

Aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional para a resolução do problema de transportes de uma empresa do segmento alimentício

Marcelo Carneiro Goncalves (PUC-PR), Felipe Ribeiro Cappi (PUC-PR), Gabriel Galbardi Moro (PUC-PR),
Matheus Mantovani de Souza (PUC-PR)

Resumo: A pesquisa operacional busca otimizar diversas operações por meio de suas técnicas, na tentativa de otimizar os recursos das organizações. Este artigo buscou resolver o problema de transporte de uma empresa do segmento alimentício analisando as sedes localizadas em 3 estados, a saber: Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Para alcance do objetivo inicialmente foi realizado uma entrevista na empresa afim de identificar as potenciais fábricas e mercado consumidores para análise do trabalho. Em seguida, foi aplicado o método simplex de transportes para resolver o problema considerando custos mínimos, através do software LINGO. Como resultado, foi possível obter uma solução ótima e factível para a realização do transporte da empresa via método simplex considerando a otimização dos custos totais decorrentes da distribuição.

Palavras chave: Pesquisa Operacional, Método Simplex, LINGO, Setor Alimentício.

Application of Operational Research techniques to solve the transportation problem of a food company

Abstract: Operational research seeks to optimize various operations through its techniques in an attempt to optimize the resources of organizations. This article aimed to solve the transportation problem of a food company by analyzing the headquarters located in 3 states, namely: Santa Catarina, Mato Grosso do Sul and Minas Gerais. In order to reach the objective, an interview was conducted at the company in order to identify potential factories and consumer markets for work analysis. Then, the simplex transport method was applied to solve the problem considering minimum costs, using the LINGO software. As a result, it was possible to obtain an optimal and feasible solution for the company's transportation through simplex method considering the optimization of the total costs arising from the distribution.

Keywords: Operational Research, Simplex Method, LINGO, Food Sector.

1. Introdução

A busca pelo aprimoramento dos processos e melhoramento de situações mostra-se presente desde os primórdios da humanidade. Pode-se citar que os primeiros homens sapiens sempre buscavam maneiras de minimizar esforços e maximizar retornos de atividades desenvolvidas. Destaca-se ainda que durante a primeira Revolução Industrial, eclodiu o pensamento de maximização dos lucros e minimização dos custos da indústria. Dentre todos esses períodos, pode-se notar que a Pesquisa Operacional esteve sempre presente, desde os processos mais simples até os mais complexos.

A Pesquisa Operacional, é uma ciência que por meio da modelagem matemática de problemas busca fazer previsões, comparações de valores, aprimoramento de custos e eficiência. Segundo Pizzolato e Gandolpho (2009) a utilização da Pesquisa Operacional está diretamente ligada na solução de problemas complexos, utilizando artifícios de maximização ou minimização de funções lineares, como por exemplo, os problemas de transporte logísticos.

Diante do cenário econômico que o Brasil está passando, muitas empresas, na busca pela redução de custos, adentram na utilização de mecanismos de Pesquisa Operacional para tentar otimizar seus processos e aumentar suas margens. Desta forma, a aplicação de conhecimentos nesse ramo está se tornando cada vez mais requisitada e procurada, colocando-se assim, como uma ferramenta essencial para as empresas.

O objetivo deste estudo consistiu em resolver o problema de transporte de uma empresa do segmento alimentício analisando suas sedes localizadas em Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais.

Para alcance do objetivo, foi utilizado o método simplex de transporte para a obtenção de uma solução que considere critérios de otimalidade, por meio do software LINGO. Inicialmente foi realizada uma entrevista com a empresa afim de analisar e coletar os parâmetros de entrada para o modelo de transporte e em seguida, foi realizada uma aplicação que consistiu na análise de 3 origens e 4 destinos. Para afins didáticos, foi restringido a área para a realização de uma análise completa das solicitações de produtos alimentícios diretos, que são produzidos nas subsidiárias, e enviados diretamente ao cliente final. As indústrias se encontram nas cidades brasileiras de Chapeco (SC), Dourados (MS) e Uberlândia (MG), e seus clientes finais estão localizados em Paranaguá (PR), Duque de Caxias (RJ), Marau (BA) e Rio Verde (GO).

Como resultados, foi possível aplicar o método simplex de transporte de forma satisfatória em um caso real, obtendo assim uma solução ótima e factível para a empresa analisada.

Este restante deste trabalho está estruturado da seguinte forma. Foi abordado um referencial teórico contemplando conceitos sobre o setor analisado bem como o problema de transportes. Em seguida, foi apresentado o estudo de caso identificando: a empresa, o produto e rotas de estudo. Na sequência foi realizado a aplicação do problema usando o modelo matemático de transportes suportados pelo auxílio do software LINGO. Finalmente, foi apresentado as considerações finais do trabalho e proposta de estudos futuros.

2. Referencial Teórico

De acordo com Hillier (2013) a pesquisa operacional teve sua origem décadas atrás, e sua

primeira utilização foi na área militar, onde era de extrema importância a alocação eficiente dos escassos recursos durante a Segunda Guerra Mundial.

Segundo Longaray (2013), o curso de qualquer pessoa é decorrente das decisões feitas por ela e pelas outras pessoas que afetem direta ou indiretamente ela, e a pesquisa operacional é uma vertente da ciência que se dedica exclusivamente a estudar a tomada de decisão para auxiliar pessoas e organizações para essas tomadas de decisões.

Para Loesh (2009), a pesquisa operacional é uma ciência estruturada que propõe alternativas de ação em diversas áreas, comparando e fazendo previsões de custos, eficiência e valores.

Fundamentada na estatística e análise de sistemas, utiliza como ferramenta de resolução o computador, dado que problemas reais são grandes e a resolução manual é muitas vezes inviável.

Segundo Caixeta-Filho (2001), a programação linear é uma técnica de programação matemática inserida sob a óptica de modelagem normativa.

Para aplicação do Pesquisa operacional, em casos de problemas lineares, usa-se o método simplex. O método Simplex foi desenvolvido com o intuito de ser utilizada durante a Segunda Guerra Mundial para que os Aliados tivessem uma base técnica para fazer a distribuição ótima de tropas em diferentes frentes (ARENALES et al, 2007).

2.1 Setor Analisado no Contexto Brasileiro

O setor alimentício no Brasil é um dos principais campos da indústria de transformação de acordo com a ABIA (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos). O setor representou 9,8% do PIB brasileiro e foi a maior empregadora entre as indústrias de transformação em 2018.

O setor brasileiro carrega alguns títulos importantes, sendo o maior produtor e exportador de suco de laranja do mundo, maior produtor mundial de carne e segundo maior exportador, maior produtor e exportador de açúcar, maior exportador de café solúvel e segundo maior exportador de óleo de soja.

Alguns números do setor: representa 50,3% da balança comercial brasileira, processa 58% de toda produção agropecuária do Brasil e conta com 1,6 milhões de postos diretos de trabalho.

Para o futuro do setor mundialmente, se fala em grandes inovações para atender a demanda esperada de 9,8 bilhões de pessoas de acordo com o relatório da ONU (Organização das Nações Unidas).

2.2 Problema de Transportes

O problema de transporte é uma ferramenta muito utilizada na administração de empresas, logo que o custo de transporte é de suma importância para o custo de um produto.

De acordo com Andrade (2015) o problema de transporte é o modelo que leva em consideração origens e destinos de produtos e as redes possíveis de caminhos e faz uma modelagem matemática com objetivo de determinar o carregamento do transporte que minimizar o custo total do transporte.

O problema de transportes tem como objetivo disponibilizar o produto no lugar que o mercado solicita.

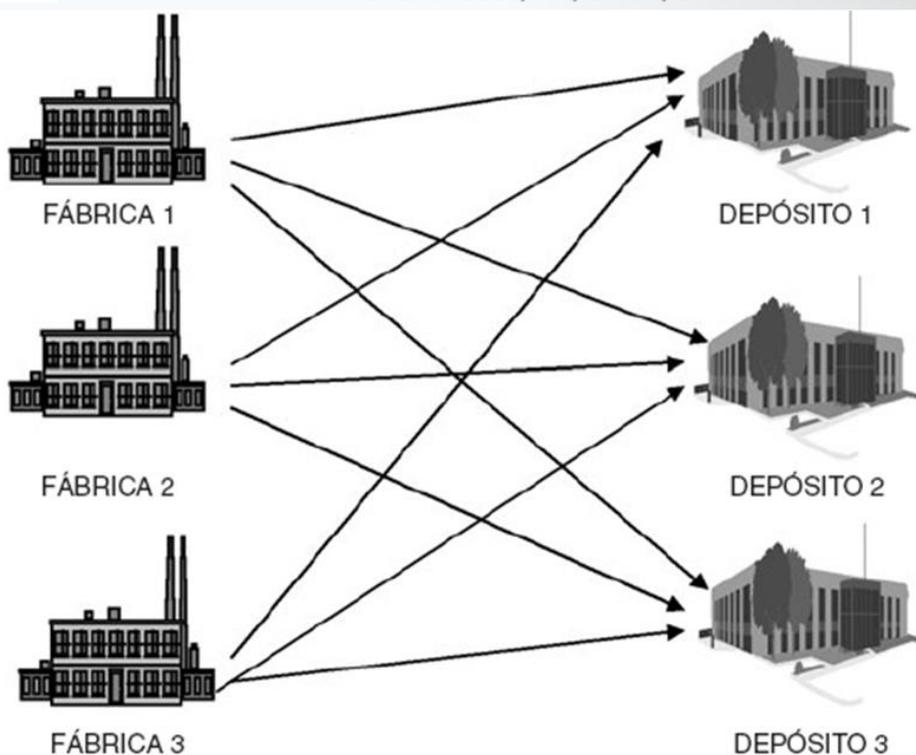


Figura 01: Fabricas para o Depósitos. Fonte: Eduardo Andrade (2015)

A figura 1 mostra os caminhos de distribuição de materiais da fábrica 1 para os três depósitos, para a fábrica 2 para os três depósitos e da fábrica 3 para os três depósitos, mostrando as possibilidades de se realizar o transporte e abastecimento das demandas.

Com isso, para fins de identificar qual caminho da fábrica para depósito gera o melhor custo benefício (Distância e Custo de Operação), a pesquisa operacional entra para tentar minimizar os custos e distâncias entre as fábricas e os depósitos, gerando um retorno financeiro para a companhia.

3. Estudo de Caso

3.1 Escolha do Produto e Processo Analisado

A empresa, do setor alimentício, escolhida, possui sedes tanto internacionais como nacionais, e para o estudo de caso, foi escolhido algumas de suas sedes, que se localizam em Chapeco (SC), Dourados (MS) e Uberlândia (MG), e, os alguns de seus clientes finais ficam instalados em Paranaguá (PR), Duque de Caxias (RJ), Marau (BA) e Rio Verde (GO), montando o processo de entrega de fabricas para clientes finais.

Foi realizado uma análise das capacidades de produção das indústrias, e da capacidade de armazenagem do cliente final, observando que os números retirados da pesquisa vieram em paletes (estrado de madeira, metal ou plástico que é utilizado para movimentação de cargas) que conseguem segurar em torno de 1 tonelada por palete, gerando os números abaixo:

Industria	Produção / Paletes
Chapeco	7.000
Dourados	8.000

Uberlândia	13.000
Total	28.000

Tabela 1: Capacidade de produção. Fonte: Autores (2019)

Cliente Final	Capacidade / Paletes
Paranaguá	5.300
Duque de Caxias	11.400
Marau	4.700
Rio Verde	6.600
Total	28.000

Tabela 2: Capacidade de armazenagem. Fontes: Autores (2019)

A empresa analisada apresentou a seguinte tabela de custos entre transporte das indústrias para o cliente final:

Cliente Final / Fábrica	Paranaguá	Duque de Caxias	Marau	Rio Verde
Chapeco	R\$ 1.700	R\$ 2.740	R\$ 830	R\$ 2.710
Dourados	R\$ 2.500	R\$ 2.215	R\$ 1.300	R\$ 900
Uberlândia	R\$ 4.000	R\$ 1.600	R\$ 1.600	R\$ 600

Tabela 3: Custo por transporte. Fontes: Autores (2019)

Com a tabela foi possível analisar o custo para entregar da fábrica para o cliente final, como um exemplo, o custo de transporte da fábrica em Chapeco, para entregar no cliente final em Paranaguá gera um custo de R\$ 1.700,00 para o transporte de 1 paleta.

Com isso, a intenção é realizar, através da pesquisa operacional, a redução dos custos entregando todos os produtos produzidos das 3 fabricas, para entregar aos clientes finais, usufruindo de toda a capacidade.

3.2 Aplicação do problema de transportes

Para declaração dos índices, parâmetros e modelos matemático do problema de transporte, segue abaixo a descrição.

3.2.1 Índices

Os índices do modelo estão descritos a seguir:

i – Indica a origem $i = 1,2,3$.

Onde 1 indica a cidade de Chapecó, 2 indica a cidade de Dourados e 3 a cidade de Uberlândia.

j – Indica o destino $j = 1,2,3,4$.

Onde 1 indica a cidade de Paranaguá, 2 indica a cidade de Duque de Caxias, 3 a cidade de Marau e 4 a cidade de Rio Verde.

3.2.2 Parâmetros do modelo

Os parâmetros do modelo estão descritos a seguir:

a_i – Oferta do produto na origem i ;

b_j – Demanda do produto no destino j ;

c_{ij} – Custo unitário de transportar uma unidade do produto da origem i para o destino j ;

3.2.3 Variáveis de decisão

As variáveis de decisão do modelo são descritas a seguir, onde:

X_{ij} – representa a quantidade transportada do produto da origem i para o destino j ;

Variáveis	De – Para
x11	Chapeco – Paranaguá
x12	Chapeco – Duque de Caxias
x13	Chapeco – Marau
x14	Chapeco – Rio Verde
x21	Dourados – Paranaguá
x22	Dourados – Duque de Caxias
x23	Dourados – Marau
x24	Dourados – Rio Verde
x31	Uberlândia – Paranaguá
x32	Uberlândia – Duque de Caxias
x33	Uberlândia – Marau
x34	Uberlândia – Rio Verde

Tabela 04: Identificação das variáveis de decisão. Fonte: Autores (2019)

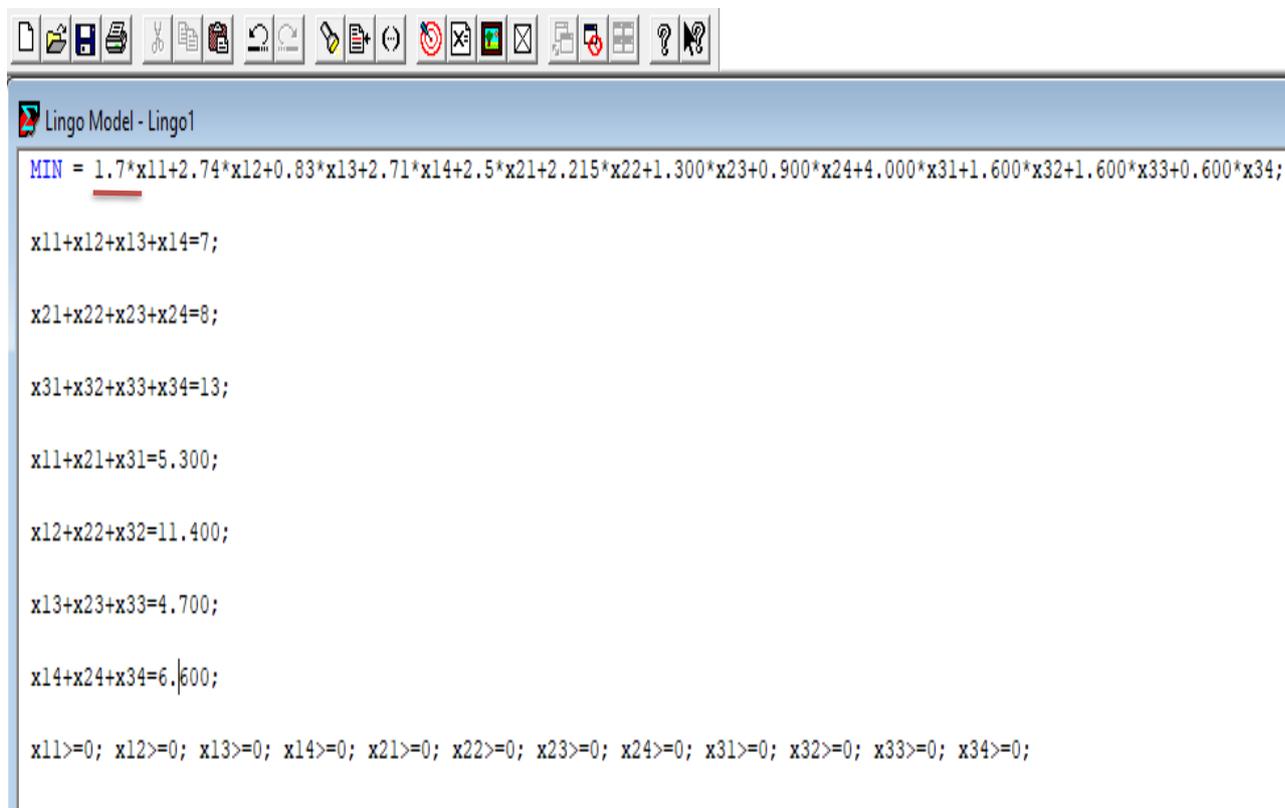
3.2.4 Modelo matemático

O modelo matemático de transporte é o seguinte:

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimizar} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\
 & \text{s. a} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad \forall i \\
 & \quad \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad \forall j \\
 & \quad \quad x_{ij} \geq 0
 \end{aligned}$$

3.2.5 Aplicação no software LINGO

Aplicando o modelo matemático de transportes descrito na seção 3.2.4 no software LINGO, foi obtido a tela a seguir:



```
MIN = 1.7*x11+2.74*x12+0.83*x13+2.71*x14+2.5*x21+2.215*x22+1.300*x23+0.900*x24+4.000*x31+1.600*x32+1.600*x33+0.600*x34;

x11+x12+x13+x14=7;

x21+x22+x23+x24=8;

x31+x32+x33+x34=13;

x11+x21+x31=5.300;

x12+x22+x32=11.400;

x13+x23+x33=4.700;

x14+x24+x34=6.600;

x11>=0; x12>=0; x13>=0; x14>=0; x21>=0; x22>=0; x23>=0; x24>=0; x31>=0; x32>=0; x33>=0; x34>=0;
```

Figura 02: Identificação do processo no Lingo. Fonte: Autores (2019)

A fim de reduzir os números do processo, foi realizado os valores em forma de milhares, ou seja, o custo seria de R\$ 1.700,00, foi inserido no programa do LINGO o número 1.7 (em destaque na Figura 02).

O resultado obtido através do sistema LINGO foi apresentado a seguir:

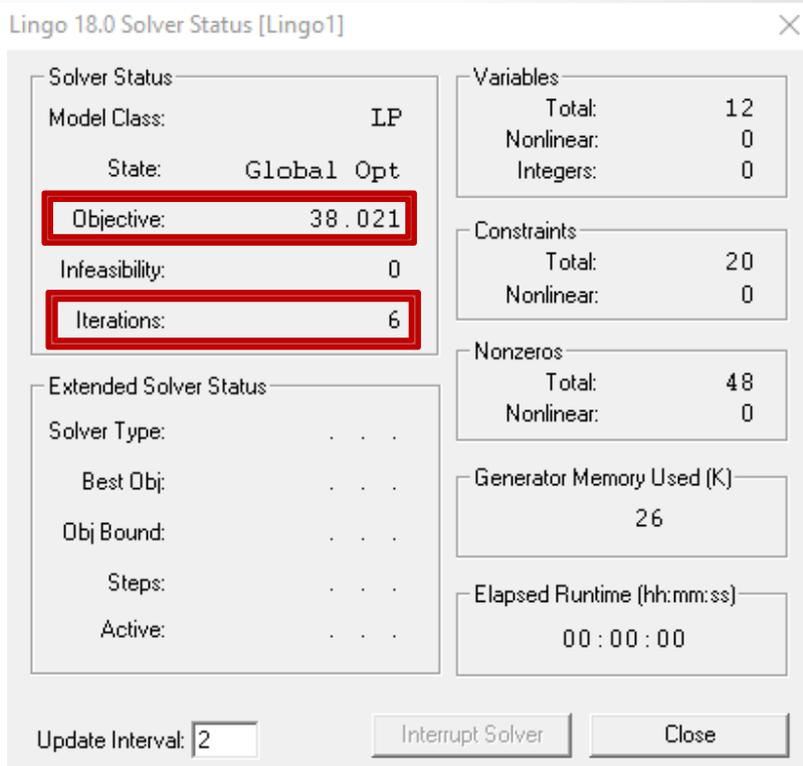


Figura 03: Resultado do sistema LINGO. Fonte: Autores (2019)

O resultado obtido foi de 6 iterações (chamado na programação de repetição de uma ou mais ações), para chegar no valor mínimo de R\$ 38.021.000,00 (trinta e oito milhões, vinte e um mil reais) para a realização das entregas das indústrias para seus respectivos clientes finais.

Com a figura 03 é possível observar apenas os valores máximos do processo, sem identificar a quantidade do envio de uma fábrica para os clientes finais, porém, a figura a seguir apresenta as quantidades que devem ser enviadas por suas rotas mostradas na tabela 04.

```

Global optimal solution found.
Objective value:                38.02100
Infeasibilities:                0.000000
Total solver iterations:        6
Elapsed runtime seconds:        0.14
  
```

```

Model Class:                    LP
  
```

```

Total variables:                12
Nonlinear variables:           0
Integer variables:             0

Total constraints:              20
Nonlinear constraints:         0

Total nonzeros:                48
Nonlinear nonzeros:           0
  
```

Variable	Value	Reduced Cost
X11	5.300000	0.000000
X12	0.000000	1.310000
X13	1.700000	0.000000
X14	0.000000	2.280000
X21	0.000000	0.330000
X22	0.000000	0.315000
X23	3.000000	0.000000
X24	5.000000	0.000000
X31	0.000000	2.130000
X32	11.40000	0.000000
X33	0.000000	0.600000
X34	1.600000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	38.02100	-1.000000
2	0.000000	-0.430000
3	0.000000	-0.900000
4	0.000000	-0.600000
5	0.000000	-1.270000
6	0.000000	-1.000000
7	0.000000	-0.400000
8	0.000000	0.000000
9	5.300000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	1.700000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000
15	3.000000	0.000000
16	5.000000	0.000000
17	0.000000	0.000000
18	11.40000	0.000000
19	0.000000	0.000000
20	1.600000	0.000000

Figura 04: Resultado das variáveis. Fonte: Autores (2019)

3.3 Resultados

Por fim, foi observado na figura 04, a identificação de quais fabricas serão utilizadas para a realização do transporte dos paletes para serem entregues aos clientes finais.

Com isso, tem-se o transporte de Chapeco para Paranaguá (x_{11} com 5.300 paletes ou 5.300.000 kg de alimentos); Chapeco para Marau (x_{13} com 1.700 paletes ou 1.700.000 kg de alimentos); Dourados para Marau (x_{23} com 3.000 paletes ou 3.000.000 kg de alimentos); Dourados para Rio Verde (x_{24} com 5.000 paletes ou 5.000.000 kg de alimentos); Uberlândia para Duque de Caxias (x_{32} com 11.400 paletes ou 11.400.000 kg de alimentos); Uberlândia para Rio Verde (x_{34} com 1.600 paletes ou 1.600.000 kg de alimentos).

A figura a seguir ilustra os resultados obtidos.

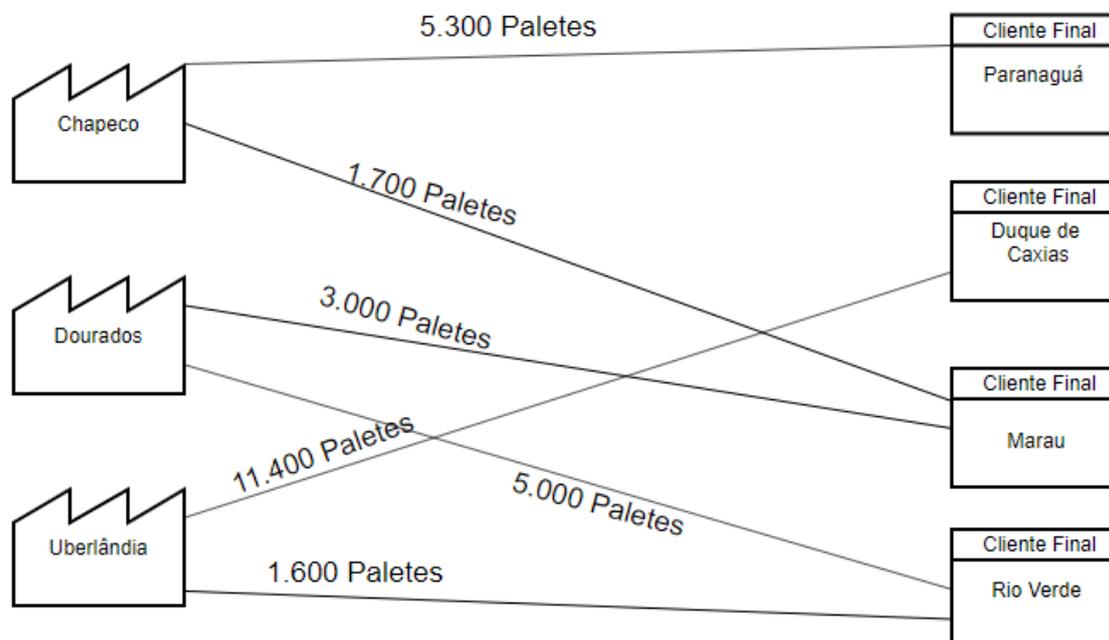


Figura 05: Fluxo de Paletes para Clientes Finais. Fonte: Autores (2019)

Com o resultado, foram obtidos as melhores rotas necessárias para a realização dos transportes dos alimentos das fábricas para os clientes finais, com um custo de R\$ 38.021.000,00 (trinta e oito milhões, vinte e um mil reais) e o transporte de 28.000.000 kg de alimentos para os respectivos clientes finais, gerando o melhor custo benefício para a organização considerando critérios de otimalidade.

4. Considerações finais

Analisando o projeto no seu fim, pode-se concluir que foi atendido o objetivo da empresa de minimizar os custos de distribuição dos produtos acabados.

Portanto, com o uso de Pesquisa Operacional, foi possível entender e desenvolver expressões para que fosse atingido uma melhor rota considerando critérios de otimalidade, ou seja, buscando minimizar os custos totais.

Com base no estudo de caso, foi possível desenvolver o conhecimento do software LINGO, que apresentou o resultado final com agilidade e exatidão para informar suas rotas e quantidades de transportes para a companhia alimentícia.

Como propostas de estudos futuros, sugere-se que sejam incorporados a metodologia deste trabalho para as outras filiais da empresa.

5. Referências

ABIA. Relatório anual de Vendas. Disponível em:

<<https://www.abia.org.br/vsn/temp/z2019422RelatorioAnual2018.pdf>>, Acesso em: 10 out. 2019.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de; **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões** – 5ª Edição – Rio de Janeiro: LTC, 2015.

ARENALES, M. ARMENTANO, V. MORABITO, R. YANESSE, H. **Pesquisa Operacional: para cursos de engenharia** – 3ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

HILLIER, Frederick S.; LIBERMAN, Gerald J.; **Introdução à Pesquisa Operacional**- 3ª Edição. 1988.

Saraiva, 2013.

LOESH, C.; HEIN, N. **Pesquisa operacional**. São Paulo, 2009.

LONGARAY, André Andrade; **Introdução à pesquisa operacional** – 1ª Edição – São Paulo: 2016.

PIZZOLATO, N.D.; GANDOLPHO, A.; **Técnicas de otimização**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.