# TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE ETANOL ANIDRO NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAUULO: Simulação de um problema matemático via Solver

Brena Bezerra Silva (IFSP) bezerra.brena@yahoo.com.br
Tiago Soares da Rocha (UFSCar) tiagosoaresdarocha@outlook.com
Paulo Renato Pakes (UFSCar) paulopakes@ufscar.br

## Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo realizar a otimização dos custos do transporte do combustível etanol anidro de oito distribuidoras para postos de combustíveis de seis cidades do interior paulista. Para o modelo matemático existente neste trabalho, consideraram-se os custos de pedágio, custo com combustível de locomoção, pernoites e seguro obrigatório de carga. Os resultados desta pesquisa, ao identificar os custos logísticos de frota própria e compará-los aos encontrados pela modelagem matemática, revelam que os primeiros são maiores, de modo a inferir que a empresa precisa de um setor logístico para otimizar os gastos com a distribuição da matéria-prima.

**Palavras-Chaves:** Logística; Problemas de Transporte; Modelagem Matemática.

## 1. Introdução

Para Bertaglia (2003) o transporte rodoviário é o mais independente dos transportes, uma vez que possibilita movimentar uma grande variedade de materiais para qualquer destino devido à sua flexibilidade, sendo utilizado com eficiência para pequenas encomendas. Segundo Dias (1995), as principais vantagens do transporte rodoviário são:

- Manuseio mais simples (cargas menores);
- Grande competitividade em distâncias curtas e médias;
- Elevado grau de adaptação;
- Baixo investimento para o transportador;
- Rapidez e eficaz;
- Grande cobertura geográfica.

De acordo com dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2020) o consumo do etanol anidro subiu para 22,5 bilhões de litros em 2019 ante 19,4 bilhões de litros no ano anterior,

refletindo em aumento de 10,38%. Diante da importância do etanol anidro para a economia brasileira e da grande utilização do transporte rodoviário no Brasil, o propósito deste trabalho é demonstrar, por meio de uma modelagem matemática, o comportamento de uma frota de caminhões fixos pertencente a uma rede de postos de combustíveis na região de Franca, interior de São Paulo.

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é estudar caminhos que levarão a gerar um menor custo possível, minimizando assim os custos de operações logísticas da empresa analisada. O método utilizado neste trabalho foi a modelagem e simulação, utilizando-se da ferramenta Solver para a modelagem matemática.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1 Logística de Combustível no Brasil

Na logística de distribuição combustíveis são apresentados três tipos de fluxos de distribuição: um partindo do fluxo primário composto pelas refinarias e usinas de álcool, para as bases de distribuição; os fluxos de transferência entre as diferentes bases; e os fluxos de entrega, com saída das bases para os clientes (ESTEVES; BICALHO, 2008).

Em seguida do término do refino e produção, o produto passa a ser enviado por meio de dutos para as bases secundárias de distribuição, sendo que na maioria das vezes essas bases são administradas e de responsabilidade das companhias distribuidoras (SINDICATO DAS DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTIVEIS, 2019).

Nestas bases, o combustível se encontra armazenado em tanques e ficam à disposição para o transporte. As bases de distribuição são classificadas de acordo com as suas posições na cadeia de suprimentos: as que recebem combustíveis diretamente da refinaria por importação, cabotagem e duto, ou seja, diretamente do fornecedor, são chamadas de bases primárias, enquanto as bases que recebem produtos das bases primárias são chamadas de bases secundárias. O abastecimento dessas bases secundárias consegue ser feito a partir de modais rodoviários e/ou ferroviários (SINDICATO DAS DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTIVEIS – SINDCOM, 2019).

As bases de distribuição devem ser muito bem posicionadas. As primárias podem ser encontradas próximas às refinarias, onde são ligadas por dutos, com intenção de facilitar o transporte dos produtos refinados. As bases de distribuição costumam ser localizadas próximas às rodovias e ferrovias, com a finalidade de facilitar o deslocamento do produto para

as bases secundárias e clientes (SINDICATO DAS DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTIVEIS – SINDCOM, 2019).

## 2.2 Problemas de Transporte

Para Arenales et al. (2007), problemas de transporte ou distribuição consistem em transportar o produto dos centros de produção aos mercados consumidores de modo que o custo total de transporte seja o menor possível. O transporte realizado deve respeitar às limitações de oferta e atender a demanda. Nesse sentido, os autores propõem a seguinte fórmula para minimização de custos, apresentada na Figura 1.

Figura 1: Fórmula de minimização de custos de transportes

$$\text{Minimizar} \quad f(x_{11}, x_{12}, \ldots, x_{mn}) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leq a_i \qquad i = 1, \ldots, m$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j \qquad j = 1, \ldots, n$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad i = 1, \ldots, m \text{ e } j = 1, \ldots, n.$$

Fonte: Arenales et al. (2007)

Os problemas de transporte que utilizam da pesquisa operacional como método de resolução contam com a programação linear para determinar os recursos escassos, conhecendo sempre os objetivos e necessidades do analista. Os problemas de programação linear compõem uma subclasse de problemas nos quais a modelagem é inteiramente expressa por termos de equações lineares. A construção de um modelo linear segue três básicos passos (RAVINDRAN et al., 1987):

- Passo I: Identifique as variáveis desconhecidas a serem determinadas (denominadas como variáveis de decisão) e represente-as através de símbolos algébricos (tendo como exemplo x e y).
- Passo II: Liste todas as restrições que foram encontradas e expresse-as como equações (=) ou inequações (≤, ≥) lineares em termos das variáveis de decisão definidas no passo anterior.
- Passo III: Identifique o objetivo ou critério de otimização do problema, representando o mesmo com uma função linear das variáveis de decisão. O objetivo pode ser tanto maximizar ou minimizar.

Para utilizar a programação linear é necessário entender a definição dos termos que seguem: forma padrão, região factível, solução factível e solução factível ótima. De acordo com Bertsimas e John (1997) e Strang (2006), a forma padrão de um problema de programação linear é definida de acordo com a seguinte função:

$$\textbf{Minimizar } F(x_i) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots c_nx_n$$

$$\textbf{Sujeito a } \begin{cases} a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n = b_m \\ x_1, x_2, \dots x_n \geq 0 \end{cases}$$

A função linear f (x) é denominada função objetivo, e o sistema de equações lineares formado por $A_{ij}x_j = b_i$ definem as restrições do modelo juntamente com as condições de não negatividade das variáveis, onde se tem i e j como variáveis de decisão. Desta maneira, afirma-se que qualquer problema de otimização pode ser escrito na forma padrão acima, desde que atenda as seguintes características:

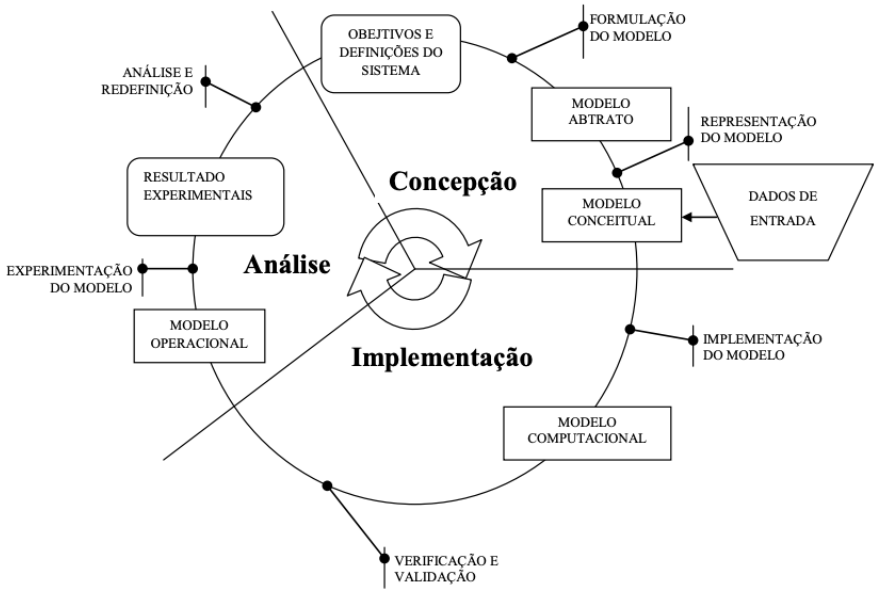
- a função objetivo deve ser minimizada;
- as restrições são definidas por um sistema de equação linear;
- as condições de não negatividade das variáveis de decisão complementam as restrições.

## 3. Método de Pesquisa

A presente pesquisa teve como objetivo apresentar a pesquisa operacional como ferramenta de suporte de decisão e aplicar a programação linear para a resolução do problema. Este estudo utilizou como procedimento de pesquisa a modelagem e simulação.

Com o objetivo de apresentar a técnica de modelagem matemática como método de otimização para melhor utilização dos recursos disponíveis diante da escassez de recursos. Para que um estudo de simulação seja bem sucedido é necessário aplicar a metodologia de simulação corretamente. De uma maneira geral, o processo de simulação pode ser dividido em três fases: concepção, implementação e análise (CHWIF; MEDINA, 2007). A figura 2 ilustra estas etapas.

Figura 2: Metodologia de Simulação




Fonte: Chwif e Medina (2006)

Adiante, apresenta-se a definição de cada uma das etapas da figura 2.

### 3.1 Fase de Concepção

A empresa em estudo está situada na região de Franca, interior de São Paulo. A mesma é responsável pela distribuição e abastecimento de veículos de diversas cidades e municípios da região. Com objetivo de otimizar os custos com o transporte do combustível de um Ponto A para um Ponto B, fez se necessário a criação de um roteiro de pesquisa.

Para a realização da concepção do modelo foi realizada a coleta dos dados para a formulação do problema. Os dados foram coletados a partir de uma entrevista com o proprietário da empresa. Os primeiros dados coletados foram a localização dos postos de combustíveis e a localização das Usinas e/ou distribuidoras, apresentadas na Figura 3.

Figura 3: Localização dos postos e das distribuidoras

| **Localização dos postos** | **Localização das usinas/distribuidoras** |
|---|---|
| Aramina | Alta Mogiana |
| Cravinhos | Bazan |
| Cruz das Posses | Carolo |
| Franca | Cevasa |
| Sertãozinho | Ciapetro |
| Cristais Paulista | Rede Sol |
| | Rio Branco |
| | São Martinhos |

Fonte: Dados da pesquisa

O proprietário também informou que possui caminhões próprios, com suas características apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Descrição dos caminhões da empresa

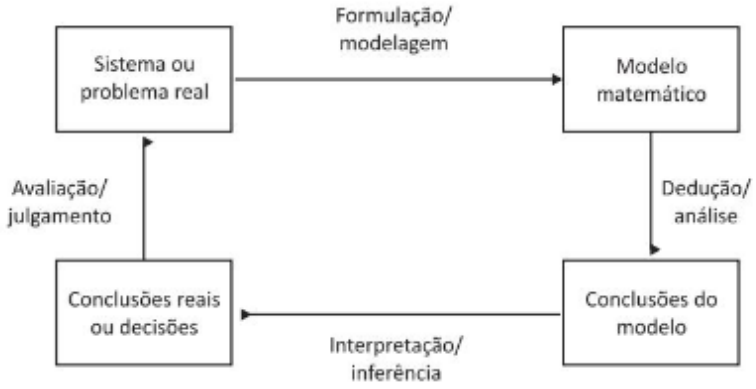
| **Tipo de veículo** | Bitrem 2 eixos | Bitrem 7 eixos | Rodotrem 9 eixos |
|---|---|---|---|
| **Tanque** | 275 litros | 275 litros | 275 litros |
| **Combustível** | Diesel | Diesel | Diesel |
| **Capacidade** | 38.000 litros | 48.000 litros | 60.000 litros |

Fonte: Dados da pesquisa

## 3.2 Implementação e Análise

A implementação do modelo e a análise foi realizada de acordo com o método de modelagem matemática descrita por Miguel et al. (2012), apresentado a Figura 5.

Figura 5 - Método matemático utilizado para modelagem e simulação




Fonte: Miguel et al. (2012)

A formulação (modelagem) define as variáveis de interesse e suas relações para com os comportamentos do problema real. É neste ponto que o pesquisador escolhe quais variáveis deverá utilizar definindo assim as relações causais entre elas. A dedução (análise) irá aplicar técnicas matemáticas e tecnológicas para resolver o problema matemático imposto, tendo como resultado a visualização das conclusões e/ou decisões sugeridas pelo modelo. A interpretação (inferência) discute se as conclusões e/ou decisões obtidas com o modelo terá significado suficiente para inferir as conclusões e/ou decisões obtidas para o problema real. Uma avaliação (Julgamento) dessas conclusões e/ou decisões mostrará se elas são ou adequadas e se o escopo do problema e sua modelagem necessitará de revisão. Se necessária a revisão, repete-se o ciclo.

### 3.2.1 Formulação/Modelagem

Após a realização de algumas visitas à empresa, a realização do mapeamento das variáveis listou as seguintes informações para a construção do modelo matemático:

- Número de caminhões;
- Número de motoristas;
- Quantidade de Postos;
- Quantidade de usinas e/ou distribuidoras;
- Capacidade dos caminhões;
- Capacidade do tanque em litros;
- Valores do pedágio por caminhão;
- Valor gasto de combustível por caminhão da origem ao destino.

As variáveis irão monitorar quantos caminhões de cada eixo irão realizar a rota de acordo com o valor do pedágio e combustível. O item processamento diz respeito ao caminho que as entidades deverão seguir e as suas características. Na chegada, o combustível chegará ao posto a cada dois dias de acordo com as normas estabelecidas na empresa.

### 3.2.2 Dedução (Análise)

A formulação do modelo deve ocorrer de forma gradativa, ou seja, na medida em que novas características são adicionadas novos modelos são construídos (BANKS, 1999). Para a implementação do modelo foi utilizado o solver, ferramenta complementar do Microsoft Excel. O solver ajusta valores nas células variáveis de decisão para satisfazer aos limites sobre células de restrição e produzir o resultado para a célula objetiva (MICROSOFT EXCEL, 2020).

No Excel, será aberto uma caixa chamada parâmetros do solver, em que se define o objetivo, se insere uma referência de célula ou nome para a célula objetivo. A célula do objetivo deverá conter uma fórmula. O segundo passo do problema é definir o valor da célula, que neste caso será a minimização do custo. Na caixa alterando células variáveis, será inserido uma referência de decisão. As referências não adjacentes deverão ser separadas por vírgula. As células variáveis devem estar diretamente relacionadas direta ou indiretamente à célula de objetivo.

Na caixa sujeito as restrições, serão inseridas as restrições do problema, onde deverá ser selecionada a relação (<=, =, >=, int, bin ou dif) desejada entre a célula referenciada e a restrição. A partir disto, o resultado será anexado nas tabelas criadas no Excel.

### 3.2.3 Interpretação (inferência)

A modelagem calculada e os resultados serão apresentados na seção Resultados juntamente com as conclusões do problema estudado, a partir disto os valores encontrados serão analisados e, caso a conclusão do problema seja viável, o modelo de estudo será implementado na empresa para melhor otimização e aproveitamento de seus recursos.

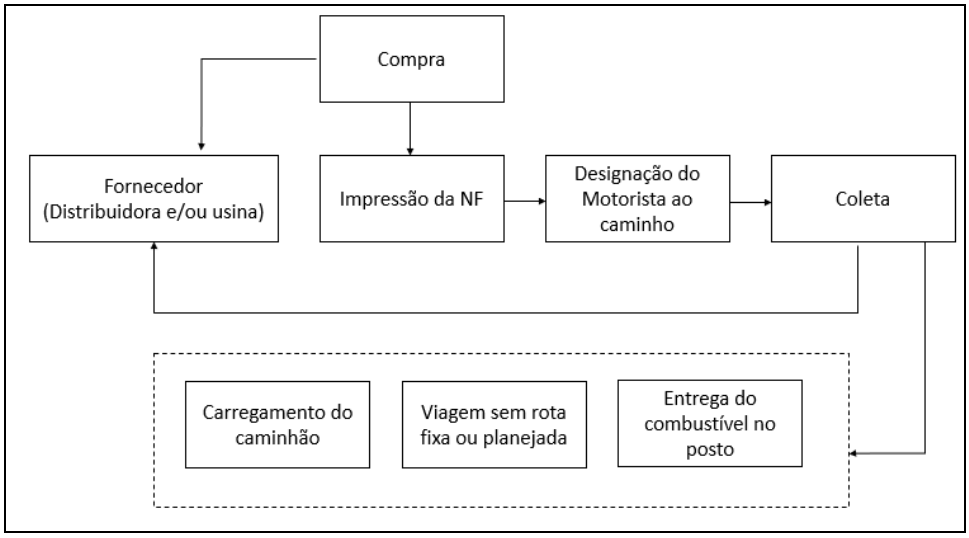
## 4. Resultados

### 4.1 Caracterização da empresa

A empresa em estudo tem suas atividades no mercado há mais de dez anos, quando inauguraram o primeiro posto de combustível em uma das cidades da região. O fortalecimento da empresa resultou na abertura de mais cinco postos, todos localizados no Estado de São Paulo. Atualmente, o proprietário conta com seis postos todos ativos na região.

O proprietário da empresa tem como responsabilidade a realização da compra do combustível e passar para o responsável da logística todas as notas fiscais. A compra do combustível é realizada todos os dias em quantidades fracionadas de acordo com o preço ofertado da distribuidora e/ou usina. Feito isso, a compra é encaminhada para o responsável de logística que designa o motorista e o caminhão encarregado de fazer a coleta e entrega, sendo de responsabilidade do motorista a rota a ser traçada, fazendo com que o proprietário e gerente de logística não tenham conhecimento destes custos. De maneira simplificada, a Figura 6 mostra o fluxograma das operações realizadas na empresa.

Figura 6 - Representação da estrutura organizacional da Logística da empresa




Fonte: Dados da pesquisa

## 4.2 Descrição do Problema

A coleta do combustível é realizada todos os dias de acordo com a especificação da distribuidora e/ou usina. A partir da coleta do combustível, o motorista segue viagem para o posto no qual foi designado. Destaca-se que este trajeto não é analisado com antecedência, de modo a acarretar nos seguintes custos:

- Pedágio;
- Combustível;
- Pernoite dos motoristas;
- Seguro obrigatório de carga.

Para realizar a simulação no Solver, foi necessária a criação das tabelas que iriam compor a modelagem matemática do sistema utilizado. As tabelas tem como objetivo representar, em valores reais, o preço do combustível gasto por caminhão, o preço do pedágio, o valor pago pela pernoite e o valor pago pelo seguro obrigatório.

A figura 7 apresenta os valores em reais utilizados pelo caminhão Bitrem 2 eixos em seu consumo de pedágio e combustível.

Figura 7 - Valores referentes a somatória do caminhão Bitrem 2 eixos

| ORIGEM/DESTINO | ARAMINA | CRAVINHOS | CRUZ DAS POSSES | FRANCA | SERTÃOZINHO | CRISTAIS PAULISTA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ALTA MOGIANA** | 104,65 | 179,81 | 139,74 | 92,01 | 158,15 | 116,35 |
| **BAZAN** | 198,88 | 102,57 | 22,11 | 152,85 | 36,06 | 178,08 |
| **CAROLO** | 189,98 | 112,96 | 32,35 | 144,39 | 37,10 | 169,18 |
| **CEVASA** | 197,40 | 176,01 | 167,11 | 61,89 | 177,50 | 97,95 |
| **CIAPETRO** | 171,49 | 346,61 | 306,54 | 309,84 | 331,32 | 266,65 |
| **REDE SOL** | 327,60 | 122,97 | 122,38 | 257,01 | 130,54 | 281,64 |
| **RIO BRANCO** | 193,35 | 374,81 | 352,15 | 339,12 | 365,97 | 306,47 |
| **SÃO MARTINHO** | 295,59 | 86,96 | 68,41 | 230,34 | 45,41 | 255,56 |

Fonte: Dados da pesquisa

A figura 8 é referente aos valores em reais utilizados pelo caminhão Bitrem 7 eixos em seu consumo de pedágio e combustível.

Figura 8 - Valores referentes a somatória do caminhão Bitrem 7 eixos

| ORIGEM/DESTINO | ARAMINA | CRAVINHOS | CRUZ DAS POSSES | FRANCA | SERTÃOZINHO | CRISTAIS PAULISTA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ALTA MOGIANA** | 220,75 | 340,97 | 272,83 | 156,48 | 304,12 | 197,87 |
| **BAZAN** | 381,01 | 196,65 | 37,60 | 259,95 | 61,33 | 302,86 |
| **CAROLO** | 365,87 | 214,31 | 55,02 | 245,57 | 63,10 | 287,71 |
| **CEVASA** | 378,49 | 327,67 | 312,53 | 133,59 | 330,20 | 194,92 |
| **CIAPETRO** | 531,31 | 751,22 | 683,08 | 619,92 | 734,76 | 671,88 |
| **REDE SOL** | 796,82 | 370,88 | 369,87 | 530,08 | 393,29 | 697,37 |
| **RIO BRANCO** | 556,57 | 797,77 | 759,91 | 670,40 | 805,64 | 738,88 |
| **SÃO MARTINHO** | 580,65 | 147,90 | 116,35 | 448,39 | 77,23 | 491,30 |

Fonte: Dados da pesquisa

A figura 9 é referente aos valores em reais utilizados pelo caminhão Rodotrem 9 eixos em seu consumo de pedágio e combustível.

Figura 9 - Valores referentes a somatória do caminhão Rodotrem 9 eixos

| ORIGEM/DESTINO | ARAMINA | CRAVINHOS | CRUZ DAS POSSES | FRANCA | SERTÃOZINHO | CRISTAIS PAULISTA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ALTA MOGIANA** | 241,77 | 355,06 | 288,28 | 153,35 | 318,95 | 193,91 |
| **BAZAN** | 398,82 | 205,92 | 36,85 | 254,75 | 60,10 | 296,80 |
| **CAROLO** | 383,98 | 223,23 | 53,92 | 240,66 | 61,83 | 281,96 |
| **CEVASA** | 396,35 | 337,96 | 323,12 | 147,76 | 340,43 | 207,86 |
| **CIAPETRO** | 663,21 | 832,37 | 765,59 | 860,28 | 822,79 | 788,31 |
| **REDE SOL** | 895,38 | 459,64 | 458,65 | 772,23 | 488,14 | 813,29 |
| **RIO BRANCO** | 680,87 | 877,56 | 840,46 | 748,52 | 898,47 | 694,11 |
| **SÃO MARTINHO** | 612,87 | 144,94 | 114,02 | 473,12 | 75,68 | 515,16 |

Fonte: Dados da pesquisa

O custo de pernoite é somado toda vez que o caminhoneiro tende a dormir no posto ou na distribuidora para a coleta da nova carga. São dados pré-estabelecidos em uma tabela feita

pelo próprio pessoal da empresa e esses custos são somados com o valor da viagem. A pernoite pode ser realizada de qualquer ponto de origem a qualquer ponto de destino. Caso a quilometragem seja maior que 150 km rodados, esse valor é dado ao motorista para arcar com despesas próprias.

A figura 10 é referente ao valor de R$ 150,00 pago para cada motorista quando este realiza uma rota maior que 150 Km, independentemente de onde ele esteja ou para onde ele vai. Outro valor somado ao montante é o seguro obrigatório de carga, que tem como objetivo a proteção desta. Caso aconteça algo com o caminhão ou algum acidente na estrada, ele deve ser pago cada vez que o caminhoneiro transporta uma carga de Origem A para Destino A e assim por diante.

Figura 10 - Valores referentes a pernoite

| | Aramina | Cravinhos | Cruz das posses | Franca | Sertãozinho | Cristais paulista |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Alta Mogiana** | | | | | | |
| **Bazan** | | | | | | |
| **Carolo** | | | | | | |
| **Cevasa** | | | | | | |
| **CiaPetro** | | 150,00 | | | 150,00 | |
| **Rede sol** | | | | | | |
| **Rio branco** | | 150,00 | | | 150,00 | |
| **São Martinho** | 150,00 | | 150,00 | | | 150,00 |

Fonte: Dados da pesquisa

O valor a ser pago é calculado de acordo com a capacidade do tanque. Adiante apresenta-se a relação dos valores pagos:

- Caminhão Bitrem 2 eixos: R$ 575,23;
- Caminhão Bitrem 7 eixos: R$ 719,05;
- Caminhão Rodotrem 9 eixos: R$ 1725,70.

A empresa atualmente conta com quatro gastos relacionados ao transporte da mercadoria: combustível gasto por caminhão, pedágio, seguro obrigatório de carga explosiva e pernoite. Esses dados são coletados a cada término de semana e relatados em tabelas do Excel. A pernoite e o seguro de carga obrigatória são os únicos valores que a empresa controla fixamente, ao passo que os outros valores são referentes a notas de abastecimentos que os motoristas registram ao longo da semana e os valores de pedágio são contabilizados apenas ao

final de cada mês, quando a fatura do pedágio (sistema de cobrança automática) é enviada para o escritório de contabilidade.

No intuito de saber quanto a empresa gasta em relação a esses quatro custos, coletaram-se durante cinco meses os valores gastos e registrou-se em uma tabela do Excel, conforme Figura 11.

Figura 11 - Valores referentes ao custo Logístico da empresa por semana nos diferentes meses

| AGOSTO | | | |
|---|---|---|---|
| **CUSTOS** | **BITREM 2 EIXOS** | **BITREM 7 EIXOS** | **RODOTREM 9 EIXOS** |
| Seguro de Carga | R$ 2.300,92 | R$ 2.157,15 | R$ 5.177,10 |
| Pernoite | R$ 300,00 | R$ 450,00 | R$ 450,00 |
| Combustível para consumo | R$ 1.020,00 | R$ 2.566,00 | R$ 3.071,20 |
| Pedágio | R$ 2.026,00 | R$ 3.026,00 | R$ 2.056,98 |
| TOTAL: | R$ 5.646,92 | R$ 8.199,15 | R$ 10.755,28 |
| TOTAL DOS 3 VEÍCULOS (+): | R$ 24.601,35 | | |
| **SETEMBRO** | | | |
| **CUSTOS** | **BITREM 2 EIXOS** | **BITREM 7 EIXOS** | **RODOTREM 9 EIXOS** |
| Seguro de Carga | R$ 5.177,07 | R$ 6.471,45 | R$ 3.451,40 |
| Pernoite | R$ 900,00 | - | R$ 300,00 |
| Combustível para consumo | R$ 2.366,00 | R$ 4.562,78 | R$ 4.989,00 |
| Pedágio | R$ 1.036,00 | R$ 1.028,26 | R$ 5.690,00 |
| TOTAL: | R$ 9.479,07 | R$ 12.062,49 | R$ 14.430,40 |
| TOTAL DOS 3 VEÍCULOS (+): | R$ 35.971,96 | | |
| **OUTUBRO** | | | |
| **CUSTOS** | **BITREM 2 EIXOS** | **BITREM 7 EIXOS** | **RODOTREM 9 EIXOS** |
| Seguro de Carga | R$ 3.451,38 | R$ 2.157,15 | R$ 8.628,50 |
| Pernoite | R$ 750,00 | R$ 600,00 | - |
| Combustível para consumo | R$ 2.389,58 | R$ 2.036,78 | R$ 4.589,56 |
| Pedágio | R$ 989,00 | - | R$ 3.256,00 |
| TOTAL | R$ 7.579,96 | R$ 4.793,93 | R$ 16.474,06 |
| TOTAL DOS 3 VEÍCULOS (+): | R$ 28.847,95 | | |
| **NOVEMBRO** | | | |
| **CUSTOS** | **BITREM 2 EIXOS** | **BITREM 7 EIXOS** | **RODOTREM 9 EIXOS** |
| Seguro de Carga | R$ 5.725,30 | R$ 2.876,20 | R$ 10.354,20 |
| Pernoite | R$ 1.050,00 | - | R$ 1.050,00 |
| Combustível para consumo | R$ 2.862,65 | R$ 1.433,60 | R$ 5.264,10 |
| Pedágio | R$ 1.431,27 | R$ 716,80 | R$ 2.632,05 |
| TOTAL | R$ 11.069,22 | R$ 5.026,60 | R$ 19.300,35 |
| TOTAL DOS 3 VEÍCULOS (+): | R$ 35.396,17 | | |
| **DEZEMBRO** | | | |
| **CUSTOS** | **BITREM 2 EIXOS** | **BITREM 7 EIXOS** | **RODOTREM 9 EIXOS** |
| Seguro de Carga | R$ 2.876,15 | R$ 3.595,25 | R$ 20.708,40 |
| Pernoite | - | R$ 600,00 | R$ 1.200,00 |
| Combustível para consumo | R$ 1.438,08 | R$ 1.797,62 | R$ 10.354,20 |
| Pedágio | R$ 719,04 | R$ 1.789,08 | R$ 5.177,10 |
| TOTAL | R$ 5.033,27 | R$ 7.781,95 | R$ 37.439,70 |
| TOTAL DOS 3 VEÍCULOS (+): | R$ 50.254,92 | | |

Fonte: Dados da pesquisa

A figura 11 demonstrou os gastos que a empresa tem com a logística de distribuição do combustível. A ideia central para saber quanto a empresa gasta com logística foi coletar todos os valores pagos pela mesma durante um período de cinco meses, porém como pode ser observado, cada mês analisado a empresa gastava um total diferente do mês anterior, devido às variações ao longo do ano. Para que não utilizasse apenas um valor como base, optou-se

por utilizar a média ponderada da empresa em relação aos custos logísticos. Para isso foi necessário a soma de todos os meses (total de R$ 175.072,35) e dividiu-se esse valor pelos meses estudados (inferindo-se média ponderada de R$ 35.014,47).

O valor de R$ 35.014,47 por semana para o proprietário da empresa foi considerado alto, dado que o posto assume outros custos, como a compra do combustível, o abastecimento das lojas de conveniência, pagamento de salários e outros.

Em uma última entrevista, o proprietário afirmou que não possuía nenhum conhecimento em softwares de logística e que a empresa precisa mudar suas ações e implementar um processo automático para isso, tendo como objetivo a minimização dos custos com o transporte do combustível.

### 4.4 Resultados e Discussão

A Figura 12 apresenta a resolução do problema matemático.

Figura 12: Resolução do problema matemático

| BITREM 2 EIXOS - CAPACIDADE DE 38.000 LITROS | | | | | | | SOMA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ARAMINA | CRAVINHOS | CRUZ DAS POSSES | FRANCA | SERTÃOZINHO | CRISTAIS PAULISTA | |
| Eixo 2 (ALTA MOGIANA) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 2 (BAZAN) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 2 (CAROLO) | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 2 (CEVASA) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 2 (CIAPRETO) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Eixo 2 (REDE SOL) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Eixo 2 (RIO BRANCO) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eixo 2 (SÃO MARTINHO) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SOMA | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| BITREM 7 EIXOS - CAPACIDADE 48.000 LITROS | | | | | | | |
| | ARAMINA | CRAVINHOS | CRUZ DAS POSSES | FRANCA | SERTÃOZINHO | CRISTAIS PAULISTA | |
| Eixo 7 (ALTA MOGIANA) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Eixo 7 (BAZAN) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 7 (CAROLO) | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 7 (CEVASA) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 7 (CIAPRETO) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Eixo 7 (REDE SOL) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 7 (RIO BRANCO) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eixo 7 (SÃO MARTINHO) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SOMA | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| RODOTREM 9 EIXOS - CAPACIDADE 60.000 LITROS | | | | | | | |
| | ARAMINA | CRAVINHOS | CRUZ DAS POSSES | FRANCA | SERTÃOZINHO | CRISTAIS PAULISTA | |
| Eixo 9 (ALTA MOGIANA) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 9 (BAZAN) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eixo 9 (CAROLO) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eixo 9 (CEVASA) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 9 (CIAPRETO) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 9 (REDE SOL) | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eixo 9 (RIO BRANCO) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Eixo 9 (SÃO MARTINHO) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| SOMA | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

Fonte: Dados da pesquisa

Para o solver, a alocação dos caminhões durante uma semana de coleta resulta na minimização dos custos, auferindo o valor de R$ 5.697,57. Este valor representa os custos totais gastos por três caminhões em relação às possíveis viagens realizadas durante uma semana a partir de domingo apresentadas na Figura 12. Para cada posto ser atendido, o valor total a ser transportado deve ser a soma da Figura 13.

Figura 13 - Demanda aproximada das cidades

| POSTOS | ETANOL | GASOLINA | GASOLINA ADITIVADA | DIESEL S-10 | DIESEL S-500 |
|---|---|---|---|---|---|
| **ARAMINA** | 17520,00 | 6424,00 | 30514,00 | 50348,10 | 20596,95 |
| **CRAVINHOS** | 29200,00 | 40880,00 | 7592,00 | 34164,00 | 10249,20 |
| **CRUZ DAS POSSES** | 73000,00 | 21900,00 | 5110,00 | 16096,50 | 11957,40 |
| **FRANCA** | 73000,00 | 36500,00 | 1825,00 | 10402,50 | 7281,75 |
| **SERTÃOZINHO** | 14600,00 | 65700,00 | 6570,00 | 29565,00 | 14782,50 |
| **CRISTAIS PAULISTA** | 36500,00 | 32850,00 | 7665,00 | 34492,50 | 8623,13 |

Fonte: Dados da pesquisa

A demanda do posto para a semana estudada foi de 755.909,53 litros. Por meio da análise dos resultados que o solver apresentou, pode-se confirmar que a demanda será atendida sem problemas. A partir dos resultados gerados pelo Solver, outros gastos devem ser acrescentados os valores de pernoite e seguro obrigatório, conforme Figura 14.

Figura 14 - Tabela destinada a somatória dos custos variáveis dos caminhões

| ORIGEM/DESTINO | ARAMINA | CRAVINHOS | CRUZ DAS POSSES | FRANCA | SERTÃOZINHO | CRISTAIS PAULISTA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ALTA MOGIANO** | 2300,93 | | | | | 719,05 |
| **BAZAN** | | 1294,28 | | | | |
| **CAROLO** | | | 1294,28 | | | |
| **CEVASA** | | 1725,70 | | 1294,28 | | |
| **CIAPETRO** | | | | 1725,70 | 1594,28 | |
| **REDE SOL** | 719,05 | | 1725,70 | | | 575,23 |
| **RIO BRANCO** | | | | | | 1725,70 |
| **SÃO MARTINHO** | | | | | | |

Fonte: Dados da pesquisa

O total para a figura 14 foi de R$ 16.694,18. Este valor é acrescido a R$ 5.697,57 valor encontrado pela simulação do Solver, gerando um montante de R$ 22.391,57. Diante dos resultados obtidos, a aplicação da modelagem matemática apresenta um campo mais maduro para discussão, visto que há uma quantidade significativa de estudos disponíveis na literatura investigando seus benefícios e limitações.

As técnicas encontradas como programação linear, roteirização de veículos e método simples, embora possuam diversos estudos de aplicação em problemas relacionados a transportes, alguns ainda se encontram em fase de investigação. A despeito do caráter preliminar deste estudo, os resultados obtidos desta análise indicam que há diferenças quantitativas e qualitativas quanto ao uso do solver nos artigos científicos na área de problemas de transporte, comparando os artigos revisados. Com relação aos cálculos

utilizados, os dados aqui apresentados corroboram a afirmação de Dias (2015), de que o Microsoft Excel demostrou ser uma alternativa eficaz para o tratamento do modelo dos dados na geração de soluções para o problema de transporte.

## 5. Conclusão

O presente trabalho propôs analisar a viabilidade de se aplicar técnicas de um modelo matemático para equacionar um problema de alocações de caminhões, sem janelas de tempo e demanda. Para tanto, primeiramente foram coletados todos os dados com os colaboradores da empresa estudada, etapa que demandou maior dedicação e atenção, pois sem a base sólida de dados, a simulação do modelo apresentado poderia não condizer com a realidade.

Em seguida, com o auxílio da revisão bibliográfica, foi definido o modelo matemático que mais se encaixava com as características do problema em foco. Para a resolução do problema foi utilizado o software Excel junto com o solver, um complemento do Excel que utiliza de modelos matemáticos para cálculos de otimização.

A empresa estudada desembolsa cerca de 45% do seu faturamento mensal para arcar com os custos logísticos gastos por mês. Apenas em uma semana, eles pagam em média R$ 35.014,57 na distribuição do combustível para três caminhões distintos. Para a empresa, os dados encontrados servirão como base para tomada de decisões. O gestor da empresa pode observar em média quanto ele gastava e quanto ele poderia gastar caso implementasse um setor logístico na empresa.

A implementação do programa de modelagem matemática foi de forma gradativa. O proprietário da empresa realiza a compra do combustível por um período de uma semana, a compra geralmente é realizada na sexta-feira pela parte da manhã, os dados são inseridos no sistema de modelagem pela parte da tarde, com isso o modelo define qual caminhão irá a determinado destino com base nos gastos de locação da matéria prima comprada.

Para estudos futuros, poderiam ser utilizados para este mesmo problema mais variáveis, aumentando assim a complexidade do problema demonstrando-o da maneira mais real possível. Para isso, aconselha-se a aplicação de outros softwares para modelagem como GAMS (*General Algebraic Modeling System*), que é um sistema de modelagem algébrica que utiliza solução de problemas complexos, envolvendo Programação Linea e Não Linear e Inteira e também o LINGO (*Language for Intective General Optimizer*), software de

modelagem e resolução de problemas lineares e não lineares de otimização, que poderiam demostrar um resultado mais complexo perante todas as variáveis apresentadas.

**6. Referências**

ARENALES, M. et al. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BERTAGLIA, Paulo Roberto. Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento. São Paulo: Saraiva, 2003.

BRASIL. CNT – **Confederação Nacional do Transporte. Atlas do Transporte**. Disponível em: < https://www.atlas.cnt.org.br/> em:. Acesso em: 16/09/2019

COSTA, Larissa Oliveira. Análise da logística de distribuição de combustíveis líquidos no Ceara. **Brazilian Journal of Development** , Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1201-1215, 9 jan. 2020.

DIAS, Marco Aurélio P. Administração de Materiais: Uma abordagem logística. 4. ed. Santo André: Atlas, 1995.

NOVAES, Antonio G.. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

NOVAES, A. G. **Sistemas Logísticos**: Transporte, Armazenagem e Distribuição de Produtos. São Paulo, Edgard Bluncher, 1989.

SINDICOM, **História da distribuição**, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: http://www.sindicom.com.br/#conteudo.asp?conteudo=75&id_pai=63&targetElement=leftpart. Acesso em: 09/09/2019

SOARES Paulo Miranda, Fecombustiveis. Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes. *In*: **COMBUSTÍVEIS & CONVENIÊNCIA:** O IMPACTO DO CORONAVÍRUS NA REVENDA. [*S. l.*], Marco e Abril 2020. Disponível em: fecombustiveis.org.be/edicoes-revista/revista-combustiveis-e-convenicencia--ed-181/241406. Acesso em: 15 abr. 2020.

STRANG, G. **Linear Algebra and Its Applications**. 4.ed. Cole: Thomson Brooks, 2006. Disponível em: < http://pt.bookzz.org/book/876294/aab849 >. Acesso em: 23/08/2019.

_____. **vendas de derivados de petróleo e biocombustíveis**. [*S. l.*], 19 maio 2020. Disponível em: anp.gov.br/dados-abertos-anp/vendas-derivados-petroleo-biocombustiveis. Acesso em: 21 maio 2020.