migrou para o Armazém Recife (que aumentou em 10.559 ton). Ademais, nota-se, por meio do resultado da Tabela 23, que foi possível manter o atendimento às demandas de todos os clientes (652.094 ton).

Portanto, esta etapa da pesquisa confirma que foi possível atingir a ecoeficiência da rede de distribuição por meio do fechamento de 4 TP. Dessa forma, demonstrou-se possível encontrar uma configuração que atingisse os objetivos de redução de custo total e redução de custo de CO₂, simultaneamente.

A Tabela 24 indica o nível de atendimento por faixa de distância que resultou do Cenário 2.

Tabela 24 – Cenário 2: atendimento por faixa de distância

Distância (km)	Cenário 0 (ton)	Cenário 0 (%)	Cenário 2 (ton)	Cenário 2 (%)	Variação (%)
até 500	588.700	90,3%	577.932	88,6%	-1,8
de 501 a 1.000	55.190	8,5%	61.732	9,5%	11,9
de 1.001 a 1.500	7.017	1,1%	7.042	1,1%	0,4
de 1.501 a 2.000	928	0,1%	5.129	0,8%	452,7
a partir de 2.000	258	0,0%	258	0,04%	-
Total	652.094	100,0%	652.094	100,0%	-

Fonte: Autor.

Analisando o resultado do atendimento da primeira faixa de distância, até 500 km, nota-se que o houve redução de 1,8% no Cenário 2 em relação ao Cenário 0. Essa diferença foi distribuída nas faixas seguintes, sendo que a faixa entre 1.501 a 2.000 km teve o maior aumento (452,7%). Essa redução do nível de atendimento é devido ao Cenário 2 possuir 4 TP a menos que o Cenário 0, logo, os armazéns estão mais distantes dos clientes.

Assim, com o desenvolvimento do Cenário 2, foi possível demonstrar a existência de uma solução ecoeficiente factível, por meio da redução da quantidade de TP na rede de distribuição. Todavia, as limitações desta modelagem são pontos relevantes para a tomada de decisão da rede, pois, à medida que os resultados do Cenário 2 evidenciaram a viabilidade da rede ecoeficiente, os impactos na receita de vendas decorrentes das variações de atendimento

às demandas e os custos de fechamento dos TP não foram considerados na modelagem, sendo estes pontos, oportunidades de continuidade da pesquisa.

4.4 COMPARATIVO DOS RESULTADOS DOS CENÁRIOS

Esta seção dedica-se à análise dos cenários custo eficiente (Cenário 1) e ecoeficiente (Cenário 2) em relação ao cenário base (Cenário 0).

A Tabela 25 apresenta o comparativo dos resultados de custo logístico total em relação à emissão de CO₂ (em custo e toneladas), do Cenário 1 e Cenário 2 comparando-os com o Cenário 0.

Tabela 25 – Comparativo dos cenários: custo logístico total e CO₂

Item	Cenário 0 (base)	Cenário 1 (custo eficiente)	Cenário 2 (ecoeiciente)	Varição 1*	Varição 2**
Custo de CO ₂ (R\$ mil)	1.969	2.462	1.868	493	-101
Custo logístico total (R\$ mil)	147.770	142.835	146.471	-4.935	-1.299
tCO ₂	105.106	134.415	99.736	26.309	-5.370

Fonte: Autor.

*Varição 1: diferença entre os resultados do Cenário 1 (custo eficiente) em relação ao Cenário 0 (base).

**Varição 2: diferença entre os resultados do Cenário 2 (ecoeiciente) em relação ao Cenário 0 (base).

Nota-se que apesar do cenário ecoeficiente conseguir a redução de custos logísticos totais de R\$1,299 milhões, o melhor resultado financeiro é alcançado no Cenário 1, o qual atinge a redução de R\$4,935 milhões, em relação ao Cenário 0. Dessa forma, para que fosse atrativo financeiramente para a empresa a implantação do cenário ecoeficiente, seria necessária a compensação financeira da diferença do custo logístico total entre o Cenário 1 e Cenário 2 (-R\$3.636¹⁰). Para que isso seja possível, a empresa deve vender os créditos de carbono gerados no cenário ecoeficiente (-R\$101 mil) a partir de R\$36,00/tCO₂.

A Tabela 26 demonstra o comparativo dos resultados do Cenário 1 e Cenário 2, quanto ao custo logístico total, custo de CO₂ e nível de atendimento em relação ao Cenário 0.

¹⁰ Valor da diferença entre a redução do custo logístico total no Cenário 1 (-R\$4,935) e a redução do custo logístico total no Cenário 2 (-R\$1.299).

Tabela 26 – Comparativo dos cenários: custo e atendimento

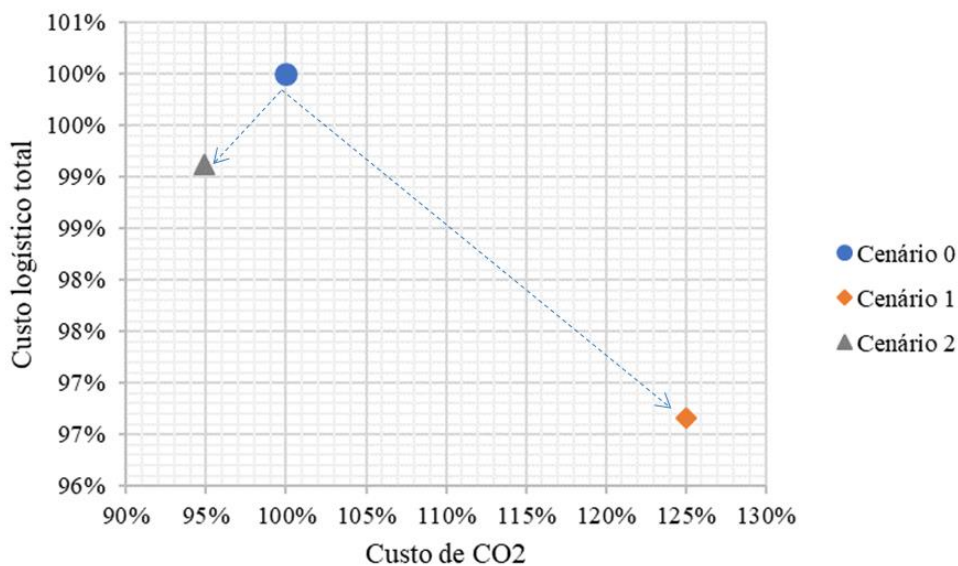
Item	Cenário 0 (base)	Cenário 1 (custo eficiente)	Cenário 2 (ecoeiciente)
TP ativos (#)	6	4	2
Atendimento ao cliente até 500 km (%)	90,3%	78,5%	88,6%
Custo logístico total (R\$ mil)	147.770	142.835	146.471
Custo de CO ₂ (R\$ mil)	1.969	2.462	1.868
Custo logístico total (%)	100,0%	96,7%	99,1%
Custo de CO ₂ (%)	100,0%	125,1%	94,9%

Fonte: Autor.

No Cenário 1, a redução do custo logístico total, em relação ao Cenário 0, impactou o nível de atendimento ao cliente até 500 km, que passou de 90,3% para 78,5%. No entanto, no Cenário 2, ao apresentar um custo logístico total maior que o Cenário 1 (R\$146,770 milhões versus R\$142,835 milhões, respectivamente), o nível de atendimento ao cliente, até 500 km, ficou no patamar de 88,6%.

A relevância do nível de atendimento ao cliente reside no risco existente da geração de receita de vendas. Apesar desta pesquisa ter mensurado a variação do atendimento oriunda de diferentes configurações de redes logísticas, não foi abordado na modelagem dos cenários qualquer tipo de penalidade na receita de vendas, sendo assim, esse tema figura como uma oportunidade de continuidade desta pesquisa.

A Figura 12 apresenta o comparativo gráfico do *trade-off* entre o custo logístico total e o custo de CO₂.

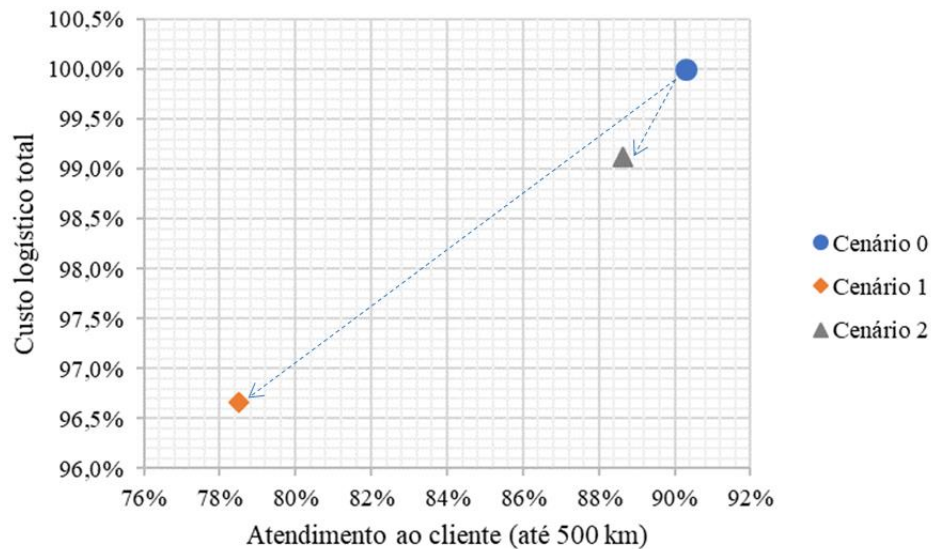
Figura 12 – *Trade-off*: custo logístico total vs. custo de CO₂

Fonte: Autor.

Nota-se que não foi evidenciada a existência de *trade-off* entre o custo logístico total e o custo de CO₂, pois, com o desenvolvimento do Cenário 2 foi possível encontrar um cenário que demonstrasse o atingimento concomitante de ambos objetivos. Dessa forma, a demonstração da viabilidade de um cenário ecoeficiente em uma pesquisa acadêmica alicerçada em dados empíricos contribui para o esclarecimento aos acadêmicos e gestores de logística.

A Figura 13 apresenta o comparativo gráfico dos resultados entre o custo logístico total e nível de atendimento ao cliente.

Figura 13 – *Trade-off*: custo logístico total vs. atendimento ao cliente



Fonte: Autor.

Portanto, percebe-se que a pesquisa demonstrou uma tendência de existência de *trade-off* entre o custo logístico total e o nível de atendimento ao cliente, pois identificou que à medida que o custo logístico total reduziu, o atendimento ao cliente teve um impacto negativo tanto no Cenário 1 como no Cenário 2.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O projeto de rede de distribuição é uma decisão estratégica importante para o ganho da competitividade e para a manutenção da sustentabilidade empresarial sob a ótica do TBL. Sob a perspectiva econômico-financeiro, o projeto de rede de distribuição contribui para o TBL à medida que permite a redução dos custos logísticos totais. Já sob o espectro ambiental, o projeto de rede permite o replanejamento das instalações de modo que o custo de CO₂ seja reduzido e, portanto, atende às regulações e pressões internacionais que indicam maior preocupação com o meio ambiente.

Ao aplicar a otimização em uma rede de distribuição real, em uma empresa que fabrica e vende farinha de trigo no Brasil, este trabalho respondeu à questão de pesquisa, apresentada na seção 1.4, ao passo que demonstrou as diferenças no projeto de rede de distribuição quando incluída a variável ambiental custo de CO₂ (por meio da elaboração de um cenário ecoeficiente, apresentado na seção 4.3) em relação ao projeto de rede de distribuição com o objetivo tradicional de redução de custos (com o desenvolvimento de um cenário custo eficiente, apresentado na seção 4.2), em uma empresa alimentícia que fabrica e comercializa farinha de trigo no território nacional.

No cenário custo eficiente foi possível reduzir os custos, porém, houve o aumento da emissão do CO₂, pois, no Brasil, o ICMS faz com que a rota de entrega não seja a de menor distância – o custo de transporte é acrescido, mas o custo logístico total é compensado pela redução do custo tributário (FRIAS; FARIAS; WANKE, 2013).

No entanto, no cenário ecoeficiente, houve a redução do CO₂, mas a rede não obteve a mesma redução de custo gerada pelo cenário custo eficiente. Portanto, para que esta alternativa seja viável para a empresa, é necessário que o CO₂ economizado seja convertido em receita por meio da comercialização de créditos de carbono. Logo, esta alternativa é viável economicamente, desde que a venda desses créditos de carbono alcance o preço de R\$36,00 por tonelada.

Nesse sentido, esta pesquisa permitiu mensurar o impacto econômico-financeiro que o custo de CO₂, oriundo das atividades de transporte (por meio do consumo de combustível) e fabricação (por meio do consumo de energia elétrica), exerce no projeto da rede de distribuição estudada.

Além disso, com o desenvolvimento do cenário ecoeficiente, a pesquisa corroborou com o trabalho de Colicchia *et al.* (2015), pois foi possível comprovar a existência de uma

alternativa de configuração das instalações, por meio da redução da quantidade de TP, que reduz simultaneamente o custo total e o custo de CO₂.

Deste modo, encontrar esta alternativa de solução é relevante, visto que diversos autores buscaram uma solução ecoeficiente para a rede de distribuição, no entanto, não foram todas as pesquisas que obtiveram sucesso no atingimento desse objetivo.

Logo, corrobora com o resultado apresentado por Kadziński *et al.* (2017) e contribuiu para o meio acadêmico e para os profissionais de logística, pois, demonstrou como a configuração das instalações (por meio dos TP) foi impactada quando adotados os objetivos de redução de custo logístico total e redução de custo de CO₂, simultaneamente. Essa contribuição torna-se relevante, visto que a revisão da literatura demonstrou que não existe um consenso sobre as alterações no projeto de rede de distribuição ao incluir a variável ambiental custo de CO₂ em seus objetivos e que existe um desalinhamento entre academia e indústria sobre o projeto de rede de distribuição ecoeficiente (NIKOLOPOULOU; IERAPETRITOU, 2012).

Ademais, esta dissertação contribui para o desenvolvimento do conhecimento acadêmico sobre o projeto de rede de distribuição, à medida que complementa o *framework* referencial de Mangiaracina, Song e Perego (2015) na seção 2.1.4, ao incluir o grupo de fatores “variáveis ambientais”, representados pelo CO₂ e emissão de material particulado, com base na revisão sistemática da literatura recente.

Apesar deste trabalho assumir a recomendação de John, Sridharan e Kumar (2017) ao incorporar ao projeto de rede de distribuição diferentes tipos de veículos na mensuração do custo de CO₂, adotando para cada tipo um fator distinto, não foram desenvolvidos cenários de otimização com diferentes configurações da frota disponível a fim de entender o seu impacto no custo de CO₂ emitido pela rede de distribuição.

Além disso, uma limitação desta pesquisa reside no fato de não ter abordado a compreensão do resultado da variação do atendimento ao cliente na geração de receita de vendas, o que pode ser um fator relevante para a tomada de decisão sobre o fechamento ou não de instalações na rede de distribuição.

Por fim, foi possível ratificar o atingimento de duas dimensões do TBL, a ambiental e a econômico-financeira, no entanto, o aspecto social não foi abordado na pesquisa. Além disso, esta pesquisa não mensurou o “impacto verde” na imagem da empresa como um ganho para a competitividade empresarial.

Logo, os pontos não abordados nesta pesquisa seguem como oportunidades de pesquisas futuras para os projetos de rede ecoeficientes. Ainda, dado que foi demonstrado que

o ICMS impactou o custo logístico total, recomenda-se que futuros trabalhos aprofundem o entendimento do ICMS no projeto de rede no que tange os aspectos econômico-financeiros, logísticos e, também, em relação ao viés da sustentabilidade ambiental para o projeto de rede de distribuição.

REFERÊNCIAS

- ALA-HARJA, H.; HELO, P. Reprint of green supply chain decisions: case-based performance analysis from the food industry. 2015. **Transportation Research Part E**, v. 74, p. 11-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.12.005>. Disponível em: <https://bit.ly/2ScqmD3>. Acesso em: 20 out. 2018.
- AMBROSINO, D.; SCUTELLA, M.G. Distribution network design: new problems and related models. 2005. **European Journal of Operational Research**, v. 165, n. 3, p. 610-624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.04.009>. Disponível em: <https://bit.ly/2TxHbVz>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- AMEKNASSI, L.; AÏT-KADI, D.; REZG, N. Integration of logistics outsourcing decisions in a green supply chain design: a stochastic multi-objective multi-period multi-product programming model. 2016. **International Journal of Production Economics**, v. 182, p. 165-184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.031>. Disponível em: <https://bit.ly/2SCPYS5>. Acesso: em 10 nov. 2018.
- AMIRI, A. Designing a distribution network in a supply chain system: formulation and efficient solution procedure. 2006. **European Journal of Operational Research**, v. 171, p. 567-576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.09.018>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221704006435>. Acesso em: 17 maio 2018.
- BALLOU, Ronald. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: logística empresarial. 6. ed. São Paulo: Bookman Companhia, 2006.
- BANASIK, A.; KANELLOPOULOS, A.; CLAASSEN, G.; BLOEMHOF-RUWAARD, J.; VORST, J. Closing loops in agricultural supply chains using multi-objective optimization: a case study of na industrial mushroom supply chain. 2017. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 409-420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.012>. Disponível em: <https://bit.ly/2TAQdkv>. Acesso em: 11 maio 2018.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Cotações e Boletins**: cotações de fechamento de todas as moedas em 29/12/2017. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/acessoinformacao/legado?url=https:%2F%2Fwww4.bcb.gov.br%2Fpec%2Ftaxas%2Fport%2Fptaxnpesq.asp>. Acesso em: 20 dez. 2018.
- BEIS - DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY. Updated short-term traded carbono values. Publicado em 2 de janeiro de 2018. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/updated-short-term-traded-carbon-values-used-for-uk-policy-appraisal-2017>. Acesso em: 22 ago. 2018.
- BING, X.; BLOEMHOF-RUWAARD, J.; VORST, J. 2014. Sustainable reverse logistics network design for household plastic waste. **Flexible Services and Manufacturing Journal**, v 26, p. 119-142. DOI: 10.1007/s10696-012-9149-0. Disponível em: <https://bit.ly/2UO2m60>. Acesso em: 10 set. 2018.
- BOUCHERY, Y.; GHAFARI, A.; JEMAI, Z.; FRANSOO, J. Sustainable transportation and order quantity: insights from multiobjective optimization. 2016. **Flexible Services and**

Manufacturing Journal, v. 28, n. 3, p. 367-396. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10696-016-9240-z>. Disponível em: <https://bit.ly/2HX1Scg>. Acesso em: 15 maio 2018.

BRANDENBURG, M., 2015. Low carbon supply chain configuration for a new product: a goal programming approach. 2015. **International Journal of Prododuction Research**, v. 53, p. 6588-6610. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2017-0188>. Disponível em: <https://bit.ly/2TyWVHD>. Acesso em: 22 maio 2018.

BROWN, J.; GUIFFRIDA, A. Carbon emissions comparison of last mile delivery versus customer pick-up. 2014. **International Journal of Logistics Research and Applications**, v. 17 n. 6, p. 503-521. DOI: 10.1080/13675567.2014.907397. Disponível em: <https://bit.ly/2WOiF4x>. Acesso em: 22 maio 2018.

BÜYÜKOZKAN, G.; G. CIFCI. Evaluation of the green supply chain management practices: a fuzzy ANP approach. 2012. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 23, n. 6, p. 405-418. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2011.561814>. Disponível em: <https://bit.ly/2WOWU9m>. Acesso em: 23 maio 2018.

CHEN, X.; WANG, X. Effects of carbon emission reduction policies on transportation mode selections with stochastic demand. 2016. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 90, p. 196-205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.11.008>. Disponível em: <https://bit.ly/2ROF10E>. Acesso em: 22 maio 2018.

CHESHMEHGAZ, H. R.; DESA, M.I.; WIBOWO, A. A flexible three-level logistic network design considering cost and time criteria with a multi-objective evolutionary algorithm. 2013. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 24, p. 277-293. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-011-0584-7>. Disponível em: <https://bit.ly/2DXhFnp>. Acesso em: 07 ago. 2017.

CHOWDHURY, M.; QUADDUS, M. Supply chain resilience: conceptualization and scale development using dynamic capability theory. 2017. **International Journal production Economics**, v. 188, p. 185-204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527317301147>. Acesso em: 3 fev. 2018.

COLICCHIA, C.; CREAZZA, A.; DALLARI, F.; MELACINI, M. Eco-efficient supply chain networks: development of a design framework and application to a real case study. 2015. **Production Planning & Control**, v. 27, p. 157-168. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2015.1090030>. Disponível em: <https://bit.ly/2RLkSKr>. Acesso em: 19 ago. 2017.

CUI, J.; ZHAO, M.; LI, X.; PARSAFARD, M.; AN, S. Reliable design of an integrated supply chain with expedited shipments under disruption risks. 2016. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 95, p. 143-163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.09.009>. Disponível em: <https://bit.ly/2DZ8L8I>. Acesso em: 5 out. 2018.

DAS, C.; JHARKHARIA, S. Low carbon supply chain: a state-of-the-art literature review. 2018. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, p. 398-428. DOI:

<https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2017-0188>. Disponível em: <https://bit.ly/2TyWVHD>. Acesso em: 5 jan. 2019.

ELHEDHLI, S.; MERRICK, R. 2012. Green supply chain network design to reduce carbon emissions. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 17, p. 370-379. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.02.002>. Disponível em: <https://bit.ly/2HVckRd>. Acesso em: 3 jun. 2018.

FAHIMNIA, B; JABBARZADEH, A. Marrying supply chain sustainability and resilience: a match made in heaven. 2016. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 9, p. 306-324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.02.007>. Disponível em: <https://bit.ly/2t8c4UU>. Acesso em: 19 jul. 2018.

FAHIMNIA, B; JABBARZADEH, A.; GHAVAMIFAR, A.; BELL, M. Supply chain design for efficient and effective blood supply in disasters. 2016. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 700-7009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.11.007>. Disponível em: <https://bit.ly/2BpW05z>. Acesso em: 19 jul. 2018.

FRIAS, L. F. M.; FARIAS, I. A.; WANKE, P. F. Planejamento de redes logísticas: um estudo de caso na indústria petroquímica brasileira. 2013. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 14, n. 4, p. 222-250. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-69712013000400009>. Disponível em: <https://bit.ly/2SsHDXZ>. Acesso em: 19 set. 2018.

GIMENEZ, C.; SIERRA, V.; RODON, J. Sustainable Operations: their impact on the triple bottom line. 2012. **International Journal of Production economics**, v. 140, p. 149-159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.035>. Disponível em: <https://bit.ly/2MSqsd7>. Acesso em: 5 jan. 2019.

GLOCK, C.; KIM, T. Coordinating a supply chain with a heterogeneous vehicle fleet under greenhouse gas emissions. 2015. **The International Journal of Logistics Management**, v. 26, n. 3, p. 494-516. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2013-0107>. Disponível em: <https://bit.ly/2SBHGAK>. Acesso em: 22 dez. 2018.

GREENSTONE, M.; KOPITS, E.; WOLVERTON, A. Developing a social cost of carbon for US regulatory analysis: a methodology and interpretation, 2013. **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 7, p. 23-46. DOI: <https://doi.org/10.1093/leep/res015>. Disponível em: <https://bit.ly/2taUK1u>. Acesso em: 20 maio 2018.

GVCES/FGV-EAESP. Gestão e precificação de carbono: riscos e oportunidades para instituições financeiras. 2018. Centro de Estudo em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVCES/FGC-EAESP).

HOEN, K.; TAN, T.; FRANSOO, J.; VAN HOUTUM, G. Effect of carbon emission regulations on transport mode selection under stochastic demand. 2014. **Flexible Service Manufacturing Journal**, v. 26, n. 1-2, p. 170-195. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10696-012-9151-6>. Disponível em: <https://bit.ly/2BrfZ3F>. Acesso em: 20 maio 2018.

HUANG, G.; LAU, J.; MAK, K.L. The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature. 2003. **International Journal of Production**

Research, v. 41 n. 7, p. 1483-1517. DOI: <https://doi.org/10.1080/0020754031000069625>. Disponível em: <https://bit.ly/2tcCyEO>. Acesso em: 20 maio 2018.

JAIN, V.; GROSSMANN, I. Algorithms for hybrid MILP/CP models for a class of optimization problems. 2011. **Inform Journal on Computing**, v. 13, n. 4, p. 258-276. DOI: <https://doi.org/10.1287/ijoc.13.4.258.9733>. Disponível em: <https://bit.ly/2Gwr0Eq>. Acesso em: 20 maio 2018.

JOHN, S.; SRIDHARAN, R. Modelling and analysis of network design for a reverse supply chain. 2015. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 26, n. 6, p. 853-867. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2014-0035>. Disponível em: <https://bit.ly/2HX2Uoz>. Acesso em: 15 set. 2017.

JOHN, S.; SRIDHARAN, R.; KUMAR, P. Multi-period reverse logistics network design with emission cost. 2017. **The International Journal of Logistics Management**, v. 28, n. 1, p. 127-149. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2015-0143>. Disponível em: <https://bit.ly/2RMzadx>. Acesso em: 15 set. 2018.

JUNQUEIRA, R. A. B.; MORABITO, R. Planejamento otimização da produção em logística de empresas produtoras de sementes de milho: um estudo de caso. 2008. **Gestão & Produção**, v. 15, n. 2, p. 367-380. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2008000200012>. Disponível em: <https://bit.ly/2SgG0gI>. Acesso em: 10 out. 2017.

KADZIŃSKI, M.; TERVONEN, T.; TOMCZYK, M. K.; DEKKER, R. Evaluation of multi-objective optimization approaches for solving green supply chain design problems. 2017. **Omega**, v. 68, p. 1680-184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.07.003>. Disponível em: <https://bit.ly/2Bo2RfE>. Acesso em: 12 set. 2018.

KRISTIANO, Y.; GUNASEKARAN, A.; HELO, P. Building the “TripleR” in global manufacturing. 2017. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 607–619. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.12.011>. Disponível em: <https://bit.ly/2USUm3N>. Acesso em: 3 ago. 2018.

KUMAR, R.; KONDAPANENI, K.; DIXIT, V.; GOSWAMI, A.; THAKUR, L.; TIWARI, M. Multi-objective modeling of production and pollution routing problem with time window: a self-learning particle swarm optimization approach. 2016. **Computers & Industrial Engineering**, v. 99, p. 29-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.07.003>. Disponível em: <https://bit.ly/2TIzITP>. Acesso em: 2 mar. 2018.

LAM, H.; VARBANOV, P.; KLEMES, J. Optimization of regional energy supply chains utilizing renewables: P-graph approach. 2010. **Computers and Chemical Engineering**, v. 34, n. 5, p. 782-792. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2009.11.020>. Disponível em: <https://bit.ly/2RMCpBE>. Acesso em: 25 set. 2018.

LI, J.; SU, Q.; MA, L. Production and transportation outsourcing decisions in the supply chain under single and multiple carbon policies. 2017. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 1109-1122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.157>. Disponível em: <https://bit.ly/2WO2i88>. Acesso em: 20 maio 2018.

LIM, M.; MAK, H.; SHEN, Z. Agility and proximity considerations in supply chain design. 2016. **Management Science**, v. 63, p. 1026-1041. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.2015.2380>. Disponível em: <https://bit.ly/2Sgs9Xz>. Acesso em: 15 abr. 2018.

LOON, P.; DEKETELE, L.; DEWAELE, J.; MCKINNON, A.; RUTHERFORD, C. A comparative analysis of carbon emissions from online retailing of fast moving consumer goods. 2015. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 478-486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.060>. Disponível em: <https://bit.ly/2BoFKli>. Acesso em: 20 maio 2018.

MACCHION, L.; MORETTO, A.; CANIATO, F.; CARIDI, M.; DANESE, P.; VINELLI, A. Production and supply network strategies within the fashion industry. 2015. **International Journal of Production Economics**, v. 185, p. 173-188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.006>. Disponível em: <https://bit.ly/2GfDmS0>. Disponível em 15 jun. 2018.

MANGIARACINA, R.; SONG, G.; PEREGO, A. Distribution network design: a literature review and a research agenda. 2015. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 45, p. 506-531. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2014-0035>. Disponível em: <https://bit.ly/2GgpDKE>. Acesso em: 20 maio 2018.

MELO, M.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F. Facility location and supply chain management: a review. 2009. **European Journal of Operational Research**, v. 196 n. 2, p. 401-412. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.007>. Disponível em: <https://bit.ly/2SA1DYy>. Acesso em: 15 jun. 2018.

MOHAMMED, A.; WANG, Q. The fuzzy multi-objective distribution planner for a green meat supply chain. 2017. **International Journal Production Economics**, v. 184, p. 47-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.11.016>. Disponível em: <https://bit.ly/2UHHPje>. Acesso em: 15 jun. 2018.

MOHAMMADDUST, F.; REZAPOUR, S.; FARAHANI, R.; MOFIDFAR, M.; HILL, A. Developing lean and responsive supply chains: a robust model for alternative risk mitigation strategies in supply chain designs. 2017. **International Journal of Production Economics**, v. 83, p. 632-653. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.09.012>. Disponível em: <https://bit.ly/2UQhUpV>. Acesso em: 15 set. 2018.

MÜLLER, E.; STOCK, T.; SCHILLIG, R. A method to generate energy value-streams in production and logistics in respect of time-and energy-consumption. 2014. **Production Engineering**, v. 8, p. 243-251. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-013-0516-9>. Disponível em: <https://bit.ly/2WKHgHz>. Acesso em: 20 maio 2018.

MUSAVI, M.; BOZORGI-AMIRI, A. A multi-objective sustainable hub location-scheduling problem for perishable food supply chain. 2017. **Computers & Industrial Engineering**, v. 113, p. 766-778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.07.039>. Disponível em: <https://bit.ly/2Dgxvb4>. Acesso em: 10 março 2018.

NIKOLOPOULOU, A.; IERAPETRITOU, M. Optimal design of sustainable chemical processes and supply chains: a review. 2012. **Computers & Chemical Engineering**, v. 44, p.

94-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.05.006>. Disponível em: <https://bit.ly/2SDJlpe>. Acesso em: 15 maio 2018.

NORDHAUS, W. Rolling the “DICE”: an optimal transition path for controlling greenhouse gases. 1993. **Resource and Energy Economics**, v. 15, p. 27-50. DOI: [https://doi.org/10.1016/0928-7655\(93\)90017-O](https://doi.org/10.1016/0928-7655(93)90017-O). Disponível em: <https://bit.ly/2TyptBm>. Acesso em: 12 set. 2018.

NURJANNI, K.; CARVALHO, M.; COSTA, L. Green supply chain design: a mathematical modeling approach based on a multi-objective optimization model. 2017. **International Journal of Production Economics**, v. 183, p. 421-432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.028>. Disponível em: <https://bit.ly/2SBSfDU>. Acesso em: 15 set. 2018.

PAKSOY, T.; BEKTAŞ, T.; ÖZCEYLAN, E. Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain. 2011. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 47, n. 4, p. 532-546. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2010.12.001>. Disponível em: <https://bit.ly/2DZFsTy>. Acesso em: 20 maio 2018.

PEREZ-FRANCO, R.; PHADNIS, S.; CAPLICE, C.; SHEFFI, Y. Rethinking supply chain strategy as a conceptual system. 2016. **International Journal of Production Economics**, v. 182, p. 384-396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.012>. Disponível em: <https://bit.ly/2SDaWHa>. Acesso em: 20 maio 2018.

PESSÔA, L. C.; SILVA, M. M.; CAMPANÁRIO, M. A. Custo tributário em projetos de investimento: o caso dos créditos de ICMS. 2011. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 13, n. 38, p. 21-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.7819/rbgn.v13i38.752>. Disponível em: <https://bit.ly/2I77NLY>. Acesso em: 10 janeiro 2019.

PIECYK, M.; MCKINNON, A. Forecasting the carbon footprint of road freight transport in 2020. 2010. **International Journal of Production Economics**, v. 128, p. 31-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.08.027>. Disponível em: <https://bit.ly/2I0p3IK>. Acesso em: 15 jun. 2018.

PISHVAEE, M.S.; TORABI, S.; RAZMI, J. Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty. 2012. **Computers & Industrial Engineering**, v. 62, p. 624-632. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.028>. Disponível em: <https://bit.ly/2I0RvE9>. Acesso em: 22 jul. 2018.

QI, Y.; HUO, B.; WANG,.; YEUNG, H. The impact of operations and supply chain strategies on integration and performance. 2017. **International Journal of Production Economics**, v. 185, p. 162-174. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.12.028>. Disponível em: <https://bit.ly/2HZ6YVm>. Acesso em: 2 fev. 2018.

QIU, Y.; QIAO, J.; PARDALOS, P. A branch-and-price algorithm for production routing problems with carbon cap-and-trade. 2017. **Omega**, v. 68, p. 49-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.06.001>. Disponível em: <https://bit.ly/2DZGn6s>. Acesso em: 4 maio 2018.

RAO, C.; GOH, M.; ZHAO, Y.; ZHENG, J. Location selection of city logistics centers under sustainability. 2015. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 36, p. 29-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.008>. Disponível em: <https://bit.ly/2RN2hNN>. Acesso em: 22 jan. 2018.

RUDI, A.; FROHLING, M.; ZIMMER, K.; SCHULTMANN, F. Freight transportation planning considering carbon emissions and in-transit holding costs: a capacitated multi-commodity network flow model. 2016. **EURO Journal on Transportation and Logistics**, v. 5, n. 2, p. 123-160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13676-014-0062-4>. Disponível em: <https://bit.ly/2WO68hy>. Acesso em: 10 nov. 2018.

SEURING, S. Review of modeling approaches for sustainable supply chain management. 2013. **Decision Support Systems**, v. 54, p. 1513-1520. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.05.053>. Disponível em: <https://bit.ly/2HVo9H5>. Acesso em: 20 nov. 2017.

SEURING, S., GOLD, S. Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. 2012. **Supply Chain Management**, v. 17, n. 5, p. 544-555. DOI: <https://doi.org/10.1108/13598541211258609>. Disponível em: <https://bit.ly/2UHIAOe>. Acesso em: 10 out. 2017.

SHAW, K.; SHANKAR, R.; YADAV, S. S.; THAKUR, L. S. Modeling a low-carbon garment supply chain. 2013. **Production Planning & Control: The Management**, v. 24, p. 851-865. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2012.666878>. Disponível em: <https://bit.ly/2DZpXuO>. Acesso em: 23 mar. 2018.

SKINNER, W. Manufacturing: missing link in corporate strategy. 1969. **Harvard business Review**, v. 47, p. 136-145. Disponível em: <https://hbr.org/1969/05/manufacturing-missing-link-in-corporate-strategy>. Acesso em: 10 fev. 2018.

SRIVASTAVA, S. Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. 2007. **International Journal of Management Reviews**, v. 9, n. 1, p. 53-80, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>. Disponível em: <https://bit.ly/2SYV1A3>. Acesso em: 24 set. 2017.

STEVENS, G. Integrating the supply chain. 1989. **International Journal of Physical Distribution Materials Management**, v. 19, n. 8, p. 3-8. DOI: <https://doi.org/10.1108/EUM0000000000329>. Disponível em: <https://bit.ly/2RMWish>. Acesso em: 20 out. 2017.

SUZUKI, Y. A dual-objective metaheuristic approach to solve practical pollution routing problem. 2016. **International Journal of Production Economics**, v. 176, p. 143-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.008>. Disponível em: <https://bit.ly/2MTLisy>. Acesso em: 20 maio 2018.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence informed management knowledge by means of systematic review. 2003. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207-222. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>. Disponível em: <https://bit.ly/2BpZNQi>. Acesso em: 21 maio 2018.

UNFCCC. 2015. Paris Agreement 21st Conference of the Parties. Paris: UNFCCC. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/paris-climate-change-conference-november-2015/cop-21>. Acesso em: 10 jun. 2018.

UNFCCC. 2010. The Cancun Agreements. 16th Conference of the Parties. Cancun: UNFCCC. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/cancun-climate-change-conference-november-2010/cop-16>. Acesso em: 10 jun. 2018.

VALIDI, S.; BHATTACHARYA, A.; BYRNE, P. Integrated low- carbon distribution system for the demand side of a product distribution supply chain: a DOE-guided MOPSO optimizer-based solution approach. 2014. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 10, p. 3074-3096. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.864054>. Disponível em: <https://bit.ly/2MRD307>. Acesso em: 10 jan. 2018.

WANG, Y.; ZHU, X.; LU, T.; JEEVA, A.S. Eco-efficient based logistics network design in hybrid manufacturing remanufacturing system in low-carbon economy. 2013. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 6, n. 1, p. 200-214. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.665>. Disponível em: <https://bit.ly/2t9RvaD>. Acesso em: 10 jan. 2018.

YOSHIZAKI, H. Y. Y. **Projeto de Redes de Distribuição Física considerando a Influência do Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços**. 2002. 144 f. Tese (Livre Docência em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-06102017-115751/es.php>. Acesso em: 12 jan. 2019.

ZAKERI, A.; DEHGHANIAN, F., FAHIMNIA, B., SARKIS, J. Carbon pricing versus emission trading: a supply chain planning perspective. 2015. **International Journal of Production Economics**, v. 164, p. 197-205. Disponível em: <https://bit.ly/2TCGB94>. Acesso em: 10 jan. 2018.

ZINN, W.; CROXTON, K. L. Inventory considerations in network design. 2005. **Journal of Business Logistics**, v. 26, n. 1, p. 149-165. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2005.tb00197.x>. Disponível em: <https://bit.ly/2tbTbAw>. Acesso em: 10 jan. 2018.

ANEXO A - TABELAS DE FATORES DE EMISSÃO

Fatores de emissão para transporte de carga em caminhão		
Tipo de caminhão	Fator de emissão (kgCO₂e/t.km)	Fator de consumo (lito/t.km)
Van - classe I (até 1,305 toneladas)	0,634	0,244
Van - classe II (1,305 a 1,74 toneladas)	0,653	0,251
Van - classe III (1,74 a 3,5 toneladas)	0,518	0,199
Van - média (até 3,5 toneladas)	0,546	0,210
Caminhão - rígido (3,5 a 7,5 toneladas)	0,520	0,200
Caminhão - rígido (7,5 a 17 toneladas)	0,307	0,118
Caminhão - rígido (acima de 17 toneladas)	0,163	0,063
Caminhão - rígido (média)	0,197	0,076
Caminhão - articulado (3,5 a 33 toneladas)	0,140	0,054
Caminhão - articulado (acima de 33 toneladas)	0,077	0,030
Caminhão - articulado (média)	0,079	0,030
Caminhão - caminhão (média)	0,106	0,041
Caminhão refrigerado - rígido (3,5 a 7,5 toneladas)	0,619	0,238
Caminhão refrigerado - rígido (7,5 a 17 toneladas)	0,365	0,141
Caminhão refrigerado - rígido (acima de 17 toneladas)	0,194	0,075
Caminhão refrigerado - rígido (média)	0,234	0,090
Caminhão refrigerado - articulado (3,5 a 33 toneladas)	0,163	0,063
Caminhão refrigerado - articulado (acima de 33 toneladas)	0,090	0,034
Caminhão refrigerado - articulado (média)	0,091	0,035
Caminhão refrigerado - caminhão (média)	0,124	0,048

Fonte: GVCES/FGV-EAESP - Programa Brasileiro GHG Protocol (versão 2018 1.4).

Fatores de emissão para transporte de carga em navio

Tipo de navio	Subtipo	Tamanho	Emissão (kg CO₂e/t.km)
Navio cargueiro	Navio graneleiro	acima de 200.000 dwt	0,00250
		100.000 a 199.999 dwt	0,00300
		60.000 a 99.999 dwt	0,00410
		35.000 a 59.999 dwt	0,00570
		10.000 a 34.999 dwt	0,00790
		0 a 9.999 dwt	0,02920
		Média	0,00349

Fonte: GVCES/FGV-EAESP - Programa Brasileiro GHG Protocol (versão 2018 1.4).

Fatores de emissão para geração de eletricidade do Sistema Integrado Nacional (SIN)

Ano	Parâmetros	Unidades	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
2017	FE do SIN	tCO ₂ e/MWh	0,0566	0,0536	0,0696	0,0815	0,0847	0,0676	0,0965	0,1312	0,1264	0,1366	0,1193	0,0892	0,0927
	% etanol na gasolina	%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27,0%
	% biodiesel no diesel	%	7%	7%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	7,8%

Fonte: GVCES/FGV-EAESP - Programa Brasileiro GHG Protocol (versão 2018 1.4).

ANEXO B - TABELAS DE ALÍQUOTAS DE IMPOSTOS

Alíquota de imposto efetivo¹¹, aplicada à rede de distribuição, com base no ICMS e descontando o crédito presumido, para farinha com mais de 40% de trigo importado.

Destino	AL	AM	AP	BA	CE	ES	GO	MA	MG	PA	PB	PE	PI	PR	RJ	RN	RS	SC	SE	SP	TO	
Origem																						
AL	0%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
AM	7%	0%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
CE	12%	12%	12%	12%	0%	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%	5%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%
PA	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
PE	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	0%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%
PI	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	0%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%
RJ	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	12%	0%	7%	12%	12%	7%	7%	7%	7%
RS	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	8%	7%	7%	7%	8%	7%	7%	7%	7%

Fonte: Empresa.

¹¹ A alíquota de imposto efetivo foi calculada conforme segue: Alíquota de imposto efetivo = (ICMS – Crédito Presumido).

Por exemplo, para farinha com o trigo com mais de 40% de trigo importado, a venda com origem no RS e destino SC tinha ICMS de 12% e crédito presumido de 4%, logo, a alíquota de imposto efetivo foi de 8%.

Alíquota de imposto efetivo¹², aplicada à rede de distribuição, com base no ICMS descontando o crédito presumido, para farinha com menos de 40% de trigo importado.

Destino	AL	AM	AP	BA	CE	ES	GO	MA	MG	PA	PB	PE	PI	PR	RJ	RN	RS	SC	SE	SP	TO
Origem																					
AL	0%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
AM	4%	0%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
CE	4%	4%	4%	4%	0%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
MA	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	5%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
PA	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	5%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
PE	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	0%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
PI	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	0%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
RJ	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	0%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
RS	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	0%	4%	4%	4%	4%	0%	0%	4%	7%	4%	4%	0%	4%

Fonte: Empresa.

¹² A alíquota de imposto efetivo foi calculada conforme segue: Alíquota de imposto efetivo = (ICMS – Crédito Presumido).

Por exemplo, para farinha com o trigo com menos de 40% de trigo importado, a venda com origem no RS e destino MG tinha ICMS de 4% e crédito presumido de 4%, logo, a alíquota de imposto efetivo foi de 0%.