

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Guilherme Ferreira Caetano
Vinicius de Sousa Machado Araújo



ESTUDO LOGÍSTICO: INDÚSTRIA DE
MONOETILENO GLICOL VERDE PARA PRODUÇÃO
DE PET SUSTENTÁVEL

RIO DE JANEIRO

2023

Guilherme Ferreira Caetano
Vinicius de Sousa Machado Araújo

ESTUDO LOGÍSTICO: INDÚSTRIA DE MONOETILENO GLICOL VERDE PARA
PRODUÇÃO DE PET SUSTENTÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico

Orientador(es): Carlos André Vaz Júnior
Carolina Zanon Costa

Rio de Janeiro
2023

Guilherme Ferreira Caetano
Vinicius de Sousa Machado Araújo

ESTUDO LOGÍSTICO: INDÚSTRIA DE MONOETILENO GLICOL PARA PRODUÇÃO
DE PET SUSTENTÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Química da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Engenheiro de
Químico.

Aprovado em 12 de junho de 2023.

Carlos André Vaz Júnior, D. Sc., UFRJ

Carolina Zanon Costa, D. Sc., UFRJ

Israel Bernado de Souza Poblete, D. Sc., UFRJ

Adriana Santos Tardin, B. Sc., UNICAMP

Rio de Janeiro
2023

AGRADECIMENTOS

GUILHERME FERREIRA CAETANO

Aos meus pais, Maria Elizabeth e José Caetano (*in memoriam*), pela vida, pelo amor, pelo apoio e por literalmente tudo que tenho. Mãe, sem você eu não teria conseguido nada disso. Você é minha primeira professora, quem ensinou as lições mais preciosas da vida. Obrigado por todo amor, carinho e por ter me feito perseverar nas horas mais duras e mais difíceis.

À minha avó, madrinha e inspiração, Idalina Marques (*in memoriam*) a quem eu dedico este diploma de graduação. Vó, obrigado por todo apoio, todo incentivo e cuidado na minha educação. Obrigado sempre pelas palavras de incentivo e principalmente pelo exemplo de força. Espero para sempre levar a sua força comigo, pois com ela eu consegui terminar este curso.

À Juliana Ferracioli, minha namorada. Sem você eu não teria conseguido chegar tão longe. Obrigado por a todo momento me lembrar que consigo, sou forte e capaz de enfrentar os desafios e não me deixar desistir em meio a tantas coisas que aconteceram. Obrigado por dividir sua história comigo, por todo carinho, apoio, compreensão e ter sido minha maior incentivadora.

À Isabella, minha melhor amiga e dupla de faculdade. É impossível não pensar em você nesse momento. Foram mais de 13 anos um do lado do outro: Na sala de aula, na lista de chamada da turma, na apresentação do trabalho, na bancada do laboratório e na vida. Passamos por mais de uma universidade, várias matérias, várias noites de estudo, resumos, provas, trabalhos e todo o combo da faculdade. Obrigado por ter dividido cada segundo dentro dessa faculdade comigo.

À Malu Albuquerque, Breno Barros e Malu Aguiar. A faculdade sem vocês teria sido impossível. Passamos muito tempo juntos, rimos juntos, brincamos juntos, choramos juntos, e fomos felizes. Obrigado por terem feito parte disso e serei eternamente grato por ter tido vocês ao meu lado durante essa jornada. Feliz é aquele que pode falar “aaa...ah galera da faculdade”. Vocês são essa galera.

Aos orientadores Carlos André e Carolina Zanon. Obrigado por toda paciência, tempo e dedicação nas orientações, direcionamentos e compromisso para que este trabalho fosse feito com excelência. Sem vocês também não estaríamos aqui.

Ao Vinícius Machado, minha dupla de TCC. Fico muito feliz de nossos caminhos terem se cruzado ao longo da faculdade e chegarmos até o fim dela juntos. Tenho certeza de que você se tornará um profissional incrível e espero um dia realizarmos um Projeto juntos.

Aos meus amigos que de alguma forma me ajudaram ao longo da faculdade direta e indiretamente: Luiza Valdez, Everton, Roberta, Zé, Julia, Aninha, Pedro, Lukas K. (*in memorian*). Sancho, Giovanna, Dani Gradin, Leandro, Raquel, Eudes, Thiago Henrique, João Victor, Dani Bia e Lucas Lourenço.

Não poderia esquecer do Marcelo V. Moura e Diogo Padrão do ISI. Os anos que passamos juntos no laboratório foram inesquecíveis. Com vocês eu aprendi das lições mais básicas do laboratório até as reflexões mais complexas da vida. Trabalhar com vocês me fez um profissional e um ser humano melhor. Meu agradecimento especial por terem me apoiado no início da graduação, terem me dado força para seguir mesmo com a rotina de trabalho e estudo exaustiva.

Agradeço também a todo Time de PMO da HALEON, em especial à Mônica Altro, Rafaela Esperança e Henrique Caria, por terem me dado a primeira oportunidade de estágio, terem confiado em mim e principalmente terem me inspirado diariamente durante todo tempo que passamos juntos. Sinto muito orgulho de ter iniciado a carreira ao lado de vocês.

Agradeço também a Visagio, em especial ao meu gestor Gustavo Antunes por todo apoio, oportunidade em fazer parte da maior plataforma de transformação e desenvolvimento de negócios do Brasil e principalmente pela sua valiosa contribuição profissional e sua inspiração diária.

Agradeço de forma geral à todas as instituições educacionais que passei, boa parte delas pública, em especial ao IFRJ e UFRJ. O acesso à educação pública de qualidade muda vidas, muda histórias, muda famílias e assim aconteceu comigo. Meus mais sinceros agradecimentos por ter tido o privilégio de ter frequentado essas instituições de elevado rigor e respeitável reputação.

A todos que passaram pela minha vida, que contribuíram para este diploma, que torceram, acreditaram, apostaram e confiaram em mim. Obrigado!

Esse é só o começo.

AGRADECIMENTOS

VINÍCIUS DE SOUSA MACHADO ARAÚJO

Em primeiro lugar deixo aqui registrado que inúmeras pessoas contribuíram para esse momento, o marco final de qualquer graduação. Esse trabalho que representa o apse da minha jornada acadêmica dos últimos 7 anos e quero ao máximo deixar marcado aqui todos aqueles responsáveis por esse momento.

Aos meus pais, Mario Machado Araujo e Vera Lucia Morais de Sousa, por todo o cuidado que sempre tiveram comigo, incentivando minhas decisões, apoiando minhas batalhas e comemorando minhas vitórias. O que sou hoje em dia dedico 100% a vocês, não podia ser mais sortudo por ter vocês como pais. Escreveria um TCC inteiro só dedicado a vocês.

Aos meus avós maternos, Margarida Morais de Sousa (*in memorian*) e Francisco Rodrigues de Sousa (*in memorian*), vocês contribuíram com uma luta árdua, formar a primeira pessoa da nossa família. Suas lutas no interior do Ceará deram resultados, do céu vocês verão a mudança dessa geração da nossa família.

Aos meus irmãos Maria Clara Araujo e Felipe Araujo que ao nascerem eu estava na 5ª série e hoje com 16 anos eles irão ver o irmão mais velho, finalmente, formar na faculdade. Como diz minha irmã “o vini faz faculdade há muito tempo”.

Finalizando os agradecimentos a minha família, registro aqui as duas tias paternas que foram superimportantes no incentivo ao estudo, ao apoio que deram enquanto podiam nessa minha jornada. Eliane Araujo (*in memorian*) e Miriam Araujo

Agradeço ao meu parceiro de faculdade, de TCC, de “rolês”, Guilherme Caetano. Sua parceria foi incondicional principalmente nessa reta final, seus conselhos e reflexões sempre foram super bem-vindos e incrivelmente importante para mim. Passei por fases complicadas em 2022 e vocês se mostrou um amigo de verdade, um apoio que todos deveriam ter. Obrigado. Conseguimos.

À minha namorada (e futura noiva) Karyna Nayana dos Santos Santana, nossa história atípica de uma conexão Rio Amapá abriram meus horizontes e ressignificaram minha faculdade, carreira e vida. Em momentos que pensei em desistir, em momentos que eu estava desmotivado, desanimado, você foi um apoio incondicional, o melhor que alguém poderia ter. Ao meu amor, agradeço imensamente por tudo. Obrigado minha índia.

Ao meu grupo de faculdade que foi o apoio, o pilar para que essa trajetória fosse menos tortuosa e muito mais divertida, meus engenheiros favoritos: João Victor, João Pedro, João Guilherme, Rafael Eudes, Beatris Serrano, João Vitor.

Aos meus praticamente mentores, irmãos de outra família, aqueles que sempre estiverem junto comigo em vários momentos complexos dos últimos anos. Gabriel Alonso, meu amigo de mais de 20 anos de vida, e Eduardo Gouveia (o Pelican).

Durante esses anos finais, o meu estágio e depois efetivado, foram um suporte fantástico para tornar isso possível, agradeço então aos meus mentores e conselheiros. Profissionais fantásticos que tornaram o equilíbrio trabalho-faculdade possível e leve. Sergio Pião, Rafaela Calafiori.

Aos orientadores Carlos André e Carol Zanon. Desde que fiz minha primeira disciplina com o Carlos André já soube que havia uma conexão importante que poderia gerar um trabalho incrível. Depois de outras 4 disciplinas cursadas, tive a certeza. Obrigado!

Por fim, mas não menos importante, deixo registrado também aqueles que junto com os demais representaram apoio incondicional e certamente possuem suas marcas nesse trabalho: Bruna Martins, Priscila Marinho, Pamela Oliveira, Juliana Ferracioli, Danielle Gradin, Nelson Oliveira, Adriana Coratto, Anna Andrade.

Certamente alguém ficou de ser citado, é um momento emocionante e esse texto foi escrito de forma fluida e sem revisão. Independente do nome aqui, todos que fizeram parte desse momento sabem que fizeram. O Vinicius ambicioso só está começando, vamos juntos! Ainda vão ouvir muito falar de mim.

εὐδαιμονία

“Get out of the Building” – Steve Blanks

RESUMO

CAETANO, Guilherme Ferreira; ARAUJO, Vinicius de Sousa Machado. **Estudo logístico: Indústria de monoetileno glicol verde para produção de PET sustentável.** Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A crescente pressão mundial pela adoção de práticas ESG na sociedade impacta diretamente os processos de manufatura e as indústrias químicas de uma forma geral. Dentro deste contexto, segue forte a aplicação dos princípios da Química Verde como critérios de projeto, avaliação financeira e decisão de processos químicos e instalações industriais. Os plásticos, que em geral são produzidos a partir do petróleo e com seu descarte indevido, são um dos maiores contribuintes para a geração de resíduo sólido urbano devido ao descarte incorreto por parte da sociedade, e o descarte PET é um dos protagonistas com números crescentes ano após ano. O Brasil como um dos maiores produtores de etanol a partir de cana de açúcar tem vocação para participar da transformação da Indústria Química na busca por soluções mais limpas e com menor impacto de carbono. O PET é um plástico produzido a partir do MEG e do ácido tereftálico e tem largo emprego em embalagens do setor alimentício e de bebidas carbonatadas. A produção de MEG a partir de etanol de cana de açúcar, como alternativa ao processo convencional a partir da nafta petroquímica, é uma proposição para tornar mais sustentável a produção de PET. A logística, como um dos aspectos necessários para construção de uma vantagem competitiva deve construir e gerir toda cadeia de suprimentos que garante a operação das fábricas desde a aquisição da matéria prima até o escoamento da produção até os clientes. O presente trabalho propõe um estudo logístico de uma planta de produção de MEG e expõe as etapas do planejamento logístico que essa indústria deve realizar como parte fundamental para instalação e operação da planta. A localização da instalação industrial e o modal de transporte e seus custos são os objetos centrais de decisão do estudo de caso.

Palavras-chave: logística; monoetileno glicol; localização; etanol

ABSTRACT

CAETANO, Guilherme Ferreira; ARAUJO, Vinicius de Sousa Machado. **Estudo logístico: Indústria de monoetileno glicol verde para produção de PET sustentável.** Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The escalating worldwide demand for the implementation of ESG practices in society directly affects manufacturing processes and the chemical industry at large. Within this context, the application of Green Chemistry principles continues to be strong as criteria for design, financial evaluation, and decision-making in chemical processes and industrial facilities. Plastics, which are generally produced from petroleum and improperly disposed of, are one of the major contributors to urban solid waste generation due to society's improper disposal, and PET disposal is one of the leading contributors with increasing numbers year after year. Brazil, as one of the largest producers of ethanol from sugarcane, is well-positioned to participate in the transformation of the chemical industry in the pursuit of cleaner and lower-carbon solutions. PET is a plastic produced from MEG and terephthalic acid and has widespread use in packaging for the food and carbonated beverage sectors. The production of MEG from sugarcane ethanol, as an alternative to the conventional process from petrochemical naphtha, is a proposition to make PET production more sustainable. Logistics, as one of the necessary aspects to build a competitive advantage, must construct and manage the entire supply chain that ensures the operation of factories from raw material acquisition to the flow of production to customers. This study proposes a logistics analysis of an MEG production plant and outlines the steps of logistical planning that this industry must undertake as a fundamental part of the installation and operation of the plant. The location of the industrial facility and the transportation mode and its costs are the central objects of decision in the case study.

Keywords: logistics; monoethylene glycol; location; ethanol

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Escoamento de Produtos e Informações ao longo da Cadeia de Suprimentos

Figura 2 – Esquema de Modelo de Gerenciamento de Cadeia de Suprimentos

Figura 3 – Macroprocessos da Cadeia de Suprimentos

Figura 4 – Esboço das 3 áreas do Triângulo de Decisões Logísticas

Figura 5 – Modelo de Tarifa Uniforme

Figura 6 – Modelo de Tarifa Proporcional

Figura 7 – Modelo de Tarifa Decrescente

Figura 8 – Modelo de Tarifa de Cobertura

Figura 9 – Exportação de Polietileno durante 2022

Figura 10 – Importação de Polietileno durante Jan/2022 a Out/2022

Figura 11 – Esquema Polímeros a partir da Nafta Petroquímica

Figura 12 – Fluxograma industrial da desidratação do etanol

Figura 13 – Esquema de Produção do Etilenoglicol

Figura 14– Esquema da Produção de PET

Figura 15 – Esquema reacional para formação do politereftalato de etileno (PET).

Figura 16 – Proposta de Cadeia de Suprimentos para produção de Garrafa PET

Figura 17 – Proposta de Cadeia de Suprimentos para produção de Garrafa PET

Figura 18 – Capacidade de Produção Etanol (m^3 /dia) em São Paulo

Figura 19 – Centro de Gravidade no Mapa

Figura 20 – Rodovias de Montes Claros

Figura 21 – Trecho da FCA no Norte de MG

Figura 22 – Rodovias de Pirapora

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Exemplos de Processo de Decisão Estratégica, Tática e Operacional
- Tabela 2 – Famílias Evacuadas e Acordos de Indenização no Processo de Reparação
- Tabela 3 - Concessões Ferroviárias da VALE
- Tabela 4 - Distribuição de Produtos nos trechos de concessão da VALE
- Tabela 5 - Concessões Ferroviárias da MRS
- Tabela 6 - Distribuição de Clientes da MRS por Segmento de Atuação
- Tabela 7 - Concessões Ferroviárias da VLI
- Tabela 8 – Produtos Transportados e sistemas logísticos utilizados na VLI
- Tabela 9 – Concessões Ferroviárias da RUMO
- Tabela 10 - Distribuição de Produtos por Tipo de Carga transportada pela RUMO
- Tabela 11 – Abrangência Territorial das Empresas de TRC
- Tabela 12 – Transporte Rodoviário por Natureza de Carga
- Tabela 13 – Classificação de Cargas no Modal Rodoviário
- Tabela 14 – Produtos Exportados no modal aéreo
- Tabela 15 – Produtos Importados no modal aéreo
- Tabela 16 – Tipos de Cargas e produtos transportados no modal aéreo
- Tabela 17 – Tipos de Navios Petroleiros da Transpetro
- Tabela 18 – Tipos de Navios e Cargas Principais Transportadas
- Tabela 19 – Etapas de Produção de MEG
- Tabela 20 – Produção de Etanol (milhões de Litros)
- Tabela 21 – Produção Brasileira de Etanol de Cana e Milho (milhões de Litros)
- Tabela 22 – Exportações e Importações Brasileiras de Etanol (milhões de Litros)
- Tabela 23 – Produção de Etanol nas Regiões Sudeste e Centro Oeste (Milhares de Litros)
- Tabela 24 – Municípios com Maior Capacidade de Produção em SP (m^3 /dia)
- Tabela 25 – Ranking das Cidades com maior produção no Estado de GO
- Tabela 26 – Municípios selecionados como fonte de Matéria Prima Etanol Verde
- Tabela 27 – Empresas que produzem PET associadas à ABIPET
- Tabela 28 – Características dos Modais: Estrutura de Custos e Infraestrutura
- Tabela 29 – Participação do Custo Logístico no PIB
- Tabela 30 – Estrutura dos Custos Logísticos
- Tabela 31 – Índice e Outros fatores utilizados para reajuste do Frete

Tabela 32 – Pisos Mínimos Carga Lotação - Tipo de Carga: Perigosa Líquida

Tabela 33 – Pisos Mínimos Carga Lotação - Tipo de Carga: Granel Líquido

Tabela 34 – Dados do Modelo de Centro de Gravidade

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPET - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET
ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE
BHET – TEREFTALATO DE BIS(2-HIDROXIETILENO)
BNDES – BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL
CBA – 4-CARBOXIBENZALDEÍDO
CFQ – CONSELHO FEDERAL DE QUÍMICA
CLM - COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT
CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA
CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE
COFINS – CONTRIBUIÇÃO PARA O FINANCIAMENTO DA SEGURIDADE SOCIAL
CRQ – CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA
EFC – ESTRADA DE FERRO CARAJÁS
EFVM – ESTRADA DE FERRO VITÓRIA MINAS
EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA
ESG – ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND GOVERNANCE
FINEM - FINANCIAMENTOS PARA PROJETOS DE INVESTIMENTOS, PÚBLICOS OU PRIVADOS, VOLTADOS À GERAÇÃO E AUMENTO DE CAPACIDADE PRODUTIVA, NOS DIVERSOS SETORES DA ECONOMIA
FMI – FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL
GEE – GASES EFEITO ESTUFA
GLP – GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO
GNL – GÁS NATURAL LIQUEFEITO
ILOS – INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN
MEG - MONO ETILENO GLICOL
PIB – PRODUTO INTERNO BRUTO
PIS – PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO SOCIAL
PCL – POLI CA-PROLATINA
PE – POLIETILENO
PGA – POLIÁCIDO GLICÓLICO
PGLA – POLIÁCIDO LÁTICO-CO-ÁCIDO GLICÓLICO

PHA – POLIHIDROXIALCONOATO

PLA – POLIÁCIDO LÁCTICO

PP – POLIPROPILENO

PS - POLIESTIRENO

PVC – POLICLORETO DE VINILA

OE - ÓXIDO DE ETILENO

REIQ – REGIME ESPECIAL DA INDÚSTRIA QUÍMICA

S11D – PROJETO FERRO CARAJÁS S11D

TCC - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOC – TEORIA DAS RESTRIÇÕES

TRC - TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

UMB – UNIDADE MÓVEL DE BOMBEAMENTO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2 OBJETIVOS	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – LOGÍSTICA	22
2.1 LOGÍSTICA	22
2.1.1 LOGÍSTICA EMPRESARIAL	23
2.1.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS	24
2.1.3 PLANEJAMENTO LOGÍSTICO	27
3 POLÍMEROS VERDES & MEG	62
3.1 QUÍMICA VERDE APLICADA A INDÚSTRIA	62
3.2 OS PLÁSTICOS	65
3.3 BIOPOLÍMEROS	65
3.4 POLÍMEROS SINTÉTICOS	67
3.4.1 ETENO ROTA NAFTA	69
3.4.2 ETENO - ROTA ETANOL	71
3.5 SÍNTESE ETILENOGLICOL	73
3.5.1 SÍNTESE: COMPARAÇÃO ROTAS VIA NAFTA X ETANOL	75
3.6 SÍNTESE PET	76
4 METODOLOGIA	79
5 ESTUDO DE CASO: INDÚSTRIA DE MEG VERDE	81
5.1 PROPOSTA DE PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MEG VERDE	81
5.2 PROPOSTA DE CADEIA DE SUPRIMENTOS DA PLANTA	82
5.3 FONTE DE MATÉRIA PRIMA: ETANOL	85
5.4 MEG COMO MATÉRIA PRIMA PARA PET	90
5.5 PLANEJAMENTO DA REDE LOGÍSTICA	92
5.5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS CARGAS	92
5.5.2 DEFINIÇÃO DO MODAL DE TRANSPORTE	93
5.5.3 UNIDADE GEOGRÁFICA MÍNIMA E CLASSIFICAÇÕES DO MODELO	95
5.5.4 ESTIMATIVA DE CUSTOS DE TRANSPORTE	95
5.5.5 DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO	99
5.5.6 PROPOSTA DE LOCALIZAÇÃO	100
6 CONCLUSÕES	106
7 REFERÊNCIAS	109

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com dados levantados pela associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET,2019) o Brasil conseguiu reciclar 55% das embalagens PET descartadas em 2019, equivalente a um total de 311.000 toneladas do produto que conseguiram ser recuperadas para uma destinação sustentável.

No Brasil, a indústria de embalagens representa a maior aplicação do uso do politereftalato de etileno (PET) sendo de 71%. O segmento do mercado nacional da indústria embalagens corresponde a 32% do mercado brasileiro de polímeros envolvendo diretamente o uso do PET para embalagens de bebidas carbonatadas (ABIPET, 2019).

As garrafas PET possuem esse nome devido ao composto principal em sua formação, o polímero polietileno tereftalato. Tal composto é polímero termoplástico obtido em forma de resina e destinado às indústrias que o moldam para resultar nas diferentes embalagens. Devido a sua alta resistência mecânica, maleabilidade, transparência e brilho, ele se expandiu em larga escala, sendo um dos polímeros de maior utilidade atualmente. (ABIPET, 2019).

De acordo com a Grand View Research (2017), em uma análise sobre o mercado de Polietileno no Brasil, em 2017, totalizava-se 1,37 bilhões de dólares com expectativa de taxa composta de crescimento anual de 4,7%. O mercado de PET não apresenta recessão mesmo frente a crises. Por exemplo, no Brasil, em 2019, e de acordo com dados do Banco Mundial (IHU, 2019) é o 4º País que mais produz lixo plástico do mundo, gerando desde já uma preocupação de ambientalistas acerca do tema e impacto no meio ambiente.

Tendo em vista a severidade do problema, algumas alternativas apontadas por pesquisadores seria a implementação do bioplástico em produtos de alta demanda, como a garrafa PET (FRANCHETTI, 2006). Com isso, torna-se necessário entender o que caracteriza um bioplástico, que pode ser classificado de acordo com a origem ou sua destinação. Em suma, existem dois tipos a efeito de comparação: Bioplásticos de origem de fontes não renováveis, porém biodegradáveis; e os de origem verde, mas não biodegradáveis. O bioplástico de polibutileno tereftalato adipato (PBET), por exemplo, é feito a partir do petróleo, que é uma fonte não renovável, porém biodegradável. Mesmo a sua origem não sendo sustentável, a sua destinação final encerra o ciclo do produto, não impactando assim negativamente o meio ambiente (FRANCHETTI, 2006).

Em contrapartida, o Etilenoglicol (monoetilenoglicol - MEG, nome IUPAC: etano-1, 2-diol) obtido a partir da cana-de-açúcar, quando é utilizado como matéria prima para o PET o configura como um bioplásticos sustentável, porém não biodegradável, e mantém as características do PET convencional.

A Braskem vem elaborando desde 2007 uma alternativa às origens poluentes da produção de plástico, a partir do etanol e da cana de açúcar, pois contribui para a redução de gases do efeito estufa devido à captura de gás carbônico durante o processo produtivo (UDOP, 2019).

Seguindo essa linha de plásticos de origem verde, visando a diminuição do impacto em carbono, a Braskem em parceria com a Dinamarquesa Haldor-Topsoe (KENNEDY, 2019) iniciaram em 2017 uma parceria para a produção do composto MEG a partir da cana-de-açúcar, e utilizando principalmente o etanol. Com o mercado de etilenoglicol em aproximadamente 15 Milhões de toneladas destinada a produção de garrafas e embalagens, se tornando alvo e atenção das empresas para esse setor. Em 2022 por conta da alta do preço do petróleo motivado pela Guerra da Ucrânia ocorreu o aumento de 80% dos preços de resinas (Diário do Comércio, 2022), que seguem o preço do mercado internacional, e isso impactou diretamente o preço de seus derivados como por exemplo a nafta, que é matéria prima do MEG (UOL ECONOMIA, 2022).

O Brasil por ser um dos líderes em produção de cana-de-açúcar e etanol, é visto como um potencial gigante na produção de resinas verdes para a produção de PET sustentável, mesmo com as adversidades econômicas, tanto para suprir a demanda interna e como para a exportação visando mercados estratégicos. Exposto a importância e a oportunidade dos plásticos de origem verde, é necessário otimizar os custos atrelados à operação com a intenção de alcançar a viabilidade da produção nacional, como por exemplo, o custo logístico, que será um dos fatores abordados no decorrer deste trabalho.

Com a corrida para tornar-se competitiva, uma empresa precisa avaliar diferentes cenários dentro de um contexto específico, para Porter esses pontos são distribuídos em 5 forças, Poder de Negociação dos Fornecedores; Poder de Negociação dos Clientes, Ameaça de novos entrantes, Ameaça de novos produtos ou substitutos, Rivalidade dos Concorrentes. Partindo desse conceito, uma empresa precisa tomar decisões estratégicas diretas e visando o aumento de sua receita, não alterando significativamente seus custos (PORTER, 1989).

O objeto de estudo deste trabalho trará uma análise acerca de uma área de importância decisiva para tornar viável a entrada nesse novo mercado, visando superar a concorrência principalmente no que tange às despesas operacionais: A cadeia de suprimentos.

Durante a pandemia do COVID-19, a crise econômica causada principalmente pela dificuldade de entrega de insumos às exportações, causou nas empresas um questionamento sobre todo o gerenciamento da cadeia de suprimentos. Para VIDEIRA os canais de suprimento dentro do *Supply Chain Management* serão questionados, como a logística possui uma proposta clara de entrega do produto, o atraso significativo pode resultar em problemas comerciais entre os países. Com a crise se estendendo, a dependência de terceiros para matérias-primas de produtos essenciais se torna frágil e insegura. O Brasil com seu vasto território há margem para exploração e para alcançar certa autossuficiência em certas demandas (VIDEIRA, 2020).

Com esse reposicionamento, de valorizar o mercado nacional, o planejamento logístico há de ser revisado por parte das empresas. Durante a pandemia, a falta de insumos hospitalares, por exemplo, alertou aos países as fragilidades em seus sistemas, destacando o logístico. No Brasil, esse assunto pode ser visto em casos como respiradores hospitalares, cilindro de oxigênio, seringas, entre outros.

Acrescentando ao apresentado, a análise dessas estratégias e posicionamentos podem tornar uma produção mais competitiva frente às concorrentes. A importância da logística não é de hoje, para Ballou é uma área de alta relevância para as corporações, importante fonte de receita em seus serviços, e a área logística é a base de todo o comércio mundial e transporte de mercadorias. (BALLOU, 2006).

Seguindo esse raciocínio da importância da logística, como explicado por Hau Lee (2004), em seu artigo na Harvard Business Review, grandes empresas conseguem adaptar sua cadeia de suprimento quando o mercado ou suas estratégias internas mudam. A adaptação à novos momentos sempre é difícil, porém, é crucial para desenvolver uma logística que entregue resultados e se torne uma vantagem competitiva sustentável. As mudanças estruturais que forcem a adaptação da cadeia de suprimentos estão relacionadas ao progresso econômico, realidade sociopolítica vigente, macrotendências demográficas e avanços tecnológicos. Caso esses fatores não sejam levados em consideração, as empresas não conseguirão se manter competitivas por muito tempo (LEE, 2004).

Para que uma empresa persista no mercado, existe uma busca constante para equilibrar a balança entre aumentar a velocidade de reabastecimento e manter a estrutura de custos enxuta e reduzida. Quando o cenário é altamente favorável a vendas, é natural que os recursos sejam focados nas entregas ágeis, no entanto quando a economia apresenta instabilidades, retiram-se despesas da cadeia logística a fim de evitar evasão de capital (LEE, 2004).

Para conectar os diferentes fatores na mudança da estrutura de custos de uma empresa, aplica-se a *Lei de Ceteris Paribus*, expressão em latim que significa “o todo constante” que

alterado uma constante os outros fatores se mantêm iguais ou se alteram sem perder a proporcionalidade (BOUMANS, 2001). Assim, firma-se a necessidade das empresas em manterem uma estrutura de custos mais eficiente sem alterar a qualidade e a sustentabilidade da sua cadeia de suprimentos

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho visa analisar uma indústria hipotética de MEG Verde (origem etanol), a indicação de localização dessa indústria, modais de transporte de matéria prima e produto com os referentes custos de frete.

A localização da indústria reflete diretamente em como escoar a produção para as partes interessadas e sobre o acesso a infraestrutura logística. A análise será baseada em 3 pontos de contato, do produto de etanol para a indústria de MEG verde e posteriormente para o produtor da resina PET.

Com essa análise, será possível propor localizações para esta fábrica com o objetivo de minimizar os custos de fretes e manter a empresa competitiva a partir, principalmente, das decisões do planejamento logístico: localização e modal de transporte. Portanto, essas decisões do planejamento logístico e o custo de transporte são os principais fatores do estudo de caso para realizar a operação da planta química proposta.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho a seguir é dividido em 4 blocos: Referencial teórico Logística, Polímeros Verdes & MEG, Estudo de Caso e Conclusão

O Referencial teórico de logística (Capítulo 2) aborda a importância para as empresas sobre decisões logísticas a nível estratégico como fatores para definir uma vantagem competitiva. Após isso, aprofunda-se os conceitos de logística empresarial e cadeia de suprimentos. Com isso, inicia-se o estudo de planejamento da rede logística que será usado como metodologia para a proposta da localização industrial e detalha aspectos sobre localização de instalações e transporte e detalha todos os modais de transporte, com enfoque especial na sua interface com a indústria química.

O Referencial teórico sobre o MEG (Capítulo 3), disserta sobre a importância da análise sustentável de produtos de origens sustentáveis, com isso explica as diferenças dos polímeros sintéticos e naturais, além daqueles biodegradáveis. Detalha-se a produção do etileno por rotas

via nafta e etanol, sem seguida uma comparação entre as diferentes rotas. E por fim, o processo de obtenção do MEG e PET.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia, principais fontes de informações, algumas limitações e expectativas abordadas durante todo o estudo de caso.

O Estudo de Caso (Capítulo 5) resume o processo de produção do MEG verde escolhido, para propor a cadeia de suprimentos dessa indústria e posteriormente a fonte de matéria prima para o processo completo. É realizado um levantamento dos principais produtores de Etanol e os principais produtores do PET no país e são identificados seus principais números de produção. Em seguida, é feita a caracterização das cargas para definir o modal de transporte e é escolhido uma estrutura de custos apropriada para o modal. A partir do método do centro de gravidade, são eleitas duas possíveis localizações para esta planta.

Na conclusão (Capítulo 6), haverá a percepção dos autores sobre a análise, o resultado da localização com as duas propostas e a importância do tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – LOGÍSTICA

2.1 LOGÍSTICA

Para Ballou (2006), a logística é uma área de negócio importante dentro da cadeia de suprimentos de todas as organizações e possui papel bastante relevante na geração de receita, pois uma das suas atividades mais básicas, o transporte de mercadorias, conduz as manufaturas até os compradores.

Esse mesmo autor, Ballou (2006), menciona que Sistemas logísticos eficientes sustentam o comércio mundial entre diferentes nações e sustentam o fluxo de mercadorias, sendo essa, a essência do comércio. A atividade logística é um conjunto de várias outras atividades, e é uma síntese de outros conceitos da administração empresarial tradicional.

Entrando no âmbito histórico, Ballou (2006) cita que a primeira menção à gestão coordenada aparece na França nos ensaios de um engenheiro francês Julius Dupuit, que avalia o custo-benefício entre os custos aquaviários e terrestres, em que pondera aspectos interessantes sobre viabilidade logística: rapidez, integridade e sua relação com custo. Porém, Ballou (2006) menciona que a logística como disciplina consolidada é razoavelmente nova levando-se em consideração o estudo da gestão integrada. Segundo o autor Ballou (2006), em seu livro ele sinaliza que foi apenas em 1961 que é encontrado o primeiro livro-texto menciona a gestão logística integrada e sugere os possíveis benefícios.

Uma outra definição importante e relevante surge do *Council of Logistics Management*, CLM, (apud BALLOU, 2006) que diz que “Logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes” (p.27)

O acréscimo dessa definição é bastante relevante, porque diferente de versões mais antigas e da versão sob a perspectiva militar, inclui o escopo também de serviços.

Para Bowersox (2001), a logística tem, como objetivo central, o fornecimento de produtos e serviços para seus clientes em um determinado local, trazendo um aspecto geográfico em determinado tempo específico, e construindo a ideia de prazo.

Adicionando a definição do autor Novaes, tem-se que:

Os fluxos associados à logística, envolvendo também a armazenagem de matéria-prima, dos materiais em processamento e dos produtos acabados, percorrem todo o processo, indo desde os fornecedores, passando pela fabricação, seguindo desde ao varejista, para atingir finalmente o consumidor final, o alvo principal de toda cadeia de suprimento. (2007, p. 36)

Em acréscimo, Gasnier (apud SAKAI, 2005) entende que logística é:

Logística é o processo de planejar, executar e controlar o fluxo e armazenagem de forma eficaz e eficiente em termos de tempo, qualidade e custos, de matérias primas, materiais em elaboração, produtos acabados e serviços, bem como as informações correlatas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo (cadeia de suprimentos), com o propósito de assegurar o atendimento das exigências de todos os envolvidos, isto é, clientes, fornecedores, acionistas, governo, sociedade e meio ambiente. (2005, p.21)

Esses autores, Gasnier (apud SAKAI, 2005), NOVAES (2007), Bowersox (2001) e Ballou (2006) convergem no conceito de logística e da ideia central de que a geração de valor pela movimentação do ponto de origem até o ponto final para entregar um determinado produto ou serviço para um consumidor, levando-se em consideração todas suas restrições, suas atividades de planejamento, em um determinado prazo com um custo associado.

A logística tem ganhado cada vez mais um papel relevante no meio empresarial e na economia global, portanto, a partir das suas definições referenciadas e fundamentadas, serão tratados os termos de Logística Empresarial, Cadeia de Suprimentos e Planejamento Logístico.

2.1.1 LOGÍSTICA EMPRESARIAL

O primeiro passo para a criação de uma estratégia de operação de uma companhia, começa com o entendimento claro e objetivo das metas definidas pelo planejamento estratégico, este responsável por traçar as diretrizes a longo prazo. Nesse contexto, o desdobramento dos objetivos mais gerais da empresa apontaram que a logística empresarial é a responsável por garantir o atingimento das metas dos processos da cadeia de suprimentos de uma empresa.

Seguindo a linha da captura dos objetivos empresariais, para Goldratt (apud CARVALHO, 2005) autor do livro A Meta, que conduz a narrativa em torno do paradigma de gestão da Teoria das Restrições (TOR) cita que a melhoria da produtividade de uma empresa vem do mapeamento dos obstáculos do sistema produtivo, além disso, como parte da estratégia competitiva no ecossistema empresarial as organizações buscam cada vez mais outras vantagens competitivas, entre elas, a aproximação e rapidez na entrega.

Para Porter (1989), a estratégia competitiva é a busca por uma posição diferenciada e favorável em um determinado meio, podendo ser um setor industrial inteiro ou nicho de mercado específico. É neste recorte em que todas as empresas, chamadas concorrentes,

disputam entre si. Para esse mesmo autor Porter (1989), a estratégia deve levar em consideração os fatores de receita e custos, gerando lucratividade e principalmente tendo em vista que deva ser sustentável frente às forças geradoras de concorrência.

Porter (1989) cita 5 grandes forças, que influenciam no ambiente de concorrência empresarial: Poder de Negociação dos Fornecedores; Poder de Negociação dos Clientes, Ameaça de novos entrantes, Ameaça de novos produtos ou substitutos, Rivalidade dos Concorrentes. A análise das 5 forças é o primeiro caminho para traçar uma estratégia, que certamente fará parte de um planejamento estratégico, citado anteriormente.

Nessa linha, ainda como parte da estratégia, as empresas precisam ser analisadas como resultado de um esforço e encadeamento coordenado de todas as áreas e processos. Nesse sentido, o conceito de Cadeia de Valor, criado por Porter (1989), cria a ideia de uma sequência de atividades primárias e atividades de suporte, para capturar a margem no final da Cadeia. Porter (1989) menciona ainda que a Cadeia é composta por diferentes elos, e ao percorrer todos os elos da cadeia, é gerado valor que é entregue no final. O consumidor irá ceder uma determinada quantia por um bem ou serviço, resultando na margem. Para Ballou (2006), as atividades se entrelaçam nos elos da cadeia e são classificadas em duas categorias: Atividades primárias (Logística de Entrada, Operações, Logística de Saída, Marketing, Vendas e Serviço) e Atividades de Suporte (Tecnologia, Infraestrutura, Recursos Humanos e Compras).

Analisar a cadeia de valor no âmbito empresarial, significa analisar como a empresa funciona em termos práticos e também significa entender como as empresas interagem dentro do ecossistema empresarial, e acrescenta que o bom gerenciamento da cadeia suporta uma boa estratégia. (PORTER, 1989)

Assis, V. (2021) membro da consultoria estratégica McKinsey ressalta a atualidade e relevância da logística como parte da estratégia empresarial, uma mesma empresa pode adotar uma postura de múltiplas estratégias de fornecimento, parte da ideia de Centros Globais de Suprimentos, sendo uma forma para reduzir os riscos da cadeia de suprimentos, reforçando situações em que a logística se tornou uma vantagem competitiva.

A logística empresarial tornou-se parte da matéria gerencial de uma organização objetivamente por conta da sua importância em fazer com que os produtos cheguem até os clientes pelos canais de distribuição, por sua relação no abastecimento, transporte, disponibilidade e armazenamento de matéria prima e por sua contribuição nos custos.

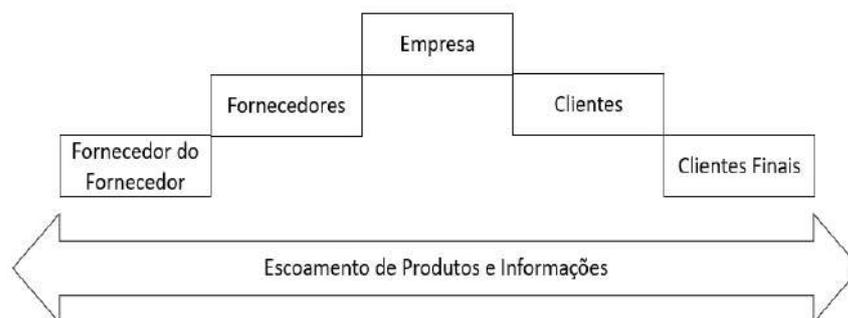
2.1.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS

O conceito de Cadeia de Suprimentos é um termo razoavelmente recente. Ela busca entender que toda cadeia é fruto da colaboração de todas as áreas da organização. Além disso, todos os elos devem ser analisados sobre a perspectiva de cliente e fornecedor, e tem como objetivo final de gerar o máximo valor para o cliente final com o menor custo.

O autor Novaes (2007), inicia sua definição de Cadeia de Suprimentos explicando que muitas não é tão evidente o quão complexo e longo é o processo para converter matéria prima em um bem de consumo, como por exemplo um bem de consumo durável como um carro, eletrodomésticos e artigos eletrônicos. Em seguida, faz a primeira definição de Cadeia de Suprimentos sendo “O longo caminho que se estende desde as fontes de matéria prima, passando pelas fábricas dos componentes, pela manufatura do produto, pelos distribuidores e chegando finalmente ao consumidor final através de um varejista e isso constitui a Cadeia de Suprimentos” (NOVAES 2007, p.38).

Conectando ao tema da manufatura e ao setor industrial, Ballou (2006) diz que a Cadeia de Suprimentos tem início no fluxo de transformação da matéria prima, passando por sua extração ou aquisição, sua transformação, beneficiamento até a entrega do produto acabado ao consumidor final, sendo responsável por gerenciar os fluxos de materiais, informações e financeiros. A Figura 1 mostra um esquema ilustrativo do fluxo de informações e produtos transitam entre fornecedores, empresas de manufatura e clientes.

Figura 1 – Escoamento de Produtos e Informações ao longo da Cadeia de Suprimentos



Fonte: Adaptado de BALLOU (2006) p. 44;

Ballou (2006) é enfático em mencionar que a coordenação de todos os fluxos e de todas as áreas integrantes da cadeia, são capazes de produzir vantagem competitiva e melhorias no custo e nos serviços, envolvendo não somente a área logística, mas um esforço mútuo, reforçando que a ideia de que a Gestão de Cadeia de Suprimentos é um conceito que passa pela logística, porém, captura todos os elos da cadeia de valor. A Figura 2 é uma proposta modelo

apresentada por Ballou (2006) de cadeia de suprimentos global, levando em consideração as relações interfuncionais das diferentes áreas da empresa e as relações Inter corporações que acontecem no ambiente global.

Figura 2 – Esquema de Modelo de Gerenciamento de Cadeia de Suprimentos



Fonte: Adaptado de BALLOU (2006) p. 28

A gestão da cadeia de suprimentos é tratada como a evolução da área logística com contribuições diretas de outras áreas de negócio, como por exemplo, marketing, compras e outras. Além disso, também evidencia que a gestão da cadeia de suprimentos deve ser vista como parte do conjunto de processos de negócio da empresa. (PIRES, 2004)

Segundo Croxton (2001), a gestão da cadeia de suprimentos é cada vez mais reconhecida como uma chave de integração nos processos de negócio.

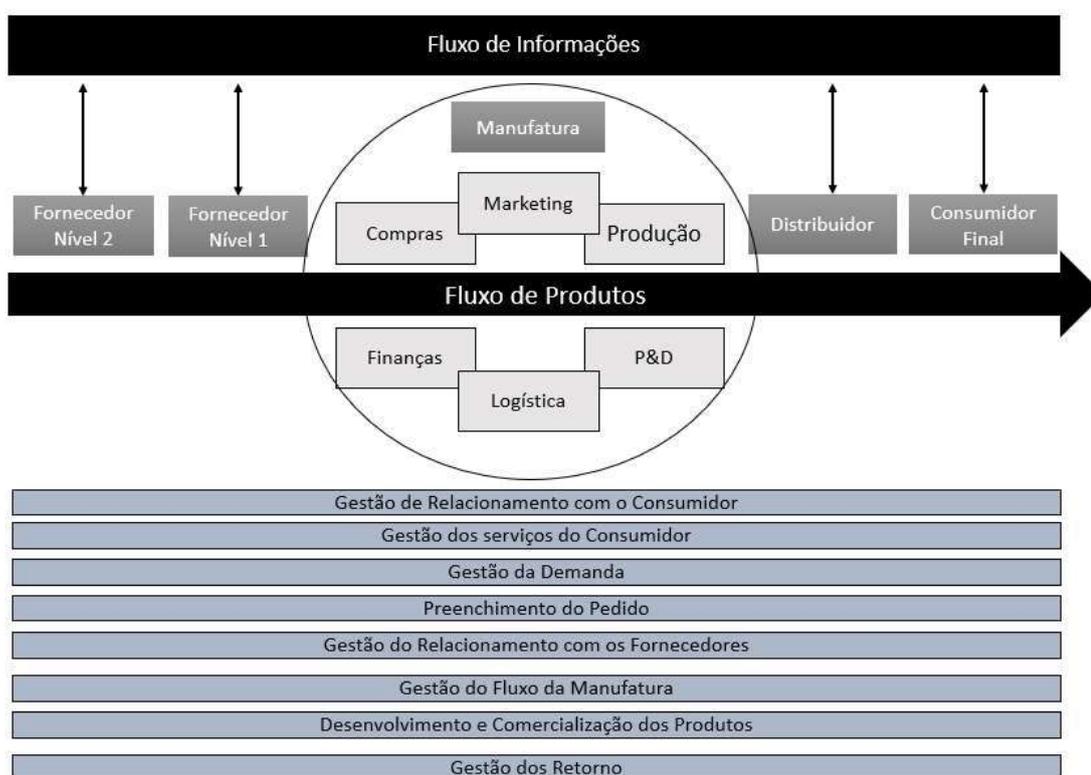
Para Ballou (2006), uma única empresa, na maioria dos casos, costuma não ter todos os recursos para controlar e administrar os fluxos de materiais e informações desde a primeira matéria prima até o produto acabado. Portanto, em geral, cada organização tem a capacidade de administrar os elos da cadeia imediatamente anteriores e posteriores da sua posição dentro da cadeia inteira de suprimentos de um determinado produto.

Diferentes empresas conseguirão atingir um nível de integração de cadeia de suprimentos, somente se houver um entendimento mútuo e transversal sobre os principais

processos de negócios. Nesse sentido, há a recomendação de padronizar os principais processos da cadeia de suprimentos. (CROXTON 2001),

Croxton (2001), cita em seu trabalho oito grandes processos dentro da cadeia de suprimentos, ressaltando que o objetivo central não é detalhar as micro atividades, mas sim traçar os macroprocessos que devem ser transversais em todas as empresas (Figura 3)

Figura 3 – Macroprocessos da Cadeia de Suprimentos



Fonte: Adaptado de CROXTON (2001) p. 14

2.1.3 PLANEJAMENTO LOGÍSTICO

Desenhar uma estratégia logística, deve seguir a mesma análise que foi ilustrada por Porter (1989) na cadeia de valor empresarial; nesse sentido, cada elo da cadeia de suprimentos é o ponto de partida para a construção do planejamento logístico. Para Ballou (2006), cada elo do sistema logístico é planejado e comparado com o restante da cadeia dentro do que é chamado de planejamento logístico integrado e cita que o planejamento é abordado em três grandes camadas: Estratégico, Tático e Operacional. Esse mesmo autor Ballou(2006) completa que cada uma das camadas mencionadas deve ser planejada e realizada pois somente com a arquitetura

dos sistemas gestão e controle em conjunto com as decisões consideradas mais estratégicas é que o ciclo completo de planejamento logístico é realizado.

As diferenças entre essas camadas estão intrinsecamente relacionadas com o horizonte de planejamento que está sendo levado em consideração. As decisões estratégicas estão alicerçadas em um recorte temporal de alguns anos; as decisões táticas cuidam de um intervalo de tempo menor, muitas vezes inferior a um ano; e as decisões operacionais estão relacionadas ao dia a dia da operação, num intervalo que pode chegar a dias e até mesmo em horas (BALLOU 2006). Por conta dessas características, Ballou (2006) alerta que as decisões estratégicas são muitas vezes ancoradas em estimativas e dados inexatos e projeções, que em geral tratam dos valores médios de um estudo.

Em contrapartida das decisões operacionais e táticas levam em consideração as medições realizadas nos processos de negócio descritos na Figura 3 ou uma modelagem de processos personalizada de cada caso. Portanto, cada camada tem um objetivo relacionado à sua área de decisão (Tabela 1), implicando que cada área tem uma decisão relacionada ao aspecto estratégico, tático e operacional.

Tabela 1 – Exemplos de Processo de Decisão Estratégica, Tática e Operacional

Área	Decisão Estratégica	Decisão Tática	Decisão Operacional
Localização das Instalações	Quantidade, Área, Localização, plantas e terminais	-	-
Estoques	Localização de Estoques e normas de controle	Níveis de Estoque e de Segurança	Quantidade e Momentos de reposição
Transporte	Seleção do Modal	Locação de Equipamento Periódico	Roteamento e despacho
Processamento de Pedidos	Sistemas de Entrada, Transmissão de Pedidos e processamentos de	-	Processamento de Pedidos, atendimento de pedidos pendentes
Serviço aos Clientes	Padrão de procedimentos	Regras de Priorização de pedidos dos clientes	Preparação de Remessas
Armazenagem	Seleção do Material de deslocamento	Escolhas de Espaços Sazonais e utilização de espaços privados	Separação de pedidos e reposição de estoques
Compra	Relação com o Fornecedor	Contratação, Seleção de fornecedores e compras antecipadas	Liberação de Pedidos e apressas compras

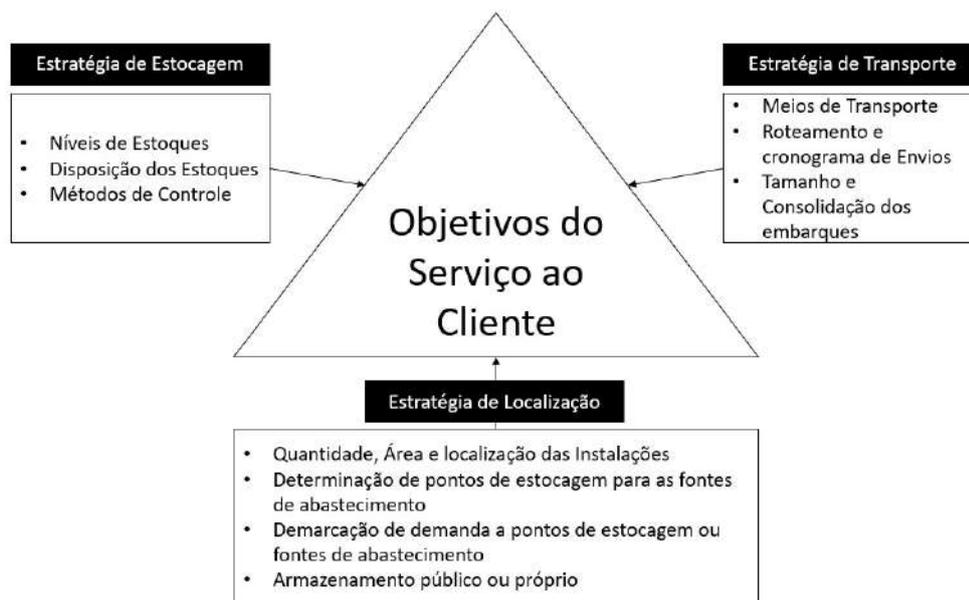
Fonte: Adaptado de BALLOU (2006) p. 53;

A Tabela 1 materializa as decisões por nível estratégico, tático e operacional dentro de cada área de decisão. Dessa forma, fica claro quais aspectos são matérias estratégicas, táticas e operacionais

Para Ballou (2006) as áreas de decisão que o Planejamento Logístico irá atuar envolvem todos os elos da cadeia de suprimentos, porém, existem grandes áreas de decisão: Estoques, transporte, localização e níveis de serviço. Para Novaes (2007) a integração do planejamento e a execução das atividades, tendem a diminuir os custos e aumentar o nível de serviço. Ele menciona que o objetivo central de um projeto é prioritariamente estabelecer um nível de serviço elevado para os consumidores. Dessa forma, o nível de serviço pode-se ser entendido como resultado do planejamento e execução das decisões que são tomadas nas outras três áreas.

Nessa mesma linha, Ballou (2006) retira o aspecto chamado de nível de serviço como um dos pilares do planejamento logístico, que tem como objetivo o serviço ao cliente. Dessa forma, restam apenas três grandes áreas que resultam no que chama de triângulo de tomada de decisões logísticas.

Figura 4 – Esboço das 3 áreas do Triângulo de Decisões Logísticas



Fonte: Adaptado de BALLOU (2006) p. 45;

A Figura 4 explica esse triângulo e mostra que o planejamento logístico leva em consideração três pilares: Estratégia de Localização, Estratégia de Transporte e Estratégia de Estocagem.

2.1.3.1 LOCALIZAÇÃO

Analisando a Tabela 1 e levando em consideração o que o autor Ballou (2006) menciona, entende-se que a localização geográfica das fábricas, pontos de estoque e centros de abastecimento junto com a determinação da quantidade e tamanho dessas estruturas fazem parte das decisões que mais contribuem para desenhar o plano logístico.

Para Novaes (2007), a rede logística tradicional está intrinsecamente relacionada com o espaço e o número de instalações. Além disso, a localização dos centros de distribuição e das fábricas são problemas estratégicos típicos. Para ele, mesmo com o crescente aumento do comércio eletrônico, o fator espacial ainda é importante, e quando analisamos a situação industrial tradicional, se torna mais relevante ainda.

O ILOS, uma empresa brasileira, reconhecida no mercado como uma referência em planejamento logístico e atividades correlacionadas no tema menciona que:

A definição da localização de instalações em uma rede logística, sejam elas fábricas, depósitos ou terminais de transporte, é um problema comum e dos mais importantes para profissionais de logística. Sua importância decorre dos altos investimentos envolvidos e dos profundos impactos que as decisões de localização têm sobre os custos

Logísticos. Caracterizados por um alto nível de complexidade e pelo intenso uso de dados, os estudos de localização atualmente dispõem de novas tecnologias da informação que permitem tratar os sistemas logísticos de forma efetivamente integradas. (LACERDA, 1998, p.1)

Fatores relevantes para localização:

Brito Junior (2012) corrobora com Moreira (2009) que existem alguns fatores, transversais a quaisquer métodos de localização e quaisquer setores que são primariamente importantes na decisão de localização. Esses aspectos devem ser levados em consideração com a análise proposta por Porter (1989). Brito Junior (2012) sumariza esses fatores em Localização das matérias-primas, mão de obra, localização dos mercados consumidores e relação com a comunidade local.

Localização das Matérias Primas: A relação com a proximidade das matérias primas é bastante relevante, principalmente quando se leva em consideração a sua movimentação e o seu custo associado. Para Brito Junior “Se a matéria prima, uma vez obtida, não puder ser transportada por distâncias razoáveis, ou se as condições são muito onerosas para o transporte, isso tenderá a atrair a empresa para perto do depósito ou fonte de dessas matérias-primas (2012, p. 43)

Isso é ilustrado, por exemplo, no caso de uma indústria de beneficiamento de minério: A quantidade de minério que deve ser transportada é imensa e torna economicamente inviável transportá-lo, por esse motivo, a planta de beneficiamento fica próxima à lavra.

No material institucional da empresa VALE (2023a), no Estado do Pará temos o maior complexo minerador do Brasil, responsável por produzir minério de Ferro que incorpora o Portfólio da gigante mineradora brasileira. Esse complexo minerador é chamado de Projeto Ferro Carajás S11D, comumente referido somente como S11D. Segundo a empresa VALE (2023a), o complexo S11D inclui a mina para lavra do minério, uma usina para beneficiamento e terminal de malha logística ferroviária e portuária para seu transporte. Nesse sentido, é possível perceber uma evidência da proximidade da Usina de Beneficiamento do minério no mesmo complexo onde o minério é lavrado, seguindo o fator de Localização de proximidade da matéria-prima que é mostrado por Brito Junior (2012)

Mão de Obra: Brito Junior (2012) diz que a instalação das empresas em determinado território passa pela relação com toda a comunidade local e também com outras organizações, como por exemplo os Sindicatos. Quanto mais a cidade depender socioeconomicamente da empresa mais dificuldades serão enfrentadas para demissão e diminuição da produção. Brito Junior (2012) apresenta como exemplo uma indústria extrativista que ao final do ciclo de exploração, com o declínio das reservas, tende a apresentar um declínio na atividade industrial gerando diminuição dos quadros da empresa prejudicando diretamente e indiretamente toda a comunidade que circula a empresa.

Localização dos mercados consumidores: Para algumas atividades industriais, deve-se levar em consideração o custo de transporte de matéria prima e de produto para alcançar um ótimo entre uma localização próxima do mercado consumidor e do mercado de fornecedores. Nesse sentido, faz-se necessário abordar a necessidade de armazéns, seja para estoque de matérias primas quanto para distribuição de produtos acabados.

Recentemente, o BNDES (2022) sinalizou que irá financiar uma nova fábrica para a empresa Adubos Araguaia no Estado do Paraná (PR) em Paranaguá, por meio do programa BNDES FINEM que tem como finalidade básica o investimento financeiro para projetos públicos ou privados voltados geração de emprego, aumento da capacidade produtiva em diversos setores da economia, segundo o material Institucional do BNDES (2023).

Segundo o material da empresa Araguaia (2023), atualmente a empresa possui fábricas de fertilizantes em Confresa, Sorriso e Rondonópolis, no Estado do Mato Grosso (MT) e em Anápolis e Catalão no Estado de Goiás (GO). Segundo a empresa Araguaia (2023) existe a indicação explícita que as localizações são estratégicas por conta da proximidade física do

Agronegócio brasileiro. O financiador do projeto, BNDES (2022) compreende esta necessidade estratégica da Araguaia e sinaliza que:

A nova fábrica permitirá a expansão logística da empresa para novos mercados agrícolas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. O projeto industrial inclui obras civis e montagens para construção de uma fábrica de mistura de fertilizantes e de um armazém para distribuição de insumos. Também serão erguidas estruturas para suporte à operação, como guaritas e instalações administrativas. (2022, p1)

É possível perceber o fator Localização dos Mercados Consumidores, descrito por Brito Junior (2012) como um dos fatores que influenciam a decisão da localização deste investimento. Com esse projeto a Araguaia permitirá que o seu produto fertilizante NPK acesse novos mercados agrícolas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste e ainda assim mantém proximidade com o Mato Grosso, Estado que ainda é o maior produtor de grãos do Brasil segundo a CONAB (2022)

Em acréscimo, a CONAB (2022) indicou que somente em 2021, o Estado do Mato Grosso registrou o volume de importação de 8 milhões de toneladas de adubos, majoritariamente pelos portos de Santos e pelo porto de Paranaguá, ficando claro a relevância da proximidade da nova instalação do Estado do Mato Grosso mesmo num cenário de expansão para entrar em novos mercados e seguindo essa mesma tendência o BNDES (2022) assinala que:

A construção da unidade industrial vai permitir que as matérias primas importadas, que representam 80% dos insumos necessários para as formulações dos fertilizantes da Araguaia, sejam desembarcadas pelo próprio porto da cidade. As matérias primas nacionais, por sua vez, serão transportadas por rodovias até a nova unidade de produção. Além destes ganhos logísticos, a empresa aproveitará o novo armazém para o estoque de insumos em níveis suficientes para suportar eventuais dificuldades de entrega por parte de fornecedores estrangeiros. (2022 p,1)

Nesse aspecto, verifica-se uma parcela razoável das matérias primas são importadas, portanto, a necessidade de manter um estoque de insumos suficientes aparece como fator relevante em conjunto com os ganhos logísticos de proximidade que foram identificados.

Relação com a Comunidade Local: A relação com sociedade civil organizada, bem como o poder público local, deve ser levada em consideração na decisão de localização. Existem comunidades que desejam atrair empresas e podem, inclusive, oferecer incentivos, como por exemplo, isenção de impostos ou cessão do terreno. Porém, algumas comunidades podem ser mais refratárias à presença das empresas, principalmente àquelas associadas a impactos ambientais.

A EPE (2019) menciona em seu trabalho sobre novas refinarias no Brasil que que:

Em 2017, o Estado do Maranhão promulgou a Lei nº 10.676/2017, que disciplina, entre outros, a concessão de um crédito de ICMS de 85%, pelo prazo de 15 anos, para refinarias de petróleo que eventualmente venham a se instalar no território do referido Estado. Benefícios fiscais como este poderiam incrementar a viabilidade das refinarias elencadas nesta nota técnica (2019, p.65)

Em contrapartida a essa iniciativa, mais recentemente o CFQ (2021) sinalizou que o Regime Especial da Indústria Química será extinto em 4 anos. A mesma fonte esclarece que:

Instituído em 2013, o REIQ garante maior competitividade ao setor químico brasileiro, por meio da isenção de 3,65% do PIS/COFINS incidentes sobre a compra de matérias-primas básicas petroquímicas da primeira e da segunda geração. Sua criação teve por objetivo equilibrar a competitividade do setor químico brasileiro no mercado internacional (2021, p.1)

A mesma fonte, o CFQ (2021), explica que a mobilização das comunidades e instituições ligadas a Indústria Química conseguiu pressionar o Senado para que a extinção do REIQ acontecesse de maneira gradual em detrimento de consequências graves para os empregos e competitividade da Indústria. O CFQ (2021) menciona que “Esperávamos que o texto do Senado, que previa os oito anos para a adequação do setor ao fim do REIQ fosse aprovado. Ficaram os quatro anos, na lei sancionada pelo presidente. De qualquer forma, fizemos um movimento que encontrou eco na defesa dos empregos, da indústria química e da população. Saímos fortalecidos” (p.1)

Analisando os dois cenários, o incentivo do Estado do Maranhão citado pela EPE (2019) e a extinção de um isentivo fiscal exposto pelo CFQ (2021) evidenciam a relevância da isenção tributária na determinação e na escolha da localização de um empreendimento no caso das Refinarias de Pequeno Porte no Maranhão, e como a sociedade civil organizada, por meio das entidades de classe como o Sistema CFQ/CRQs, podem pressionar e dialogar sobre a questão tributária para a Indústria Química brasileira.

Sobre o aspecto de convivência e impacto na população, Brito Junior cita que:

Áreas de armazenagem e residências não se dão muito bem. Empresas de logística precisam de facilidades especiais como ferrovias e grandes rodovias, criando sempre um tráfego muito intenso de caminhões e muito barulho. Precisam, além disso, de redes elétricas de alta tensão. Por esses motivos, uma opção a considerar é a de se instalarem em parques ou distritos com destinação industrial e comercial distantes dos bairros residenciais (2012, p.46)

Por isso, as empresas devem entender qual o seu impacto no território e como gerar a melhor relação possível com todos as áreas e agentes públicos interessados, inclusive as comunidades.

Algumas empresas entendem o processo de Relacionamento com a Comunidade como processo estratégico fundamental para atuação da empresa no território. A empresa de mineração VALE (2023b), menciona em seu material institucional que:

O modelo de Atuação Social da Vale efetiva-se por meio da gestão de riscos e impactos sobre as comunidades e pela promoção de legado social positivo por meio do desenvolvimento territorial, da promoção dos direitos humanos, do empoderamento das comunidades e do fortalecimento das políticas e gestão pública. (2023, p1)

A mesma empresa VALE (2023c) cita em outro trecho de seu material institucional:

Desde o rompimento da Barragem B1, em Brumadinho, temos adotado padrões mais conservadores na avaliação de nossas barragens. Por isso, reagimos ao menor sinal de interferência nos territórios, realizando realocações preventivas ou evacuações emergenciais, quando recomendado. Cientes dos efeitos que essas ações causam nas pessoas, buscamos acolhê-las com cuidado e diálogo, a fim de minimizar os impactos e oferecer a melhor assistência possível, sempre respeitando as particularidades e os anseios de cada família. (2023, p1)

O fator de relação com a Comunidade que é citado por Brito Junior (2012) fica evidente ao avaliar-se o balanço do processo de Reparação que a empresa VALE faz, citando a quantidade de famílias evacuadas e acordos de indenização realizados por conta do incidente de Brumadinho. A Tabela 2 sumariza um breve resumo dessas informações, que são retiradas de uma parte do material institucional da VALE (2022).

Tabela 2 – Famílias Evacuadas e Acordos de Indenização no Processo de Reparação

Localização	Barragem Relacionada	Acordos de Indenização	Famílias Evacuadas
Itabirito (MG)	Barragens Forquilhas I e III, mina de Fábrica	31	28
Macacos (MG)	Barragem B3/B4, mina de Mar Azul	637	114
Barão de Cocais (MG)	Barragem Sul Superior, mina de Gongo Soco	514	157
Antônio Pereira (MG)	Barragem Doutor, mina Timbopeba	132	376

Fonte: Elaboração própria a partir de VALE (2022);

A Tabela 2 mostra a quantidade de famílias que foram evacuadas de forma preventiva por interferências geradas pelas barragens da operação da VALE em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais (MG). Esse movimento mostra o impacto da presença da empresa no território e como ela atua de forma preventiva, reforçando sua preocupação com a segurança e integridade da comunidade local como um dos pilares estratégicos.

Classificação dos Modelos de Localização:

Existe uma lista extensa de fatores que devem ser considerados na escolha da localização dentro das decisões estratégicas da empresa. Esses fatores, porém, não possuem a mesma relevância sempre, cada empresa está inserida em determinada circunstância e contexto, com problemas específicos e por isso, cada fator deverá ter ponderações diferentes por empresa. (MOREIRA, 2009)

Para Ballou (2006), a determinação da localização de uma fábrica deve ser iniciada com a pesquisa dos métodos e suas respectivas classificações segundo os seguintes critérios:

Força Direcionadora - Quase sempre, tende a ser o fator mais fundamental para a escolha do local, por levar em consideração os fatores econômicos e relaciona diretamente a localização da instalação com os custos associados de transporte, que tendem a ter a maior parcela dentro dos custos logísticos. Segundo Ballou (2006), esse método é exemplificado por um aspecto, chamado de força, que é forte o suficiente para direcionar a decisão. Como por exemplo, a força econômica, que indica a localização favorável levando em consideração os custos de transporte, portanto, a força econômica está sendo a Força Direcionadora da decisão de localização.

Número de Instalações - Um maior número de instalações, de uma só vez, representa um maior nível de complexidade em oposição à escolha de uma única instalação, que representa o caso mais simples de análise. Optar por um problema de múltiplas instalações, significa levar em consideração diferenças entre forças competitivas, fragmentação da demanda e a dispensa dos efeitos de consolidação de estoque e maior custo para implementação das instalações.

Descontinuidade das Escolhas - A determinação da localização de uma instalação pode ser feita levando-se em consideração todos os pontos de uma determinada região, como por exemplo, toda a região metropolitana de uma cidade. Dessa forma, a varredura de toda essa área, chamamos de contínuo, ou, pode-se trabalhar em cima de um conjunto discreto de opções, que são previamente selecionados, e esse chama-se de métodos discretos.

Horizonte no Tempo - Planos de localização podem usar métodos dinâmicos, que variam com o tempo, ou estáticos. Dessa forma, os métodos estáticos usam um conjunto de dados de um recorte temporal de um período curto e único, como por exemplo, a determinação de um armazém de distribuição de um produto de baixo valor agregado. Porém, alguns planos de localização podem utilizar maiores séries temporais e projeções, principalmente quando estão sendo demandados para implantação de instalações que envolvem grandes quantias e

grande dificuldade de alterar suas instalações. Como exemplo estão as Refinarias, Fábricas e indústrias, em geral.

Grau de Agregação de Dados - Os projetos de localização, se tornam cada vez mais complexos com o aumento do número de configurações de redes que são avaliadas e simuladas. Esse conjunto de configurações é proporcional à quantidade de dados que são utilizados e ao nível de acurácia que é possível atingir com o conjunto de informações disponível.

Diferentes soluções requerem diferentes conjuntos de dados. Dessa forma, problemas com elevado grau de agregação de dados podem delimitar grandes áreas geográficas, como cidades e distritos inteiros como resultado da escolha de localização. Porém, problemas com dados mais granulares e com bastante detalhamento, com menor grau de agregação, conseguem ser mais acurados, dessa forma, o resultado de um método que utiliza um grau de agregação menor pode apontar uma localização bastante específica, como por exemplo, uma rua de uma determinada cidade (BALLOU, 2006).

Ballou (2006) também indica que os métodos para identificar a localização podem ser agrupados em determinadas classes:

Heurísticos - Podem não garantir a solução ótima porque partem de premissas e metodologias específicas, porém, o principal ganho relacionado a esse método é a velocidade em encontrar uma solução dentro das restrições que foram enunciadas na partida do método.

Simulações - Com característica computacional, usam a estatística para alcançar diversas soluções e medem seus respectivos desempenhos e com isso fornecem uma solução dentro das alternativas de estudo.

Exatos - É capaz de garantir matematicamente que a solução encontrada é a ótima dentro do modelo escolhido dentre todas as alternativas compreendidas no universo de alternativas.

Outros Fatores Relevantes nos métodos de localização:

É válido reforçar que todos os modelos possuem uma determinada sensibilidade, com pontos fortes e fracos, que podem ser analisados quando a sua aplicação a um problema real acontece. Ballou (2006) sintetiza algumas hipóteses simplificadoras, que costumam surgir nos modelos.

Custos de Transporte: Geralmente são formados por uma parcela fixa e uma parcela variável, em uma composição de preço que contém uma tarifa mínima e taxas de cobertura.

Essa modelagem não apresenta um comportamento linear, diferente do modelo que aponta que o custo de transporte aumenta proporcionalmente com a distância.

Pontos de demanda: Não são necessariamente concentrados numa única área. O ponto central da demanda do mercado, chamado de *cluster*, é a forma de conglomerar vários clientes dentro de uma região. Ele pode, porém, distorcer o custo de transporte, visto que pode haver pontos isolados nesta região que são pontos de demanda, contudo, distantes do centro de gravidade do cluster.

Localização Única: Modelos de localizações únicas, em geral, consideram a parcela do custo variável como objeto de análise. Significa, portanto, que os custos de capital para implantação de diferentes instalações não são distintos.

Distância: Considera que a distância entre dois pontos, em termos de transporte logístico, é feita por uma reta. Sabe-se que dificilmente dois pontos são diretamente ligados por uma linha reta tratando-se da malha de transportes Brasileira, levando-se em consideração a complexa rede de estradas e um sistema ferroviário bastante definido. De forma a fazer um ajuste, pode ser adotado o coeficiente de circuito, que tenta ajustar esse valor.

Método do Centro de Gravidade:

Peinado e Graeml (apud BRITO JUNIOR, 2012) diz que esse método é particularmente útil na determinação de uma nova instalação, dentro de uma rede de instalações de fornecedores e clientes já definidos, pois irá buscar o custo de transporte ótimo neste cenário.

Para Ballou (2006), esse método leva em consideração a tarifa de transporte e o volume transportado, levando-se em consideração os pontos de fonte e de demanda. Na sua classificação, é um modelo exato, contínuo e de localização única.

Portanto, Ballou (2006) e Peinado e Graeml (apud BRITO JUNIOR, 2012) apontam que este método necessita que os pontos de demanda, os clientes, sejam previamente delimitados, que os pontos de fonte, os fornecedores, também sejam previamente estabelecidos e que a tarifa de transporte seja conhecida. Em suma, essas informações devem ser pré-requisitos para aplicação do método de centro de gravidade. Esses mesmos dois autores, descrevem que o centro de gravidade será a recomendação de localização do método, que segue com as etapas abaixo:

Coordenadas Geográficas: O requisito inicial é o conhecimento dos fornecedores e clientes e suas respectivas informações de localização. De forma prática, pode-se fazer uso de eixo ortogonal auxiliar e marcar no plano cartesiano, de escalas arbitrárias ou em um mapa, as

respectivas localizações e aferir suas coordenadas verticais e horizontais. Como ressalva, num cenário de imprecisão da informação, como apontado por Ballou (2006), diferentes pontos de demanda numa mesma redondeza ou cidade, pode-se aproximar esses diferentes pontos por um ponto médio entre eles.

Cálculo do Centro de Gravidade: De posse dessas informações, deve-se alimentar as fórmulas do centro de gravidade, descritas nas Equações 1 e 2:

$$G_x = \frac{\sum d_{ix} p_i c_i}{\sum p_i c_i} \quad (1)$$

$$G_y = \frac{\sum d_{iy} p_i c_i}{\sum p_i c_i} \quad (2)$$

c_i = volume transportado para a instalação ou mercado i

p_i = custo de transporte na direção da instalação ou do mercado i

d_{ix} = coordenada horizontal da instalação ou mercado i

d_{iy} = coordenada vertical da instalação ou mercado i

Método da Ponderação Qualitativa:

Peinado e Graeml (apud BRITO JUNIOR, 2012) menciona que este método é mais adequado para tratar dados qualitativos e tem como objetivo quantificá-los, dando como resultado uma recomendação de localização. Esse método classifica e dá notas, de forma subjetiva, a determinados quesitos, previamente selecionados, sendo possível classificar e comparar diferentes opções de localização. Esse método possui as seguintes etapas:

Identificação dos Fatores Relevantes: A primeira etapa consiste em elencar quais são os fatores que deverão ser analisados para decisão da localização. No início dessa seção, por exemplo, são mencionados uma lista de fatores, descritos por Brito Junior (2012) que influenciam a análise. Porém, a lista pode ser extensa, passando por fatores como: Infraestrutura da cidade, acesso a rodovias, qualidade das estradas, clima da região e incentivos fiscais.

Atribuição de Pesos para os Fatores: A segunda etapa é ponderar todos os fatores levantados no primeiro item, de forma que seu somatório seja 100 %. Neste ponto, pode ser útil

fazer a análise de Porter (1989) para entender a conjuntura estratégica daquele negócio para priorizar quais os fatores mais relevantes.

Atribuição de Notas: A terceira etapa consiste em atribuir notas para os respectivos fatores indicados no primeiro item para cada uma das localizações propostas, dentro de uma escala arbitrária, como por exemplo de 0 a 10, sendo o limite inferior considerado como negativo e o limite superior muito favorável.

Ponderação das Notas e Resultado: A quarta etapa irá computar todas as notas para cada localização proposta e ponderar segundos os pesos descritos na segunda etapa, por uma média ponderada.

2.1.3.2 LOGÍSTICA DE TRANSPORTE

O transporte era visto como uma atividade anexa ao núcleo operacional, com menos importância que a atividade de fabricação, por exemplo. Porém, com o conceito de cadeia de suprimentos, fica claro que nenhuma empresa pode ter uma vantagem competitiva se não tiver um serviço de transportes eficiente (POLLI, 2004).

Dessa forma, o transporte começa a assumir um papel protagonista dentro do tema logística. Sobre o transporte de cargas, Negri, J.A et al declara que: “O transporte de cargas é o principal componente dos sistemas logísticos das empresas. Sua importância pode ser medida por meio de, pelo menos, três indicadores financeiros: custo, faturamento e lucro” (2006, p.409)

Reforçando o quesito estratégico no Planejamento Logístico, descrito no trabalho de Ballou (2006), o autor Negri, J.A et al declara que “Tanto no âmbito das políticas públicas de investimento em infraestrutura quanto no âmbito gerencial de empresas privadas e estatais, a principal decisão relativa ao transporte de cargas é a escolha dos modais de transporte” (2006, p.409)

O transporte é a atividade logística que absorve a maior parcela do custo, e as decisões sobre transportes se materializam principalmente em: Seleção do modal, roteirização dos embarques, programação dos veículos e aferição do frete (BALLOU 2006).

Ballou (2006) cita que para escolha do modal de transporte, devem ser levadas em consideração três características básicas: custo, tempo em trânsito, perdas e danos. Essa tríade, deve-se selecionar um modal ou uma combinação deles. Os modais de transporte são divididos basicamente entre os seguintes modais: Rodoviário, Ferroviário, Aéreo, Dutoviário e Hidroviário e são detalhados a seguir.

Modal Ferroviário: Este modal tem como característica percorrer grandes trechos em baixa velocidade e frequentemente é empregado no transporte de granéis e de produtos de baixo

valor agregado, como por exemplo: Papel, madeira, minério, alimentos e alguns produtos químicos (BALLOU 2006).

Segundo o autor Chopra (2003), esse modal tem uma estrutura de custos característica por um elevado custo fixo e um baixo custo variável e isso incentiva o transporte de grandes volumes por longas distâncias. Por isso, sua capacidade é indicada para produtos grandes e pesados.

Outra característica relacionada com esse modal é o manuseio da carga e o volume transportado. Em geral, para produtos à granel (soja, minérios, combustíveis e fertilizantes) possuem terminais que facilitam e tornam rápida a operação de carga e descarga; em oposição de produtos manufaturados, que exigem uma tarefa mais manual na carga e descarga (NOVAES, 2007)

Além disso, Novaes (2007) menciona que os vagões podem ser específicos para o transporte de um granel, por conta de características intrínsecas aquele produto. Como exemplo, sinaliza que não é possível transportar combustível no mesmo vagão que é transportado por minério de ferro, por questões de segurança e armazenamento. Dessa forma, cria-se uma dependência de um determinado vagão a uma determinada carga, e isso pode-se traduzir em um desbalanceamento do transporte, que significa que é possível que ele só execute o transporte com lotação completa em um dos sentidos do fluxo e volte vazio no trecho de retorno até a origem.

Ambos os autores, Novaes (2007) e Ballou (2006) apontam que o serviço ferroviário mais comum é o de carga completa, ou seja, próximo a capacidade máxima de carga do vagão, um indicativo de tendência de movimentar grandes volumes, seguindo o mesmo indicativo abordado por Chopra (2003)

Em termos de custo, Novaes (2007) diz que os custos variáveis são relativamente baixos perto dos custos fixos de uma ferrovia, como por exemplo, as taxas de operação dos terminais e manutenção e conservação da infraestrutura corroborando com Chopra (2003).

O estudo setorial do BNDES realizado por Assis, A et al. (2017) faz um recorte desse setor no Brasil e aponta que o sistema ferroviário está basicamente ligado ao transporte de minério e *commodities* agrícolas, cerca de 81 % e 14 % respectivamente. Além disso, em termos de velocidade, Assis, A et al. (2017) sinaliza que a velocidade média é de 16Km/h e isso pode ser considerado um valor baixo tendo em vista que isso restringe o potencial uso para cargas que são sensíveis ao tempo de transporte.

Assis, A et al. (2017) analisa as concessões de ferrovias do Brasil e aponta que as quatro maiores concessões são da Vale S.A, MRS Logística S.A e VLI S.A e RUMO S.A respectivamente.

Analisando a VALE, maior concessionária ferroviária do país, ASSIS, A. (2017) diz que ela transporta 100 % do volume da carga de minerais em suas ferrovias: Estrada de Ferro Carajás (EFC) e Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM). A EFC é responsável por escoar todo minério de ferro produzido no complexo de Carajás S11D até o porto da Madeira e a EFVM tem a mesma característica de transportar 100 % de carga mineral e transporta passageiros de forma discreta e irrelevante para o percentual, segundo ASSIS, A et al. (2017). É detalhado na Tabela 3 as informações da extensão, estados, portos e principais cargas das concessões da VALE

Tabela 3 - Concessões Ferroviárias da VALE

Concessão	Extensão (Km)	Estados	Portos	Principal Carga
EFC	892	MA, PA	Ponta da Madeira (MA) Tubarão, Terminal de Vila	Granéis Minerais
EFVM	905	ES, MG	Velha, Porto de Barra do Riacho	Granéis Minerais

Fonte: Elaboração própria, adaptado de ASSIS, A et al. (2017)

A empresa VALE (2023d) detalha quais granéis minerais ela transporta dentro de cada trecho de concessão e essa informação é apresentada na Tabela.4.

Tabela 4 - Distribuição de Produtos nos trechos de concessão da VALE

Concessão	Produtos Transportados
EFC	Minério de Ferro, ferro-gusa, manganês, cobre, combustíveis e carvão
EFVM	Minério de Ferro, carvão e produtos agrícolas

Fonte: Elaboração própria a partir de VALE (2023d)

A segunda maior concessão é administrada pela empresa MRS e pode-se destacar que ela opera na região do país onde é concentrado metade do PIB brasileiro, como é indicado por Assis, A et al. (2017) em seu trabalho e tem acesso aos principais portos do país. Em geral, seu transporte é focado em granéis minerais e granéis agrícolas, porém, recentemente a empresa tem diversificado sua carga e passa a operar também com carga geral, segundo Assis, A et al. (2017). Na Tabela 5 é possível ver a extensão do trecho de concessão, os estados que percorre, os portos de acesso e as cargas transportadas.

Tabela 5 - Concessões Ferroviárias da MRS

Concessão	Extensão (Km)	Estados	Portos	Principal Carga
MRS	1674	MG, RJ, SP	Santos, Pederneiras, Rio de Janeiro, Sepetiba e Guaíba	Granéis Minerais e carga geral

Fonte: Elaboração própria, adaptado de ASSIS, A et al. (2017)

O material Institucional da MRS LOGÍSTICA (2023), sinaliza que a referida empresa possui uma vantagem competitiva da malha operada está conectada aos portos centrais da região sudestes e indica que possui acesso direto ao porto da Usiminas Cubatão uma das principais fornecedoras de aço no Brasil e que tem acesso exclusivo a alguns terminais do porto de Itaguaí, como por exemplo os terminais CSN Tecar, que opera com granéis; CPBS Vale, que opera com exportação de minério de ferro. Todo este conteúdo mencionado no material institucional referido corrobora com o autor Assis, A et al. (2017).

A MRS LOGÍSTICA (2023) não indica explicitamente quais produtos transporta, porém, menciona quais são os seus principais parceiros e qual segmento de atuação de cada um deles. A Tabela 6 expõe as informações dos setores e clientes da MRS com enfoque nos setores químicos e setores correlatos.

Tabela 6 - Distribuição de Clientes da MRS por Segmento de Atuação

Segmentos de Atuação	Clientes
Mineração	Vale, CSN, Usiminas, ArcelorMittal, Gerdau, Saint Gobain Canalização e Mineração Morro do Ipê
Siderurgia	Vale, CSN, Gerdau, ArcelorMittal, Vallourec e Ternium
Metalurgia	Companhia Brasileira de Alumínio e Nexa Recursos Minerais
Química e Petroquímica	BASF, Elekeiroz e Unipar Indupa
Papel e Celulose	Suzano

Fonte: Elaboração própria, adaptado de MRS LOGÍSTICA (2023)

Na Tabela 6 é possível identificar setores que produzem produtos que são apontados pelos autores Ballou (2006) e Novaes (2007), como por exemplo, o minério e papel e celulose.

A terceira maior concessionária ferroviária, a VLI S.A administra dois trechos de concessão que já foram administrados pela VALE S.A e atende as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, como é indicado por Assis, A et al. (2017) em seu trabalho. A Tabela 7 sumariza essas informações e detalha a extensão, os portos de conexão e os principais produtos que são transportados em cada um dos trechos de concessão.

Tabela 7 - Concessões Ferroviárias da VLI

Concessão	Extensão (Km)	Estados	Portos	Principal Carga
Ferrovias Centro Atlântica (FCA)	7215	SE, BA, ES, GO, DF, MG, RJ e SP	Angra dos Reis (RJ), Aracaju (SE), Aratu e Salvador (BA)	Granéis Agrícolas, fertilizantes, siderúrgicos e carga geral
Ferrovias Norte-Sul (FNS)	720	MA e TO	-	Granéis Agrícolas, Combustível, celulose e carga geral

Fonte: Elaboração própria, adaptado de ASSIS, A et al. (2017)

A VLI S.A (2023) em seu material, indica que seus corredores logísticos atendem as regiões Centro-Norte, Centro-Sudeste, Centro-Leste, Minas-Rio e Minas-Bahia de forma detalhada. Além disso, ela agrupa os tipos de carga que é responsável por transportar nas seguintes categorias: grãos, minerais e industriais, fertilizantes, combustíveis, produtos florestais e açúcar. A Tabela 8 detalha essas informações e sinaliza quais produtos estão presentes em cada categoria de carga

Tabela 8 – Produtos Transportados e sistemas logísticos utilizados na VLI

Tipo de Carga	Produtos Transportados	Sistema Logístico
Grãos	Soja, Milho e Farelo	Centro-Sudeste
		Centro-Norte
Minerais e Industriais	Coque, Carvão e antracito, minério de ferro, cromo, manganês, bauxita e magnesita, calcário, ferro gusa, cimento, clínquer, granito e produtos siderúrgicos gerais	Centro – Norte
		Centro - Sudeste
Fertilizantes	Mistura fertilizante	Centro-Norte Centro – Sudeste
Combustível	Diesel, Gasolina e biodiesel	Centro-Norte Centro – Sudeste
Produtos Florestais e Açúcar	Torete, celulose e açúcar	Centro-Norte Centro – Sudeste

Fonte: Elaboração própria, adaptado VLI S.A (2023)

Na Tabela 8 é possível identificar de forma explícita os produtos químicos fertilizante e combustíveis que aparecem como uma das indicações do autor Novaes (2007) em seu trabalho.

A quarto maior concessão logística pertence a empresa Rumo S.A, que administra 4 grandes malhas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Assis, A et al. (2017) indica que dentro

todas as 4 empresas que detêm as maiores concessões logísticas, a Rumo S.A administra o trecho com maior número de clientes e com maior número de segmentos distintos e sinaliza que o trecho mais estratégico é o trecho da Malha Paulista, pois permite acesso ao porto de Santos (SP) e se destaca pelo transporte de combustível. A Tabela 9 detalha as concessões em extensão, estados, portos e principais cargas transportadas

Tabela 9 –Concessões Ferroviárias da RUMO

Concessão	Extensão (Km)	Estados	Portos	Principal Carga
Malha Oeste	1953	SP, MS	Esperança e Landário (Ambos hidroviários)	Granéis Agrícolas, Combustível e Celulose
Malha Sul	7304	RS, SC, PR, SP	Paranaguá (SC), Rio Grande (RS), São Francisco do Sul (SC)	Cargas geral, em especial industrializados e frigorificados, granéis agrícolas, combustíveis, químicos, siderúrgicos e produtos de construção civil
Malha Paulista	1989	SP	Santos (via MRS), Pederneiras e Panorama	Combustível, Carga Geral e Açúcar
Malha Norte	617	MT, MS	-	Granéis Agrícolas

Fonte: Elaboração própria, adaptado de ASSIS, A et al. (2017)

A RUMO (2023) em seu material sinaliza que o seu sistema ferroviário, que possui concessão, pode ser dividido em alguns tipos de cargas e alguns produtos específicos em cada tipo. A Tabela 10 faz essa exemplificação e detalha alguns produtos dentro de cada tipo de carga que a Rumo transporta.

Tabela 10 - Distribuição de Produtos por Tipo de Carga transportada pela RUMO

Categorias	Produtos Transportados
Agrícola	Milho, Trigo, Soja, farelo, óleo vegetal e açúcar
Fertilizantes	Mistura Fertilizante
Combustíveis	Diesel, Etanol, Gasolina e derivados
Produtos Industrializados	Carga geral, transportada especialmente em contêineres

Fonte: Elaboração própria

Em seu material institucional, a RUMO (2023) cita particularmente que os Combustíveis que transporta tem origem nas principais refinarias do Sul do País e em Paulínia,

em SP e são enviados para os estados de MT, MS, SP, PR, RS. Além disso, explica que o Etanol tem origem dos estados do PR, MT, GO, MS e são enviados à região de Paulínia em SP. Os outros trechos de concessão são citados por ASSIS, A et al. (2017) como trechos de Operadores que o volume de cargas transportada é marginal perto do volume transportado pelo sistema ferroviário brasileiro e não possuem informações públicas sobre suas operações.

Modal Rodoviário: Segundo BALLOU (2006) esse modal tem uma característica única: o serviço de porta a porta. A CNT (2022) reitera essa posição citando que: “As empresas do TRC (Transporte Rodoviário de Cargas) diferenciam-se das de outros modais por realizarem o transporte porta a porta, pela grande oferta de veículos e pelo atendimento aos diversos tipos de carga, movimentadas com agilidade e eficiência em diferentes âmbitos geográficos, tanto no meio rural quanto em meio urbano”. (2022, p.6)

Vale mencionar que a característica de serviço porta a porta, não significa que uma única empresa fará todo o trajeto e que não haverá troca de veículo, embarque ou desembarque; várias empresas e vários veículos podem fazer parte de um único transporte de um produto até determinado destino e seja completo o serviço de porta a porta.

Em relação à Infraestrutura, os outros modais dependem intrinsecamente de instalações de Portos, Ferrovias, Aeroportos, porém, segundo a CNT (2022), em comparação com os outros modais, o Transporte Rodoviário é caracterizado pela maior flexibilidade com relação à Infraestrutura e apresenta flexibilidade também pelos tipos de veículos e tipos de cargas transportadas.

Uma das grandes características do transporte rodoviário é o de alcançar praticamente qualquer ponto do território nacional, com exceção de locais muito remotos, que enfrentam desafios logísticos únicos. (NOVAES, 2017)

A CNT (2022) descreve em seu trabalho a abrangência territorial dos transportes no cenário brasileiro. Menciona que grande parte das empresas fazem o transporte interestadual e detalha os outros alcances (Tabela 11)

Tabela 11 – Abrangência Territorial das Empresas de TRC

Escopo Territorial das Empresas	%
Interestadual	84,3
Intermunicipal	24,6
Internacional	12,1
Municipal	10,1

Fonte: Elaboração própria a partir de CNT (2022)

As informações da Tabela 11 sinalizam que 84,3 % das empresas entrevistadas estão aptas a transportar cargas entre estados e poucas empresas (10,1 %) estão prestando o serviço de transporte dentro do próprio município. Isso endossa o que o autor Novaes (2017) sinaliza quando diz que uma das características desse modal é acessar outras áreas do território nacional.

Em termos de capacidade, Ballou (2006) afirma que a capacidade e o tamanho dos carregamentos do modal rodoviário é sempre menor do que o modal ferroviário. Essa comparação é particularmente válida, pois, segundo esse mesmo autor, são modais em permanente concorrência pela movimentação de inúmeros produtos similares.

Ambos os autores Ballou (2006) e Novaes (2017) compartilham da caracterização quanto ao tipo da carga: Lotação Completa e Carga Fracionada. O primeiro tipo é classificado como um carregamento inteiro do mesmo produto, ou do mesmo lote despachado; em contrapartida, a Carga Fracionada compartilha o carregamento com outros produtos. A escolha entre esses dois tipos afeta diretamente na rapidez da entrega, embarque e desembarque, transporte até o centro de distribuição, roteirização e confiabilidade da entrega.

Para a CNT (2022), a categorização do transporte pode ser feita a partir da capacidade do veículo e pela sua natureza. Com relação a capacidade, também conjuga da caracterização feita por Ballou (2006) e Novaes (2017): Carga Fechada (Lotação Completa) ou fracionada. Sobre a carga do tipo lotação completa, a CNT define que:

A carga do tipo lotação (ou carga fechada) caracteriza os deslocamentos em que há um único embarcador e, geralmente, um só destino no itinerário. Nela, as mercadorias ocupam toda a capacidade do veículo – ou, ainda, não compartilham esse espaço com cargas de outros embarcadores.” (2022, p. 61)

Para a carga do tipo fracionada, o mesmo autor CNT define que:

Na carga fracionada, por sua vez, a capacidade do veículo é compartilhada, em cada deslocamento, por mercadorias de dois ou mais embarcadores, com diferentes destinos ao longo do itinerário. Dada a sua maior complexidade, comparativamente com a lotação, esse tipo de operação demanda grande capacidade de organização e um controle rigoroso das entregas, de modo a evitar erros e extravios (2022, p. 61).

Ainda no quesito de detalhamento da carga, a segunda dimensão é com relação a natureza da carga. Para a CNT (2021), é possível categorizar em 6 categorias: carga Granel, carga Geral, carga frigorífica, carga perigosa e carga indivisível e carga vida.

Carga granel: Esta categoria deve ser subdividida em granel sólido ou líquido. A CNT (2021) cita como principais exemplos o minério de ferro e a soja, pois obedecem às características de serem transportados sem embalagens ou acondicionamentos, sem uma

identificação específica de marca e não são feitas contagens de unidades ou grãos, mas sim no peso.

Carga geral: Para a CNT (2022), o conjunto de características que definem uma carga dentro desta categoria são a necessidade de acondicionamento, marcas de identificação de marca ou contagem de unidades, podendo estar embalagens ou não. A CNT (2022) cita essa característica como chamada de critério de unitização.

Carga frigorífica: Segundo a CNT (2022) a caracterização é breve e relaciona somente com a necessidade da refrigeração e manutenção da qualidade do produto até o seu destino

Carga perigosa: Essa classificação está diretamente relacionada com o potencial dano e riscos à saúde que a carga pode oferecer, segundo a CNT (2022). Essa carga inclui o transporte de produtos químicos, explosivos, materiais radioativos e quaisquer outros que se enquadrem como potencial risco à saúde.

Carga indivisível: Para a CNT (2022) são cargas que são caracterizadas principalmente pelo tamanho ou dimensão ou peso que demandam uma autorização de trânsito especial por conta de suas características serem maiores do que os limites regulamentados.

Carga viva: Segundo a CNT (2022), envolve o transporte de animais vivos, seja para abate, revenda ou simples deslocamento. Os principais cuidados são relacionados à segurança e bem-estar dos animais, como por exemplo, espaço, ventilação e a quantidade de tempo que o deslocamento irá durar.

Segundo a CNT (2022) no Brasil existe a predominância do transporte de carga geral e carga granel (Tabela 12):

Tabela 12 – Transporte Rodoviário por Natureza de Carga

Gestão Familiar	%
Carga geral	64,7
Granel sólido	22,8
Carga perigosa	16,6
Granel líquido	12,1
Carga frigorífica	8,8
Carga indivisível	3,9
Outros	1,9
Carga viva	1,7

Fonte: Elaboração própria a partir de CNT (2022)

Para a Indústria Química, é particularmente interessante os aspectos relacionados ao transporte de produtos químicos e por consequência, a carga de natureza perigosa, segundo a classificação da Confederação Nacional do Transporte, CNT (2022), se torna especialmente

relevante. Nesse aspecto, a ANTT regulamenta o transporte de produtos perigosos em rodovias e ferrovias, com a intenção de estabelecer padrões e normas técnicas para a atividade. (ANTT 2022).

A ANTT (2022) sinaliza que a regulamentação brasileira é embasada pelo Comitê de Peritos em Transporte de Produtos Perigosos das Nações Unidas e suas recomendações. Essas recomendações são periodicamente disponibilizadas no material conhecido como *Orange Book*. Em acréscimo, a regulamentação também faz uso das recomendações do Acordo Europeu para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos. Por fim, em sua publicação, a ANTT (2022) indica que a Resolução ANTT nº 5947/21 é que é responsável por fazer a regulamentação referida.

A Resolução ANTT nº 5947/21 atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos que determina a caracterização da carga perigosa em nove classificações (Tabela 13) e detalha essas informações em seu material Brasil (2021a), que é de particular interesse para o transporte de produtos químicos.

Tabela 13 – Classificação de Cargas no Modal Rodoviário

Classe	Material
1	Explosivo
2	Gases
3	Líquidos Inflamáveis
4	Sólidos Inflamáveis
5	Substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos
6	Substâncias tóxicas e Substâncias infectantes
7	Material Radioativo
8	Substâncias Corrosivas
9	Substâncias e artigos perigosos diversos, incluindo substâncias que apresentem risco para o meio ambiente

Fonte: Elaboração própria a partir de BRASIL (2021a)

Além das nove classes que a ANTT propõe na Resolução nº 59427/21, existem determinadas subclasses que detalham com maior especificidade do ponto de vista do risco, impacto e propriedades físico-químicas.

Em acréscimo às classes proposta pela ANTT, existe outro aspecto bastante relevante com relação ao transporte desses produtos que é o processo de expedição. Em seu material, Brasil (2021b) detalha quais os seguintes veículos podem executar o transporte rodoviário de cargas perigosas: Veículo de carga (simples e combinado), veículo misto, veículo-tanque, unidade móvel de bombeamento (UMB) e automóveis (Para o transporte de produtos classe 7).

Além disso, Brasil adiciona uma nota com relação aos veículos mistos: Quando forem utilizados veículos mistos, os produtos perigosos devem ser transportados em compartimento próprio (de carga), segregado do condutor e auxiliares. (2021, p.452).

Segundo o autor Winter (2013), com relação ao transporte de produtos químicos, existe a indicação de que seja feito dentro de contêineres tanques, conhecidos também como *isotank* dentro do meio logístico, por isso Winter sinaliza que:

O transporte deste tipo de produtos quando movimentados pela indústria habitualmente é feito em grandes quantidades e a granel para maximizar a capacidade energética de deslocamento dos produtos, por este motivo utilizam os contêineres tanque - ou também conhecidos como *Isotanks*, que vem a ser um equipamento cilíndrico feito em aço, revestido de alumínio ou fibra de vidro, com isolamento de lã de rocha ou vidro e apoiado em uma estrutura reforçada de aço carbono, construído de acordo com normas internacionais, próprio para o transporte de líquidos e também utilizados para o transporte de gases em menores proporções (2013, p.298)

Para o autor Winter (2013), a capacidade de carga deste contêiner deve ser escolhida com muito cuidado, não ultrapassando 95 % da capacidade volumétrica por questões de segurança e mantendo o valor mínimo de 80 %.

Modal Aéreo: É o mais veloz em grandes distâncias, principalmente, avaliando transportes internacionais. Além disso, aparece como uma alternativa muito segura, em termos de danos e avarias para cargas sensíveis, como por exemplo, equipamentos eletrônicos e produtos perecíveis, como alimentos e flores (NOVAES, 2017).

Kaufmann (2009) cita em seu trabalho que o transporte aéreo em conjunto com o transporte marítimo são os únicos modais que conseguem transportar uma mercadoria em distâncias globais e continentais com um tempo e custo justos.

Outro fator bastante relevante neste modal, é sua importância nas cadeias logísticas, cada vez mais globalizadas, em que é necessário o deslocamento de componentes e pequenos artefatos entre grandes distâncias e um curto espaço de tempo, para Novaes (2017), o transporte aéreo cumpre esse papel. A CNI (2019) sinaliza que o transporte aéreo se destaca pela sua velocidade e maior segurança dos itens transportados, seguindo a mesma linha do autor Novaes (2017).

Fagundes (apud CNI 2019, p.18) indica claramente que a maior característica do transporte aéreo é a velocidade e cita como exemplo o transporte de uma carga com origem na Ásia em direção a Manaus. Seguindo uma opção por transporte marítimo, existe a estimativa de 40 a 45 dias, em contrapartida, o modal aéreo consegue realizar o mesmo trecho com apenas 7 horas.

Para Ballou(2006) a capacidade do serviço aéreo possui grandes restrições, desde o tamanho físico das cargas, sendo bastante seletivo os tipos de cargas que são elegíveis para esse modal. A CNI (2019) indica que o transporte aéreo de cargas favorece o transporte de bens de alto valor, como por exemplo, pedras preciosas, equipamentos industriais e equipamentos frágeis e sinaliza que as desvantagens do modal aéreo são o maior custo e as restrições de tamanho e peso, corroborando com o que o autor Ballou (2006) aponta. Além disso, a CNI menciona que: “Essas restrições inviabilizam o transporte de cargas de certos produtos, a exemplo de mercadorias transportadas a granel, como grãos e minerais e cargas volumosas” (2019, p.18)

Em termos de confiabilidade, ambos os autores Ballou (2006) e Novaes (2017) concordam que em condições normais, a disponibilidade do serviço aéreo é boa. Porém, é extremamente sensível às condições de tráfego aéreo e manutenção dos aviões, que a cada ano melhoram e evitam que o avião permaneça muito tempo parado. Essa tendência tem aumentado o tempo de utilização da aeronave, que tem o efeito de diluir o custo do transporte.

No cenário brasileiro, a CNI (2019) sinaliza que apesar dos ganhos de velocidade e maior segurança, a presença no comércio exterior vem caindo ao longo dos anos por conta da crescente expansão das exportações de *commodities* que utilizam a via marítima e não são fazem parte do transporte aéreo.

Além disso, detalhando o cenário brasileiro, a CNI (2019) elenca alguns obstáculos para o transporte aéreo de cargas brasileiro: “Lentidão nos processos de liberação de cargas com impactos diretos no custo e atrasos na entrega; Burocratização dos processos; Baixa automatização dos serviços prestados pelos aeroportos e por último a falta de clareza quanto à cobrança e taxas de serviços específicos” (CNI 2019, p.9)

Analisando os produtos transportados pelo modal aéreo no Brasil, a CNI elaborou essa informação por produtos exportados (Tabela 14) e produtos Importados (Tabela 15) de em determinadas categorias:

Tabela 14 – Produtos Exportados no modal aéreo

Produto	% (Faturamento em US\$)
Reatores Nucleares, Caldeiras e Máquinas	30,2
Pérolas cultivadas, naturais e pedras preciosas	21,2
Aeronaves e produtos espaciais	11,6
Máquinas e aparelhos elétricos	8,4
Instrumentos e aparelhos de óptica e de fotografia	5,2
Outros	20,9

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI (2019)

Dentro os produtos exportados citados na Tabela 14 não é mencionado especificamente nenhum produto químico.

Tabela 15 – Produtos Importados no modal aéreo

Produto	% (Faturamento em US\$)
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	35,7
Produtos Farmacêuticos	18,1
Reatores Nucleares, Caldeiras e Máquinas	14,5
Instrumentos e aparelhos de óptica e de fotografia	10,2
Produtos químicos orgânicos	5,2
Outros	15,6

Fonte: Elaboração própria a partir de CNI (2019)

Dentro os produtos exportados citados na Tabela 15 existe uma menção clara aos produtos químicos orgânicos e a produtos farmacêuticos. Porém, devido as características do modal, existe a restrição física que impede o transporte de grandes quantidades desses produtos.

A Prestex (2023) empresa especializada em transporte aéreo, sinaliza que o transporte aéreo pode atender a diversos segmentos de mercado e elenca os produtos elegíveis dentro de categorias específicas (Tabela 16):

Tabela 16 – Tipos de Cargas e produtos transportados no modal aéreo

Tipo de Carga	Produtos
Urgente	Alimentos perecíveis, flores e arranjos, vacinas, medicamentos, jornais, revistas, periódicos em geral, equipamentos e itens de medicina de primeiros socorros, insumos hospitalares, cargas resfriadas e congeladas para consumo rápido e peças e itens de pronta reposição
Valiosa	Joias, pedras preciosas, obras de arte, compostos eletrônicos de alto valor agregado, itens para exposição e eventos
Restrita	Produtos químicos de uso controlado, isótopos radioativos, agrotóxicos, produtos que possam causar contaminação e materiais explosivos
Diversa	Cargas vivas de animais, equipamentos eletrônicos, máquinas, cosméticos e produtos manufaturados diversos,

Fonte: Elaboração própria a partir de PRESTEX (2023)

Modal Dutoviário: Para Ballou (2006) esse modal é extremamente restrito e menciona que os produtos elegíveis a esse transporte são somente petróleo e seus derivados. Esse mesmo autor caracteriza como um transporte de baixa velocidade, porém, é intermitente, podendo operar 7 dias por semana durante vinte e quatro horas por dia.

Entrando no aspecto regulatório, no Brasil, cabe à Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) exercer as competências no que se refere ao transporte dutoviário, inclusive especificá-lo e delimitar sua área de atuação, segundo a própria ANTT (2023):

O transporte dutoviário brasileiro pode ser dividido em: Oleodutos, cujos produtos transportados são, Oleodutos, cujos produtos transportados são, em sua grande maioria: petróleo, óleo combustível, gasolina, diesel, álcool, GLP, querosene e nafta, e outros. Minerodutos, cujos produtos transportados são: Sal-gema, Minério de ferro e Concentrado Fosfático. Gasodutos, cujo produto transportado é o gás natural. (2023, p.1)

Em acréscimo ao descrito por Ballou (2006), a ANTT (2023) menciona que o transporte não é somente feito para petróleo e seus derivados, existem outras opções que devem ser consideradas.

Em termos de tamanho de Infraestrutura, segundo a EPE (2022) o Brasil dispõe para viabilização a movimentação de Petróleo, derivados e etanol no território nacional de 130 terminais autorizados, sendo 58 terrestres e 72 aquaviários e com relação aos dutos, são 464 destinados a movimentação dessa categoria. A mesma Agência, EPE (2022), sinaliza a importância do transporte dutoviário dentro do contexto de Indústria de Petróleo, especificamente em termos de movimentação de Petróleo, derivados e biocombustíveis, ela cita que:

A deficiência de infraestrutura logística e de transportes de combustíveis gera vulnerabilidade e pode resultar na perda de competitividade, ocasionando potenciais elevações de custos na cadeia produtiva do petróleo, com possibilidades de falhas no abastecimento, além de impactos ambientais e na saúde. (2022, p.3)

Em termos de perdas, é bastante confiável, pois segundo Ballou (2006), as interrupções e danos ao material são quase nulas, pois líquidos e gases não estão sujeitos a avarias que materiais manufaturados são e os equipamentos de bombeamento são bastante robustos. A EPE (2022) menciona os aspectos de autonomia e confiabilidade do modal dutoviário. Para a Agência, apesar da movimentação de combustíveis em território brasileiro incluem os modais ferroviário, hidroviário e principalmente rodoviário existem alguns aspectos que favorecem o transporte dutoviário, segundo a EPE (2022):

O transporte dutoviário apresenta diversas vantagens quando considerados fatores como capacidade de transporte, custos operacionais, autonomia, confiabilidade e segurança, comparativamente aos outros modos. Tais características são pertinentes para o Brasil, dado que possui dimensões continentais, seus mercados consumidores estarem distribuídos por todo o território, e as refinarias nacionais, em sua maioria, estarem localizadas na região costeira. Adicionalmente, o modo dutoviário contribui

com menor emissão de poluentes e maior segurança operacional - além de ser energeticamente mais eficiente - comparado ao transporte rodoviário (2022, p.4)

No quesito de confiabilidade e segurança, tanto Ballou (2006) quanto a EPE (2022) sinalizam a mesma característica como um dos pontos fortes e de destaque do modal dutoviário. Seguindo a linha de segurança operacional, no recente trabalho de doutorado de Alves (2021), ele menciona que no Brasil e no mundo a o modal dutoviário sofre uma crescente pressão por demonstrar e assegurar a segurança de sua operação, mesmo num cenário de credibilidade quanto ao aspecto de segurança do modal dutoviário. Segundo Alves:

Dados estatísticos disponíveis em diversas fontes internacionais indicam que dutos representam o modal de transporte de hidrocarbonetos e outros produtos perigosos inerentemente mais seguro quando comparado a outras opções, a exemplo do rodoviário, ferroviário etc. As empresas operadoras em particular asseguram um alto nível de segurança de seus dutos investindo grande quantidade de esforço e de recursos na prevenção de acidentes, em procedimentos eficientes de contingência, em proteção ambiental e em confiabilidade de seus sistemas operacionais durante todo o ciclo de vida de seus ativos. (2021, p.8)

Nesse sentido, no trabalho de Alves (2021) é possível ver a importância e a proposição da construção de um banco de dados de falhas para suportar a construção de conhecimento nesse tema e que ajude na temática de gestão de riscos da atividade dutoviária de petróleo e seus derivados.

Em suma, é importante acrescentar que hoje a ANP (2020), por meio da Resolução nº6 de 03/02/20211 aprova o Regulamento Técnico de Dutos Terrestre (RTDT), que segundo a própria ANP (2020) tem a seguinte atribuição:

O Regulamento Técnico de Dutos Terrestres (RTDT) estabelece os requisitos essenciais e os mínimos padrões de segurança operacional para os dutos terrestres (oleodutos e gasodutos), incluindo os submersos, visando à proteção do público em geral, da força de trabalho da companhia operadora e das instalações e do meio ambiente. As normas também se aplicam para o processo de construção, operação e desativação de novos dutos terrestres. (2020, p.1)

Modal Hidroviário: Ballou (2006) cita que este modal de transporte, geralmente está integrado com outro modal, pois, em geral, o transporte necessita que algum outro modal leve a carga até o porto, onde então é despachado. Essa informação corrobora com que é apontado nos materiais da RUMO S.A (2023), VLI (2023) e MRS (2023), onde todas as três empresas enfatizam as suas conexões com o porto como sendo uma das principais vantagens das conexões e malhas que operam em concessão.

Ballou (2006) menciona que o transporte Hidroviário tem como característica ser lento, e muitas vezes, mais lento que o transporte ferroviário. Para esse mesmo autor, em termos de confiabilidade, é bastante variável, pois assim como outros modais, depende diretamente das condições climáticas, porém, em alguns aspectos, esse modal é um pouco mais afetado por interrupções relacionadas a intemperes climáticos, como por exemplo, períodos de seca podem interromper a navegação por alguns trechos durante vários meses. Ainda em termos de prazo e velocidade, Ballou (2006) menciona que atrasos em navios graneleiros são mais frequentes, porém os danos e avarias resultantes dos transportes em navios graneleiro são baixos em relação aos outros modais,

O transporte hidroviário pode ser dividido entre transporte fluvial e transporte marítimo e podem ser divididos entre longo curso e pequeno curso e existem dois tipos de cargas que podem ser transportadas: Carga geral, transportada em navios cargueiros típicos; e Carga granel, transportada em navios graneleiros, porém não detalha os tipos de navios que são encontrados (NOVAES, 2017).

A Wilson Sons (2019), maior operador integrado de logística marítima e portuária no Brasil sinaliza que existem sete tipos de navios de carga que podem ser utilizados: Graneleiros, Petroleiros, Gaseiros, Frigoríficos, Porta Contêineres, Porta-veículos ou Ro-Ro e navios para cargas vivas.

A Faxcomez a (2023), empresa especializada em Comércio Exterior, assim como a Wilson Sons (2019) indica sete tipos de navios possíveis para movimentação de carga: Graneleiro, Petroleiro, Tanque, Gaseiro, Porta-veículos ou Ro-Ro, Carga geral e Porta Contêineres.

Rodrigues (apud BERNADES 2013, p.23) indica que os navios utilizados no transporte marítimo de cargas internacional podem ser explicados em diferentes categorias.

Navios Graneleiros: Todos os três autores Wilson Sons (2019), Faxcomez (2023), Rodrigues (apud BERNADES 2013, p.23) sinalizam que esses navios são responsáveis por carregar produtos granel sólido, como por exemplo, minério, carvão, soja, milho, fertilizantes e açúcar. Sua característica é que a armazenagem dos produtos não está relacionada com a contagem de unidades, ou embalagens, mas sim ao peso transportado. Isso acontece porque a carga é transportada dentro dos porões do navio sem embalagens e sem divisões; esses porões são acessados por portões no convés do navio.

Novaes (2017) indica em seu livro que os navios graneleiros são utilizados para transporte de carga a granel sólida, como por exemplo, soja, milho, minério de ferro e carvão, acondicionados no porão do próprio navio, quanto, carga líquida, como óleo bruto, petróleo,

gasolina e álcool e essa indicação é confirmada pelos autores Wilson Sons (2019) e Faxcomez (2023a) na descrição dos tipos de navios e suas cargas.

A Faxcomez (2023b) indica que o maior graneleiro do mundo pertence a empresa VALE S.A que o utiliza para escoar sua produção de minério de ferro. Atualmente seu maior navio conta com a capacidade de carregamento de 400.000 toneladas de minério de ferro por viagem em seus 7 porões do navio, segundo a Faxcomez (2023b). É importante lembrar que segundo o autor Assis, A et al. (2017), essa mesma empresa, VALE S.A, é a que possui a maior concessão de malha ferroviária no sistema ferroviário brasileiro.

Navios Porta Contêineres: Todos os três autores Wilson Sons (2019), Faxcomez (2023a), Rodrigues (apud BERNADES 2013, p.23) indicam que este tipo de navio é apropriado para transporte de carga geral dentro de contêineres e geralmente utilizam a estrutura de guindaste dos portos para fazer a carga e descarga dos contêineres, existem poucos navios que ainda possuem seu próprio guindaste no convés, segundo a Wilson Sons (2019).

Em termos de produtos, a Faxcomez (2023a) indica que hoje esse tipo de navio é responsável por transportar a maior parte dos produtos manufaturados do mundo por conta da versatilidade de carga que o contêiner pode transportar, inclusive com refrigeração. A Wilson Sons (2019) sinaliza que grande parte da frota de navios porta contêiner já consegue ser adaptada para transportar contêineres refrigerados, chamados de *reefer*.

Navios Porta Veículos ou Ro – Ro: A Wilson Sons (2019) apresenta esse navio como o mais apropriado para levar qualquer carga que embarque e desembarque sobre rodas e não necessariamente somente o transporte de carros. A Faxcomez (2023a) e Rodrigues (apud BERNADES 2013, p.23) utilizam o termo carga rolante para indicar o principal tipo de carga que é utilizado dentro deste navio.

A F Faxcomez (2023a) indica que uma das principais característica desse navio é que ele é todo fechado, diferentemente de um navio Porta – Contêiner, em acréscimo, a empresa Wilson Sons (2019) explica que os navios podem ser comparados a grandes garagens, porém, não exclui a possibilidade do transporte de contêineres em seu convés ou até mesmo dentro de seus porões, desde que a carga esteja devidamente acondicionada e amarrada.

Navio de Carga Geral ou Navios Cargueiros: A Faxcomez (2023a) e Rodrigues (apud BERNADES 2013, p.23) indicam que este tipo de navio é bastante multipropósito e podem carregar desde contêineres até cargas embaladas em sacos, caixas, bobinas de papel e possuem porões que podem ser utilizados para transporte de alguns granéis.

Em termos de infraestrutura, em contrapartida ao navio porta-contêiner, a Faxcomez (2023a) apresenta este navio como portador de pequenos guindastes que auxiliam no embarque

e desembarque. Rodrigues (apud BERNADES 2013, p.23) sinaliza que esses navios tendem a ser obsoletados com o tempo e serem substituídos por navios Porta-Contêineres ou Porta Veículos dependendo da carga.

Navios Gaseiro ou Navios Tanque: Os autores Faxcomez (2023a) e Wilson Sons (2019) reconhecem esse tipo de navio como Navio Gaseiro e o autor Rodrigues (apud BERNADES 2013, p.23) reconhece essa embarcação como Navio Tanque.

Rodrigues (apud BERNADES 2013, p.23) reconhece esse tipo de navio como a solução para o transporte e comércio do gás natural liquefeito (GNL) e o gás liquefeito de petróleo (GLP). Os autores Faxcomez (2023a) e Wilson Sons (2019) também reconhecem os mesmos produtos mencionados neste parágrafo, porém, estendem a aplicação do navio para o transporte de outros produtos químicos, como por exemplo, o etileno, amônia e propileno.

Navios Petroleiro: Wilson Sons (2019) e Faxcomez (2023a) reconhecem esse navio como o transportador característico de petróleo, porém, estende para o transporte de seus derivados. Ambos os autores indicam que este navio tem todo o convés preenchido por tubulações e equipamentos acessórios e que o óleo é distribuído igualmente por todo tanque do navio para garantir o equilíbrio da embarcação.

A TRANSPETRO (2014) uma das maiores empresas brasileiras de transporte e armazenagem de petróleo, segundo seu próprio material institucional, possui parte de sua frota especializada em navios petroleiros. A Tabela 17 indica o nome dos navios, suas capacidades e os produtos que transportam.

Tabela 17 – Tipos de Navios Petroleiros da Transpetro

Nome do Navio	Produtos	Capacidade (toneladas)
Suezmax	Óleo Cru	140.000 – 175.000
Aframax	Óleo Cru	80.000 – 120.000
Panamax	Óleo Cru e Produtos Escuros	65.000 – 85.000
Navio de Produtos (NP)	Petróleo, Diesel, Gasolina, Nafta, óleo combustível, querosene de aviação	30.000 – 50.000

Fonte: Elaboração própria a partir de TRANSPETRO (2014)

Existem outras embarcações militares, turísticas e de pequeno porte que não serão abordadas dentro deste contexto por não se tratar essencialmente de navios utilizados para o transporte de mercadorias, manufatura ou bens de consumo. Dessa forma, em resumo, é apresentada a Tabela 18 que detalha os principais tipos de navios que são relevantes para o

transporte no modal hidroviário e os principais produtos que são transportados em cada um deles.

Tabela 18 – Tipos de Navios e Cargas Principais Transportadas

Nome do Navio	Produtos
Graneleiro	Granel Agrícola, minério, carvão, fertilizante
Porta – Contêiner	Carga Geral em contêiner
Porta Veículos (Ro – Ro)	Veículos, Caminhões e carga rolante
Carga Geral (Cargueiro)	Carga Geral em contêiner e fora do contêiner
Gaseiro ou Tanque	GLP, GNL, Amônia, Etileno e propileno
Petroleiro	Petróleo e seus derivados

Fonte: Elaboração própria

Dentre todos os navios apresentados, é possível fazer um recorte dentro do segmento químico, em especial no setor de gás natural para detalhar um pouco mais sua aplicação. Existe um destaque especial para o navio que transporta o GNL, o Navio Gaseiro. Esse destaque está diretamente relacionado com a expansão da oferta deste combustível no Brasil, segundo a EPE (2020). A expansão da oferta de GNL está diretamente ligada a transição energética e o suporte à sazonalidade da geração hidrelétrica Brasileira. O EPE cita que:

Ao contrário da maior parte dos países do mundo, no Brasil o GNL não tem como objetivo principal a substituição de outros combustíveis mais poluentes, mas sim o suporte à sazonalidade da geração hidrelétrica. Os novos projetos de termelétricas associados a terminais de GNL vêm sendo os principais vencedores dos últimos Leilões de Energia Nova no Brasil (além das renováveis), e à medida que térmicas mais antigas que operam por óleo combustível vão tendo seus contratos expirados, há a substituição por usinas a gás, consideradas mais limpas (2020, p.2)

A mesma empresa, em um estudo no ano seguinte, a EPE (2021) sinaliza que historicamente o GNL no Brasil garante a estabilidade e flexibilidade na oferta que as termoelétricas brasileiras necessitam. A contrapartida da necessidade de flexibilidade sinaliza que os maiores projetos de energia no país, que venceram leilões, segundo a EPE (2021), contam com terminais de GNL próprios como meio de garantir a intermitência de insumo para as Usinas. Segundo a EPE, essa característica dos projetos terem que contar com terminais de GNL próprio está relacionado basicamente a três fatores: Inexistência e alto custo de instalações de estocagem de gás, baixos preços no GNL no mercado internacional e inexistência de infraestrutura de transporte de gás natural em alguns lugares do Brasil.

Segundo Prade (2021), em seu artigo, sinaliza que o fator crítico do mercado de GNL é a capacidade de transportar esse insumo por navios, sob longas distâncias, principalmente conectando mercados não fronteiriços. O fato da oferta de GNL não estar diretamente ligada à

infraestrutura de gás natural local e a demanda do mesmo é que garante que o mercado de GNL garante a flexibilidade de oferta que é mencionada por EPE (2021) e EPE (2022). Prade (2021) ainda menciona o impacto da disponibilidade de navios no preço do GNL:

Os preços de GNL *spot* apresentaram altas históricas motivados por diversos fatores que levaram à “tempestade perfeita”. Uma das razões que induziram o mercado ao seu limite foi a baixa disponibilidade de metaneiros. Com problemas na oferta de GNL em alguns países, os metaneiros precisaram tomar rotas alternativas e mais longas para suprimento da Ásia, que estava com a demanda aquecida. Mais tempo dedicado a uma única viagem, levou a menor disponibilidade de metaneiros e resultou em taxas diárias de afretamento chegando a recordes históricos (2021, p.1)

Prade (2021) detalha chama o Navio Gaseiro, descrito neste presente trabalho pelos autores Faxcomez (2023a) e Wilson Sons (2019) como Navio Metaneiro. O mercado de afretamento vem se desenvolvendo de maneira independente do mercado do GNL, em contrapartida ao início do seu desenvolvimento, onde o projeto do navio era atrelado ao projeto específico do comprador ou vendedor do GNL (PRADE, 2021).

Em termos de custo, Prade (2021) sinaliza que existem basicamente dois tipos de contrato: A primeira opção de contrato é por período que possui uma complexidade maior na estrutura de custos e a segunda opção de contrato é por trecho ou viagem específica e costuma ser um contrato mais simples lastreado em uma taxa diária,

Conectando com os conceitos de vantagem competitiva dentro da logística empresarial citados por Porter (1989), o autor Prade (2021) indica que hoje quem controla o transporte de GNL, seja comprador ou vendedor e seja por propriedade ou por afretamento do navio, tem a vantagem competitiva de flexibilidade durante o comércio do GNL.

Serviços Intermodais: Um dos principais motores da intensificação dos serviços intermodais é o crescimento do transporte internacional, que envolve grandes distâncias, e da globalização; sendo o intercâmbio dos equipamentos entre os diferentes modais a principal característica da intermodalidade (BALLOU, 2006).

No Brasil, a ANTT é a responsável por coordenar, regulamentar e controlar as operações dos modais ferroviário, rodoviário e dutoviário e casos de intermodalidade, bem como os terminais e as infraestruturas relacionadas.

2.1.3.3 CUSTOS DE TRANSPORTE

A decisão acerca dos transportes está fortemente relacionada com os custos logísticos, pois segundo Ballou (2006), o transporte é a atividade logística que tende a representar o maior percentual de custos logísticos de um produto adquirido. Além disso, ele cita que o 12 % do

Produto Interno Bruto (PIB) do mundo é representado por custos logísticos, segundo uma pesquisa realizada pelo FMI.

Dessa forma, os custos logísticos podem ser compostos por despesa com combustível, aquisição da frota, manutenção dos veículos, taxas de embarque e desembarque nos terminais e taxas administrativas gerais. Ballou (2006) reúne esses custos e os classifica em dois grandes grupos: Custos Fixos e Custos Variáveis. Segundo Ballou “Custos Fixos são os de aquisição e manutenção direta do tráfego, instalações de terminais, equipamentos de transporte e administrativos. Os custos variáveis incluem normalmente os gastos com combustível, salários, equipamentos de manutenção, manuseio, coleta e entrega” (2006, p. 165)

Essas duas classificações apenas reúnem um conjunto de vários custos, que naturalmente fazem parte do sistema de precificação das tarifas de fretes. Os perfis de tarifa mais comuns, de acordo com Ballou (2006), tem relação com o volume, distância e demanda, e podem ser agrupadas, segundo esse mesmo autor nos seguintes perfis:

Tarifas Uniformes: É a forma mais simples de tarifar um transporte; de forma prática, significa que o custo é composto majoritariamente por uma única atividade. Portanto, precificando essa atividade, justifica-se a tarifa constante, independente da distância.

Figura 5 – Modelo de Tarifa Uniforme.



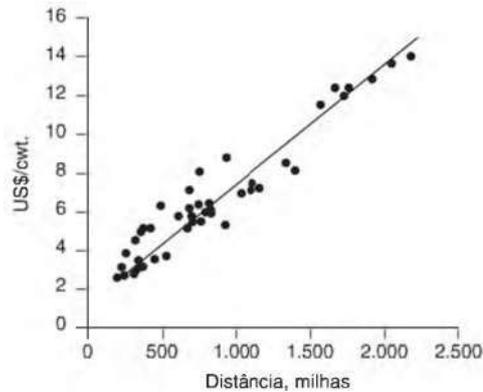
Fonte: Retirado de BALLOU (2006) p. 169;

A Figura 5 mostra que o valor da tarifa se mantém estável durante a variação da distância. Ballou (2006) reitera que esse perfil tarifário não pode ser aplicado a qualquer modal, como por exemplo, ao transporte rodoviário, em que somente o percurso pode compor até 50 % do custo.

Tarifas Proporcionais: Uma alternativa entre complexidade e extrema simplicidade na precificação do custo, surge o tipo de tarifa proporcional, que traduzem o custo como uma variável direta da distância percorrida pelo modal, sendo uma característica dos modais

rodoviários e aéreos, que possuem grande parte do seu custo atrelado à parcela variável (BALLOU, 2006).

Figura 6 – Modelo de Tarifa Proporcional.

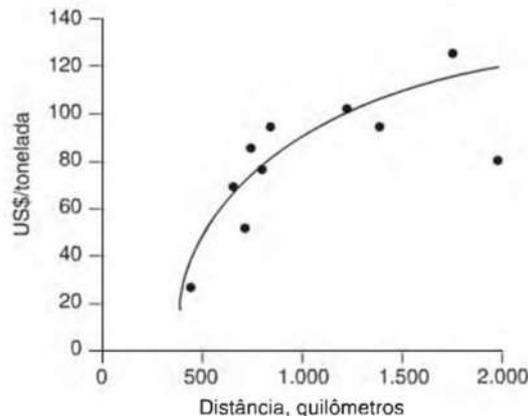


Fonte: Retirado de BALLOU (2006) p. 169;

A figura 6 mostra que o valor da tarifa aumenta com o aumento da distância de forma proporcional. Dessa forma, deslocamentos de maiores distancias passam a ter uma tarifa também maior.

Tarifas Decrescentes: Em contrapartida à uma estrutura em que os preços crescem proporcionalmente com a distância percorrida, existem as tarifas com perfil decrescente que são ligadas às despesas fixas, taxas de terminais e outros custos fixos serem diluídos em uma maior distância, resultando num decréscimo do valor com o aumento da distância. Porém, esse comportamento acontece progressivamente com o aumento da distância, segundo Ballou (2006).

Figura 7 – Modelo de Tarifa Decrescente

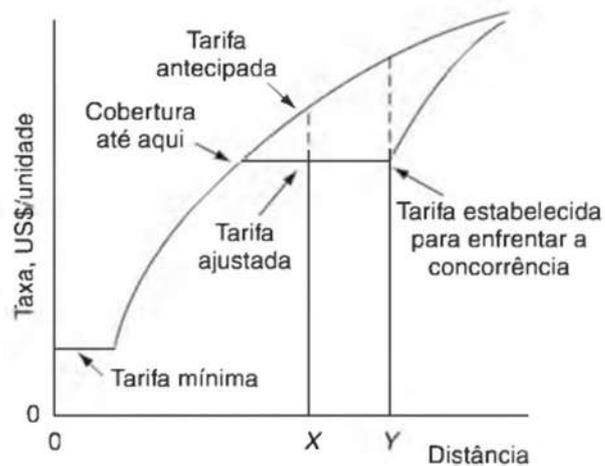


Fonte: Retirado de BALLOU (2006) p. 169;

A figura 7 mostra que o valor da tarifa por tonelada diminui ao longo da distância. Segundo Ballou (2006) esse perfil tarifário é mais característico nos modais ferroviários e hidroviários, que possuem os custos fixos muito mais elevados do que os variáveis.

Tarifas de Cobertura: Para Ballou (2006), a motivação desse perfil de taxa (Figura 8) é uma tentativa de simplificação e de igualar os preços dos concorrentes. A ideia desse perfil tarifário é cobrir uma determinada faixa de distância com o mesmo custo. Uma das grandes vantagens dessa modalidade é permitir que o contratante do serviço tenha acesso a uma tarifa que seja mais barata do que o total de custos reais segundo uma tarifa proporcional.

Figura 8 – Modelo de Tarifa de Cobertura.



Fonte: Retirado de BALLOU (2006) p. 169;

Segundo Ballou (2006) as taxas de cobertura são mais comuns para produtos transportados a grandes distâncias e com produtos e compradores bem agrupados.

3 POLÍMEROS VERDES & MEG

A química verde tem sido cada vez mais importante atualmente, uma vez que há uma crescente preocupação com os impactos ambientais das indústrias. Nesse contexto, os polímeros verdes ganham destaque, visto que eles são produzidos a partir de matérias-primas renováveis, como plantas, açúcares e amidos. Dentre esses polímeros, destaca-se o PET verde, que é produzido a partir de fontes renováveis de etileno e glicóis, em contraposição ao PET convencional que é obtido a partir de matérias-primas não renováveis.

O etileno é uma matéria-prima fundamental na produção de polímeros, e pode ser obtido a partir de duas rotas principais: a partir do petróleo, majoritariamente e principalmente por meio do processo de craqueamento da nafta, ou a partir de fontes renováveis, como o etanol. A produção do etileno a partir de fontes renováveis apresenta vantagens ambientais em relação à produção a partir do petróleo, uma vez que há uma redução significativa das emissões de gases de efeito estufa.

A síntese do PET verde é realizada a partir da reação do etileno com o óxido de etileno, gerando o etilenoglicol. Esse processo pode ser feito a partir de fontes renováveis de etileno, como o bioetileno, obtido a partir do etanol de fontes renováveis. O PET verde apresenta diversas vantagens em relação ao PET convencional, dentre elas a redução do impacto ambiental.

3.1 QUÍMICA VERDE APLICADA A INDÚSTRIA

A Química Verde aplicada à engenharia tem como objetivo identificar problemas significativos que interferem diretamente no meio ambiente e na saúde humana, baseia-se principalmente pelo tripé que define a sustentabilidade: Meio Ambiente, Economia e Sociedade (MACHADO, 2012). Por esse objetivo, existe um esforço constante para que as inovações em moléculas dos processos industriais possam ser substituídas por compostos verdes ou até mesmo remodelar a cadeia produtiva a fim de se ater aos princípios da Química Verde, dentro do espectro do campo de desenvolvimento sustentável. Sendo assim, a engenharia se torna capaz de moldar a cadeia produtiva somado a esforços de introduzir novos conceitos tendências à sociedade, tornando possível a transição para modelos que não impactem o ciclo natural. (AGUIAR, et al., 2020)

Segundo Anastas e Warner (1998), foram elencados 12 princípios da química verde, sendo eles em resumo:

1. Prevenção: É melhor prevenir a formação de resíduos do que tratá-los ou descartá-los posteriormente.
2. Economia de átomos: Os processos sintéticos devem ser projetados de forma a maximizar a incorporação de todos os reagentes utilizados na produção final.
3. Síntese mais segura: Devem ser utilizados métodos sintéticos que minimizem o uso de reagentes auxiliares ou solventes perigosos e que reduzam a geração de produtos secundários.
4. Produtos químicos mais seguros: Os produtos químicos devem ser projetados para minimizar a toxicidade e o impacto ambiental.
5. Uso de solventes e auxiliares mais seguros: Os solventes e auxiliares devem ser escolhidos para minimizar sua toxicidade, inflamabilidade e potencial de poluição.
6. Eficiência energética: Os processos devem ser projetados para maximizar a eficiência energética, visando reduzir o consumo de energia.
7. Uso de matérias-primas renováveis: Devem ser preferencialmente utilizadas matérias-primas renováveis em vez de matérias-primas esgotáveis.
8. Evitar a formação de produtos químicos tóxicos: Os produtos químicos com toxicidade intrínseca devem ser evitados sempre que possível.
9. Catálise: Os catalisadores devem ser utilizados seletivamente para reduzir a quantidade de reagentes necessários e minimizar a geração de resíduos.
10. Projeto de produtos degradáveis: Os produtos devem ser projetados para serem facilmente degradáveis no ambiente.
11. Análise em tempo real para a prevenção da poluição: Métodos analíticos em tempo real devem ser utilizados para monitorar e controlar a formação de poluentes.
12. Química mais segura para a prevenção de acidentes: Os acidentes químicos devem ser evitados através do uso de metodologias mais seguras e práticas de trabalho.

Em sequência é possível correlacionar algum desses princípios com a proposição de uma rota verde para a produção de PET sustentável. (ANASTAS e WARNER 1998)

1. Uso de matérias-primas renováveis: O princípio da utilização de matérias-primas renováveis está diretamente relacionado à produção de PET a partir de fontes renováveis, como o etanol. Ao substituir a nafta, uma fonte não renovável, pelo etanol obtido de biomassa, é possível reduzir a dependência de recursos esgotáveis e promover a sustentabilidade na produção de PET.

2. **Prevenção:** O princípio da prevenção enfatiza a importância de evitar a formação de resíduos e substâncias indesejáveis. Na produção de PET a partir de fontes renováveis, como o etanol, é possível adotar processos mais limpos e eficientes, reduzindo a geração de resíduos e minimizando o impacto ambiental.
3. **Eficiência energética:** O princípio da eficiência energética destaca a importância de otimizar o consumo de energia nos processos químicos. Ao utilizar o etanol como matéria-prima para a produção de PET, é possível obter vantagens em termos de eficiência energética, uma vez que a produção de etanol a partir de fontes renováveis geralmente requer menos energia do que a produção de nafta a partir de petróleo. Isso contribui para reduzir o impacto ambiental e promover a sustentabilidade na indústria do PET.

Dentro da lógica verde torna-se necessário à engenharia projetar processos e sistemas que integrem ferramentas de avaliação do impacto ambiental para que seja possível conservar ecossistemas naturais. Desse modo é importante entender o ciclo de vida de um produto, desde sua concepção até o seu descarte final, para que seja possível propor soluções e minimizar os impactos da indústria no ambiente (AGUIAR, et al., 2020)

A indústria química é responsável por converter matérias-primas em produtos - muitas vezes - indispensáveis para a humanidade, como por exemplo alimentos, remédios, cosméticos, higiene pessoal e combustível. Mesmo com significativa relevância, existe o contraponto que ela é responsável por 15% das emissões de carbono anualmente, em escala global (PRADO, 2020). Tendo em vista o impacto causado por esse setor, novas iniciativas surgem com o propósito de desenvolvimento sustentável para atender as demandas e necessidades do mercado consumidor.

Para que a indústria se adeque ao desenvolvimento sustentável, ou seja, adaptar mudanças aos processos de forma que exerça a harmonia com o ambiente é necessário entender os impactos que as causa. O impacto causado na produção pode ser separado em dois tipos:

- **Origem verde**, em que o início do processo não apresenta impactos ambientais devido a utilização de fontes renováveis; (FRANCHETTI, et al., 2006)
- **Descarte Verdes/Biodegradáveis** em que o fim do ciclo de vida do produto pode ser novamente integrado ao ecossistema, respeitando os movimentos naturais já existentes. (AGUIRA, et al, 2020)

Mesmo com todos os avanços no processamento dos plásticos, a maioria atualmente ainda é produzida através de petróleo, o que acarreta na liberação de GEE na atmosfera e o acúmulo de resíduos devida a alta geração de descarte dos plásticos de uso único (ex. copos descartáveis, canudos, embalagens). Com isso pode-se analisar a importância e a comparação entre diferentes rotas de obtenção do plástico e avaliar os impactos positivos de uma rota verde associada aos princípios da Química Verde., a fim de decidir como uma indústria verde pode tornar-se viável analisando o fator logístico da operação.

3.2 OS PLÁSTICOS

Os plásticos são formados por uma sequência de macromoléculas denominadas polímeros. Esses compostos, quando aplicados uma energia externa e utilizando-se o aquecimento ou radiação eletromagnética, podem ser moldados em diferentes materiais, devido a sua ampla aplicação, os plásticos são utilizados em inúmeros setores. No entanto, o problema do descarte e a utilização de fontes não renováveis abrem margem para diferentes possibilidades de produção (AGUIAR, et al., 2020) Atualmente, é possível classificar os plásticos com base em sua origem ou descarte:

- Bioplásticos: Sintéticos ou Naturais
- Plásticos não biodegradáveis: Origem Petroquímica ou Origem Verde.

3.3 BIOPOLÍMEROS

Os biopolímeros são macromoléculas compostas por unidades monoméricas derivadas de fontes biológicas renováveis, incluindo plantas, animais e microrganismos. Esses polímeros são importantes na indústria devido à sua versatilidade e capacidade de substituir materiais tradicionais derivados de petróleo.

Os biopolímeros podem ser classificados em dois tipos principais: naturais e sintéticos. Os biopolímeros naturais são produzidos por organismos vivos, como celulose, quitina, proteínas, entre outros. Esses biopolímeros apresentam características distintas, como biodegradabilidade, biocompatibilidade e baixa toxicidade, tornando-os uma opção atraente para aplicações biomédicas e ambientais.

Por outro lado, os biopolímeros sintéticos são produzidos a partir de monômeros derivados de fontes biológicas, mas são produzidos por meio de processos químicos. Esses polímeros apresentam propriedades que podem ser ajustadas para atender a requisitos

específicos de aplicação, como resistência mecânica, estabilidade térmica e propriedades de barreira.

Em resumo, a principal diferença entre os biopolímeros sintéticos e naturais é a origem dos monômeros utilizados na sua produção. Os biopolímeros naturais são produzidos diretamente por organismos vivos, enquanto os biopolímeros sintéticos são produzidos por meio de processos químicos a partir de monômeros derivados de fontes biológicas. (FRANCHETTI, 2006)

Os polímeros naturais são formados durante o crescimento do organismo. Sua origem é proveniente de reações enzimáticas através do crescimento da cadeia com monômeros ativados dentro dos processos metabólicos. Eles podem ser de fonte Polissacarídeos (ex. quitosanas e quitinas); Ácidos Algínicos; Polipeptídios; Poliésteres bacterianos. (FRANCHETTI, 2006)

Os biopolímeros sintéticos são amplamente utilizados na área da biomedicina, como cápsula de remédios, materiais de cirurgia (suturas, pinos, placas). Os mais comuns são o Políácido Láctico (PLA), Políácido Glicólico (PGA), Políácido Láctico-Co-Ácido Glicólico (PGLA), Poli Ca-Prolactina (PCL), Polihidroxialcanoato (PHA). Todos são formados por um conjunto de ésteres alifáticos (com cadeia hidrolisável), e devido a flexibilidade desses materiais, a biodegradação consegue ocorrer via sítios ativados de enzima em que os plásticos conseguem se adaptar na estrutura da proteína, porém não é possível que essa degradação ocorra em poliésteres aromáticos. (FRANCHETTI, 2006)

O PHA, por exemplo, é um polímero que é sintetizado através de bactérias com fonte de carboidratos da cana de açúcar. No entanto, a estrutura não se torna flexível o suficiente para uma produção em escala para embalagens, e devido a biodegradabilidade ocasionada por microrganismos, tornaria inviável uma produção para materiais que ficariam mais tempo expostos a ambientes diversos, como estoques, depósitos. (BORSCHIVER, et al, 2016)

Além disso, um estudo da ABCustos (Associação Brasileiro de Custos), constatou que o custo de produção dos derivados de petróleo apresenta valores mais atrativos a produção industrial. Em 2008, frente a crises no Oriente Médio que afetam diretamente o preço do petróleo, o custo dos plásticos convencionais era de US \$1,00/Kg já o dos PHAs era de US \$4,00/Kg. O elevado custo está diretamente relacionado com o substrato que precisa ser de fonte de carbono, só que para o mesmo tornar-se viável, seria necessário que a fonte renovável fosse de baixo custo ou até mesmo sem custo para o produtor. Somente desse modo esses biopolímeros seriam competitivos aos plásticos convencionais.

Em resumo, a produção em larga escala de biopolímeros enfrenta várias barreiras, incluindo custo, eficiência de produção, complexidade química, propriedades limitadas e

questões regulatórias. No entanto, o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias e processos de produção pode ajudar a superar essas barreiras e tornar os biopolímeros uma alternativa viável e sustentável aos polímeros tradicionais derivados de petróleo.

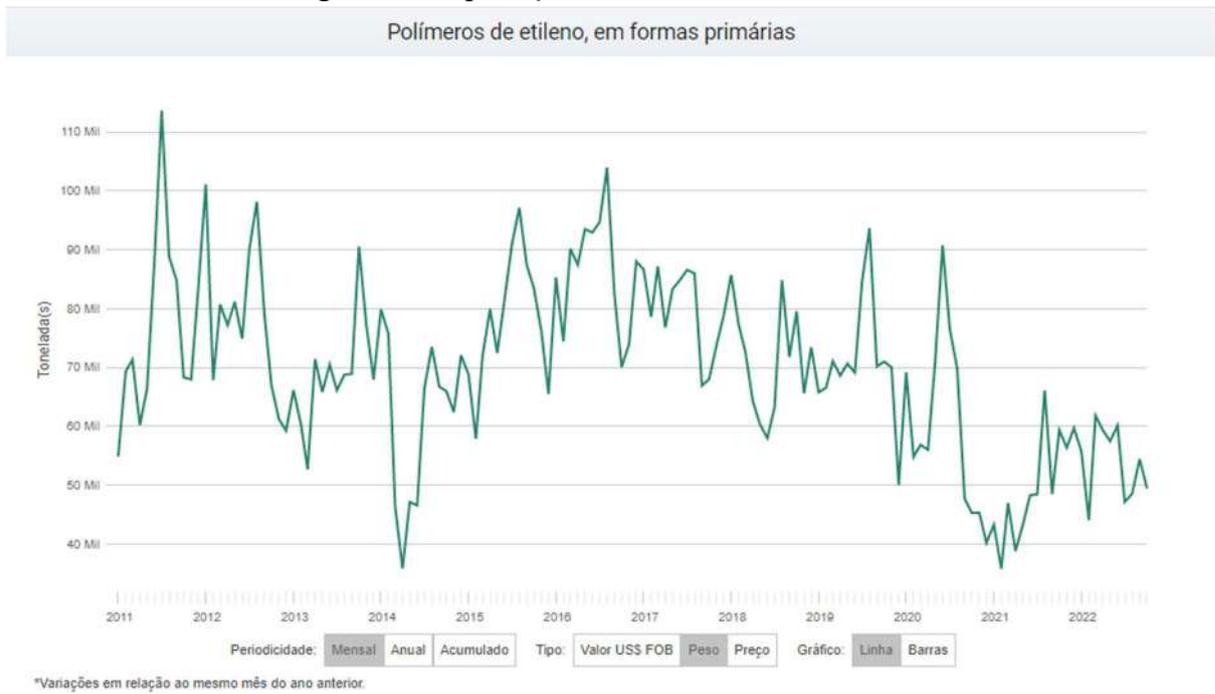
3.4 POLÍMEROS SINTÉTICOS

Como caracterização em base de estrutura e propriedades é possível separar os polímeros plásticos em: Polipropileno, Poliestireno, Policloreto de Vinila, Polietileno de Baixa Densidade ou Alta densidade, Polietileno Tereftalato, Poli metacrilato de metila, Poliuretano. Os principais compostos utilizados comercialmente são da classe dos Termoplásticos. A principal característica desses polímeros é a capacidade de ser fundido diversas vezes e moldado de diferentes formatos. Logo, sua reciclagem é possível, mas não são biodegradáveis. (MARK, et al, 1987)

Certos polímeros são interessantes devido ao seu baixo custo e facilidade de processamento, sendo amplamente utilizados em larga escala. Estes plásticos podem ser chamados de resinas commodities devido a regulação internacional do seu preço e acordos comerciais em todos os blocos econômicos atuais. Esses principais commodities são: Policloreto de vinila (PVC), Poliestireno (PS), Polipropileno (PP) e Polietileno (PE) (ANTUNES, 2007)

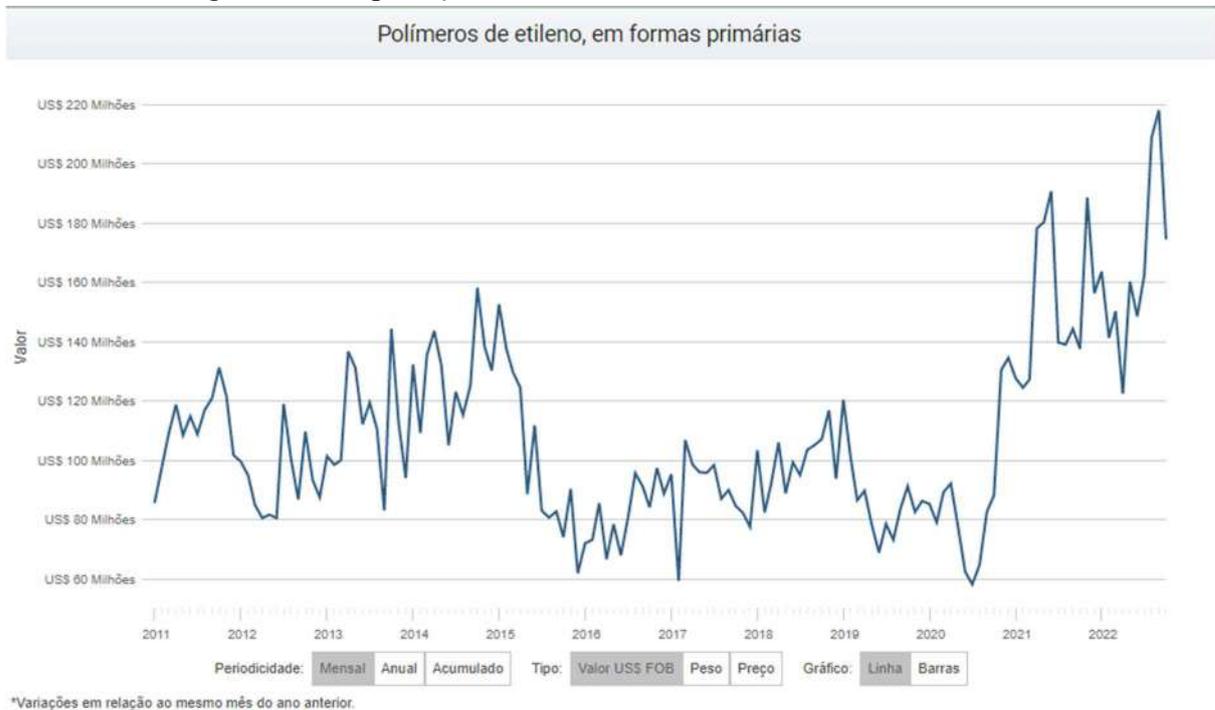
De acordo com dados do ComexStat até outubro de 2022 o mercado de Polietileno representava aproximadamente 50% das importações de polímeros e resinas do Brasil, representando US \$828 Milhões (Figura 10) e 538.673 toneladas (Figura 9). No entanto, com o aumento no preço do barril do petróleo e a desvalorização do real, a importação tornou-se mais expressiva no último ano, sendo de US \$1,65 Bilhão e 1.000.673 ton.

Figura 9 – Exportação de Polietileno durante 2022



Fonte: ComexStat (2022)

Figura 10 – Importação de Polietileno durante Jan/2022 a Out/2022



Fonte: ComexStat (2022)

Com destaque ao Polietileno, o polímero mais representativo no cenário nacional e o plástico mais utilizado pode ser obtido, majoritariamente, através do etileno que por sua vez é derivado de um subproduto do petróleo, a nafta. Por ser um composto polimérico quimicamente mais simples, possui menor custo e sendo o plástico mais comum no cotidiano. Apesar da fonte atual ser majoritariamente o petróleo, existem outros meios de se obter o etileno, como por exemplo do etanol, o que caracteriza um produto de origem verde e pegada carbono positiva ao meio ambiente. Em suma é possível dividir o etileno em dois tipos de rotas: via Nafta ou via Etanol.

A partir da comparação entre as duas principais rotas, será possível analisar os diferentes produtos oriundos do etileno, em específico o Politereftalato de etileno (PET). Com a produção de uma resina PET de diferentes meios, abre possibilidades para a obtenção de um plástico verde. Com o Brasil sendo produtor de uma das matérias-primas necessárias para se produzir o PET verde, o mesmo torna-se factível a projetos industriais, como por exemplo a Planta da Braskem em Triunfo-RS. (BRASKEM, 2019)

Para entendimento geral, será analisada a cadeia completa de obtenção dos Plásticos Verdes, especificamente o PET. Com uma análise prévia da obtenção do etileno verde.

A cadeia é composta por duas origens diferentes, via Etanol e Via Nafta, com isso é possível realizar a comparação entre diferentes rotas de obtenção do mesmo produto, com seus diferentes impactos e vantagens. Na Tabela 19 é exposto um resumo de como do processo a ser descrito e qual será o produto de estudo que no final resultará no estudo de caso acerca da fábrica produtora do MEG verde

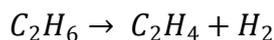
Tabela 19 – Etapas de Produção de MEG

Processo	Matéria Prima	Primeira Etapa	Segunda Etapa	Produto	Plástico Final
Verde	Cana de Açúcar	Etanol	Eteno Verde	MEG	PET
Convencional	Petróleo	Nafta	Eteno Convencional	MEG	PET

Fonte: Elaboração própria

3.4.1 ETENO ROTA NAFTA

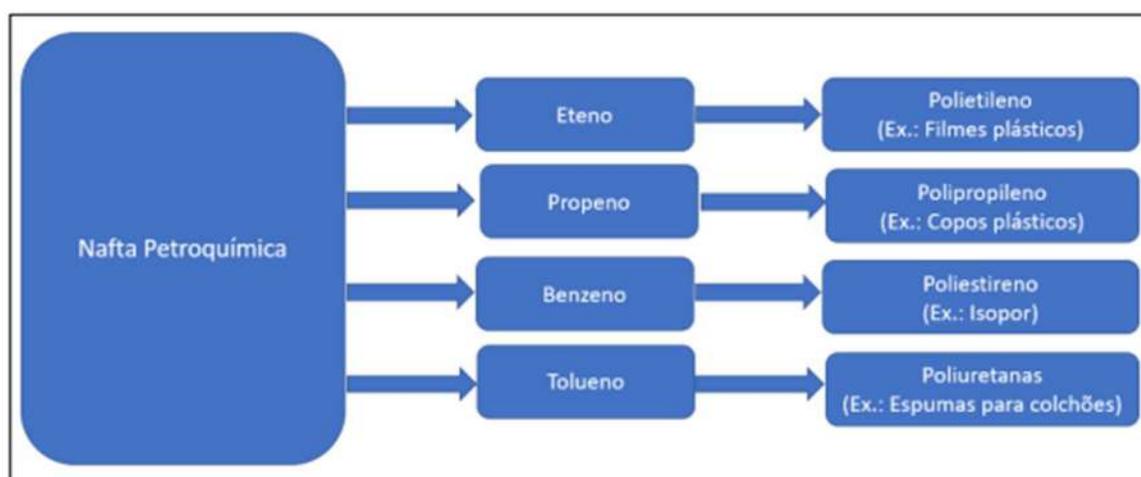
O etileno ou eteno (C_2H_4) é um gás incolor que é obtido principalmente mediante craqueamento térmico em conjunto com vapor d'água. A fórmula química fundamental para o processo é descrita como:



No refino, o petróleo passa por uma destilação fracionada, que resulta nos diferentes subprodutos dos quais destaca-se: asfaltenos, óleos combustíveis, óleos lubrificantes, diesel, querosene, nafta, gasolina e gás refinado. A nafta é o subproduto necessário para o processo de obtenção do Monoetilenoglicol que tem como principal objetivo obter o eteno. (FRANCHETTI, 2006)

A Nafta é a matéria-prima capaz de produzir frações gasosas como eteno, propeno e frações líquidas como benzeno, tolueno e xilenos. A Figura 11 é um esquema ilustrativo que sinaliza quais os produtos podem ser sintetizados a partir da Nafta petroquímica.

Figura 11 – Esquema Polímeros a partir da Nafta Petroquímica.



Fonte: Retirado de NAFTAS PETROQUÍMICAS - Informações Técnicas - Petrobras

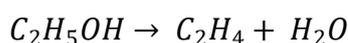
O processo de produção do eteno via nafta, atualmente no Brasil, é de autoria da ABB Lummus Global (HOMBEECK,2019). A produção inicia na pirólise de hidrocarbonetos em que é utilizado a Nafta como matéria-prima (ANTUNES, 2007). Após o craqueamento em temperaturas próximas de 900 °C e 2 atm de pressão produz-se o eteno. Com isso é necessário purificar o gás para retirar o hidrogênio resultante da queima do combustível da planta. (HOMBEECK,2019)

Ao recuperar-se o eteno e o propeno, subprodutos como o acetino e propino são hidrogenados para formar novamente o eteno e o propeno, o que implica diretamente no rendimento do processo. Esse rendimento varia de acordo com a matéria prima utilizada. No caso da nafta, o rendimento é de 29% (ANTUNES, 2007). Mesmo existindo outros compostos

com rendimentos maiores, a nafta possui maior importância devido ao processo de craqueamento resultar em produtos de alta importância ao mercado como mostrado na Figura 11 e conseqüentemente para a produção de outros polímeros.

3.4.2 ETENO - ROTA ETANOL

O eteno verde possui a mesma capacidade de formar o PE para fins de formar produtos plásticos. A sua matéria prima é o etanol proveniente da biomassa da cana de açúcar. A plantação captura CO₂ do seu processo natural de fotossíntese e como consequência desse mecanismo a glicose é formada, composto fundamental para a produção de Etanol. Nas usinas responsáveis, após a extração do açúcar (C₆H₁₂O₆), ocorre a fermentação que é responsável por resultar no etanol (C₂H₅OH), na reação descrita abaixo:

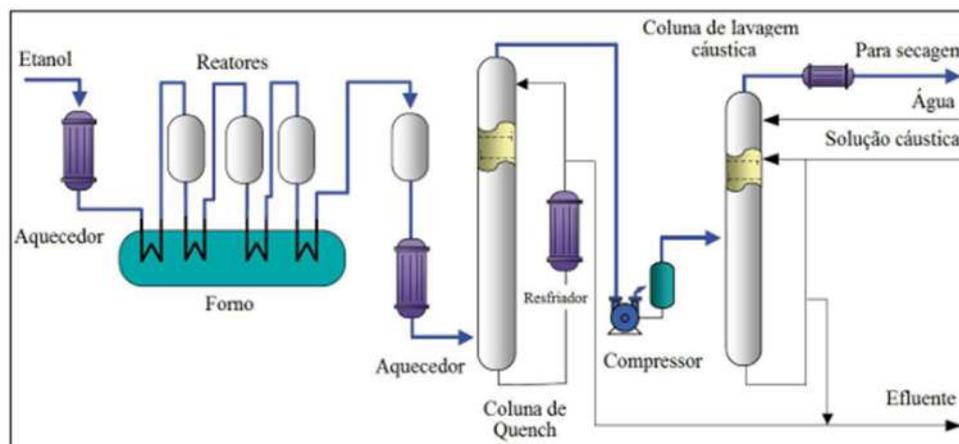


Com o etanol destilado, é possível convertê-lo em eteno, que será considerado verde devido a captura de carbono no início do processo. A tecnologia utilizada é a desidratação catalítica com alumina (Al₂O₃).

A Braskem é a principal indústria produtora do PE verde (*I'm green*) e atua na produção do etanol di-hidratado em sua fábrica localizada em Triunfo - RS. (BRASKEM, 2019). Para a purificação do eteno, o objetivo é retirar a parte de água formada. A corrente que contém o composto é resfriada na Torre Quench e segue para o tratamento de forma purificar o produto, a fim de torná-lo comercial. A corrente a ser purificada é lavada em uma torre contendo Hidróxido de Sódio (NaOH), após o leito dessecante (material utilizado para remover umidade presente em gases, líquidos ou ambientes fechados) o grau de pureza já atinge níveis próximos a 99%. Na última etapa de purificação ocorre a destilação criogênica resultando no PE verde (AGUIAR, et al, 2020).

Em resumo, a produção de bioetileno começa com a produção de etanol a partir de biomassa, que passa por tratamento para extrair o açúcar. Depois, ocorre a fermentação da glicose para produzir etanol, que é destilado para obter uma solução com concentração de 96%. Para a produção de bioetileno, o etanol é desidratado, processo que é relativamente simples e bem conhecido. O equilíbrio da reação química favorece a formação de produtos a temperaturas elevadas e baixas pressões. As unidades industriais operam com reciclo do etanol não convertido. (POLIZELI, 2012)

Figura 12 – Fluxograma industrial da desidratação do etanol



Fonte: POLIZELI, 2012

A reação para a desidratação do etanol é caracterizada por ser endotérmica, ou seja, se equilíbrio é favorecido quando apresentado em altas temperaturas. Por isso a necessidade do aquecedor antes do produto entrar na Coluna de Quench.

Além disso, é preciso fazer uma separação do gás para retirar os subprodutos gasosos e uma lavagem com substâncias alcalinas para remover os produtos que contêm oxigênio.

Impacto Ambiental Rotas Nafta x Etanol:

Para analisar o impacto e potencial de aquecimento global, é necessário analisar as emissões dos gases de efeito estufa de ambas as rotas do etileno. Desde a produção e a extração de matéria prima são incluídos na análise. Na plantação de cana de açúcar há liberação de Óxido Nitroso devido a queima da biomassa, etapa em que a emissão de um GEE é considerada. (HOMBEECK,2019)

O eteno verde possui impacto positivo, já que devido a análises o saldo do GEE é negativo. A captura de CO₂ é de aproximadamente 3,1 Kg para cada quilo produzido de eteno. Além da cogeração de energia elétrica nas fábricas de etanol. A energia fóssil utilizada na rota convencional é proveniente de fontes não renováveis, o que gera um saldo positivo de formação de GEE impactando o meio ambiente. (HOMBEECK,2019)

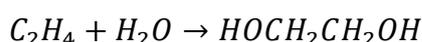
O desempenho do eteno verde em relação a utilização de combustíveis fósseis e impacto ambiental é melhor, já que sua origem biológica não exige consumo ou extração desses combustíveis. Aproximadamente 80% da energia consumida é da cogeração. Já no Eteno convencional a energia utilizada predominante é da queima de energia fóssil o que necessita de 85 Mj/Kg Eteno em contrapartida do Eteno verde que necessita de 15 Mj/Kg. Durante a

produção do polietileno ambos os etenos demandam a mesma quantidade de energia e o impacto da produção é equivalente. (HOMBEECK,2019)

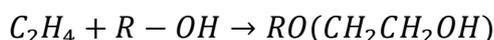
3.5 SÍNTESE ETILENOGLICOL

O Etilenoglicol, ou monoetilenoglicol (MEG), é um composto químico utilizado na indústria automotiva, como anticongelante, indústria têxtil e na produção de resina PET. Possui dois grupos hidroxilas, inodoro e incolor. O MEG pode produzir o poli tereftalato de etileno com a reação com o Ácido tereftálico. Para a sua produção, é comumente utilizado como matéria prima o etileno de origem petroquímica. No entanto existe a possibilidade de ser de origem verde com o etileno proveniente do etanol ou até mesmo utilizando diretamente o etanol para produzir o óxido de etileno, composto intermediário para a formação do etilenoglicol. (HOMBEECK, 2019)

O óxido de etileno (OE) é o principal composto na formação do MEG, além de ser intermediário em outras reações, como etanolaminas e éteres etílicos. O maior produtor de OE atualmente é os Estados Unidos, e o maior produtor da América Latina é o Brasil, através da empresa Oxiteno. Os produtos etilenoglicol correspondem a maioria das aplicações do OE, que é reagido com água ou álcool. Portanto, a formação do etilenoglicol necessariamente precisará ocorrer através da reação com água (H₂O) ou algum álcool R-OH hidrólise do óxido de eteno conforme descrito abaixo nas equações (HOMBEECK, 2019).

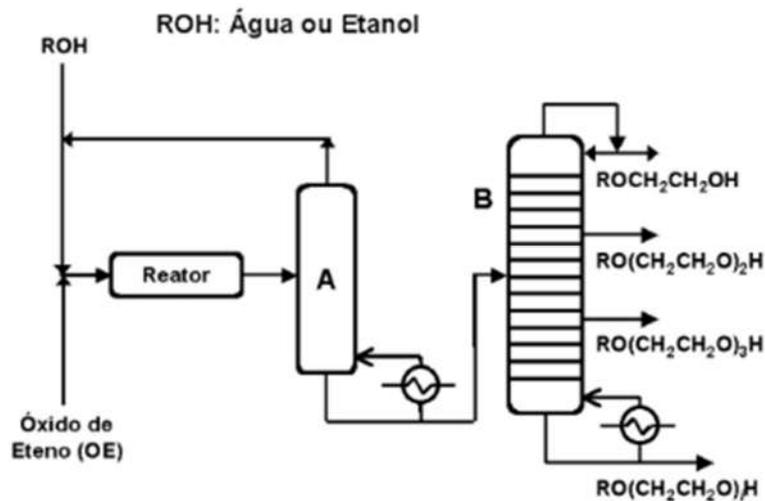


Ou



O OE reage com ROH ou Água pré-aquecidos a aproximadamente 200 °C antes de entrar no reator tubular em fase líquida. Ao sair do reator, ele é purificado a mistura numa torre de destilação em baixa pressão. Além disso, o OE é formado por oligômeros. (Figura 13)

Figura 13 – Esquema de Produção do Etilenoglicol



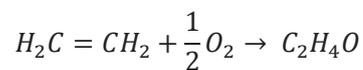
Fonte: Retirado de HOMBEECK (2019)

Para o processo ser configurado como verde, a oportunidade encontra-se no eteno utilizado para a formação do OE. Atualmente existem duas rotas, via Eteno e via Etanol. Sendo a rota verde a do Eteno proveniente da biomassa da cana de açúcar e a rota via etanol.

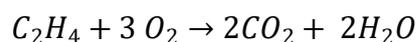
Reação Via Eteno (verde ou petroquímico):

A reação acontece via oxidação catalítica do etileno catalisado por Ag à 250 °C. A reação global é composta por outras reações que ocorrem em paralelo sendo estas de queima total do etileno e a do próprio OE. Segue abaixo o resumo das equações: (BARBOSA, et al, 2007)

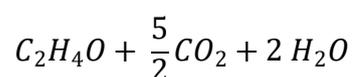
- Combustão Incompleta:



- Combustão Completa:

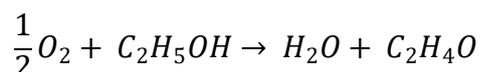


- Combustão completa do Óxido de Eteno:

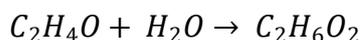


Reação Via Etanol: Green Glycol: A Novel 2-Step Process

A universidade da Pensilvânia publicou um artigo em 2019 propondo uma rota para a produção de Etileno Glicol diretamente do Etanol. Segue abaixo mecanismo da reação:



Após a reação acima a produção do MEG segue conforme mecanismos já citados



Esse processo, apesar de verde e de possuir menos etapas do que os processos anteriores, não possui produção no Brasil tampouco é importado para produção interna.

3.5.1 SÍNTESE: COMPARAÇÃO ROTAS VIA NAFTA X ETANOL

A produção de eteno a partir de Nafta é uma rota convencional de produção que tem sido utilizada há muitos anos. Nafta é uma mistura de hidrocarbonetos que é obtida a partir da destilação do petróleo e é um material relativamente barato, disponível em grandes quantidades e tem uma alta densidade energética. Por isso, a produção de eteno a partir de Nafta é geralmente mais barata do que a produção a partir de outras fontes.

No entanto, a produção de eteno a partir de Nafta também tem algumas desvantagens. O processo de produção gera uma quantidade significativa de emissões de gases de efeito estufa, incluindo dióxido de carbono (CO₂) e óxido de nitrogênio (NO_x). Além disso, a Nafta é um recurso não renovável, e sua produção e transporte envolvem riscos ambientais e sociais significativos.

Por outro lado, a produção de eteno a partir de etanol é uma rota alternativa que tem atraído crescente interesse nos últimos anos. O etanol é um biocombustível produzido a partir de fontes renováveis, como a cana-de-açúcar. A produção de eteno a partir de etanol é geralmente mais cara do que a produção a partir de Nafta, devido à necessidade de processos adicionais para converter o etanol em eteno. No entanto, o processo de produção é menos

poluente, já que o etanol é um combustível mais limpo do que a Nafta, e a produção de eteno a partir de etanol emite menos gases de efeito estufa.

Em resumo, a produção de eteno a partir de Nafta é geralmente mais barata do que a produção a partir de etanol, mas envolve maiores emissões de gases de efeito estufa e riscos ambientais e sociais significativos. Já a produção a partir de etanol é mais limpa, mas mais cara. A escolha da rota de produção mais adequada depende das necessidades específicas da empresa e das exigências ambientais e regulatórias da região onde a produção será realizada.

3.6 SÍNTESE PET

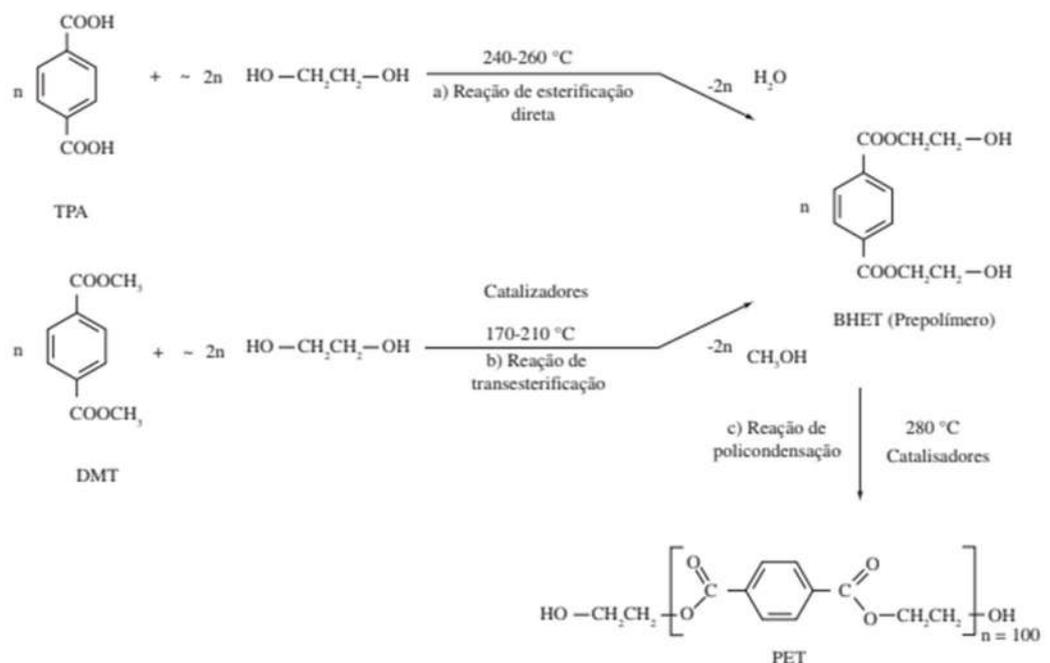
O Polietileno Tereftalato (PET) é um poliéster com propriedades termoplásticas. Pode ser amolecido em temperaturas específicas e remodelado em outro formato. A produção industrial do PET (Figura 14) é realizada em duas ou três etapas sendo elas:

1ª etapa: Pré-polimerização

2ª etapa: Policondensação

3ª etapa: Polimerização no estado sólido

Figura 14– Esquema da Produção de PET



Fonte: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem. (ROMAO, et al., 2009)

A primeira rota por esterificação direta ocorre com a reação entre o ácido Tereftálico e o MEG, reação auto catalítica sem a necessidade de catalisadores, sendo a faixa de temperatura em torno de 250 °C. Na segunda rota por transesterificação ocorre pela substituição do Ácido tereftálico pelo Ester tereftalato dimetileno em temperaturas em torno de 200 °C. No entanto, industrialmente a utilizada é a reação de esterificação direta, a exemplo disso, a empresa do Indorama Ventures localizada em PE, líder em produção de PET na América Latina, produz exclusivamente por esse método.

O ácido tereftálico comum em ambas as rotas é produzido por oxidação do p-xileno, que por sua vez é um isômero do xileno obtido através do petróleo. Existem estudos que propõem a rota verde do ácido tereftálico pela despolimerização do PET realizando a rota inversa. Porém esse método não será abordado pois não possui plantas no Brasil dessa rota verde. (ROMÃO, et al, 2009)

- Pré-polimerização

A etapa de pré-polimerização resulta no tereftalato de bis(2-hidroxietileno), BHET. Ele pode ser fabricado por duas rotas distintas. Essa etapa ocorre através da esterificação direta que consiste na reação entre o ácido tereftálico (TPA) e o monoetilenoglicol (MEG). No processo de produção do TPA, ocorre a formação de impureza predominando o 4-carboxibenzaldeído (CBA), que por possuir estrutura semelhante ao TPA, age como terminador da etapa de polimerização do PET, o que impossibilita a obtenção do grau polimérico ideal, equivalente a 150 (consiste no número de meros que compõem uma macromolécula polimérica). Com isso, existe a solução de dissolver o TPA em água para realizar a hidrogenação catalisada por Pd/C, contornando o problema da formação do CBA.

- Policondensação

Nessa etapa, o BHET é aquecido para reduzir a pressão interna do reator, com isso o grau de polimerização 100. O tempo reacional pode variar em torno de 6 a 10 horas. Somente a policondensação é suficiente para a produção de fibras têxteis mais leves o que consiste em um PET com menor custo, no entanto com menos resistência mecânica.

O polímero produzido possui massa molar de $33.10^3 \text{ g.mol}^{-1}$, mas a massa molar é consequência da dificuldade de difusão do MEG, o que diminui a taxa de reação. Com isso,

degradações que competem à polimerização ocorrem. Para elevar a massa molar é necessário realizar a polimerização no estado sólido.

- Polimerização no estado-sólido

A polimerização no estado-sólido ou reação de policondensação, abreviada de SSP, ocorre em uma temperatura de transição entre o estado vítreo e o estado de fusão, com isso produz-se massas molares superiores a 30 g.mol^{-1} , sendo utilizada para a produção de PET com alta massa molar $33.10^3 \text{ g.mol}^{-1}$. Ela é feita a uma temperatura entre a temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão. A temperatura em questão corresponde a faixa de 220°C a 230°C , por um período maior, atingindo níveis superiores de 30 horas. (ROMAO, et al, 2009)

Esse PET é utilizado para processamento por injeção-soro, o que resulta nas embalagens de bebidas carbonatadas.

O PET produzido pela SSP, é utilizado em artefatos processados por injeção-sopro, como as embalagens para bebidas carbonatadas. A SSP é realizada a $220\text{-}230^\circ\text{C}$ por um período entre 10 e 30 horas. Caso a SSP ocorra em um intervalo menor de tempo e a vácuo, aumenta o grau de cristalinidade do material, resultando no fenômeno da sinterização, o que ao gerar partículas *flakes*, grudam no reator danificando-o. (ROMAO, et al, 2009)

4 METODOLOGIA

Segundo Markoni e Lakatos, "é através da metodologia que são esclarecidos os métodos aplicados para a elaboração de um trabalho científico; ou seja, as ferramentas necessárias para a construção de determinado trabalho" (2005, pg. 132).

Como ponto de partida para o estudo do tema, foram realizadas pesquisas em revistas e artigos diversos que abordam a produção do polímero PET. Através dessas investigações, tornou-se evidente a importância do monoetileno glicol na obtenção da resina PET. A indústria a ser analisada será uma planta de produção de MEG Verde, ou seja, uma planta em que a matéria-prima é derivada da cana-de-açúcar, mais precisamente, o etanol. A escolha dessa abordagem baseia-se no impacto ambiental associado ao processo produtivo, bem como na relevância dos conceitos de química verde, economia circular e ESG (*Environmental, Social and Governance*).

O presente estudo propõe a delimitação de uma unidade mínima geográfica a nível municipal para a implantação de uma indústria, utilizando o método do centro de gravidade, um dos métodos indicados por Ballou (2006).

Com base em extensa pesquisa bibliográfica, será conduzida uma pesquisa para definir a localização hipotética da indústria, com foco em um recorte específico do processo produtivo, conforme detalhado no próximo capítulo.

Quanto às fontes de informações primárias utilizadas, foram consultados:

- Órgãos governamentais e autarquias federais, como a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB).
- Empresas privadas referência em logística, como a Empresa de Planejamento Logístico S.A (EPL), que é responsável pelo Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL), a Wilson Sons (2019), maior operador integrado de logística marítima e portuária no Brasil.
- Instituições financeira de capital misto como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o Banco do Nordeste.
- Associações setoriais, como por exemplo, a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET) e confederações nacionais, como a Confederação Nacional da Indústria (CNI) e a Confederação Nacional do Transporte (CNT).

Segundo Yin (2001. pg. 32), “o estudo de caso é uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, sendo que os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”.

Para que o presente Estudo de Caso, tendo como foco o estudo da localização de uma planta industrial química foi feita uma proposta de Cadeia de Suprimentos para a indústria, com a identificação das fontes de matéria prima e dos potenciais clientes. Além disso, foi utilizado o Processo de Planejamento de Rede descrito por Ballou (2006).

Como limitações da pesquisa, não foram considerados aspectos relacionados ao nível de urgência dos modais de transporte, como prazos de entrega e rapidez. Portanto, tópicos como nível de serviço logístico, que é uma métrica de qualidade de serviço logístico prestado, o tamanho do pedido e níveis de estoque foram desconsiderados.

Apenas uma única localização será escolhida para abrigar toda a instalação industrial e não será avaliado a necessidade da utilização de bases de abastecimento em outras regiões e centros de distribuição, uma vez que, neste estudo, toda armazenagem está situada na mesma unidade escolhida.

No que diz respeito ao frete, foi utilizado como referência a tabela de preços mínimos estabelecida pela ANTT, a qual é revisada anualmente. É importante ressaltar que a obtenção de informações detalhadas e específicas sobre o frete do etanol e MEG se mostrou um desafio, o que pode afetar a confiabilidade da pesquisa. Dessa forma, não será calculado o valor do frete para cada localização, mas sim um valor médio para definição da melhor localização considerando os fatores escolhidos.

No que tange ao modal, a discussão se limitou ao nível estratégico. Decisões relacionadas ao roteamento do veículo, tipos de veículos de carga e aspectos de carga e descarga e transbordo dos produtos são consideradas no âmbito operacional e não são o foco deste estudo.

Por fim, não foi realizada uma avaliação abrangente da viabilidade financeira e técnica do projeto de instalação da fábrica. Entende-se que esse tipo de avaliação requer um Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica (EVTE), não é o objetivo central desta pesquisa.

5 ESTUDO DE CASO: INDÚSTRIA DE MEG VERDE

Esta seção irá realizar o estudo de caso com as etapas de proposição do processo químico para o MEG Verde, sua cadeia de suprimentos e o planejamento de rede logística.

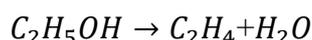
5.1 PROPOSTA DE PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MEG VERDE

Com objetivo de produzir o MEG verde, ou seja, originado da cana-de-açúcar, será descrito o processo completo para que posteriormente se detalhe as diferentes indústrias envolvidas nas principais etapas

A obtenção do MEG inicia-se na produção do etanol pela cana-de-açúcar. A cana chega até as usinas para o processo de lavagem, moagem e trituração. Após essas etapas, 70% da cana vira caldo que serão usados para a produção dos biocombustíveis. O caldo, então, é transformado em melão e posteriormente a fermentação e destilação, tendo como resultado o etanol (NOVA CANA, 2013).

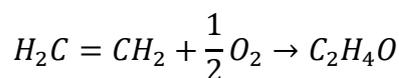
Nesse processo, são gerados dois tipos de etanol: Anidro e Hidratado, o primeiro é a forma pura que é acrescentado a gasolina e possui teor de 99% de álcool. Já o segundo, é aquele utilizado como combustível (NOVA CANA, 2013).

Em seguida, o etanol segue para a produção do eteno. A tecnologia utilizada é a desidratação catalítica por meio de reatores de leito fixo ou fluidizados com catalisador de alumina (Al_2O_3) e está sendo representada a sua reação pela Equação 5.1:

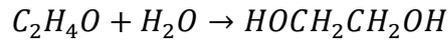


Após a formação do Eteno, produz-se o intermediário da reação do MEG, o Óxido de eteno, e ocorre através da combustão do eteno, podendo ser pela combustão incompleta (Equação 5.2).

- Combustão Incompleta:

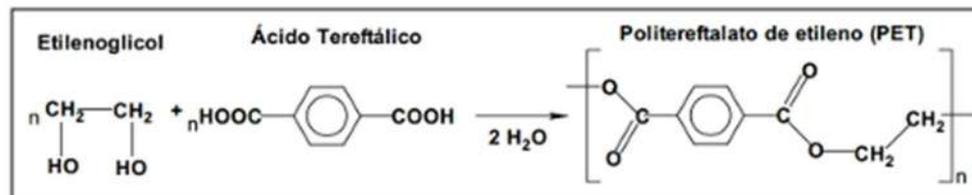


Após a sua produção, Óxido de eteno reage com a água ou etanol para a produção do MEG. (Equação 5.3)



Com o MEG produzido, os produtores de resina PET, ao adquirirem o ácido tereftálico, conseguem produzir o PET por meio de uma sequência de três etapas: Pré-polimerização; policondensação; polimerização no estado sólido. A Figura 15 define essas etapas de síntese do MEG até o PET.

Figura 15 Esquema reacional para formação do politereftalato de etileno (PET)



Fonte: Adaptado de KOSCHEVIC e BITTENCOURT, 2016

5.2 PROPOSTA DE CADEIA DE SUPRIMENTOS DA PLANTA

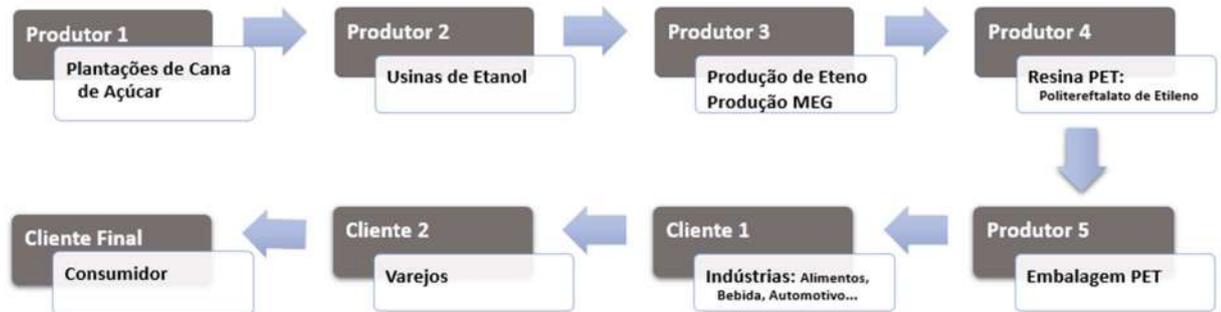
A cadeia de suprimentos proposta (Figura 16) considera o início do processo na plantação da cana-de-açúcar. Essa cultura agrícola é produzida e colhida em polos sucroalcooleiro que contém extensos campos de plantio. Após a colheita, a cana é encaminhada para as usinas onde é gerado o etanol. Uma vez produzido o etanol, ele é transportado para as Indústrias para produção de eteno como intermediário para produção de MEG. Ao produzir o MEG, ele é vendido para as indústrias responsáveis pela produção da resina PET.

Para esta proposta de cadeia de suprimentos, foi considerada a compra direta do ácido tereftálico pelo produtor da resina PET, não sendo detalhado os passos que são necessários para a sua produção dentro dessa cadeia.

Após a produção do PET, as fábricas de embalagens são responsáveis por adquirir a resina e transformá-la em embalagens plásticas. A indústria produtora se adapta aos diferentes clientes que comprarão as embalagens, sendo esses as indústrias de bebidas ou alimentos em geral. Por fim, os consumidores dos produtos no varejo, serão o espectro final da cadeia que tem como origem o etanol e termina na embalagem PET.

A proposta de cadeia de suprimentos (Figura 16) é o esquema do fluxo de materiais que deve ser utilizado para que o etanol seja adquirido para produção de MEG e posteriormente vendido aos produtores de PET.

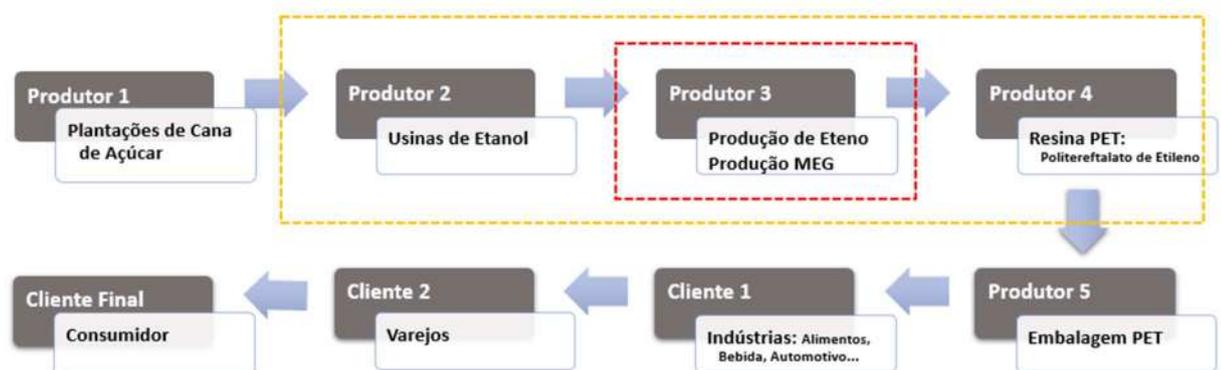
Figura 16 – Proposta de Cadeia de Suprimentos para produção de Garrafa PET



Fonte: Elaboração própria adaptado dos autores

Para o estudo de caso, será realizado um recorte dentro da extensa cadeia de suprimentos (Figura 16) com o objetivo de fazer o estudo logístico entre dois elos da cadeia de suprimentos. O recorte escolhido é detalhado na Figura 16, indicando que será analisado o fluxo de materiais entre o Produtor 2 e o Produtor 3 e o Produtor 4, sendo o Produtor 2 as Usinas de Etanol, o Produtor 3 a planta hipotética de MEG, e o Produtor 4 as Fábricas de PET (Figura 17).

Figura 17 – Proposta de Cadeia de Suprimentos para produção de Garrafa PET



Fonte: Elaboração própria adaptado dos autores

Os produtores de cana-de-açúcar são identificados na Figura 17 como Produtores 1 e o produtor de etanol é identificado como Produtor 2. Segundo Nova Cana (2009), ambos tendem a ficar no mesmo complexo industrial ou muito próximos, devido às grandes extensões

territoriais dos polos sucroalcooleiros sendo mais vantajoso manter a usina de etanol no mesmo complexo evitando o transporte de cana para fora do complexo para produção de etanol.

A distribuição geográfica das usinas é na mesma proporção das áreas cultiváveis de cana de açúcar, com exceção da região Norte-Nordeste em que a produção de açúcar é maior do que a de álcool (NOVA CANA,2009), pois a região prioriza a produção de açúcar devido à proximidade e preferência de mercados importadores, como os Estados Unidos, por exemplo. Por esse fato, não será considerado o deslocamento da cana de açúcar até as Usinas de Etanol.

Já o produtor da resina PET é identificado na Figura 17 como Produtor 4 e o produtor da embalagem PET (podendo se apresentar em diferentes formas e objetivos, como por exemplo na produção de garrafas PETs) é identificado na Figura 17 como Produtor 5. Esses 2 produtores são agentes da cadeia de polímeros e seus derivados e podem ser identificados dentro da segunda e terceira geração da cadeia petroquímica, respectivamente. A embalagem PET constituída é encaminhada para o seu emprego nos diferentes setores, como por exemplo o setor alimentício e bebidas carbonatadas (ROMAO et al., 2009). Os compradores dessas embalagens são identificados como Cliente 1 dentro da Figura 17.

O Cliente 1 comercializa seus produtos com os Clientes 2 e Clientes 3, identificados na Figura 17, são os consumidores varejo e consumidor final respectivamente e são considerados os elos finais da cadeia de suprimentos. Como exemplo para o Cliente 2 são encontradas as grandes redes de varejo, supermercados e distribuidores. Já o Cliente 3 é o cliente final, muitas vezes identificado como cliente pessoa física. Essa sequência da cadeia, que envolve as embalagens e sua distribuição no mercado varejista, não será abordado devido a dois fatores: capilaridade de distribuição, devido ao grande número de canais e pontos de venda em que as embalagens são comercializadas; e o foco do trabalho se restringe a uma indústria química.

Vale ressaltar que empresas que utilizam o eteno para a produção de fins poliméricos, como a Braskem (2019), não o transportam e sim produzem em suas fábricas pela desidratação do etanol. Eteno é um gás incolor, inodoro e inflamável com ponto de ebulição baixo, o que o torna facilmente volátil. Isso pode tornar o transporte de eteno perigoso, por isso é necessário tomar medidas de segurança especiais para evitar vazamentos ou acidentes durante o transporte.

Algumas medidas de segurança incluem transportar o eteno em recipientes de pressão, como cilindros de gás ou contêineres pressurizados, e tomar precauções adicionais durante o transporte, como evitar choques ou quedas que possam danificar o recipiente. Além disso, o eteno pode ser facilmente misturado com outros gases ou substâncias, o que pode tornar o seu transporte ainda mais desafiador (GAMA, 2016). Por esse motivo, não foi considerado a

compra do eteno e seu transporte até determinado ponto; esta proposta de cadeia de suprimentos (Figura 16) considera o etanol como matéria prima para produção do MEG.

5.3 FONTE DE MATÉRIA PRIMA: ETANOL

A maior produção de Etanol está concentrada nos Estados Unidos, que corresponde a cerca de 54,4 % da produção mundial e fazem os EUA serem os maiores exportadores para o mundo. Segundo Vidal, 2021, seus principais compradores são Canadá, Brasil e Índia. Além disso, Vidal (2021) indica que as maiores produções de Etanol também são concentradas nesses mesmos países (Tabela 20)

Tabela 20 – Produção de Etanol (milhões de Litros)

Pais	2016	2017	2018	2019	%
EUA	58.344,5	60.324,3	60.911,0	59.726,2	54,4
Brasil	25.551,5	25.173,0	30.245,4	32.516,7	29,6
UE	5.148,2	5.375,3	5.488,8	5.186,0	4,7
China	2.536,6	3.028,3	2.914,8	3.785,4	3,4
Índia	1.059,9	757,1	1.627,7	1.930,6	1,8
Canadá	1.741,3	1.741,3	1.741,3	1.968,4	1,8
Tailândia	1.287,0	1476,3	1476,3	1.627,7	1,5
Argentina	908,5	1097,3	1097,8	1.059,9	1
Selecionados	96.577,1	98.973,4	105.503,1	107.800,9	98,2
Outros	1.843,5	1.718,6	2002,5	2.976,0	2,7
Mundo	98.420,7	100.691,9	107.505,6	109.776,9	100

Fonte: Adaptado de Vidal (2021), p 2.

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol e corresponde acerca de 29,6 % da produção mundial e possui como característica a produção sendo quase totalmente a partir de cana-de-açúcar (VIDAL, 2021), embora nas últimas safras tenha crescido a participação do milho como matéria prima para produção de etanol.

Segundo Vidal (2021), em termos geográficos, a produção de Etanol está concentrada no Sudeste e Centro-Oeste. Eles juntos correspondem a cerca de 89,2 % da produção da safra de 2019/2020, levando em consideração tanto a produção a partir da cana-de-açúcar quanto de milho, ambas sendo elegíveis como matéria prima para o MEG Verde. Analisando especificamente a região nordeste, Vidal, (2021) reporta pelo Banco do Nordeste que essa região corresponde a apenas 6 % da produção nacional, uma tímida parcela em relação às regiões majoritárias.

Em termos de matéria prima para produção de Etanol, Vidal (2021) indica que a cana-de-açúcar representa a maior parcela, porém o milho tem crescido nos últimos anos. Segundo Vidal (2021):

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima usada no Brasil para a produção de etanol, a área plantada com cultura no País nas últimas duas safras tem se mantido sem grande variação e para a próxima safra, a previsão é de que o crescimento seja apenas de 1,9%. A produtividade também deverá crescer pouco, 1,5%, entretanto, essas duas variáveis juntas deverão resultar em crescimento de 3,5% na produção. Por outro lado, nas últimas safras, tem ocorrido forte crescimento da utilização de milho para a produção de etanol no Brasil, notadamente no Centro-Oeste. (2021, p.3)

Vidal (2022) endereça um estudo setorial para Combustíveis, em especial Biodiesel e Etanol com enfoque no Nordeste e atualiza os valores de produção brasileira de Etanol, tanto de milho quanto de cana-de-açúcar nas safras mais recentes (Tabela 21).

Tabela 21 – Produção Brasileira de Etanol de Cana e Milho (milhões de Litros)

Unidade Geográfica	Safra 2021/2022	Safra 2022/2023	Var Safras (%)	Total Safra 2022/2023 (%)
Norte	262,8	268,6	2,2	0,9
Nordeste	1.877,2	2.073,1	10,4	6,8
Centro Oeste	11.596,9	12.959,8	11,8	42,7
Sudeste	14.961,1	13.872,8	-7,3	45,7
Sul	1.177,6	1.178,5	0,1	3,9
Brasil	29.875,7	30.352,7	1,6	100 %

Fonte: Elaboração própria adaptado de Vidal, 2022, p 10.

A partir deste estudo setorial, pode-se identificar que tanto nas safras de 2021/22 quanto 2022/23 os maiores produtores são da região Sudeste e Centro-Oeste, seguidos pelo Nordeste, depois região Sul e com uma tímida participação da região Norte. Para efeitos de magnitude, somando-se os valores percentuais da Safra 2022/2023 das regiões Sudeste (45,7%) e Centro Oeste (42,7%) é alcançando o valor de 88,4 % do total da produção brasileira em milhares de litros, portanto, para este presente Estudo de Caso, essas duas regiões têm particular interesse para eleger as fontes de matéria prima para o MEG Verde, o Etanol.

Com relação ao destino da produção de Etanol, em termos de consumo, segundo Vidal (2021) quase toda produção é para consumo interno com apenas 6,5 % destinado à exportação. Além disso, menciona-se que não se espera o aumento dessa parcela nos próximos anos, indicando que o Etanol produzido no Brasil será consumido dentro do próprio país, tanto Etanol

hidratado quanto Etanol Anidro. Ainda acrescenta nessa análise que o Brasil importa relevante quantidade de Etanol de milho dos EUA; em 2019 foram importados 1,047 bilhão de litros de Etanol norte-americano.

Com relação as exportações, por mais que seja exportado uma pequena quantidade da produção interna, o destino é majoritariamente o mesmo, segundo Vidal (2022) o Etanol Brasileiro tem como principal destino os EUA para o atendimento ao programa de combustíveis de baixo carbono da Califórnia. Em termos de exportação e importação, os valores são bastante pequenos (Tabela 22) quando comparados com os valores de produção brasileira (Tabela 21).

Tabela 22 – Exportações e Importações Brasileiras de Etanol (milhões de Litros)

Destino	2020	2021	Var (%)
Exportação	2.139	1.562	-27
Importação	797	342	-57

Fonte: Elaboração própria adaptado de Vidal (2022), p 12.

Ciente da relevância das regiões Sudeste e Centro-Oeste na produção de Etanol a partir de Cana e Milho, como evidenciado por Vidal (2022), têm-se o objetivo de detalhar quais estados são responsáveis por esses números e maiores detalhamentos. Nesse sentido, a CONAB (2023) que tem como um de seus objetivos produzir um estudo do Setor de Açúcar e Etanol no Brasil, atualizou o boletim da Safra de Cana-de-Açúcar e a estimativa para a Safra 2022/2023 (Tabela 23). Com isso, é possível detalhar dentro das Regiões responsáveis pelos maiores volumes de produção quais são os Estados e o percentual de relevância dentro do Total de Produção da Safra 2022/2023.

Tabela 23 – Produção de Etanol nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste (Milhares de Litros)

Unidade Geográfica	Safra 2021/2022	Safra 2022/2023	Var Safras (%)	Total da Produção Safra 2022/2023 (%)
MT	4.102	4.343	5,9	13,8
MS	2.492	4.082	63,8	13
GO	5.002	4.593	-8,2	14,6
Região Centro Oeste	11.596	13.018	12,3	41,5
RJ	74	109	47,2	0,3
ES	111	176	58,5	0,5
MG	2.830	2.639	-6,7	8,4
SP	11.944	11.968	0,2	38,2
Região	14.961	14.893	-0,4	47,5

Sudeste				
Brasil	29.875	31.337	4,8	100

Fonte: Elaboração própria a partir de CONAB (2023).

Dentro da Região Sudeste, fica claro que os Estados de São Paulo (38,4%) e Minas Gerais (8,4%) são os que representam valores relevantes dentro da região, e em contrapartida, Rio de Janeiro e Espírito Santo sem muita relevância.

Analisando a Região Centro-Oeste, Mato Grosso (13,8 %) Mato Grosso do Sul (13 %) e Goiás (14,6 %) tem composições muito similares, endossando a importância da região no cenário brasileiro, como sinalizado por Vidal (2022). Os três estados aparentam estar em igualdade dentro da Safra 2022/2023, porém, analisando a Safra 2021/2022, é possível ver que a produção do Estado do Mato Grosso do Sul (2.492 milhares de Litros) é bem menor que os dois outros Estados de Goiás e Mato Grosso.

Analisando as duas Regiões do País, o Estado de São Paulo claramente desponta na liderança com a maior produção, em termos de volume, sendo 38,2% do valor total no Brasil. Em sequência, toda região do Centro-Oeste aparece aproximadamente empatados, porém, o Estado de Goiás apresenta o maior número da região e compõem junto com o Estado de São Paulo cerca de 52,8 % da produção total da Safra 2022/2023 no Brasil.

Dessa forma, levando em consideração que dois Estados do Brasil (São Paulo, Goiás) concentram mais da metade da produção nacional, esses apresentam particular interesse para investigação mais detalhada com relação as suas Usinas de Produção de Etanol.

A SEADE (2021), responsável pela análise de dados do Estado de São Paulo, detalha a produção de Etanol no Estado e reforça que é o maior produtor de Etanol no país, reforçando o que a autora Vidal (2022) e a CONAB (2023) retratam em seus trabalhos. Além disso, aponta quais são as regiões de São Paulo que possuem as maiores capacidades de produção de etanol (Figura 18).

Figura 18 – Capacidade de Produção Etanol (m³/dia) em São Paulo



Fonte: Retirado de SEADE (2021).

Analisando a intensidade das cores do mapa e seguindo o que a SEADE, 2021 menciona, as regiões de SP que tem maior relevância na produção de Etanol são indicadas na Tabela 24.

Tabela 24 – Municípios com Maior Capacidade de Produção em São Paulo (m³/dia)

Município	Capacidade (m ³ /dia)
São José do Rio Preto	30,8
Ribeirão Preto	24,4
Araçatuba	22,5
Bauru	17,3

Fonte: Elaboração própria a partir de SEADE (2021)

A SIFAEG (2018), Sindicato que representa a Indústria de Fabricação de Etanol no Estado de Goiás, sinaliza em seu material que o seu Estado é o segundo maior produtor de cana-de-açúcar e seus derivados, em especial, o Etanol no Brasil. Para o Estado existe particular importância por representar a segunda cultura agrícola mais relevante em contribuição para o PIB e é responsável por empregar mais de 100.000 mil pessoas no Estado, (SIFAEG, 2018).

Além disso, o SIFAEG (2018) indica que não só o Estado de Goiás, mas a região centro-oeste toda, possui vocação para o cultivo e essa tem evoluído bastante em termos de produção, principalmente pelos fatores agroclimáticos, condições de chuva e recuperação dos canaviais. Para detalhar essa informação, a SIFAEG (2018) indica quais são as cidades que detêm maior produção no Estado de Goiás (Tabela 25)

Tabela 25 – Ranking das Cidades com maior produção no Estado de Goiás

Ranking	Município
---------	-----------

1º	Quirinópolis
2º	Mineiros
3º	Goiatuba

Fonte: Elaboração própria a partir de SIFAEG (2018)

Recentemente o portal Nova Cana (2023), especializado no setor sucroalcooleiro brasileiro, sinalizou que uma nova usina de para produção de Etanol entrará em produção no município de Quirinópolis (GO) em fevereiro de 2023, endossando a relevância desse município que aparece no Ranking (Tabela 24) indicador pelo SIFAEG (2018).

Como resultado do levantamento do cenário do Etanol verde no mercado brasileiro e dos principais produtores e suas respectivas localizações, é possível elencar essas informações (Tabela 26) para ser utilizada no modelo de determinação de localização do estudo de caso.

Tabela 26 – Municípios selecionados como fonte de Matéria Prima Etanol Verde

Região	Estado	Município
Sudeste	SP	São José do Rio Preto
Sudeste	SP	Ribeirão Preto
Sudeste	SP	Araçatuba
Sudeste	SP	Bauru
Centro-Oeste	GO	Quirinópolis
Centro-Oeste	GO	Mineiros
Centro-Oeste	GO	Goiatuba

Fonte: Elaboração própria dos autores

5.4 MEG COMO MATÉRIA PRIMA PARA PET

Segundo a Globalkem (2022), o MEG é um insumo fundamental para indústrias de embalagens, produtos de formulação anticongelante e têxtil.

Além disso, sinaliza que a produção do ano de 2022 foi insuficiente para o consumo interno brasileiro e indica que grande parte do volume que supre esse déficit vem dos EUA. Segundo a Globalkem (2022), o consumo de MEG encontra-se pontualmente em baixa por conta do contexto econômico mundial, e o volume importando em 2022 foi 13 % menor do que em 2021.

Segundo a consultoria de Inteligência de mercado Mordor (2023) existe uma tendência de crescimento de pelo menos 5,5 % até 2028 para o consumo de MEG no mundo, principalmente puxados pelo consumo de embalagens do setor têxtil.

Dentro do setor têxtil, a Mordor (2023) enfatiza o MEG como um produto largamente consumido por essa indústria por conta do uso de sua síntese em diversas fibras e os EUA, Índia e China são os principais países dentro desta Indústria e é esperado que a demanda de MEG aumente nestes países sendo alavancado pelo crescimento do setor têxtil deles.

Em especial, é na região Ásia-Pacífico onde a China e Índia são os principais expoentes e consumidores de MEG (MORDOR, 2023), além de existir o maior consumo global tanto do MEG quanto do PET por conta da ampla disponibilidade de matéria prima e os baixos custos de produção.

Segundo a Mordor (2023) o cenário de MEG é parcialmente competitivo, e os principais produtores são empresas químicas consolidadas: BASF, Dow, Nouryon, LyondellBasell Industries Holdings B.V e Royal Dutch Shell PLC.

Mordor (2023) também aponta as principais tendências e pontos de atenção para a Indústria de MEG no mundo. Para ela, a flutuação do preço das matérias-primas, especialmente àquelas lastreadas pelo preço do petróleo podem restringir o mercado e isso tem particular relação com o Brasil, tendo em vista que hoje, o Etanol produzido no Brasil é usado como combustível. Além disso, segundo a Raizen (2022), o Etanol é usado como combustível mais sustentável e peça fundamental para a transição energética e uma economia de mais baixo carbono. A Mordor (2023) também indica em seu material uma tendência de que o MEG aumente a sua produção de base biológica, sendo considerado uma oportunidade.

Neste Estudo de Caso, o MEG será empregado para produção de PET, pertencente à indústria de polímeros. De acordo com Romao et al. (2009), a maior aplicação do PET é na indústria de embalagens, puxado majoritariamente pelo setor alimentício, em especial para embalagens de bebidas carbonatadas.

Segundo Romao et al. (2009) cerca de 9 % de todos os polímeros produzidos no Brasil corresponde ao PET e cerca de 20% do Resíduo Sólido Urbano (RSU) correspondente aos polímeros.

A Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET) é uma instituição com mais de 25 anos, sem fins lucrativos, e possui como objetivo:

Promover a utilização e a reciclagem das embalagens de PET, incentivar a evolução tecnológica e aplicações para o PET reciclado. Nesse sentido, há mais de 25 anos divulga, incentiva e apoia o desenvolvimento de novas aplicações e impulsiona a demanda pelo PET reciclado, contribuindo para o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e garantindo a atuação da indústria dentro dos princípios da Economia Circular (ABIPET, 2023^a).

Sendo assim, essa associação surge como uma das principais fontes de informação acerca desse setor. Para identificar potenciais compradores de MEG para produzir PET com aplicação na produção de garrafas PET para bebidas carbonatadas, embalagens para o segmento alimentício e laminados de PET e seus respectivos municípios de localização, foi utilizado a lista de associados da ABIPET (Tabela 27).

Tabela 27 – Empresas que produzem PET associadas à ABIPET

Região	Estado	Município	Nome da Empresa
Nordeste	PE	Ipojuca	Indorama Ventures Polímeros S. A
Nordeste	PE	Ipojuca	PQS Petroquímica SUAPE
Sudeste	SP	Louveira	AMCOR Rigid Packing do Brasil
Nordeste	BA	Simões Filho	Engepack
Sudeste	SP	São Carlos	Global PET Reciclagem S. A
Nordeste	PB	Conde	Green PCR Indústria e Comércio de Plásticos
Sudeste	MG	Poços de Caldas	3Rios Fibras e Resinas

Fonte: Elaboração própria dos autores a partir de ABIPET (2023b)

5.5 PLANEJAMENTO DA REDE LOGÍSTICA

Diante dos dados geográficos dos fornecedores de matéria prima, clientes do MEG e com a proposta de cadeia de suprimentos definida com os respectivos elos mapeados e com a proposta do processo químico endereçada a partir da matéria prima escolhida, esta seção irá elencar as principais decisões a nível estratégico para realizar o planejamento logístico, em especial a definição do modal de transporte, custo de frete associado e proposta de localização.

5.5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS CARGAS

Um dos primeiros passos para identificar quais modais são elegíveis para o transporte de uma determinada carga e avaliar vantagens e desvantagens e possíveis limitações é caracterizar o tipo da carga.

Para o transporte rodoviário, seguindo a categorização da CNT (2022), o Etanol pode ser classificado como carga perigosa por se tratar de um produto químico inflamável. Segundo a categorização do Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, realizado pela ANTT (Tabela 13) o Etanol pode ser enquadrado como produto perigoso classe 3: Líquido Inflamável.

Tanto a Total Energie (2022) quanto a Quimesp (2021) indicam na FISPQ do Etanol as regulamentações internacionais e nacionais para o transporte de etanol rodoviário e hidroviário e endossam a classificação de perigoso para o transporte, classe 3.

Com relação ao MEG, a Rauter (2021) na FISPQ do produto aborda as informações sobre transporte e cita o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos da ANTT e indica que o produto não tem o transporte regulado pela norma, apesar de ser um produto químico.

A Quimitec também indica na FISPQ do MEG que esse produto “Não é classificado como perigoso para o transporte” (2016, p.5).

A FISPQ do MEG, segundo a Usiquimica (2019) também indica que este produto não é enquadrado como produto perigoso e cita: “Produto não enquadrado na regulamentação em vigor sobre o transporte de produtos perigosos” (2019, p.8)

Dessa forma, seguindo esses indicativos da FISPQ apresentadas e com base na regulamentação da ANTT (Tabela 13), o MEG não pode ser considerado como carga perigosa. Logo, seguindo a categorização proposta pela CNT (2022) o MEG é considerado um granel líquido por conta do volume que está sendo transportado na proposta desse estudo de caso, levando-se em consideração que serão transportadas quantidades industriais deste produto até a fábrica de PET.

5.5.2 DEFINIÇÃO DO MODAL DE TRANSPORTE

Para Balou (2006) e Negri et al. (2006), a definição transportes é uma decisão que passa por indicadores financeiros, estando entre eles o custo. Por esse motivo, a estrutura de custos (Tabela 28) deve iniciar a análise como instrumento para avaliação e escolha de um dos modais

Tabela 28 – Características dos Modais: Estrutura de Custos e Infraestrutura

Modal	Custo Fixo	Custo Variável	Dependência de Infraestrutura
Ferrovário	Elevado	Baixo	Forte dependência
Rodoviário	Baixo	Moderado	Baixa dependência
Hidroviário	Médio	Moderado	Forte dependência
Dutoviário	Elevado	Baixo	Forte dependência
Aeroviário	Baixo	Elevado	Forte dependência

Fonte: Elaboração própria dos autores a partir de BOWERSOX. (2001)

Os custos fixos elevados e moderados estão associados a necessidade de um grande investimento de instalações e equipamentos. Por exemplo, é intrínseco à operação ferroviária a

necessidade de vias férreas, terminais ferroviários e maquinários de transporte. É intrínseco ao modal dutoviário a necessidade de gasodutos e terminais.

Segundo Bowersox (2007), o custo fixo baixo atrelado ao transporte rodoviário está relacionado a existência de extensa malha rodoviária no Brasil instalada e em grande parte por recurso públicos.

Nesta comparação de custo e dependência com infraestrutura, o modal rodoviário se sobressai em relação aos outros modais, reforçando o que é apontado pela CNT (2022) que diz que este modal apresenta a maior flexibilidade em relação a infraestrutura.

Além do aspecto custo e dependência da infraestrutura, é necessário avaliar a capacidade do modal transportar uma carga perigosa (Etanol) e uma carga granel líquida (MEG) em grandes quantidades.

A carga granel líquida (MEG) pode ser potencialmente transportada pelos modais rodoviário, e ferroviário e hidrovário a depender da disponibilidade de infraestrutura. Entretanto, o modal dutoviário não é elegível para o transporte do MEG, pois não se enquadra como petróleo, gás natural, combustível ou derivados de petróleo.

Porém, o Etanol, como carga perigosa possui mais restrições, para Milanez et al. (2010), o modal rodoviário predomina no transporte de etanol por conta da competitividade que este modal tem em rotas curtas e com pequenos volumes de cargas em comparação aos outros modais. Além disso, Milanez et al. (2010) sinaliza uma característica de que as usinas estão geralmente localizadas em regiões agrícolas que são mais afastadas e não possuem escala de produção isolada para viabilizar um investimento em infraestrutura que compita com o modal rodoviário.

Essa característica da regionalização da origem do Etanol é particularmente importante para se observar tratando-se deste estudo de caso que considera usinas no Estado de Goiás Para Milanez et al. (2010), o modal dutoviário pode ajudar na competitividade com o modal rodoviário, porém, os volumes transportados são muito pequenos e deveriam crescer substancialmente para alcançarem níveis que indicassem a viabilidade econômica.

O MPTA (2018) descreve algumas características e faz observações acerca dos corredores logísticos que são utilizados para consumo interno do Etanol. Sinaliza que o transporte do Etanol é possível de ser feito em quatro modais: ferroviário (14%), hidrovário (3%), dutoviário (3%) e principalmente rodoviário (80 %).

Dentro do Sudeste, maior região produtora de Etanol no país, o MPTA (2018) detalha que o transporte também segue a mesma proporção nacional: rodoviário (78%), ferroviário (13 %) e dutoviário (8%). Além disso, sinaliza que as ferrovias utilizadas são a FCA (VLI) e a

RUMO, enquanto para o modal dutoviário, é utilizado somente o duto da empresa LOGUM S.A.

Por conta do extenso uso do modal rodoviário no transporte de Etanol no mercado interno apontado tanto pelo MPTA (2018) e Milanez et al. (2010) e este modal possuir menor dependência de infraestrutura (BOWERSOX,2007) este será o modal utilizado neste presente estudo de caso.

5.5.3 UNIDADE GEOGRÁFICA MÍNIMA E CLASSIFICAÇÕES DO MODELO

A unidade mínima para geográfica, segundo Ballou (2006) é o menor espaço geográfico que é utilizado para a análise. Como opções de unidade mínima geográfica existem as opções de Estado, Município, Bairros, Distritos e Ruas. A rua é considerada o nível mais granular de espaço geográfico que os modelos podem trabalhar.

Ballou (2006) classifica os modelos em diferentes aspectos, em especial, o Grau de Agregação de Dados, que exemplifica uma classificação de modelo que está ligada diretamente com a unidade mínima geográfica. O Grau de Agregação de dados é que irá indicar se o modelo será capaz de ser acurado e indicar o nível mais granular, como por exemplo a Rua e CEP da Instalação, ou será menos acurado e indicará apenas o Estado que uma instalação deve ser localizada. Essa decisão está diretamente ligada com a disponibilidade de dados, portanto, o presente Estudo de Caso será utilizar como unidade mínima geográfica o nível de Município. Significa, portanto, que o modelo irá propor em qual Município deverá ser instalada a fábrica desse estudo de caso.

Além disso, seguindo a classificação e as características dos modelos de localização propostos por Ballou (2006), será utilizado o modelo de localização único de instalação, que implica que o ponto de localização proposto compreenderá toda a Planta.

5.5.4 ESTIMATIVA DE CUSTOS DE TRANSPORTE

Como sinalizado por Ballou (2006), entre os custos logísticos, o que apresenta maior peso no custo total é o custo de transporte. No Brasil, segundo o Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, MTPA (2018) existem algumas metodologias para estimar e calcular os custos logísticos e elas podem divergir nos valores, porém, em média esses custos representam de 10,6 % a 15,4 % do valor do PIB nacional.

Esses valores podem ser considerados elevados quando é comparado com os valores de outros países como os EUA e a OECD, que reúne países como Alemanha, França, Espanha, Reino Unido e vários outros países Europeus (Tabela 29).

Tabela 29 – Participação do Custo Logístico no PIB

País	% Custo Logístico /PIB
EUA	8,5
OECD (média)	9
Chile	16
México	18,5
Brasil	10,6 – 15,4
Argentina	27

Fonte: Elaboração própria a partir de MTPA (2018)

Dentro do Custo Logístico, existem despesas relacionadas ao estoque dos produtos, contratações, despesas administrativas e diversas outras, porém, o MTPA (2018) indica que o Custo de Transporte é o que apresenta maior peso dentro do Custo Logístico, seguindo em linha com o que Ballou (2006) menciona.

O MTPA (2018) agrupa e expõe essas informações (Tabela 30), enfatiza a importância do Custo de Transporte no setor e indica que a racionalização dessas despesas de transporte produz efeitos significativos nos custos logísticos.

Tabela 30 – Estrutura dos Custos Logísticos

Item	% do PIB	% sobre o total dos custos (%)
Administração	0,5	3
Armazenagem	0,9	6
Estoque	5	32
Transportes	9	59
Total	15,4	100%

Fonte: Elaboração própria a partir de MTPA (2018)

O custo logístico representa 15,4 % do PIB, e dentro deste custo logístico total (15,4 %), o custo de transporte representa 59% e por isso fica claro a parcela relevante dentro do montante e que sistemas de transporte com custos mais baixos são importantes para estimular o desenvolvimento econômico mais intenso.

A CNT (2022) sinaliza a importância do custo de transporte, que em muitas vezes se traduz na cobrança do frete e indica que essa é sem dúvida a principal fonte de receita para empresas de transporte rodoviário ou senão a única fonte de receita e deve cobrir todas as despesas e pagamentos de tributos.

Dessa forma, a cobrança do frete é a forma com que as empresas absorvem o custo de transporte. a CNT (2022) sinaliza a preocupação em atualizar e fazer o reajuste desses valores. Segundo a Confederação Nacional do Transporte, CNT (2022), alguns índices e determinados fatores econômicos são utilizados frequentemente pelas empresas para esse reajuste (Tabela 31).

Tabela 31 – Índice e outros fatores utilizados para reajuste do Frete

Índice ou Fator	% de empresas que utilizam
Aumento do Preço do Diesel	57,1
INCTL – Índice Nacional da Variação de Custos do Transporte Rodoviário de Carga Lotação	17,2
IPCA – Índice de Preços ao Consumidor Amplo	14,9
INCTF – Índice Nacional do Custo do Transporte de Carga Fracionada	13,4
INPC – Índice Nacional de Preços ao Consumidor	8,6
INCT-FR – Índice Nacional do Custo do Transporte de Carga Fracionada – Operação Rodoviária	4,3
INCT-OU – Índice Nacional do Custo do Transporte de Carga Fracionada – Operações Urbanas	0,9
Outros	30,2
Não Responderam	10,1

Fonte: Elaboração própria a partir de CNT (2022)

De acordo com a CNT (2022), o preço do diesel aparece como fator que influencia mais da metade (57,1%) das empresas abordadas e isso está diretamente ligado ao diesel ser o principal combustível utilizado no transporte de cargas rodoviário. Outro fator interessante que pode ser abordado dentro do custo é a parcela da resposta *outros* (30,2 %) dentro da Tabela 32 que representa o segundo fator mais relevante logo após o aumento do preço do diesel. Segundo a CNT (2022), dentro dessa parcela existe uma variedade de critérios que são específicos de cada cliente e carga, pois são alinhados diretamente com os embarcadores, não tendo nenhuma relação direta com outros índices econômicos.

Especificamente com relação ao preço do diesel, vale reforçar que esse fator é particularmente justificável, pois segundo a CNT (2022) o preço médio do preço do litro do

óleo diesel teve um aumento de 47,8 % por 12 meses a partir de dezembro de 2021, impactando fortemente o custo de transporte e consequentemente o frete.

Com o objetivo de regular este setor, a ANTT (2022) diz que a Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas tem o objetivo de “estabelecer condições e promover condições razoáveis à realização de fretes no território nacional, de forma a proporcionar a adequada retribuição ao serviço prestado” (ANTT, 2022, p.1) e por esse motivo estabelece o piso mínimo referente ao quilômetro rodado de fretes, por eixo carregado.

A partir disso, a ANTT em Brasil (2023) sumariza os valores por tipo de carga e por tipo de transporte (carga fracionada ou carga lotação). Para o produto classificado como o Etanol, carga perigosa líquido (Tabela 32), e MEG, carga granel líquido (Tabela 33), os valores do piso mínimo do frete são regulados.

Tabela 32 – Pisos Mínimos Carga Lotação - Tipo de Carga: Perigosa Líquida

Número de Eixos do Veículo	Carga e descarga (R\$)	Deslocamento (R\$/Km)
2	458,23	3,8463
3	527,39	4,7549
4	522,25	5,2461
5	566,78	5,9103
6	619,80	6,6491
7	731,34	7,3246
9	754,84	8,1545

Fonte: Elaboração própria a partir de Brasil (2023)

Tabela 33 – Pisos Mínimos Carga Lotação - Tipo de Carga: Granel Líquido

Número de Eixos do Veículo	Carga e descarga (R\$)	Deslocamento (R\$/Km)
2	346,40	3,2691
3	419,52	4,1922
4	397,30	4,6310
5	462,71	5,3714
6	515,74	6,1101
7	638,41	6,8262
9	659,31	7,6466

Fonte: Elaboração própria a partir de Brasil (2023)

Analisando a estrutura de custos (Tabela 32 e 33) indicada por Brasil (2023), verifica-se que se assemelha mais à classificação de Tarifa Proporcional, sugerida por Ballou (2006).

É possível verificar que existe um pequeno valor fixo na tarifa atribuído a operação de Carga e Descarga. Essa tarifa não varia com relação à quilometragem, e existe uma parcela que

varia proporcionalmente com a distância, chamada pela ANTT de Descolamento (R\$/Km). Esta parcela irá representar maior peso no montante final do frete para grandes distâncias.

Esse comportamento de proporcionalidade da cobrança do frete com a distância é o mesmo observado (Figura 6) por Ballou (2006).

5.5.5 DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO

Para executar o método de Centro de Gravidade proposto por Ballou (2006) e Peinado e Graeml (apud Brito Junior, 2012) são utilizados 7 municípios fornecedores de Etanol (Tabela 27) e sete municípios clientes do MEG (Tabela 28). Com relação ao volume transportado, será utilizado uma carga lotação em cada ponto de fornecimento e ponto de demanda por conta da estrutura de custos da Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas apresentarem os valores a partir de uma carga lotação.

Seguindo a recomendação de Winter (2003), será utilizado um *isotank* para o transporte de Etanol e MEG, principalmente por ser recomendado para o transporte de produtos químicos e com relação ao veículo, será utilizado um veículo de 5 eixos.

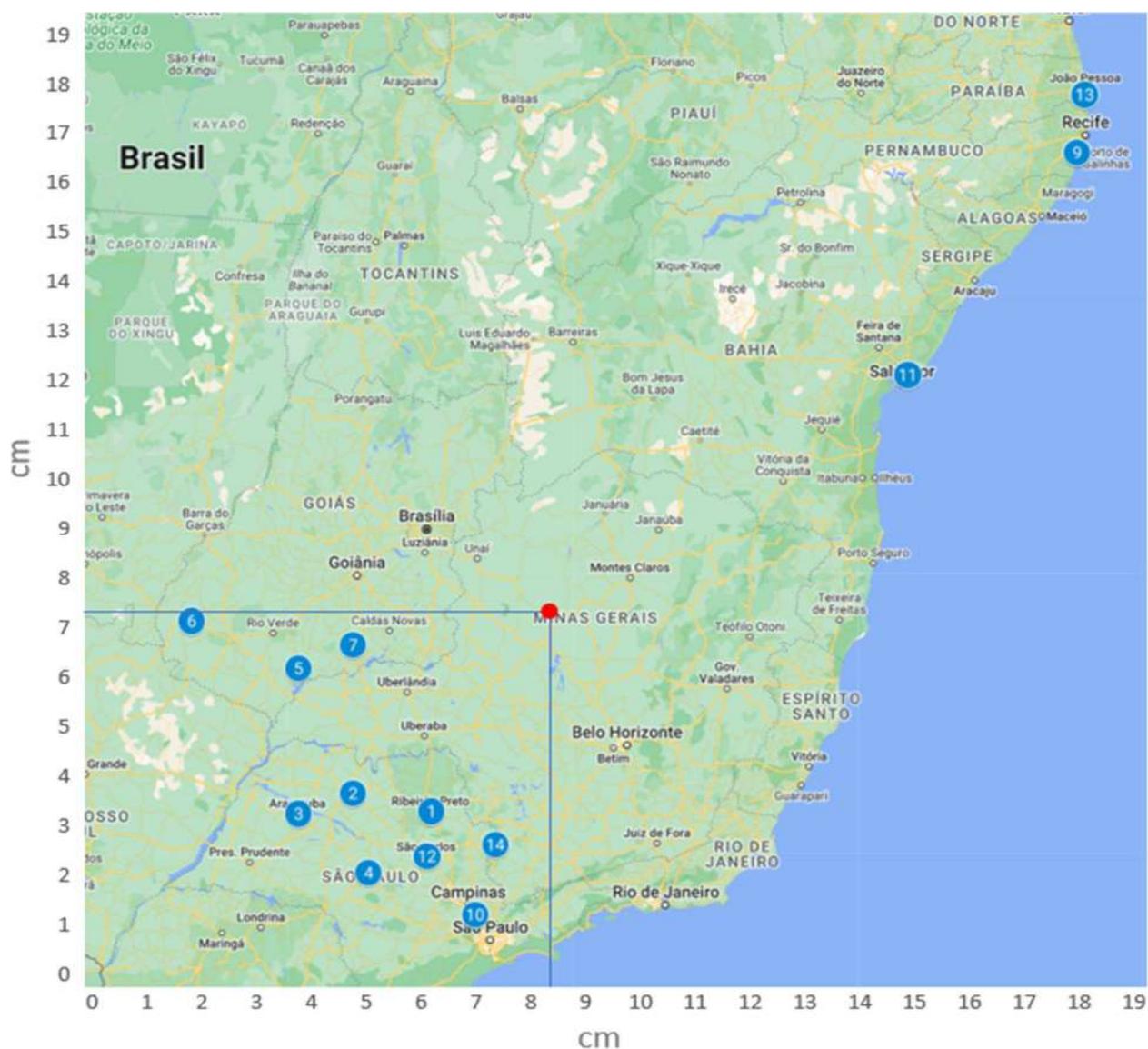
Utilizando os eixos ortogonais e marcando a localização de cada um dos pontos no mapa, é possível medir as coordenadas (X, Y) de cada um dos pontos (Figura 19) e gerar os valores utilizados no método do centro de gravidade (Tabela 34).

Tabela 34 – Dados do Modelo de Centro de Gravidade

Nº Mapa	Descrição	Município	Custo (R\$/Km)	Coord. X (cm)	Coord. Y (cm)
1	Fornecedor	São José do Rio Preto	5,91	4,80	3,80
2	Fornecedor	Ribeirão Preto	5,91	6,20	3,40
3	Fornecedor	Araçatuba	5,91	3,80	3,30
4	Fornecedor	Bauru	5,91	5,00	2,20
5	Fornecedor	Quirinópolis	5,91	3,80	6,30
6	Fornecedor	Mineiros	5,91	2,00	7,20
7	Fornecedor	Goiatuba	5,91	4,80	6,70
8	Cliente	Ipojuca	5,37	17,70	16,30
9	Cliente	Ipojuca	5,37	17,70	16,30
10	Cliente	Louveira	5,37	6,90	1,40
11	Cliente	Simões Filho	5,37	14,70	11,90
12	Cliente	São Carlos	5,37	6,10	2,60
13	Cliente	Conde	5,37	17,90	17,40
14	Cliente	Poços de Caldas	5,37	7,30	2,90

Fonte: Elaboração própria dos autores

Figura 19 – Centro de Gravidade no Mapa



Fonte: Elaboração própria dos autores

Com esse método, o centro de gravidade que representa o ponto de menor custo logístico é um ponto no mapa pertencente ao município de Buritizeiro (MG). Segundo a Divisão territorial do Brasil, feita pelo IBGE (2022), o município de Buritizeiro pertence à microrregião de Pirapora, dentro da mesorregião do Norte de Minas Gerais. Vale ressaltar que existem 3 pontos localizados no Nordeste mas representam 4 clientes de MEG, pois dois deles encontram-se no mesmo município. Totalizando 14 pontos.

5.5.6 PROPOSTA DE LOCALIZAÇÃO

O modelo de Centro de Gravidade conduz a análise para que a planta seja instalada dentro de um determinado município, porém este método desconsidera outros fatores relevantes

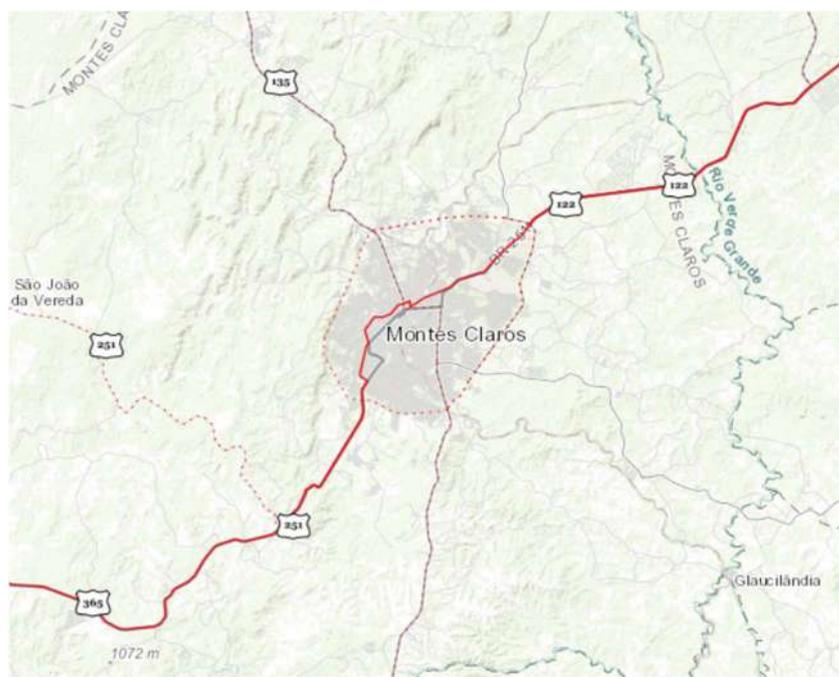
para a logística que não o custo de transporte e a distância, se comportando como um método Exato pela descrição de Ballou (2006). Porém, como proposta dos presentes autores deste Estudo de Caso, a análise dos municípios próximos à Buritizeiro (MG) também pode ser utilizada para realizar a proposta de localização da Planta.

O Estado de Minas Gerais é dividido em doze mesorregiões segundo o IBGE (2022); dentro da mesorregião do Norte de Minas foi identificado 2 microrregiões de interesse: Pirapora (microrregião do Centro de Gravidade) e Montes Claros (microrregião vizinha) e essas duas microrregiões abrigam dois municípios homônimos que são de particular interesse como candidatos à localização da planta.

Proposta 1 - Município de Montes Claros:

Com relação a estrutura rodoviária, segundo os serviços digitais do DNTI (2023), a cidade é cortada por quatro grandes rodovias: BR365, BR251, BR135, BR122 (Figura 20)

Figura 20 – Rodovias de Montes Claros



Fonte: Elaboração própria dos autores a partir de DNIT (2023)

A BR135 é uma rodovia longitudinal brasileira que segundo o DNIT (2023) inicia em São Luís (MA) e corta o Brasil até Montes Claros (MG) e tem o papel de integração inter-regional. A BR122 também é uma rodovia longitudinal brasileira que segundo o DNIT (2023)

conecta os estados do Ceará na cidade de Chorozinho até Montes Claros (MG). Essas duas rodovias integram a cidade de Montes Claros, bem como o norte do Estado de Minas Gerais com o Nordeste e Norte do País.

A BR 251 é uma rodovia transversal brasileira que segundo o DNIT (2023) conecta os estados do Mato Grosso, na cidade de Cuiabá até a Ilhéus na Bahia passando por Montes Claros (MG) dentre outras cidades, como por exemplo Brasília no Distrito Federal.

Com relação a estrutura ferroviária, tanto a cidade de Montes Claros quanto Pirapora são cortadas pela FCA, importante ferrovia brasileira (Figura 21), porém, não conta com um terminal ferroviário próprio.

Figura 21 –Trecho da FCA no Norte de MG

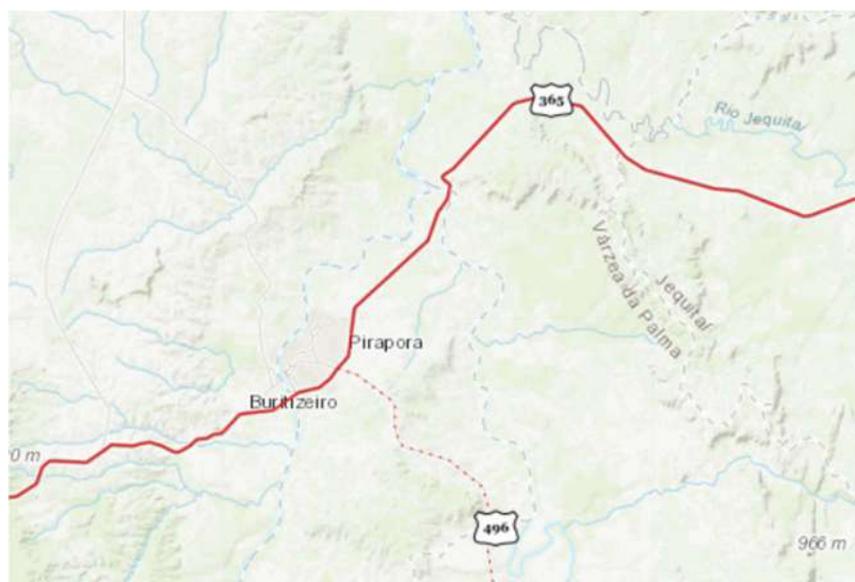


Fonte: Elaboração própria dos autores a partir de ONTL (2020)

Proposta 2 - Município de Pirapora:

Com relação a estrutura rodoviária, segundo os serviços digitais do DNTI, a cidade é cortada por duas grandes rodovias: BR365 e BR496 (Figura 22)

Figura 22 – Rodovias de Pirapora



Fonte: Elaboração própria dos autores a partir de DNIT (2023)

Segundo o portal Minas Gerais (2023), a BR365 é uma rodovia diagonal brasileira que corta o Estado de Minas Gerais e conecta até o Estado de Goiás, além de dar acesso à rodovia Rio-Bahia (BR116), conectando à Região Nordeste. Ela é, portanto, uma rodovia inter-regional. A BR496 é uma rodovia de ligação brasileira que liga as cidades de Pirapora e Corinto, com uma extensão menor do que a BR365, segundo o DNIT (2023).

Em termos de infraestrutura ferroviária, a cidade é cortada pela Ferrovia Centro Atlântica (FCA) (Figura 21) assim como Montes Claros, porém, Pirapora conta com o TIPI (Terminal Integrador Pirapora) que é um ativo da VLI que transporta principalmente grãos agrícolas, fertilizantes, siderúrgicos e carga geral (Tabela 7).

Segundo a VLI (2023) o TIPI é utilizado majoritariamente para escoamento de grãos (soja e milho) e além de se conectar com a FCA também se conecta com a EFVM, trecho de concessão ferroviária da Vale. Além disso, a presença dessa ferrovia garante o acesso ao porto de Tubarão (ES) e ao TIPLAM (Terminal Integrador Portuário Luiz Antônio Mesquita), no Porto de Santos (SP).

Dessa forma, apesar da VLI (2023) indicar que o TIPI é focado em transporte de grãos agrícolas, existe a possibilidade do transporte de combustíveis pela FCA, que passa por Pirapora, pois segundo MPTA (2018), parte do transporte de Etanol no Sudeste utiliza a malha da FCA. Por essa razão, a Infraestrutura logística desse município apresenta diferenças importantes para uma possível intermodalidade com os modais ferroviário e hidroviário.

Comparação entre as propostas:

Entende-se que as duas propostas são igualmente elegíveis como localização pois fazem parte da mesma mesorregião, Norte de Minas Gerais, e de mesorregiões vizinhas e muito próximas do ponto aportado pelo método de Centro de Gravidade (Buritizeiro – MG).

A comparação entre propostas pode ser feita de maneira a enriquecer a análise entre as localizações, por critérios qualitativos, com o objetivo de extrair uma vantagem competitiva, que segundo Porter (1985), é responsável por colocar uma das localizações em posição estratégica diferenciada e favorável num cenário de competição.

Em termos rodoviários, faz sentido comparar a quantidade e quais rodovias são encontradas nas propostas. Ambas as cidades são cortadas pela BR365 que liga o Estado de Goiás até Minas Gerais e esse fator é relevante quando é levado em consideração que parte dos produtores de Etanol são localizados em três municípios de Goiás (Tabela 25).

A cidade de Montes Claros, em especial, é abastecida por mais rodovias e isso é um diferencial quando levado em consideração que duas rodovias (BR135 e BR122) passam pelo Nordeste, região que possui quatro clientes de MEG em três estados diferentes (PE, BA e PB). Além disso, Montes Claros também é conectada ao MT pela BR251; vale lembrar que a região Centro-Oeste é a segunda maior região produtora de Etanol e o Estado de Mato Grosso também possui parcela razoável da produção. Dessa forma, essa rota pode ser potencialmente utilizada para receber matéria prima do Mato Grosso de forma a ter uma maior segurança em termos de abastecimento de Etanol.

Com relação a infraestrutura ferroviária, apesar de ambas as cidades serem cortadas pela malha da FCA, somente Pirapora tem um terminal de integração com a malha, o TIPI. Esse fator coloca o TIPI como uma vantagem competitiva da cidade de Pirapora em relação a Montes Claros porque o terminal é inerente a operação ferroviária.

Portanto, quaisquer cargas que desejem ser embarcadas na FCA com origem em Montes Claros potencialmente deveriam ser transportadas no modal rodoviário até Pirapora pela BR365, que liga as duas cidades, e embarcadas no TIPI, caracterizando um serviço intermodal mais complexo.

Com relação ao modal dutoviário, apesar de nenhuma das duas cidades ter alguma infraestrutura para esta operação, vale mencionar a relação com a LOGUM S.A, única empresa que pratica comercialmente o transporte de Etanol no Brasil por dutos segundo a MPTA (2018). Segundo a LOGUM (2023), o seu sistema logístico multimodal tem como objetivo transportar Etanol das regiões produtoras até os centros de consumo em São Paulo e Rio de Janeiro e uma das extremidades do sistema logístico está o terminal de Uberaba (MG).

Portanto, avaliar a conexão de ambos os municípios com Uberaba também se torna um fator importante porque em última análise diz a respeito da conexão dos municípios de Pirapora e Montes Claros com o sistema da LOGUM S. Dessa forma, para acessar a cidade de Uberaba pode ser utilizado a BR365, segundo o DNIT (2023), visto que ambas têm acesso a esta rodovia.

6 CONCLUSÕES

Ao explorar a produção de plásticos verdes, busca-se mitigar os impactos ambientais associados à indústria de polímeros, que historicamente tem se baseado em matérias-primas não renováveis e processos químicos intensivos em energia. A transição para o uso de fontes renováveis é crucial para promover uma economia mais sustentável e alinhada com os princípios da química verde.

Um ponto destacado neste trabalho é a vantagem do uso do etileno proveniente do etanol em relação à rota tradicional da nafta. A utilização do etanol como matéria-prima renovável para a produção de etileno apresenta benefícios significativos, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, a diminuição da dependência de fontes não renováveis e a promoção da economia circular. Essas vantagens sustentáveis tornam o etileno proveniente do etanol uma alternativa viável e atrativa para a indústria de polímeros, abrindo caminho para uma produção mais ambientalmente amigável.

O etanol como matéria prima para produção de MEG é uma *commodity* e tem seu preço lastreado pelo petróleo. Apesar de grande parte da produção nacional ser usada para consumo interno, como foi identificado no Estudo de Caso, é importante levar em consideração o acesso à infraestrutura de transportes que possibilite acesso ao comércio internacional. Nesse cenário, o acesso à infraestrutura intermodal permite flexibilidade de suprimentos em casos de choque de preço do etanol e do petróleo no mercado e mitiga interrupções no suprimento do etanol.

Outro fator que deve ser considerado é que grande parte da produção de etanol no país é destinada para o consumo como combustível automotivo. Logo, a produção de MEG concorre pelo etanol com o setor de combustíveis e reforça o poder de barganha e negociação dos fornecedores de etanol.

A produção de resina PET é localizada mais dispersa do que a de Etanol e é possível identificar que parte das fábricas de PET estão localizadas muito próximas de polos petroquímicos. Como exemplo: São identificadas duas fábricas em Ipojuca (PE), que abriga o complexo portuário industrial de SUAPE responsável por abrigar a Refinaria Abre e Lima e também a maior fábrica de PET do Brasil; e uma fábrica em Simões Filho (BA) que sedia o complexo industrial de Camaçari, um dos maiores complexos industriais do país, com diversas empresas do setor químico e uma central petroquímica.

O transporte rodoviário de cargas é mais desenvolvido no Brasil por questões históricas e nacional desenvolvimentistas e é a primeira escolha para o transporte por apresentar baixo

custo fixo e custo variável moderado. Esse modal consegue acessar áreas rurais distantes, possui flexibilidade para a quantidade de carga que transporta em comparação aos outros modais e apresenta o custo variável baixo para pequenas distâncias. Contudo, para grandes distâncias ele pode alcançar maiores custos e outros modais podem começar a ser mais competitivos.

No entanto, o modal rodoviário emite GEE por conta dos motores à combustão, dentre eles o CO₂. Tal emissão não foi considerada dentro deste presente trabalho, em especial, no quantitativo de carbono que pode ser emitido pelos caminhões durante o trajeto entre os produtores de etanol até a planta de MEG, e da planta até os produtores de PET. Para futuros trabalhos, é válido considerar o cálculo de emissão de poluentes para que haja uma compensação em outras frentes e tornar esse processo totalmente verde. Fato esse já abordado em diversas literaturas.

Levando em consideração a disponibilidade e segurança de suprimento do etanol por questões de mercado e os custos variáveis crescendo para longas distâncias no modal rodoviário, o acesso à infraestrutura dutoviária e ferroviário são importantes para garantir a competitividade entre modais e acesso especialmente aos portos.

A proximidade do sistema dutoviário da LOGUM S.A e da ferrovia FCA, ambas no interior de SP e MG, garantem à indústria de MEG, foco deste Estudo de caso, o acesso a opções intermodais. Como por exemplo:

- O fornecimento do etanol pelos dutos LOGUM S.A que são interligados ao terminal da Ilha D'Água (RJ), responsável por realizar operações de importação e exportação de combustíveis e derivados de Petróleo.
- O escoamento de MEG até o porto pela ferrovia FCA, com o objetivo de entregar este produto de forma mais competitiva pelo modal hidroviário para clientes que são localizados mais distantes, como por exemplo os do Nordeste, em Simões Filho (BA), Ipojuca (PE)
- Logo, pela visão dos autores, a cidade de Pirapora (MG) possui é a mais indicada para a localização final da indústria de MEG verde devido a ligação entre duas rodovias e ter o Terminal Integrador (TIPI) que favorece a conexão com a malha ferroviária e posterior integração com os portos do Brasil.

Vale destacar sugestões de futuros trabalhos a partir das discussões levantadas nesse trabalho. Primeiramente, seria interessante realizar estudos mais aprofundados sobre o cálculo de emissões de poluentes no transporte rodoviário, levando em consideração diferentes rotas, modos de operação e tecnologias utilizadas. Isso permitiria uma análise mais precisa do impacto

ambiental desse setor e possíveis medidas de mitigação e sugestões e propostas que pudessem mitigar o impacto gerado pelo próprio transporte de produtos.

Outra sugestão é a aplicação de outros modelos de localização além daquelas abordadas neste trabalho, como por exemplo o da ponderação qualitativa. Esse método pode ser útil na tomada de decisões, permitindo a avaliação objetiva de diferentes alternativas em termos de eficiência, custos e impactos ambientais.

No âmbito do transporte de Etanol e MEG, seria interessante investigar a viabilidade e os benefícios de outros modais, como por exemplo, o uso de dutovias para o seu transporte em larga escala. Isso poderia trazer vantagens em termos de eficiência logística, redução de emissões e custos operacionais.

Com relação ao transporte dutoviário, entende-se que o mercado de gás natural no Brasil está extremamente ligado com este modal e com a abertura recente deste mercado, surgem oportunidades valiosas de estudo de caso e contribuição para a sociedade. Tanto novos atores quanto empresas consolidadas neste setor podem ser frutos de estudos de casos, como por exemplo: Origem Energia, PetroReconcavo, Galp, TAG, Eneva e 3R Petroleum

Além disso, a expansão da cadeia de produção de PET para que seja proveniente de fontes renováveis e recicláveis é um tema relevante que merece atenção. Seria importante explorar novas tecnologias e processos para a obtenção de PET a partir de matérias-primas sustentáveis, como o bioetileno, bem como desenvolver estratégias eficientes para a reciclagem desse material, promovendo a economia circular.

Seguindo a linha da abrangência deste presente trabalho, é indicado que seja realizado uma extensão do estudo considerando também a outra fonte de matéria prima: ácido tereftálico. Esse incremento no estudo, bem como a consideração de mais fatores na localização são sugestões que refinam o modelo e tornam mais aderente à realidade.

Por fim, um estudo abrangente do EVTE (Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica) da indústria de MEG verde completo seria valioso para avaliar não apenas a viabilidade técnica da produção, mas também os aspectos econômicos envolvidos, incluindo custos de investimento, custos operacionais, análise de mercado e retorno financeiro. Isso poderia fornecer informações essenciais para a implementação e desenvolvimento bem-sucedidos da indústria de MEG verde.

Essas sugestões representam apenas algumas das possíveis direções futuras de pesquisa relacionadas ao tema abordado neste trabalho e fornecem um ponto de partida para investigações posteriores na área.

7 REFERÊNCIAS

Grand View Research. Brazil Polyethylene Terephthalate (PET) Market Size, Share & Trends Analysis Report by Grade (Bottle, Film & Sheet, Fiber), by Application (Packaging, Consumer Goods, Automotive, Electronics), and Segment Forecasts, 2021-2028. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/brazil-polyethylene-terephthalate-pet-market>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ABIPET. Censo ABIPET 2019 - Infográfico. São Paulo: ABIPET, 2022. Disponível em: https://abipet.org.br/wp-content/uploads/2022/02/ABIPET_Infografico_Censo-2019.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

Instituto Humanitas Unisinos. IHU . Maiores produtores de lixo plástico: Brasil em 4º lugar. Disponível em: <https://www.ihu.unisinos.br/categorias/595274-maiores-produtores-de-lixo-plastico-brasil-em-4-lugar>. Acesso em: 20 abr. 2023.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. Polímeros Biodegradáveis – Uma Solução Parcial Para Diminuir A Quantidade Dos Resíduos Plásticos. Quim. Nova, São Paulo – Brasil, Vol. 29, No. 4, p. 811-816, 2006.

BRASKEM. Plástico produzido com cana-de-açúcar brasileira pela Braskem já é usado por mais de 150 marcas no mundo. UDOP, São Paulo, 28 maio 2019. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2019/05/28/plastico-produzido-com-cana-de-acucar-brasileira-pela-braskem-ja-e-usado-por-mais-de-150-marcas-no-mundo.html>. Acesso em:

KENNEDY, Helena Tavares. Mega-MEG: Braskem and Haldor Topsoe's Monoethylene Glycol from Sugar Hits the Scene. Biofuels Digest, 10 fev. 2019. Disponível em: <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2019/02/10/mega-meg-braskem-and-haldor-topsoes-monoethylene-glycol-from-sugar-hits-the-scene/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

DIÁRIO DO COMÉRCIO. Indústria de plásticos sofre com inflação e prevê aperto neste ano. Belo Horizonte, 12 abr. 2022. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/industria-de-plasticos-sofre-com-inflacao-e-preve-aperto-neste-ano/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

UOL ECONOMIA. Preço do petróleo sobe com tensão na Ucrânia; Bolsa cai mais de 3%. São Paulo, 09 mar. 2022. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/cotacoes/noticias/redacao/2022/03/09/preco-do-petroleo-guerra-na-ucrania.htm>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PORTER, Michael. Competitiva Strategy. New York: Free Press, 1989.

VIDEIRA, Antonio Celente. LOGÍSTICA NACIONAL NO PÓS PANDEMIA.2020. ESG Disponível em: <https://repositorio.esg.br/bitstream/123456789/985/1/LOG%C3%8DSTICA%20NACIONAL%20NO%20P%C3%93S%20PANDEMIA.doc%20%281%29.pdf> . Acesso em: 20 abr. 2023

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial.5 º Edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

LEE, Hau L.; PADMANABHAN, V. The Triple-A Supply Chain. Harvard Business Review, Boston, v. 82, n. 10, p. 102-112, oct. 2004. Disponível em: <https://hbr.org/2004/10/the-triple-a-supply-chain>. Acesso em: 20 abr. 2023.

Marcel Boumans & Mary S. Morgan (2001) Ceteris paribus conditions: materiality and the application of economic theories, Journal of Economic Methodology, 8:1, 11-26, DOI: 10.1080/13501780010022794

BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial. 5ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BOWERSOX, D. J., CLOSS, D.J. & COOPER, M.B. Gestão da cadeia de suprimentos e logística. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier-Campus, 2007

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

NOVAES, Antônio G. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

SAKAI, Jurandir. A importância para a competitividade das empresas: Estudo de caso na Indústria do Polo de Camaçari. 2005. 224f. Tese de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador. <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/8975/1/333.pdf>

CARVALHO, M. F. Importância da Informação no Desempenho da Cadeia de Suprimentos – Um Estudo exploratório. SIMPEP, Bauru, SP, Brasil, 07 a 9 de novembro de 2005. Disponível em: https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais_12/copiar.php?arquivo=Carvalho_MF_importancia_da_inf.pdf. Acesso em 15 de abril de 2023

ASSIS, V. A próxima logística: um novo modelo para as cadeias de suprimento. McKinsey, 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com.br/our-insights/a-proxima-logistica-um-novo-modelo-para-as-cadeias-de-suprimento>. Acesso em 10 de Outubro de 2022.

PIRES, Sílvio. R. I. Gestão da cadeia de suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos. São Paulo: Atlas, 2004.

CROXTON, K.L, GARCÍA-DASTUGUE, S.J., LAMBERT, D.M., ROGERS, D.S. The supply chain management processes. International Journal of Logistics Management, v.12, n.2, p.13-36, 2001

PORTER, Michael. Competitiva Strategy. New York: Free Press, 1989.

LACERDA, Leonardo. Considerações sobre o Estudo de Localização de Instalações. ILOS, 1998. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/consideracoes-sobre-o-estudo-de-localizacao-de-instalacoes-2/#:~:text=De%20forma%20geral%2C%20os%20estudos,limites%20de%20n%C3%ADvel%20de%20servi%C3%A7o>. Acesso em 20 de Outubro de 2022

MOREIRA, Daniel A. Administração da Produção e Operações. 2ª Edição. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

BRITO JUNIOR, Irineu de; SPEJORIM, Washington. Gestão Estratégica de Armazenagem. Curitiba: IESDE Brasil S.A. 2012

POLLI, Marco F. Gestão da Cadeia de Suprimentos. Editora Estácio de Sá, 2014.

NEGRI, J.A et al. Estrutura e Dinâmica do Setor de Serviços no Brasil. Brasília: IPEA, 2006.

BNDES FINANCIA NOVA FÁBRICA DE FERTILIZANTES NO PARANÁ, BNDES, 2022. Disponível em: www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-financia-nova-fabrica-de-fertilizantes-no-parana. Acesso em 10 de janeiro de 2023

BNDES Finem Crédito para projetos Direto, BNDES, 2023. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/bndes-finem!/ut/p/z1/tVPBcpswEP2WHjjKEiAM6Y0mGDfGzqS1k8AII0DY6hiJCBm3-fquqdtP3YaMJ1MuDDtv9723vMUZfsCZZJ1YMyOUZFv4TrPxY3Ixi6b0hiSEBg4Jr5bLibe4dcidj-97AHnhCQnO_uj3lhT6XZ-_u_IjMAGff4QxnhTSN2eA0lyVvH4VsjTC7oldgkY2quUUqIZksBKu5NKq1SA9FUOX1YUJTiBKnxC4oHZclCsoyR9RzHBQw30Yod2yPMVo4FT8qHrCUDRu6fs0S7MzR88v5GmQxs0FCVgo_BLc20BSdQxVLNeiYKjkqOLaiK14ZtIATCrUMM0ka7XZEB-dkFNAfJWAocSbkMntIo5C5xRw89GNSDi9TDwazez4wj0CBjyNSDP_pZ3FZlZvO8H3eCWVriE1n8_8JdNXGfw3MgyPj-3_O9594_jTyP0VWYic-PL0IIVwSwoS9NUcA3f-MQHxeqvyH7cfytwNIMEaQz65Hu00IDfGNO17i1hkv9-P-t7RWnWjXEOlgXGN0uZA1grDf1KKutFctswiUhkB3IDrpe5K9ZuA847jHwo3qgXvp8JwU6_qwP2Gsnz8KarmkUvT6-75wwIdXkk1N1767js-K7us/dz/d5/L2dBISevZ0FBIS9nQSEh/. Acesso em 13 de abril de 2023

IMPORTAÇÃO DE FERTILIZANTES É RECORDE E CHEGA A 41,6 MILHÕES DE TONELADAS. CONAB. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4486-importacao-de-fertilizantes-e-recorde-e-chega-a-41-6-milhoes-de-toneladas#:~:text=Principal%20produtor%20de%20gr%C3%A3os%20do,2000%20km%E2%80%9D%2C%20pondera%20Guth>. Acesso em 10 de Janeiro de 2023

ARAGUAIA, Araguaia, 2023. Conteúdo das Fábricas e infra estruturada da empresa. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/web/esg/impacto-comunidades>. Acesso em 12 de abril de 2023

VALE, Vale, 2022. Disponível em [:https://vale.com/documents/d/guest/Revista_Balanco_Reparacao_FINAL_pgs_duplas%201](https://vale.com/documents/d/guest/Revista_Balanco_Reparacao_FINAL_pgs_duplas%201). Acesso em 13 de abril de 2023

VALE, Vale, 2023a. O que Fazemos, Atuação no Estado do Pará. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/para>. Acesso em 14 de abril de 2023

VALE, Vale, 2023b. Conteúdo da Atuação Social, Impactos às Comunidades. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/web/esg/impacto-comunidades>. Acesso em 13 de abril de 2023

VALE, Vale, 2023c. Conteúdo da Reparação Ambiental, Territórios evacuados. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/territorios-evacuados> . Acesso em 13 de abril de 2023

VALE, Vale, 2023d. Conteúdo de Logística da empresa. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/logistica> . Acesso em 12 de abril de 2023

REGULAMENTO TÉCNICO DE DUTOS TERRESTRES (RTDT), ANP, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/regulamento-tecnico-de-dutos-terrestres-rtdt>. Acesso em 10 de janeiro de 2023

PERSPECTIVAS DE IMPLANTAÇÃO DE REFINARIAS DE PEQUENO PORTE NO BRASIL, ANP, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-460/NT%20PERSPECTIVAS%20DA%20IMPLANTA%C3%87%C3%83O%20DE%20REFINARIAS%20DE%20PEQUENO%20PORTE%20NO%20BRASIL.pdf> . Acesso em 16 de janeiro de 2023

PLANO INDICATIVO DE OLEODUTOS – ANÁLISE ECONÔMICA DAS PROPOSTAS DE TRAÇADOS. EPE, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-705/NT-EPE-DPG-SDB-2022-05_PIO_2022.11.16.pdf . Acesso em 10 de janeiro de 2023

TERMINAIS DE GNL NO BRASIL – PANORAMA DOS PRINCIPAIS PROJETOS. EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-527/NT%20Terminais%20de%20GNL%20no%20Brasil%20-%20Panorama%20dos%20Principais%20Projetos.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023

ANTT, Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2023. Assuntos de Dutovias. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/dutovias> . Acesso em: Acesso em 12 de abril de 2023

ANTT, Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2022. Produtos Perigosos: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/cargas/produtos-perigosos> . Acesso em: Acesso em 20 de abril de 2023

ALVES, Douglas Thiago da Silva. Construção do conhecimento de segurança operacional em dutos de transporte através da estruturação de um banco nacional de dados de falhas. 2021. 314f. Tese de Doutorado. Universidade Federal Fluminense, Niterói.
https://www.doutoradosg.uff.br/sites/default/files/TESE_DOUGLAS_FINAL.sem%20assinaturas.pdf

KAUFMANN, Gustavo de Oliveira. Transporte Aéreo de Carga: Análise do Setor e Perspectivas. ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2009. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_tn_sto_091_617_14138.pdf. Acesso em: 12 de abril de 2023

CHOPRA Sunil, MEINDL Peter. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

ASSIS, A. Carolina Velloso et al. Ferrovias de carga brasileiras: uma análise setorial. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 46, p. 79-126, set. 2017.

MRS LOGÍSTICA, MRS Logística, 2023. Conteúdo de Soluções logísticas e clientes atendidos. Disponível em : <https://www.mrs.com.br/clientes/solucoes/> . Acesso em 15 de abril de 2023

VLI S.A, VLI S.A, 2023. Conteúdo de negócios e clientes atendidos. Disponível em: <https://www.vli-logistica.com.br/negocios/> . Acesso em 15 de abril de 2023.

RUMO, Rumo S.A, 2023. Conteúdo de negócios ferroviários. Disponível em: <https://rumolog.com/nossos-negocios/transporte-ferroviario/> . Acesso em 15 de Abril de 2023.

PRESIDENTE BOLSONARO SANCIONA REIQ SEM VETOS, FIM EM 4 ANOS, CFQ, 2021. Disponível em: <https://cfq.org.br/noticia/presidente-bolsonaro-sanciona-reiq-sem-vetos-fim-em-4-anos/>. Acesso em 16 de abril de 2023

TIPOS DE NAVIOS: SAIBA COMO CONTRATAR CADA UM. WILSON SONS, 2019. Disponível em: <https://www.wilsonsons.com.br/pt-br/blog/tipos-de-navios/>. Acesso em 16 de abril de 2023.

CONHEÇA OS TIPOS DE NAVIOS. FAXCOMEZ a, 2023. Disponível em: <https://www.fazcomex.com.br/comex/tipos-de-navios/> . Acesso em 16 de abril de 2023.

CONHEÇA O MAIOR GRANELEIRO DO MUNDO. FAXCOMEZ b, 2023. Disponível em: <https://www.fazcomex.com.br/comex/maior-navio-cargueiro-do-mundo/> . Acesso em 16 de abril de 2023.

TRANSPETRO: CONHEÇA NOSSOS PRINCIPAIS NAVIOS. TRANSPETRO, 2014. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/transpetro-conheca-nossos-principais-tipos-de-navios.htm>. Acesso em 16 de abril de 2023

BERNARDES, M. F. Transporte Internacional de Cargas na Modalidade Sea-Air: Operações e diferenciais. UNIVALI, 2013. Disponível em: <https://www.univali.br/Lists/TrabalhosGraduacao/Attachments/3236/MATHEUS%20FERNANDES%20BERNARDES.pdf> . Acesso em 16 de abril de 2023

PRADE, Y. C. O casamento de dois mercados: o GNL e o metaneiro. Ensaio Energético, 2021. Disponível em: <https://ensaioenergetico.com.br/o-casamento-de-dois-mercados-o-gnl-e-o-metaneiro/> . Acesso em 16 de abril de 2023

CNI. Modalidade aérea no comércio exterior Brasileiro: prioridades da indústria / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2019. 69 p.

TRANSPORTE DE CARGAS AÉREAS: CONFIRA OS TIPOS DE CARGAS RECOMENDADAS. PRESTEX, 2023. Disponível em: <https://www.prestex.com.br/blog/transporte-de-cargas-aereas/> . Acesso em 19 de abril de 2023

CNT. Pesquisa perfil empresarial 2021: transporte rodoviário de cargas. Brasília: CNT, 2022. 123 p.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes. Resolução nº 5947Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos – Anexo 2: Classificação. Ministério da Infraestrutura, 01 de junho de 2021. Disponível em: https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAto&tipo=RES&numeroAto=00005947&seqAto=000&valorAno=2021&orgao=DG/ANTT/MI&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_menu=5408&cod_modulo=161&pesquisa=true . Acesso em 20/04/2023

BRASIL. Agência Nacional de Transportes. Resolução nº 5947Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos – Anexo 5: Procedimentos de Expedição. Ministério da Infraestrutura, 01 de junho de 2021. Disponível em: <https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAto&tipo=RES&numeroAto=00005947&seqAto=000&valorAno=2021&orgao=DG/ANTT/MI&codTipo=&desItem>

[=&desItemFim=&cod_menu=5408&cod_modulo=161&pesquisa=true](#) . Acesso em 20/04/2023

WINTER, Douglas; SOUZA, Silvano Denega. Os contêineres tanque (isotanks) com foco no transporte de líquidos inflamáveis. Revista Eletrônica de Iniciação Científica. Itajaí, Centro de Ciências Sociais e Jurídicas da UNIVALI. v. 4, n.4, p. 292-304, 4º Trimestre de 2013. Disponível em: www.univali.br/ricc - ISSN 2236-5044.

ANASTAS, Paul T.; WARNER, John C. Green Chemistry: theory and practice. New York: Oxford University Press, 1998.

MACHADO, Adélio A. S. C., DOS PRIMEIROS AOS SEGUNDOS DOZE PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE. Quim. Nova, Porto – Portugal, Vol. 35, No. 6, 1250-1259, 2012.

PRADO, V. et al. Energy apportionment approach to incentivize environmental improvement investments in the chemical industry. Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 257, p. 120550, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120550>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620305977> . Acesso em: 08 nov. 2022.

AGUIAR, Gisiane de Oliveira. SOUZA, Pollyanna Rodrigues Huguinim. SOARES, Rogério Manhães. CORDEIRO, Yasmim Monteiro. FRANCO, Camila dos Santos Silva. Química Verde: a utilização de processos sustentáveis na indústria química. Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana n. 12 (2020) pp. 41-58. Disponível em: https://www.fsma.edu.br/RESA/Edicao12/FSMA_RESA_2020_2_06_Quimica_Verde.pdf. Acesso em: 26 abr. 2023.

ROMÃO, Wanderson. SPINACÉ, Márcia A S. PAOLI, Marco A DE. Poli(Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, nº 2, p. 121-132, 2009

Chandra, R.; Rustgi, R.; Prog. Polym. Sci. 1998, 23, 1273.

Suzana Borschiver, Luiz F. M. Almeida, Tamar Roitman. Monitoramento Tecnológico e Mercadológico de Biopolímero. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 3, p. 256-261, 2008

Marcela Cassin Chaves, Afonso Aurélio de Carvalho Peres, Carlos Eduardo de Souza Teodoro. Custo operacional de produção do poli-3-hidroxibutirato a partir de resíduos agroindustriais, em laboratório. ABCustos, São Leopoldo: Associação Brasileira de Custos, v. 11, n. 1, p. 113-132, jan./abr. 2016

Professor Leno. Técnico em Química Professor Leno. 20122. 144 slides. Disponível em: Técnico em Química Professor Leno. - ppt carregar (slideplayer.com.br) Acesso em: 15 nov. 2022.

MARK et al. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering. 2.ed. New York: J. Willey and Sons, 1987

ANTUNES, A. Setores da Indústria Química Orgânica. E-Papers, 2007.

PETROBRAS. NAFTAS PETROQUÍMICAS - Informações Técnicas. Versão dez/2021 Este material é sujeito a atualizações sem aviso prévio. A última versão está disponível no endereço: <https://petrobras.com.br/pt/assistencia-tecnica/>. Acessado em: 18/11/2022

HOMBEECK, Mateus van. COMPARAÇÃO ENTRE AS ROTAS VIA NAFTA E VIA ETANOL PARA A PRODUÇÃO DE ETENO – ANÁLISE DE CUSTOS E EMISSÕES DE CO₂ UFRJ/COPPE, 2019. XIII, 83 p

BARBOSA, Máira Carnaval Barbosa. MEHL, Ana. ARAUJO, Oféli de Q.F.. MEDEIROS, José Luiz de. SIMULAÇÃO DA ETAPA DE REAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÓXIDO DE ETILENO. Escola de Química da UFRJ. 4º PDETRO, Campinas – SP. 21-24 Outubro de 2007.

Green Glycol: A Novel 2-Step Process Department of Chemical & Biomolecular. Engineering University of Pennsylvania ScholarlyCommons Ingemar Falcones Sarah Golden Maria Kowalchuk

Ácido Tereftálico A Partir De Pet: Estudo De Metodologias De Menor Impacto Ambiental Na Reciclagem Química De Garrafas Pós Consumo E Obtenção De Intermediário Sintético Versátil De Alto Valor Agregado. 59° CBQ

Poli(Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem Wanderson Romão, Márcia A. S. Spinacé, Marco-A. De Paoli Instituto de Química, Unicamp. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, nº 2, p. 121-132, 2009

POLIZELI, Roberto Vendramini. Análise da indústria química baseada em matéria prima fóssil e renovável sob a ótica energética. 2012. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e Mercado de Etanol. Banco do Nordeste, 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/906/1/2021_CDS_159.pdf . Acesso em 06 de maio de 2023.

VIDAL, Maria de Fátima. Biocombustíveis: Biodiesel e Etanol. Banco do Nordeste, 2022. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1441/1/2022_CDS_248.pdf. Acesso em 06 de maio de 2023.

Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em 06 de maio de 2023.

Distribuição das usinas de etanol no Brasil, NOVA CANA, 2009. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/distribuicao-usinas-etanol-brasil>. Acesso em 18 de maio de 2023.

Propriedades do Eteno, GAMA, 2016 . Disponível em: <http://www.gamagases.com.br/propriedades-dos-gases-etileno.html>. Acesso em 18 de maio de 2023.

São Paulo lidera produção de Etanol no País. SEADE, 2021. Disponível em: <https://informa.seade.gov.br/sao-paulo-lidera-producao-de-etanol-no->

[pais/#:~:text=A%20maioria%20das%20usinas%20paulistas,mil%20m3%2Fdia](#)). Acesso em 06 de maio de 2023.

Cultivo e Produção de Cana-de-Açúcar. SIFAEG, 2018. Disponível em: <https://sifaeg.com.br/cultivo-e-producao-de-cana-de-acucar/>. Acesso em 07 de maio de 2023.

São Martinho começa a produzir etanol de milho em Goiás ainda este mês. NOVA CANA, 2023. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/sao-martinho-comeca-produzir-etanol-milho-goias-neste-mes-020223>. Acesso em 07 de maio de 2023

Etanol: entenda o que é, para que serve e como é usado no Brasil. RAIZEN, 2022. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/etanol>. Acesso em 07 de maio de 2023

Corredores Logísticos Estratégicos: Complexo da Cana de Açúcar /Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Brasília: MTPA, 2018.

MARKONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de Metodologia científica. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

YIN, R. K. Estudo de Caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2001.

Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas, ANTT. 2022. Disponível em: https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/976186. Acesso em 08 de maio de 2023

PORTARIA Nº 5, DE 17 DE FEVEREIRO DE 2023, BRASIL, 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-5-de-17-de-fevereiro-de-2023-465405537>. Acesso em 08 de maio de 2023

Distribuição das usinas de etanol no Brasil. NOVA CANA 2013. Disponível em: [Distribuição das usinas de etanol no Brasil \(novacana.com\)](#). Acesso 08/05/2023 Página Principal, ABIPET, 2023a. Disponível em: <https://abipet.org.br/sobre-a-abipet/>. Acesso em 16 de maio de 2023.

Associados da ABIPET. ABIPET, 2023b. Disponível em: <https://abipet.org.br/associados/>. Acesso em 16 de maio de 2023.

Ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ) Etanol Hidratado, TOTAL ENERGIES, 2022. Disponível em: https://totalenergies.com.br/pt-br/system/files/atoms/files/hidratado_v1_03.01.2022.pdf. Acesso em 09 de maio de 2023

Ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ) Etanol, QUIMESP, 2021. Disponível em: <https://www.quimesp.com.br/pdf/alcool-etilico-96.pdf>. Acesso em 09 de maio de 2023

Ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ) Monoetilenoglicol, USIQUIMICA, 2019. Disponível em: https://assets.ctfassets.net/21bfs0ur5idm/46McoGZKuCwzhBcjiDpoR3/ec5a84753ed1416686ac444440458ca1/FISPQ_-_Monoetilenoglicol-MEG_rev_00_2019_GHS.pdf Acesso em 09 de maio de 2023

Ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ) Monoetilenoglicol, QUIMITEC, 2016. Disponível em: <https://www.quimicabrasileira.com.br/wp-content/uploads/2018/05/FISPQ-MONOETILENOGLICOL-1-2.pdf> Acesso em 09 de maio de 2023

Ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ) Monoetilenoglicol, RAUTER, 2021. Disponível em: <https://www.rauter.com.br/wp-content/uploads/2021/06/MONOETILENOGLICOL-FISPQ-133-REV-03-2.pdf> Acesso em 09 de maio de 2023

MILANEZ, A. Y et al. Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros, BNDES Setorial, 2010. Disponível em: <https://esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2015/05/Log%E2%94%9C%C2%A1stica-para-o-etanol-situa%E2%94%9C%C2%BA%E2%94%9C%C3%BAo-atual-e-desafios-futuros.-MILANEZ-A.-Y.-NYKO-D.-GARCIA-J.-L.-F.-XAVIER-C.-E.-O..pdf> . Acesso em 13 de maio de 2023.

FRANÇA, Iara S., PEREIRA, Anete M., SOARES, Beatriz R., MEDEIROS, Douglas L. Cidade Média, Polarização Regional e Setor de Educação Superior: Estudo de Montes Claros, no norte de Minas Gerais. Formação, vol. 2, nº16, p.52 - 70, 2009. Divisão Territorial Brasileira, IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/23701-divisao-territorial-brasileira.html>. Acesso em 16 de maio de 2023.

Terminal Integrador Pirapora, VLI, 2023. Disponível em: <https://www.vli-logistica.com.br/ativos-mapa/terminal-integrador-pirapora-tipi/>. Acesso em 17 de maio de 2023.

Serviços Digitais, DNIT, 2023. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>. Acesso em 17 de maio de 2023.

Rodovias, MINAS GERAIS, 2023. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pagina/rodovias>. Acesso em 17 de maio de 2023.

Mapa Ferroviário Concedido, ONTL, 2020. Disponível em: <https://ontl.epl.gov.br/wp-content/uploads/2020/09/mapaferroviario-concedidas.pdf>. Acesso em 17 de maio de 2023.

zO Sistema LOGUM, LOGUM, 2023. Disponível em: <http://www.logum.com.br/php/o-sistema-logum.php>. Acesso em 17 de maio de 2023.