

ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NO TRANSPORTE DE CARGAS NA INDÚSTRIA: OTIMIZAÇÃO DE ROTAS

STRATEGIES FOR COST REDUCTION IN INDUSTRIAL FREIGHT TRANSPORT: ROUTE OPTIMIZATION

Douglas Abraão de Aquino Nogueira
FATEC, São José dos Campos, São Paulo
E-mail: douglas.nogueira2@fatec.sp.gov.br

Emily Moreira Job
FATEC, São José dos Campos, São Paulo
E-mail: emily.job@fatec.sp.gov.br

Marcus Vinicius do Nascimento
FATEC, São José dos Campos, São Paulo
E-mail: nascimento.mv@fatec.sp.gov.br

RESUMO

O transporte de cargas exerce papel estratégico na cadeia de suprimentos, representando parcela significativa dos custos operacionais, especialmente no setor de bebidas, que demanda condições específicas de movimentação e prazos rigorosos. Diante do crescimento das operações e do aumento dos custos logísticos no Brasil, torna-se essencial adotar estratégias que aprimorem a eficiência e reduzam despesas. Nesse contexto, a otimização de rotas e o uso de tecnologias como sistemas de roteirização e softwares TMS (Transportation Management System) configuram-se como alternativas eficazes para elevar a produtividade e reduzir impactos ambientais. A aplicação dessas ferramentas possibilita decisões mais precisas e integradas, contribuindo para a redução de até 10% nos custos logísticos e para a sustentabilidade das operações. Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto da otimização de rotas no transporte de cargas em uma multinacional do setor de bebidas, destacando os benefícios obtidos com a adoção de soluções tecnológicas e sua relevância para a competitividade e eficiência operacional.

Palavras-chave: Logística; Otimização de rotas; Transporte de cargas; Setor de bebidas; Tecnologia logística.

XII CIMATech: XX de XXXXXXXX de 2025, FATEC-SJC, São José dos Campos / SP

ABSTRACT

Freight transportation plays a strategic role in the supply chain, representing a significant portion of operational costs, especially in the beverage sector, which requires specific handling conditions and strict delivery deadlines. Given the growth of operations and the increase in logistics costs in Brazil, it is essential to adopt strategies that enhance efficiency and reduce expenses. In this context, route optimization and the use of technologies such as routing systems and Transportation Management Systems (TMS) are effective alternatives to improve productivity and reduce environmental impacts. The application of these tools enables more precise and integrated decision-making, contributing to logistics cost reductions of up to 10% and to the sustainability of operations. This study aims to analyze the impact of route optimization in freight transportation within a multinational company in the beverage sector, highlighting the benefits achieved through the adoption of technological solutions and their relevance to competitiveness and operational efficiency.

Keywords: *Logistics; Route optimization; Freight transportation; Beverage industry; Logistics technology.*

1 INTRODUÇÃO

O transporte de cargas constitui um elemento estratégico na cadeia de suprimentos, sendo responsável por parcela significativa dos custos operacionais em diversos segmentos industriais (BALLOU, 2006). No setor de bebidas, esse impacto é ainda mais expressivo, em razão das particularidades dos produtos, que exigem condições específicas de transporte, prazos rigorosos e elevado volume de movimentação (LOGWEB, 2023). Com o crescimento das operações e a expansão dos mercados, os custos logísticos vêm se intensificando no Brasil, atingindo 18,4% do PIB em 2023, o que evidencia a urgência de estratégias voltadas à sua mitigação (ABOL, 2023).

Nesse cenário, empresas enfrentam o desafio constante de manter a competitividade no mercado global, buscando alternativas para reduzir custos logísticos sem comprometer a qualidade do serviço prestado (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2014). A otimização de rotas emerge como uma estratégia central para atingir esse objetivo, ao permitir maior eficiência no planejamento e na execução das entregas. A utilização de ferramentas tecnológicas, como sistemas de roteirização inteligente e softwares TMS (Transportation Management System),

contribui diretamente para maximizar a capacidade dos veículos, diminuir o consumo de combustível e reduzir o número de viagens necessárias (LOG SMART, 2023).

De acordo com Fleury, Wanke e Figueiredo (2000), a aplicação dessas tecnologias permite uma análise precisa das variáveis logísticas, favorecendo a tomada de decisões baseadas em dados e promovendo uma logística mais integrada e eficiente. Isso é particularmente importante para empresas multinacionais do setor de bebidas, que enfrentam desafios como alta frequência de entregas, malha logística extensa e variações de demanda. A adoção sistemática de soluções tecnológicas tem possibilitado ganhos significativos em eficiência operacional, redução de custos e sustentabilidade econômica. Estudos apontam que essas iniciativas podem gerar reduções de até 10% nos custos logísticos, sem comprometer a qualidade do serviço ao cliente (ILOS, 2023).

Além dos ganhos econômicos, a otimização de rotas também promove impactos positivos em termos de sustentabilidade ambiental, ao reduzir o consumo de combustíveis fósseis e as emissões de gases poluentes. Essa abordagem está alinhada aos princípios da logística sustentável e da logística 4.0, que valorizam o uso de tecnologia, automação e análise de dados como pilares para uma gestão mais eficiente, inteligente e conectada.

Dessa forma, o estudo da otimização de rotas no transporte de cargas representa uma contribuição relevante para a melhoria da performance logística nas indústrias. No setor de bebidas, onde a pressão por agilidade e controle de custos é constante, essa estratégia se mostra não apenas viável, mas necessária para garantir eficiência operacional, qualidade no serviço e vantagem competitiva. Este trabalho, portanto, se propõe a analisar o impacto dessas estratégias na prática, com base em um estudo de caso voltado a uma multinacional do setor de bebidas, destacando os ganhos obtidos com a aplicação de soluções de roteirização e gestão de transportes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TECNOLOGIAS DE LOGÍSTICA

Neste projeto, serão utilizadas diversas tecnologias que possibilitam tanto a análise quanto a gestão eficiente dos dados, auxiliando na tomada de decisões para a otimização do transporte de cargas. O transporte de cargas constitui um elemento essencial na cadeia de suprimentos, sendo responsável por uma parcela expressiva dos custos operacionais em

diversos segmentos industriais (BALLOU, 2006). No setor de bebidas, esse impacto é ainda mais significativo, em função das características específicas dos produtos, que exigem prazos rigorosos, controle de temperatura e elevado volume de movimentação (LOGWEB, 2023). Com o aumento das operações logísticas e a expansão dos mercados, os custos do setor atingiram 18,4% do PIB brasileiro em 2023, evidenciando a necessidade de estratégias eficazes de redução de despesas (ABOL, 2023). Nesse contexto, a competitividade empresarial depende cada vez mais da capacidade de otimizar processos e integrar soluções tecnológicas que possibilitem maior eficiência. A otimização de rotas desponta como uma das principais estratégias para reduzir custos e aprimorar o desempenho operacional, por meio do uso de ferramentas de gestão como sistemas de roteirização inteligente e softwares TMS (Transportation Management System) (LOG SMART, 2023). Essas tecnologias permitem o uso racional de recursos, melhoram o aproveitamento da frota e reduzem o consumo de combustível, contribuindo não apenas para ganhos econômicos, mas também para a sustentabilidade ambiental.

Segundo Fleury, Wanke e Figueiredo (2000), a aplicação de tecnologias logísticas favorece uma análise precisa das variáveis operacionais e promove a integração entre as etapas da cadeia de suprimentos. Isso é especialmente relevante em empresas multinacionais do setor de bebidas, que enfrentam desafios como alta frequência de entregas, ampla malha de distribuição e variações de demanda. Assim, a otimização de rotas representa uma oportunidade estratégica para elevar a eficiência e a competitividade. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar o impacto da aplicação de soluções de roteirização e gestão de transportes em uma multinacional do setor de bebidas, destacando os ganhos obtidos em eficiência operacional, redução de custos e sustentabilidade. Além disso, busca-se compreender como essas práticas contribuem para a consolidação de uma logística moderna, inteligente e alinhada aos princípios da Logística 4.0.

Para realizar o estudo a que este trabalho se propõe, é empregado o conceito de Pesquisa Operacional (PO), com base na metodologia do Método dos Transportes. A Pesquisa Operacional é uma área que utiliza métodos matemáticos, estatísticos e computacionais para apoiar a tomada de decisões em problemas complexos, especialmente relacionados à logística, produção, transporte, finanças e planejamento de recursos. O objetivo da PO é encontrar soluções otimizadas, ou seja, as melhores escolhas possíveis dentro de determinadas restrições, como tempo, custo e capacidade. Essa abordagem auxilia empresas e organizações a maximizar

lucros, reduzir custos e aumentar a eficiência de seus processos. Segundo Taha (2011), a Pesquisa Operacional é “uma ciência aplicada que lida com o desenvolvimento e a aplicação de técnicas analíticas para tomar decisões mais embasadas”.

No contexto do presente estudo, a Pesquisa Operacional e o Método dos Transportes são aplicados como ferramentas de análise para avaliar o impacto da otimização de rotas no transporte de cargas no setor de bebidas. Através da construção de uma base de dados e do uso de tecnologias de apoio à decisão, busca-se demonstrar como a aplicação desses métodos pode gerar melhorias significativas nos processos logísticos, reduzindo custos e elevando a eficiência operacional. Complementarmente, recursos de visualização de dados, como dashboards desenvolvidos no Power BI, serão utilizados para facilitar a comparação dos resultados antes e depois da otimização, evidenciando os ganhos obtidos em termos de desempenho e sustentabilidade.

Em síntese, este trabalho visa contribuir para o aprimoramento da gestão logística na indústria de bebidas, mostrando como a integração entre tecnologia, métodos quantitativos e análise operacional pode promover uma logística mais eficiente, sustentável e competitiva no cenário atual de mercado.

2.2 TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO

Para o tratamento e análise dos dados, serão utilizadas ferramentas como Excel, MySQL, Python e Power BI. O Excel será empregado para a organização inicial dos dados, enquanto o MySQL funcionará como banco de dados para armazenar e gerenciar grandes volumes de informações. O Python, com bibliotecas específicas para análise de dados, permitirá a manipulação e o processamento avançado das informações. O Power BI será utilizado para desenvolver dashboards interativos que facilitem a visualização dos resultados e o acompanhamento dos indicadores-chave em tempo real. A combinação dessas tecnologias torna o processo analítico mais eficiente e ajuda a transformar dados complexos em informações claras para apoiar as decisões logísticas. Para a aplicação do Método dos Transportes no projeto, foi utilizada a biblioteca PuLP do Python, uma ferramenta específica para modelagem de problemas de programação linear e inteira, muito usada em projetos de otimização logística. Com ela, é possível definir variáveis de decisão, restrições e a função objetivo de forma estruturada, permitindo que o problema seja resolvido automaticamente por um solver. No código desenvolvido, cada variável representa a quantidade de carga transportada de uma

XII CIMATech: XX de XXXXXXXX de 2025, FATEC-SJC, São José dos Campos / SP

origem para um destino, e a função objetivo foi formulada com base nos custos unitários de transporte entre os pontos, visando minimizar o custo total das entregas, conforme propõe o Método dos Transportes. As restrições adicionadas ao modelo representam limites de capacidade de envio por origem, limites de recebimento por destino, atendimento à demanda de cada ponto de entrega e casos específicos onde uma combinação origem-destino tem valor fixo, como, por exemplo, x212 igual a 1.214.700. Além da PuLP, o projeto também utiliza outras bibliotecas de apoio, como Pandas, empregada para importar, manipular e organizar os dados que alimentam o modelo, incluindo tabelas de custo, oferta e demanda, e NumPy, utilizada para auxiliar nos cálculos vetoriais e numéricos que envolvem grandes matrizes de dados. A combinação dessas bibliotecas proporciona uma solução robusta, prática e eficiente para a resolução do problema proposto, mantendo o foco na redução dos custos logísticos por meio de decisões mais estratégicas e otimizadas.

2.3 COLETA E DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento deste projeto, serão utilizados dados relacionados ao transporte de cargas no setor industrial, com foco em operações logísticas de uma empresa multinacional do ramo de bebidas. Esses dados servirão de base para aplicar as técnicas de análise e otimização propostas em especial as estratégias relacionadas à aplicação do método dos transportes.

Os principais dados que serão considerados envolvem informações como:

- a) Custos operacionais com transporte (combustível, manutenção, frete, pedágios, etc.);
- b) Distância média percorrida por rota;
- c) Tempo de entrega por região;
- d) Capacidade de carga e ocupação dos veículos;
- e) Frequência de entregas por rota;
- f) Volume de carga transportado;
- g) Indicadores de desempenho logístico (custo por km, tempo médio por entrega, entre outros).

Esses dados poderão ser obtidos por meio de bases públicas, como relatórios da ANTT, IBGE, ABOL, bem como dados fictícios simulados com base em situações reais para viabilizar

os testes no projeto. Caso haja viabilidade, também poderão ser utilizados dados internos da empresa parceira ou exemplos de estudos de caso já publicados.

Essa etapa de coleta e organização dos dados é fundamental para garantir a consistência da modelagem e a qualidade das análises que serão realizadas na próxima fase do projeto.

Foram recebidos três arquivos CSV contendo informações essenciais para o projeto: o primeiro com as plantas/fábricas da empresa (totalizando três unidades), o segundo com a lista de clientes que realizaram compras dessas fábricas no ano de 2023, e o terceiro contendo todas as rotas utilizadas para as entregas nesse período (Tabela 1).

Tabela 1. Dados.

Emissao	Entrega	Mes Base	Ano	Fabrica	Cliente	Incoterm	Veiculo	Qtd pallets	Qtd Transp	Moeda	Frete	Dist
01/01/2023	05/01/2023	1	2023	3423909	2311	FOB	P24	24	3600	BRL	0	71.41
01/01/2023	03/01/2023	1	2023	3424402	2333	FOB	P12	12	1500	BRL	0	74.02
01/01/2023	04/01/2023	1	2023	3403208	2347	FOB	P12	12	1800	BRL	0	85.92
01/01/2023	06/01/2023	1	2023	3424402	2332	FOB	P12	12	1800	BRL	0	90.01
01/01/2023	04/01/2023	1	2023	3424402	2332	FOB	P12	12	1500	BRL	0	90.01
01/01/2023	06/01/2023	1	2023	3424402	2332	FOB	P24	24	3000	BRL	0	90.01
01/01/2023	04/01/2023	1	2023	3424402	2332	FOB	P12	12	1500	BRL	0	90.01
01/01/2023	05/01/2023	1	2023	3424402	2321	FOB	P12	12	1500	BRL	0	93.04
01/01/2023	04/01/2023	1	2023	3424402	2320	FOB	P12	12	1500	BRL	0	93.64
01/01/2023	05/01/2023	1	2023	3424402	2320	FOB	P24	24	2400	BRL	0	93.64

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para facilitar a análise e a visualização dos dados, foi realizado o tratamento inicial diretamente no Excel. Inicialmente, as informações foram organizadas, eliminando dados duplicados e corrigindo possíveis inconsistências, como nomes de clientes ou códigos das plantas. Em seguida, os dados foram estruturados em tabelas, selecionando as colunas relevantes para o estudo, tais como identificação das plantas, clientes, datas e rotas.

Também foram aplicados filtros para destacar as principais rotas utilizadas e as entregas realizadas, garantindo que as tabelas exibissem apenas os registros necessários para a otimização do transporte. Essa limpeza e organização dos dados no Excel possibilitaram uma visualização clara e objetiva, facilitando a interpretação e o desenvolvimento das análises posteriores (Tabela 2).

Tabela 2. Dados.

Cliente ▾	MUN ▾	LAT ▾	LONG ▾
2301	VALINHOS	-2.295.188	-4.702.779
2302	CAMPINAS	-2.289.429	-4.705.822
2303	CAMPINAS	-2.292.634	-4.703.974
2304	CAMPINAS	-2.283.309	-4.707.943
2305	CAMPINAS	-2.282.307	-4.707.818
2306	VALINHOS	-2.297.509	-4.701.478
2307	CAMPINAS	-2.294.956	-4.709.268
2308	CAMPINAS	-2.288.062	-4.696.944
2309	AMERICANA	-2.272.237	-473.074
2310	SAO PAULO	-2.347.084	-4.664.965
2311	PIRACICABA	-2.274.145	-4.760.181
2312	JACAREI	-2.331.105	-4.598.107
2313	SAO JOSE DOS CAMPOS	-2.322.299	-4.590.595
2314	SAO JOSE DOS CAMPOS	-2.322.828.463	-4.590.852.209
2315	SAO JOSE DOS CAMPOS	-232.374	-458.966
2316	SAO JOSE DOS CAMPOS	-2.324.187	-45.905

Fonte: Elaborado pelos autores.

Serão desenvolvidos três dashboards no Power BI, cada um com foco em um aspecto específico da operação logística, com o objetivo de facilitar a análise dos dados e apoiar a tomada de decisões estratégicas:

a) Dashboard de Custo por Quilômetro (R\$/km).

Esse painel será voltado para analisar o custo total das entregas em relação à quilometragem percorrida. Serão utilizados dados de distância das rotas, tipo de carga e valor total de transporte. O objetivo é identificar quais rotas apresentam maior custo por quilômetro e avaliar oportunidades de redução, seja por replanejamento de rotas ou ajustes na distribuição de carga entre as plantas;

b) Dashboard de Custo por Unidade Transportada (R\$/unidade).

Esse painel mostrará o custo médio por unidade entregue, considerando o volume total de produtos transportados por rota e os custos associados. Com essa visualização, será possível verificar quais rotas são mais eficientes no aproveitamento da carga, além de permitir comparações entre plantas e regiões atendidas;

c) Dashboard de Produtividade dos Caminhões

Focado no desempenho dos veículos utilizados no transporte, este dashboard trará métricas como número de entregas por caminhão, volume transportado por viagem, tempo total em operação e ociosidade. A ideia é avaliar se os recursos estão sendo bem utilizados e onde existem possibilidades de aumentar a produtividade, seja com melhor roteirização ou redistribuição das cargas.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto, serão utilizados dados relacionados ao transporte de cargas no setor industrial, com foco em operações logísticas de uma empresa multinacional do ramo de bebidas. Esses dados servirão de base para aplicar as técnicas de análise e otimização propostas, em especial as estratégias relacionadas à aplicação do método dos transportes.

Serão consideradas informações sobre custos operacionais com transporte, incluindo combustível, manutenção, frete e pedágios, além da distância média percorrida por rota, do tempo de entrega por região, da capacidade de carga e ocupação dos veículos, da frequência de entregas por rota, do volume de carga transportado e de indicadores de desempenho logístico, como custo por quilômetro e tempo médio por entrega. Esses dados poderão ser obtidos por meio de bases públicas, como relatórios da ANTT, IBGE e ABOL, bem como por dados fictícios simulados com base em situações reais para viabilizar os testes no projeto. Caso haja viabilidade, também poderão ser utilizados dados internos da empresa parceira ou exemplos de estudos de caso já publicados.

Essa etapa de coleta e organização dos dados é fundamental para garantir a consistência da modelagem e a qualidade das análises que serão realizadas na próxima fase do projeto. Foram recebidos três arquivos CSV contendo informações essenciais: o primeiro com as plantas e fábricas da empresa, totalizando três unidades; o segundo com a lista de clientes que realizaram compras dessas fábricas no ano de 2023; e o terceiro contendo todas as rotas utilizadas para as entregas nesse período.

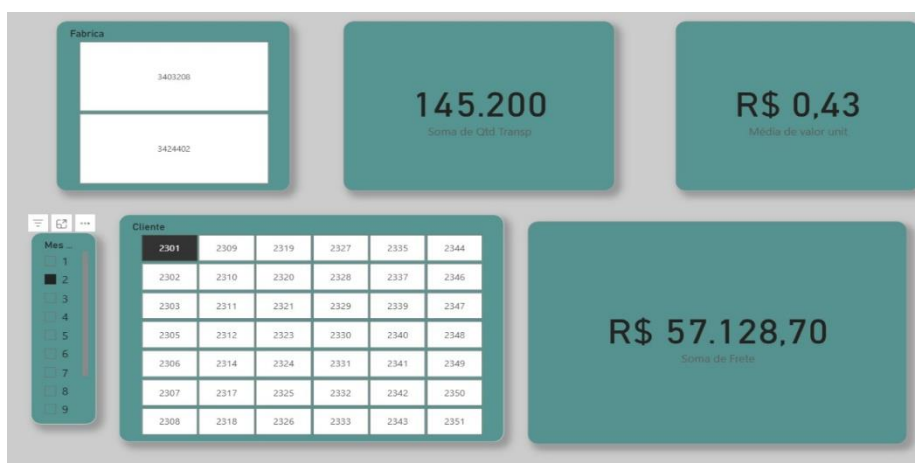
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O principal resultado deste projeto é identificar os fatores que mais impactam os custos no transporte de cargas na indústria, com foco especial no setor de bebidas, e demonstrar, na prática, como métodos de otimização de rotas podem ajudar a reduzir esses custos. Espera-se que, por meio da análise dos dados coletados e da aplicação de técnicas como o método dos transportes, seja possível apoiar a tomada de decisão logística, aumentando a eficiência das operações sem prejudicar a qualidade do serviço.

Além disso, o projeto pretendeu demonstrar a importância do uso de tecnologias da informação, como Python, Power BI, Excel e MySQL, para organizar, analisar e visualizar os dados de forma eficaz. Com essas ferramentas, será possível simular diferentes cenários logísticos, encontrar rotas otimizadas e estimar a redução dos custos operacionais.

Do ponto de vista técnico e acadêmico, o trabalho contribui para a área de logística ao apresentar um estudo fundamentado que alia metodologias quantitativas a tecnologias acessíveis, demonstrando soluções práticas para empresas do setor. A expectativa é que os resultados sirvam como referência para futuras pesquisas e projetos relacionados à otimização logística em outros segmentos industriais. A Figura 1 apresenta o Dashboard elaborado em POWERBI a partir do tratamento de dados em SQL.

Figura 1. Custo por unidade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

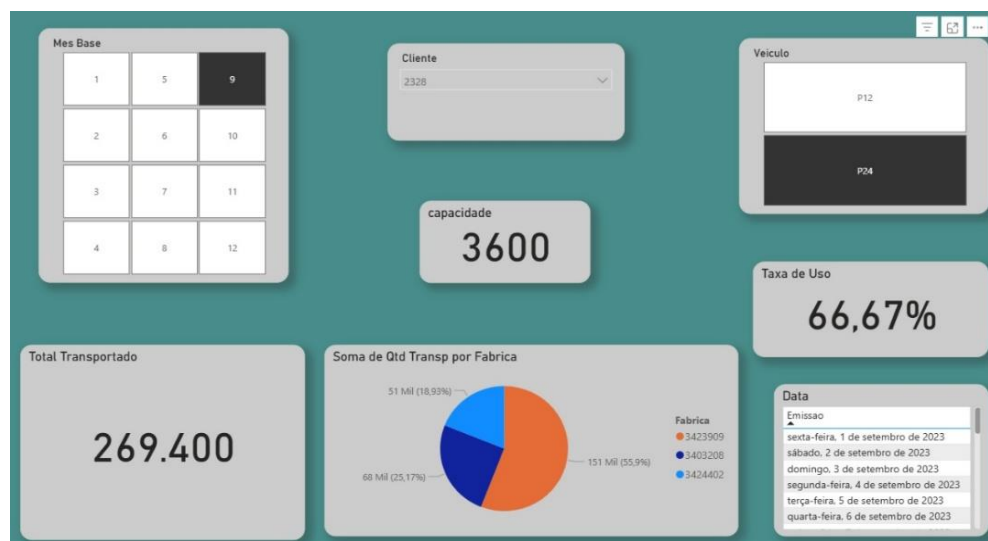
Este dashboard foi construído no Power BI com o objetivo de analisar os custos logísticos por cliente, com base nas entregas realizadas pelas fábricas da empresa. O foco está em entender o custo por unidade, o custo total de frete e a quantidade transportada por cliente.

Detalhes do funcionamento:

- a) O sistema conta com três fábricas, mas elas só aparecem no painel dependendo do cliente selecionado.
- b) No painel da esquerda, é possível selecionar o mês da entrega e o cliente desejado. No exemplo exibido, o cliente 2301 está selecionado.
- c) A seleção desse cliente faz com que apenas duas das três fábricas apareçam no gráfico — o que indica que a terceira fábrica não realizou entregas para esse cliente no período analisado.
- d) Essa dinâmica permite entender quais fábricas atendem quais clientes. Em alguns casos, um cliente pode ser atendido por apenas uma, duas ou até todas as três fábricas, dependendo da distribuição das entregas.
- e) O painel também apresenta:
 - a. A quantidade total transportada (145.200 unidades),
 - b. O custo médio por unidade transportada (R\$ 0,43),
 - c. E o custo total de frete para o cliente selecionado (R\$ 57.128,70).

Essa estrutura torna o dashboard interativo e analítico, permitindo investigar individualmente o comportamento logístico de cada cliente, visualizar a participação das fábricas nas entregas e identificar oportunidades de otimização (Figura 2).

Figura 2. Produtividade dos Veículos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O dashboard teve foco na análise da produtividade dos veículos utilizados no transporte, considerando o volume transportado, a capacidade de carga e o aproveitamento da frota por cliente e mês.

Componentes e funcionamento do painel:

- filtro de Mês Base: Permite selecionar o mês analisado. No exemplo, está selecionado o mês 9 (setembro).
- filtro de Cliente: O cliente selecionado é o 2328.
- filtro de Veículos: Exibe os veículos utilizados nas entregas para o cliente selecionado.

Neste caso, os veículos P12 e P24 estão visíveis:

- o veículo P24 possui capacidade de 3.600 unidades por viagem.
- o veículo P12 possui capacidade equivalente à metade do P24, ou seja, 1.800 unidades.
- capacidade: Indicador que mostra a capacidade de referência atual usada para calcular a taxa de uso (3.600 unidades).

- e) taxa de Uso: Mostra o aproveitamento da capacidade dos veículos nas entregas. No exemplo, a taxa de uso está em 66,67%, indicando que os caminhões estão operando abaixo da capacidade total, sugerindo margem para otimização da carga.
- f) total Transportado: Informa o volume total entregue no mês selecionado, que foi de 269.400 unidades.
- g) gráfico de Pizza (Soma da Quantidade Transportada por Fábrica): Indica como esse volume foi dividido entre as três fábricas:
 - a. fábrica 3423909: 151 mil unidades (55,9%)
 - b. fábrica 3403208: 68 mil unidades (25,17%)
 - c. fábrica 3424402: 51 mil unidades (18,93%)
- h) tabela de Datas de Emissão: Exibe os dias em que ocorreram as entregas, oferecendo uma visão detalhada da distribuição ao longo do mês.

Com esse painel, é possível analisar não apenas a quantidade transportada, mas também qual veículo foi utilizado, qual o grau de aproveitamento da frota e quais fábricas abasteceram o cliente, permitindo uma avaliação mais precisa da eficiência logística operacional.

4.1 Preparação do Modelo de Otimização

A Figura 3 apresenta a seção do código em Python com o início da construção do modelo de otimização, utilizando a linguagem Python com o auxílio da biblioteca PuLP.

Figura 3. Aplicação do método dos transportes (P)

```
[1] !pip install pulp

Collecting pulp
  Downloading pulp-3.2.1-py3-none-any.whl.metadata (6.9 kB)
  Downloading pulp-3.2.1-py3-none-any.whl (16.4 MB)
    16.4/16.4 MB 29.0 MB/s eta 0:00:00
Installing collected packages: pulp
Successfully installed pulp-3.2.1

[2] from pulp import *

[3] problema1 = LpProblem('entregas', LpMinimize)

x15 = LpVariable('x15', lowBound = 0)
x18 = LpVariable('x18', lowBound = 0)
x19 = LpVariable('x19', lowBound = 0)
x110 = LpVariable('x110', lowBound = 0)
x111 = LpVariable('x111', lowBound = 0)
x124 = LpVariable('x124', lowBound = 0)
x125 = LpVariable('x125', lowBound = 0)
x126 = LpVariable('x126', lowBound = 0)
x127 = LpVariable('x127', lowBound = 0)
x128 = LpVariable('x128', lowBound = 0)
```

Fonte: Elaborado pelos autores.

Etapas:

a) instalação da Biblioteca PuLP:

o primeiro comando `!pip install pulp` instala a biblioteca que permite criar e resolver problemas de programação linear.

b) importação da Biblioteca:

`from pulp import *` importa todas as funções e classes necessárias para definir o problema e suas variáveis.

c) criação do Problema:

a linha `problema1 = LpProblem('entregas', LpMinimize)` define o modelo chamado "entregas", cujo objetivo será a minimização dos custos de transporte.

d) criação das Variáveis de Decisão:

as variáveis `x15`, `x18`, `x19`, `x110` etc. representam as quantidades transportadas de uma determinada fábrica para um determinado cliente. Todas essas variáveis têm um limite inferior igual a 0 (`lowBound = 0`), pois não é possível transportar quantidades negativas.

4.2 Função Objetivo e Restrições de Capacidade e Demanda

A Figura 4 apresenta o trecho do código em que se define os custos que devem ser minimizados e estabelece as restrições principais do problema de transporte.

Figura 4. Concatenando (PYTHON)

```
[5] problema1 += 0.26*x15+0.26*x18+0.27*x19+0.30*x110+0.27*x111+0.29*x124+0.25*x125+0.30*x126+0.28*x127+0.31*x128+0.33*x129+0.44*x130+0.29*x131+0.35*x132+0.60*x133+
problema1 += x15 + x18 + x19 + x110 + x111 + x124 + x125 + x126 + x127 + x128 + x129 + x130 + x131 + x132 + x133 + x134 + x135 + x136 + x137 + x138 + x139 + x14
problema1 += x21 + x22 + x23 + x24 + x25 + x26 + x27 + x28 + x29 + x210 + x211 + x212 + x213 + x214 + x215 + x216 + x217 + x218 + x219 + x220 + x221 + x222 + x2
problema1 += x31 + x32 + x33 + x34 + x35 + x36 + x37 + x38 + x39 + x310 + x311 + x319 + x320 + x321 + x322 + x323 + x324 + x325 + x326 + x327 + x328 + x329 + x3
problema1 += x21 + x31 == 2797800
problema1 += x22 + x32 == 1836600
problema1 += x23 + x33 == 1274700
problema1 += x24 + x34 == 2439900
problema1 += x15 + x25 + x35 == 5714100
problema1 += x26 + x36 == 2725500
problema1 += x27 + x37 == 2887500
problema1 += x18 + x28 + x38 == 3846300
problema1 += x19 + x29 + x39 == 7242300
problema1 += x110 + x210 + x310 == 4828400
problema1 += x111 + x211 + x311 == 6508200
problema1 += x212 == 1214700
problema1 += x213 == 9900
problema1 += x214 == 37200
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Em resumo, o código está modelando o problema de transporte, com o objetivo de atender toda a demanda dos clientes, respeitando as capacidades das origens, e sempre buscando o menor custo total de transporte.

4.3 Resolvendo o Problema e Resultados da Otimização

Este trecho final do código, Figura 5, mostra duas etapas importantes: a resolução do problema de transporte e a exibição dos resultados de cada variável de decisão. Este trecho confirma que o modelo de otimização foi executado com sucesso e revela quais decisões logísticas devem ser tomadas (ou seja, quais rotas utilizar e em que quantidade) para garantir o menor custo de transporte possível, respeitando as capacidades das fábricas e as demandas dos clientes.

Figura 5. Resultado (PYTHON)

```
▶ problema1.solve()
⇒ 1

[9] for v in problema1.variables():
    print(v.name, "=", v.varValue)
⇒ x239 = 0.0
    x24 = 0.0
    x240 = 0.0
    x241 = 0.0
    x242 = 0.0
    x243 = 0.0
    x244 = 0.0
    x245 = 0.0
    x246 = 0.0
    x247 = 4104300.0
    x248 = 3446400.0
    x249 = 37200.0
    x25 = 0.0
    x250 = 3924900.0
```

Fonte: Elaborado pelos autores

4.5 Resultado Final da Otimização

O trecho final do código, apresentado na Figura 6, exibe o valor total da função objetivo, ou seja, o custo mínimo total que foi calculado pelo modelo de otimização, respeitando todas as restrições de capacidade das fábricas e demanda dos clientes.

Figura 6. Resultado Otimizado

```
[10] print('entregas=',value(problema1.objective))
⇒ entregas= 42740709.0

[10] Comece a programar ou gere código com IA.
```

Fonte: Elaborado pelos autores

Esse valor representa o menor custo possível para realizar todas as entregas, considerando todas as rotas possíveis, os custos por unidade transportada e os limites operacionais das unidades (fábricas).

Ou seja, se seguirmos o plano de transporte definido pela solução (aquelas variáveis com valor positivo no print anterior), a empresa gastará R\$ 42.740.709,00 para atender toda a demanda no período analisado da forma mais econômica possível.

5 CONCLUSÃO

Antes da aplicação do método dos transportes, o custo real das entregas realizadas em 2023 foi de R\$ 57.128.700,00. Após a utilização da técnica de otimização com o método dos transportes, aplicada via Python com a biblioteca PuLP, conseguimos reduzir esse valor para R\$ 42.740.709,00. Essa redução representa uma economia de mais de 14 milhões de reais, evidenciando o quanto a otimização logística pode impactar positivamente nos custos operacionais de uma empresa.

A elaboração do dashboard, construído a partir da interação da linguagem SQL com POWERBI permitiu uma visualização completa das rotas mais custosas para a empresa, além da identificação de indicadores chave para a construção do modelo de otimização, como os custos unitários de transporte.

A aplicação do modelo não só se mostrou viável, como também estratégica, trazendo um resultado concreto de eficiência, economia e melhor alocação de recursos na distribuição de cargas.

REFERÊNCIAS

ABOL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE OPERADORES LOGÍSTICOS. **Custos logísticos no Brasil atingem 18,4% do PIB em 2023**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://abolbrasil.org.br/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

ILOS – INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN. **Estudos em logística: redução de custos com otimização de rotas.** Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://ilos.com.br/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

LOG SMART. **TMS e a otimização do transporte: como reduzir custos e melhorar o desempenho logístico.** São Paulo, 2023. Disponível em: <https://logsmart.com.br/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

LOGWEB. **Transporte de bebidas: desafios e soluções logísticas para o setor.** São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.logweb.com.br/>. Acesso em: 10 mar. 2025.