

**PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA DIMENSIONAMENTO DE FROTA DE
UM OPERADOR LOGÍSTICO**

LINEAR PROGRAMMING FOR FLEET SIZING OF A LOGISTIC OPERATOR

PROGRAMACIÓN LINEAL PARA DIMENSIÓN DE FLOTA DE UN OPERADOR LOGÍSTICO

Pablo Goulart

Graduado em Administração pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Endereço profissional: Av. Itália, s/n - Km 8, Carreiros, CEP: 96203-900. Rio Grande, RS, Brasil
Telefone profissional: (53) 3233-6635
E-mail: pablogoulart@live.com

André Andrade Longaray

Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Professor Titular na Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Endereço profissional: Av. Itália, s/n - Km 8, Carreiros, CEP: 96203-900. Rio Grande, RS, Brasil
Telefone profissional: (53) 3233-6635
E-mail: longaray@yahoo.com.br

Paulo Roberto da Silva Munhoz

Graduado em Psicologia pela Universidade Católica de Pelotas (UCPel)
Professor Adjunto e Diretor da Estação de Apoio Antártico (ESANTAR-PROANTAR) na Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Endereço profissional: Av. Itália, s/n - Km 8, Carreiros, CEP: 96203-900. Rio Grande, RS, Brasil
Telefone profissional: (53) 3233-6635
E-mail: paulorsmunhoz@gmail.com

Thauane Adamoli Amaral

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Bolsista de Iniciação Científica (FAPERGS) do Laboratório de Estudos e Pesquisas em Metodologias de Sistemas de Apoio à Decisão (LabSADi) na Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Endereço profissional: Av. Itália, s/n - Km 8, Carreiros, CEP: 96203-900. Rio Grande, RS, Brasil
Telefone profissional: (53) 99924-8771
E-mail: thauaneadamoli@gmail.com

Artigo recebido em 15/09/2020. Revisado por pares em 19/03/2021. Reformulado em 25/03/2021. Recomendado para publicação em 01/05/2021, por Ademar Dutra (Editor Científico). Publicado em 27/05/2021. Avaliado pelo Sistema *double blind review*.

©Copyright 2021 UNISUL-PPGA/Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios. Todos os direitos reservados. Permitida citação parcial, desde que identificada a fonte. Proibida a reprodução total. Revisão gramatical, ortográfica e ABNT de responsabilidade dos autores.

RESUMO

O objetivo do presente estudo é propor uma opção de dimensionamento de frota, utilizando um algoritmo de programação linear inteira, para determinar a frota ótima de veículos – entre próprios e terceirizados – para uma empresa de transporte rodoviário de contêineres. Metodologicamente, o propósito do estudo é classificado como pesquisa aplicada. Quanto ao delineamento, é classificada como estudo de caso. O método utilizado no estudo será modelagem matemática. Como resultados, o estudo determina qual a quantidade de veículos próprios que deve ser adquirida pela empresa, de forma a compor uma frota mista, tendo em vista a redução nos custos operacionais para empresa.

Palavras-chave: Dimensionamento de frota; Programação Linear Inteira; Modelagem.

ABSTRACT

The objective of the present study is to propose an option for fleet sizing, using a linear programming algorithm, to determine the optimal fleet of vehicles - between own and outsourced - for a road container transport company. The study is classified as applied research. As for the research design, it is classified as a case study. The method will be mathematical modeling. As a result, the study determines the quantity of own vehicles that must be acquired by the company, in order to compose a mixed fleet, with a view to reducing operating costs for the company.

Keywords: Fleet sizing; Integer Linear Programming; Modeling.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es proponer una opción de dimensionamiento de la flota, mediante un algoritmo de programación lineal, para determinar la flota óptima de vehículos - entre propios y subcontratados - para una empresa de transporte de contenedores por carretera. El estudio se clasifica como investigación aplicada. Encuanto al diseño de la investigación, se clasifica como um estudio de caso. El método será el modelado matemático. Como resultado, se determinará la cantidad de vehículos propios que debe adquirir la empresa, com el fin de componer una flota mixta, para reducir los costos operativos de la empresa.

Palabras clave: Dimensionamiento de flota; Programación lineal entera; Modelado.

1 INTRODUÇÃO

A atividade de transportes é um instrumento fundamental para o funcionamento de qualquer economia. A evolução do transporte de mercadorias acompanha as necessidades de abastecimento e econômicas da sociedade como um todo. Devido ao aumento da necessidade dos transportes de carga nos dias atuais, motivada pela expansão dos negócios via internet (e-commerce), a logística assume papel fundamental no planejamento e execução da entrega de produtos no menor tempo possível, ao menor custo e com o menor índice de riscos. Assim, a logística funciona como um elo entre o mercado e as atividades estratégicas, táticas e operacionais da empresa.

Igualmente, o transporte de cargas é uma atividade essencial e necessária para a movimentação da economia brasileira. Devido à vasta extensão territorial do país, há a necessidade de uma rede ampla de sistemas de transporte, como o rodoviário, ferroviário, aéreo e aquaviário. No entanto, cerca de 60% do transporte de cargas concentra-se no rodoviário (CNT, 2017), o que gera forte impacto nos custos logísticos e no meio ambiente, além de áreas como o setor energético, que depende principalmente do petróleo para o fornecimento do combustível para o transporte rodoviário de cargas.

Um dos grandes desafios das empresas de transporte rodoviário de cargas é a manutenção de patamares de custos que garanta uma boa margem de ganhos para os sócios ou acionistas e não impacte fortemente no preço praticado para os fretes, de modo a não perderem clientes. Diante desse cenário, independentemente da posse direta ou indireta de frota, ou da contratação dos serviços de terceiros, torna-se fundamental o monitoramento eficiente da gestão e do dimensionamento da frota de veículos, para garantir o diferencial competitivo necessário para a sobrevivência dos operadores logísticos (ARAÚJO, 2014).

Assim sendo, o presente trabalho propõe uma opção de dimensionamento de frota utilizando um algoritmo de programação linear inteira, para determinar a frota ótima de veículos – entre próprios e terceirizados – para uma empresa de transporte rodoviário de contêineres situada no interior do Estado do Rio Grande do Sul, que atualmente possui apenas veículos terceirizados. O estudo visa determinar qual a quantidade de veículos próprios que

deve ser adquirida pela empresa, de forma a compor uma frota mista, tendo em vista a redução nos custos operacionais e ganhos de eficiência para empresa.

Para atingir o objetivo principal, o estudo será baseado num modelo de programação inteira para determinar o ponto ótimo de operação entre veículos próprios e contratados de um operador logístico rodoviário. Os resultados pretendidos são a redução no custo de operação e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para operação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CUSTO DE FRETE

A logística abrange toda a cadeia produtiva, desde os fluxos de entrada de matéria-prima até a entrega do produto ao consumidor final. Um dos requisitos para que uma empresa se torne cada vez mais competitiva é a eficiência da cadeia de logística integrada. Segundo Bowersox e Closs (2001), a cadeia de logística integrada consiste em gerenciar, estrategicamente, os fluxos de negócios, de informações, de materiais e financeiros, bem como as parcerias das empresas com os fornecedores e clientes.

Alvarenga e Novaes (2000) ressaltam ainda que a logística incorpora diversos fatores que ultrapassam o domínio estrito do transporte, cobrindo também aspectos ligados à comercialização, estoques, marketing, tratamento da informação, etc. O subsistema de transporte é um dos mais importantes, em razão dos impactos que produz nos custos, no nível de serviço e nas demais variáveis do problema logístico.

O transporte é a atividade mais importante das decisões logísticas, pois absorve, em média, de um a dois terços dos custos logísticos (BALLOU, 2006). Portanto, o bom gerenciamento de transportes pode garantir melhores margens para a empresa, pois é passível de alterar significativamente as despesas operacionais, o montante do ativo fixo e o grau de satisfação do cliente, por meio do aumento da disponibilidade de produtos, redução nos tempos de entrega, entre outros benefícios.

As decisões com relação à propriedade da frota, determinação dos fatores de custo, qualidade do serviço e rentabilidade são variáveis importantes para a tomada de decisão

logística. Também deve ser feita uma avaliação financeira dos impactos no fluxo de caixa da empresa, além de calcular a taxa de retorno dos investimentos ou desinvestimentos para os casos em que a empresa possui frota própria e queira terceirizá-la (ARAÚJO, 2014). Desse modo, os critérios que auxiliam na definição sobre a propriedade da frota devem estar embasados num processo estruturado, bem definido e transparente.

A rede rodoviária no Brasil é um elemento fundamental para a integração das cadeias produtivas, pois une mercados e promove a conexão de regiões e Estados brasileiros. A matriz de transportes predominante no Brasil é a rodoviária, que corresponde a cerca de 96% do transporte de passageiros e a 61,8% do transporte de cargas (CNT, 2017). Houve aumento de 194,1% na frota de veículos de 2001 para 2016, porém as rodovias possuem ainda graves problemas de qualidade, comprometendo a segurança. Segundo dados da Confederação Nacional do Transporte - CNT (2017) mais da metade dos trechos de rodovias avaliados apresentaram problemas, sendo que do total da malha (1,7 milhão de km) apenas 12,2% (210.618,8 km) são pavimentados.

Sendo o transporte rodoviário o principal elo com os demais modais (aéreo, aquaviário e ferroviário) e o mais utilizado para o transporte de cargas no Brasil, é importante detalhar a composição de seus custos. A tarifa de transferência do transporte é composta basicamente por cinco parcelas, que buscam ressarcir e equilibrar as contas do transportador das despesas realizadas com a prestação do serviço: Frete-peso, Frete-valor, GRIS, Taxas e Pedágio (GONÇALVES, 2011).

O Frete-peso engloba os custos diretos e indiretos, como os custos operacionais do veículo, despesas administrativas e de terminais, bem como a taxa de lucro operacional (GONÇALVES, 2011).

O Frete-valor, mais conhecido no mercado como *ad-valorem*, tem a finalidade de resguardar o transportador dos riscos de acidentes e avarias. Normalmente é utilizado pelo transportador para recuperar os custos com o seguro obrigatório de responsabilidade civil, cobrando um percentual sobre o valor da mercadoria transportada (GONÇALVES, 2011).

O GRIS (Gerenciamento de Risco) tem por objetivo cobrir as despesas com medidas adotadas para a prevenção de perdas e riscos no caso de acidentes, roubos, extravio de cargas, Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

entre outros. As medidas de prevenção mais utilizadas no mercado são: análise de perfil dos funcionários envolvidos na operação, escolta armada, rastreamento e monitoramento preventivo. Estas taxas normalmente são cobradas somente quando os serviços são efetivamente prestados e visam remunerar os serviços adicionais necessários à prestação de serviços (GONÇALVES, 2011).

Diferente dos demais custos, o Pedágio representa os valores pagos pelo transportador durante todo o percurso da viagem contratada. É prerrogativa do contrato de transporte obrigar ao transportador a receber os bens e/ou mercadorias, transportá-los, conservá-los e entregá-los no destino nas mesmas condições em que a ele foram confiadas e entregues (GONÇALVES, 2011).

2.2 DIMENSIONAMENTO DE FROTA

O dimensionamento de frota nas operações de transportes tem papel decisivo na competitividade das empresas. Determinar a quantidade de entregas, veículos e capacidade é uma tarefa essencial. Assim, é necessário pensar na frota em diversos aspectos, como o peso da carga, trajeto que será realizado, condições da rota ou até mesmo a ociosidade para subcontratação de terceiros, e para todas essas variáveis é preciso elaborar um dimensionamento de frota.

Segundo Stringher (2004), o tamanho ideal da frota deve ser calculado com base na produtividade, tempo de ciclo e a quantidade de veículos necessários. Os modelos de dimensionamento de frota geralmente lidam com a seguinte problemática: conhecida a demanda por viagens e as características de cada viagem, um número ideal de veículos deverá ser utilizado para satisfazer a demanda em relação a determinado critério, por exemplo, a minimização do custo total (RUSSIANO; ALMEIDA FILHO, 2010).

De acordo com Turnquist (1986), o dimensionamento de frota é um problema de curto prazo dos operadores logísticos. Nesse cenário o autor inclui caminhões, ônibus, aviões, trens, etc. O modelo propõe um processo de construção de programação de veículos com as seguintes variáveis: projetar um conjunto de rotas sobre as quais os veículos irão operar, alocar toda a capacidade de frota disponível entre várias rotas, alocar os veículos para os movimentos programados, determinar o fluxo de cargas através de rede e determinar os

Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

necessários fluxos de veículos vazios provocados pelo desequilíbrio na movimentação das cargas (TURNQUIST, 1986).

Segundo Barth e Michel (2012), a problemática do dimensionamento de frota é abordada de três maneiras: como um problema de roteirização, como um problema de complexidade matemática de roteirização e como um problema com base no tempo de ciclo. Mourad (2015) considerou um problema de roteirização e programação de veículos com carga completa e janelas de tempo, com viagens entre os pontos de origem e destino.

Para Barth e Michel (2012), os modelos de dimensionamento de frota foram bastante desenvolvidos ao longo dos últimos 50 anos e são classificados por serem de grande complexidade matemática.

2.3 PROGRAMAÇÃO LINEAR E PROGRAMAÇÃO INTEIRA

A otimização discreta, correspondente à caracterização teórica dos problemas de programação inteira, corresponde à análise e solução de problemas matematicamente modelados como a minimização ou maximização de uma medida de valor sobre um espaço viável envolvendo restrições lógicas mutuamente exclusivas (PARKER, RARDIN, 1988). O cumprimento de tais restrições lógicas pode ser visto como abstratamente. Em geral, os tópicos de otimização discreta associam-se ao campo da análise combinatória e da seleção de arranjos dentre diferentes opções de eventos.

O estudo dos arranjos está no centro da definição de combinatória. Consequentemente, a otimização discreta é, de fato, um ramo da análise combinatória. Essa definição decorre da noção de otimização discreta, cujo elemento de escolha é inevitável entre alternativas mutuamente exclusivas. Uma classificação popular reconhece quatro formas de problemas combinatórios: versus exibição ou avaliação de arranjos requeridos, versus enumeração ou contagem de arranjos possíveis, versus extremos de alguma medida sobre arranjos (PARKER, RARDIN, 1988). Nesse sentido, equaciona-se a otimização discreta com o último ramo de extração da combinatória.

A programação linear é sem dúvida o mecanismo mais natural para formular uma gama de problemas com esforço modesto. Um problema de programação linear é
Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

caracterizado, como o nome indica, pelas funções lineares dos desconhecidos; o objetivo é linear nas incógnitas e as restrições são igualdades lineares ou desigualdades lineares nas incógnitas.

Um programa linear (LP) é um problema de otimização no qual a função objetivo é linear nas incógnitas e as restrições consistem em igualdades lineares e desigualdades lineares. A forma exata dessas restrições pode diferir de um problema para outro, mas qualquer programa linear pode ser transformado em uma forma em que todas as restrições e a função objetivo têm uma representação linear sobre as variáveis-objetivo (LUENBERGER, YUYE, 2008).

3 METODOLOGIA

A metodologia é classificada com base na estrutura proposta por Roesch (2013), sendo os procedimentos metodológicos listados quanto ao propósito, delineamento e técnicas de coleta e análise.

Quanto ao propósito, é classificada como pesquisa aplicada, pois refere-se ao método científico que envolve a aplicação prática da ciência, propondo soluções reais para os problemas (ROESCH, 2013). Assim alinhando-se com o objetivo do estudo, que visa, baseado num modelo de programação inteira, determinar o ponto ótimo de operação entre veículos próprios e contratados de um operador logístico rodoviário.

No que tange ao delineamento, é classificada como estudo de caso, que consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita um amplo e detalhado conhecimento (GIL, 2002).

O método de pesquisa foi a modelagem matemática, que se traduz em processo dinâmico utilizado para obtenção de modelos matemáticos e consiste, essencialmente, na arte de transformar situações da realidade em problemas matemáticos (BASSANEZI, 2002). O presente estudo foi realizado em um operador logístico que atua na cidade de Rio Grande, no Rio Grande do Sul, e as características da operação foram possíveis a partir da análise de relatórios e documentos do ano de 2017, disponibilizados pela empresa.

4 MODELAGEM

Para elaborar a modelagem do problema é importante ter definido o objetivo do trabalho. Primeiramente, trata-se de um problema típico de programação linear para transporte e logística, pois implica em delimitar uma determinada quantidade de caminhões próprios e de terceiros em virtude da estrutura de custos e da rentabilidade da operação.

Neste sentido, é importante delimitar as variáveis do problema, a estrutura da função objetivo e das restrições. Ressalta-se que um problema de programação inteira é um programa de otimização ou viabilidade matemática no qual algumas ou todas as variáveis são restritas a inteiros. Em muitos cenários, o termo refere-se à programação linear inteira (ILP), na qual a função objetivo e as restrições (além das restrições de números inteiros) são lineares. A seguir, faz-se a caracterização das variáveis.

Caracterização de variáveis

A empresa em questão tem uma demanda de 1.425 viagens por ano, com distâncias entre 20 e 1.242 km em cada uma delas. Neste sentido, pode-se delimitar como variável-objetivo a receita obtida com cada uma das viagens (rv), antes de se considerarem os custos fixos (cf) e a margem de contribuição, que não devem ser considerados para o problema de transporte.

O problema traduz-se na somatória de cada uma das 'n' viagens que devem ser feitas pelos caminhões, sejam eles próprios ou terceirizados. Cada viagem é feita por um caminhão que transporta uma unidade de produto (considerada desta forma, mas trata-se de um contêiner fechado) e, portanto, é prático delimitar o problema em termos de unidades monetárias.

Em termos de restrições, cada veículo próprio deve fazer no mínimo 10 viagens no mês, isto é, se adquiridos os serviços de terceiros as viagens são avulsas sem restrições. São dois tipos de caminhões que podem ser adquiridos: próprio (x) ou de terceiro (y) e o tempo de ciclo (τ) de cada viagem é 2,5 dias. O uso dos caminhões próprios incorre em custos de manutenção (cm), custos de combustível (ccb), e outros custos de transporte e transação,

como pedágios, seguro e emergências (caracterizados por co). Os custos de terceiros são apenas delimitados a partir dos custos de frete (cf).

Ainda em termos de restrições, é importante destacar que o tempo útil de trabalho de cada veículo é de 26 dias por mês e cada veículo transporta apenas um volume por viagem (transporta só um contêiner e cada viagem refere-se a um contêiner). Existem ainda formas de tornar mais preciso o problema-objetivo, sobre os quais tratar-se-ão primeiramente as restrições. No que tange às variáveis, entretanto, não deve haver inclusões, pois todas as considerações sobre receita que variam de acordo com o modal, de forma que se tenha uma característica precisa sobre cada um dos custos associados a veículos próprios e de terceiros – são considerados, para os fins de análise deste trabalho. Em suma, têm-se as seguintes variáveis:

Conjuntos

- I , o conjunto de origens;
- J , o conjunto de cidades destino, neste caso composto de apenas um elemento;
- M , o conjunto de modais.

Parâmetros

- d_{ij} , distância entre os locais i e j ;
- c_{tij} , custo de transportar uma unidade de carga entre as localidades i e j , com $c_{tij} = h d_{ij} + c_{fij}$, onde h é o custo por quilômetro, d_{ij} é a distância e c_{fij} é o custo de embarque e recepção nos locais i e j ;
- c_{tm} , custo de transportar uma unidade de carga pelo modal m , com $c_{tm} = h_m d_{ij} + c_{fm}$, onde h_m é o custo por quilômetro, d_{ij} é a distância e c_{fm} é o custo de embarque e recepção pelo modal m ;
- s_i , quantidade de mercadoria ofertada no ponto de origem i ;
- d_j , quantidade de mercadoria demandada na localidade j .

Variáveis Objetivo

- S_{ij} , quantidade de mercadoria transportada entre as localidades i e j .
- A_m , quantidade de mercadoria transportada pelo modal m .

Caracterização do Problema Objetivo Aberto

A partir da descrição de variáveis, entende-se que o problema objetivo pode ser completamente definido da forma como segue:

$$\min_{S,A} \sum_{i,j \in I} c_{tij} S_{ij} + \sum_{m \in M} c_{tm} A_m$$

Isto é, define-se o problema de transporte como um problema linear de minimização de custos, cujas variáveis objetivo são a quantidade de mercadoria transportada entre duas regiões e a quantidade de mercadorias transportada pelos modais de carga. Cada uma das mercadorias tem em si um custo de transporte e estocagem atrelado, onde precisa ser considerada a soma entre estes custos e os custos específicos de modal que está sendo utilizado para cada mercadoria.

Caracterização das Restrições

As restrições aqui consideradas são estruturadas de forma a se ter uma boa perspectiva sobre os custos associados a cada um dos modais de transporte. Não são impostas restrições à receita das viagens, a não ser da estrutura de quantidade de viagens no mês, o que é particularmente irrelevante em termos de modelagem. Assim, as restrições para o problema proposto concentram-se na perspectiva dos custos.

Primeiramente, é importante que se note que o que for transportado para cada um dos centros de distribuição será equivalente à oferta da empresa naquela região. Naturalmente, por princípio econômico tem-se que a oferta (considerando-se os estoques) é igual à demanda, portanto o que for transportado para a região deve ser equivalente à demanda da região. São resumidas como segue:

$$\sum_{i \in I} S_{ij} \leq s_i$$

$$\sum_{j \in I} S_{ij} \geq d_j$$

Ademais, é importante notar que o que for transportado entre todos os centros de distribuição e plantas será igual ao que for transportado por cada um dos modais de transporte. Neste sentido, tudo o que for produzido e transportado pela empresa equivale à quantidade de mercadorias transportada nos modais:

$$\sum_{i,j \in I} S_{ij} = \sum_{m \in M} A_m$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar empiricamente o modelo supracitado, adotam-se as estratégias metodológicas e epistemológicas de forma que se avaliam dados empiricamente obtidos da empresa, com os dados de fretes de todo o ano de 2017. A empresa trabalha apenas com modais terceirizados e quer estudar a viabilidade da implementação de uma operação incorporada com caminhões próprios. Os dados são estruturados de acordo com os diferentes modais empiricamente trabalhados pela mesma.

As resoluções serão executadas utilizando o software R, que possui diversos pacotes de frameworks voltados para a simulação e solução de sistemas lineares e não lineares, em problemas de otimização restrita e irrestrita, com condições de igualdade e desigualdade, estáticas ou dinâmicas. Por se tratar de um software completo, diversos aspectos podem ser discutidos a partir da implementação dos pacotes.

Como se busca avaliar as soluções e os algoritmos utilizados para resolvê-las, entende-se necessário discutir todos os aspectos envolvidos na formulação dos problemas aqui descritos. Portanto, discutem-se as simplificações e generalizações dos parâmetros aqui abordados, as interfaces gráficas que devem estar presentes para análise de resultado de simulações, os valores e os parâmetros que devem ser considerados para as soluções, a parametrização do problema empírico em sua amplitude de condições, e os resultados que se

Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

espera obter com as estratégias aqui discutidas. Para o conjunto de dados foram obtidas informações dos custos de fretamento terceirizados, cobrados enquanto valor único a depender da distância entre as cidades de destino e o Porto de Rio Grande. Os custos próprios incluem os custos fixos e variáveis associados à operação e a construção de cenários de quantidade de veículos financiados (Tabela 1).

Tabela 1 - Custos de modal próprio

| Conta | Tipo | Valor |
|--|-----------------|------------------------------|
| Depreciação | Fixo | R\$2.240,07 |
| Remuneração de capital | Fixo | R\$1.569,59 |
| Licenciamento + IPVA – SEGURO | Fixo | R\$629,42 |
| Salário do motorista + encargos | Fixo | R\$3.741,00 |
| Parcela Caminhão | Fixo | De acordo com Cenário |
| Seguro | Fixo | R\$1.252,65 |
| Despesas | Fixo | R\$245,59 |
| Custos Fixos | Fixo | R\$9.678,32 + Parcela |
| Manutenção | Variável | R\$0,25 |
| Pneus | Variável | R\$0,21 |
| Combustível | Variável | R\$1,09 |
| Arla 32 | Variável | R\$0,03 |
| Óleo Carter | Variável | R\$0,02 |
| Custos Variáveis (Por quilômetro) | Variável | R\$1,61 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Os custos foram obtidos através de consultas aos sites de montadoras e a caminhoneiros autônomos, que indicaram o modelo G-400 6X2 da Scania enquanto o cavalo com o melhor custo-benefício, ao passo que indicaram o modelo P. Contr 3 Eixos da Random como a melhor carreta. Adotando-se um financiamento através do programa do BNDES, a taxa de juros mais baixa encontrada foi de 0,58% ao mês, sendo financiados 70% do valor de ambos os bens. O valor de mercado do cavalo é de R\$ 271.428,57, enquanto da carroceria é de R\$ 24.285,71, sendo necessário financiar um valor total de R\$ 207.000,00, em até 72 vezes (prazo optado para referenciar a construção dos cenários), com parcelas de R\$ 3.525,17.

Considerando-se o tempo médio de 2,5 dias por viagem, delimitou-se a capacidade de 120 viagens por ano para cada caminhão, ao passo que existe uma demanda de 1.425 entregas (com base nos dados do ano de 2017), exigindo assim um total de 12 caminhões para garantir a oferta equivalente à demanda anual.

Na Tabela 2 pode-se observar o custo do transporte terceirizado (frete) para cada uma das regiões, assim como os custos por cenários, onde cada cenário representa o número de veículos próprios.

Tabela 2 - Custos de transportes

| Destino | Frete | Cenário 2 | Cenário 4 | Cenário 6 | Cenário 8 | Cenário 10 | Cenário 12 |
|---------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Antônio Prado/RS | 2128,42 | 1642,80 | 1622,64 | 1615,91 | 1625,71 | 1635,50 | 1645,29 |
| Barão/RS | 2017,39 | 1440,54 | 1420,38 | 1413,66 | 1423,45 | 1433,24 | 1443,04 |
| Bento Gonçalves/RS | 2027,39 | 1453,39 | 1433,22 | 1426,50 | 1436,29 | 1446,09 | 1455,88 |
| Cachoeirinha/RS | 1639,88 | 1125,92 | 1105,76 | 1099,04 | 1108,83 | 1118,62 | 1128,42 |
| Canela/RS | 2017,39 | 1488,70 | 1468,54 | 1461,82 | 1471,61 | 1481,40 | 1491,19 |
| Canoas/RS | 1639,88 | 1119,50 | 1099,34 | 1092,62 | 1102,41 | 1112,20 | 1122,00 |
| Caxias do Sul/RS | 2027,39 | 1495,12 | 1474,96 | 1468,24 | 1478,03 | 1487,82 | 1497,61 |
| Eldorado do Sul/RS | 1646,73 | 1045,66 | 1025,50 | 1018,78 | 1028,57 | 1038,36 | 1048,16 |
| Encantado/RS | 2128,48 | 1524,01 | 1503,85 | 1497,13 | 1506,92 | 1516,71 | 1526,51 |
| Estância Velha/RS | 1763,43 | 1225,45 | 1205,28 | 1198,56 | 1208,35 | 1218,15 | 1227,94 |
| Esteio/RS | 2128,48 | 1524,01 | 1503,85 | 1497,13 | 1506,92 | 1516,71 | 1526,51 |
| Farroupilha/RS | 2027,39 | 1418,07 | 1397,91 | 1391,19 | 1400,98 | 1410,77 | 1420,56 |
| Garibaldi/RS | 2027,39 | 1424,49 | 1404,33 | 1397,61 | 1407,40 | 1417,19 | 1426,98 |
| Gravataí/RS | 1656,88 | 1161,24 | 1141,08 | 1134,35 | 1144,15 | 1153,94 | 1163,73 |
| Montenegro/RS | 1830,82 | 1257,55 | 1237,39 | 1230,67 | 1240,46 | 1250,25 | 1260,04 |
| Nova Bassano/RS | 2246,42 | 1687,74 | 1667,58 | 1660,86 | 1670,65 | 1680,44 | 1690,24 |
| Nova Petrópolis/RS | 1830,82 | 1344,23 | 1324,07 | 1317,35 | 1327,14 | 1336,93 | 1346,72 |
| Nova Prata/RS | 2246,42 | 1646,01 | 1625,85 | 1619,12 | 1628,92 | 1638,71 | 1648,50 |
| Novo Hamburgo/RS | 1763,43 | 1219,03 | 1198,86 | 1192,14 | 1201,93 | 1211,73 | 1221,52 |
| Pelotas/RS | 675,67 | 236,64 | 216,48 | 209,76 | 219,55 | 229,34 | 239,14 |
| Poço das Antas/RS | 2027,39 | 1366,70 | 1346,54 | 1339,82 | 1349,61 | 1359,40 | 1369,20 |
| Porto Alegre/RS | 1594,95 | 1090,61 | 1070,45 | 1063,73 | 1073,52 | 1083,31 | 1093,10 |
| Rio Grande/RS | 390,23 | 101,81 | 81,64 | 74,92 | 84,71 | 94,51 | 104,30 |
| Santa Maria/RS | 1937,54 | 1196,55 | 1176,39 | 1169,67 | 1179,46 | 1189,25 | 1199,05 |
| Santa Rosa/RS | 2873,24 | 2063,36 | 2043,20 | 2036,48 | 2046,27 | 2056,06 | 2065,85 |
| São Leopoldo/RS | 1706,92 | 1177,29 | 1157,13 | 1150,41 | 1160,20 | 1169,99 | 1179,78 |
| Triunfo/RS | 1684,81 | 1270,39 | 1250,23 | 1243,51 | 1253,30 | 1263,09 | 1272,88 |
| Vera Cruz/RS | 1673,58 | 1186,92 | 1166,76 | 1160,04 | 1169,83 | 1179,62 | 1189,41 |
| Westfalia/RS | 2128,42 | 1434,12 | 1413,96 | 1407,24 | 1417,03 | 1426,82 | 1436,61 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

A Tabela 3 apresenta dos dados de distância do ponto de origem (Porto) até as regiões em km, bem como a distribuições de demanda anual de cada cidade.

Tabela 3 – Distribuição da demanda

| Destino | Distância | Demanda |
|---------------------------|------------------|----------------|
| Antônio Prado/RS | 980 | 10 |
| Barão/RS | 854 | 3 |
| Bento Gonçalves/RS | 862 | 36 |
| Cachoeirinha/RS | 658 | 1 |
| Canela/RS | 884 | 3 |
| Canoas/RS | 654 | 14 |
| Caxias do Sul/RS | 888 | 275 |
| Eldorado do Sul/RS | 608 | 2 |
| Encantado/RS | 906 | 6 |
| Estância Velha/RS | 720 | 18 |
| Esteio/RS | 906 | 2 |
| Farroupilha/RS | 840 | 12 |
| Garibaldi/RS | 844 | 4 |
| Gravataí/RS | 680 | 20 |
| Montenegro/RS | 740 | 2 |
| Nova Bassano/RS | 1008 | 172 |
| Nova Petrópolis/RS | 794 | 2 |
| Nova Prata/RS | 982 | 309 |
| Novo Hamburgo/RS | 716 | 120 |
| Pelotas/RS | 104 | 1 |
| Poço das Antas/RS | 808 | 21 |
| Porto Alegre/RS | 636 | 182 |
| Rio Grande/RS | 20 | 5 |
| Santa Maria/RS | 702 | 1 |
| Santa Rosa/RS | 1242 | 1 |
| São Leopoldo/RS | 690 | 7 |
| Triunfo/RS | 748 | 7 |
| Vera Cruz/RS | 696 | 1 |
| Westfalia/RS | 850 | 188 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

A partir dos dados, estrutura-se o problema de transporte para resolução em algoritmos de otimização linear.

Por fim, discutem-se quais são os resultados esperados para cada dimensão discutida. Com relação aos custos, espera-se que a quantidade transportada do modal esteja

inversamente proporcional ao custo de embarque deste modal, com lógica similar para o transporte nas regiões de destino.

O problema empírico tratado caracteriza-se por trabalhar um único ponto de origem (Porto de Rio Grande) e dois modais: o modal próprio e o modal terceirizado. O modal próprio possui os custos representados pelas despesas operacionais de transporte (salários, combustíveis, pedágios, provisões para manutenção e financiamento ou leasing de veículos), enquanto o modal de terceiros tem uma taxa de embarque por km rodado.

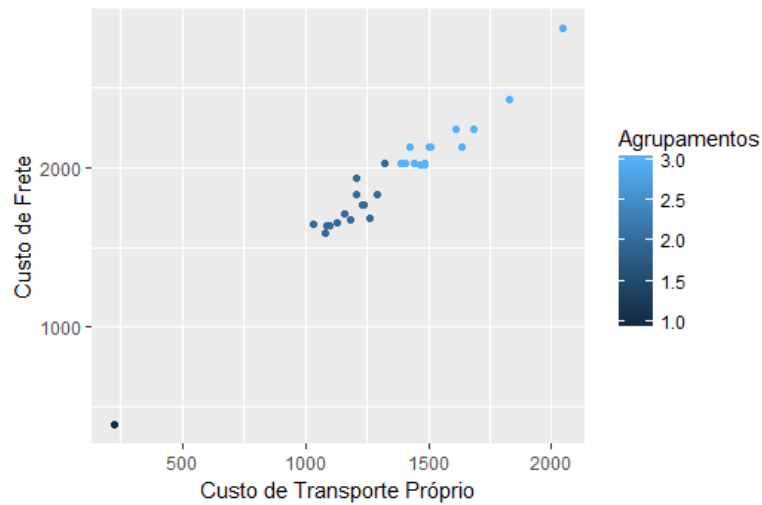
5.1 RESULTADOS

Os resultados são divididos de acordo com a etapa de resolução do problema objetivo considerado. Todos os resultados têm em sua disposição a programação utilizada no software R, descrevendo cada um dos aspectos de formação e tratamento de dados necessário para a elaboração do problema inicial. Ambos os projetos, de simulação e verificação, foram executados seguindo estes mesmos critérios.

5.1.1 Análise de agrupamentos

A análise de agrupamentos permite que se verifique a estrutura de modais analisada apresenta alguma característica qualitativa de ordenação, isto é, se existem origens e destinos que se caracterizam por concentrar a solução em um mesmo tipo de modal, permitindo avaliar quais as soluções esperadas para o problema em termos de preferências de modais. Ao agrupar os custos de acordo com a média dos custos próprios e os custos terceirizados (Figura 1).

Figura 1 - Análise de Agrupamentos de Distância e Demanda



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Foram encontrados três agrupamentos de custos, quando o critério de separação de grupos foi a demanda e a distância entre as cidades e o porto. O primeiro grupo é composto por uma cidade bastante próxima, com custos relativamente baixos; o segundo é composto por cidades de distância e demandas intermediárias, enquanto o terceiro grupo é composto por cidades com maior nível de demanda e distância. A separação adotada no caso resultou em uma perfeita discriminação dos destinos, a partir da demanda e distância, possibilitando comparativos diretos entre os custos com modal próprio e terceirizado.

5.1.2 Resultados da Solução

O software R apresenta pacotes específicos para a resolução de problemas de transporte. Com a simplificação definida no trabalho, o problema de modais culminou em um problema de transporte simples, que está definido para as seguintes estruturas de restrições:

- $O_v = D_v$, isto é, a oferta de viagens é igual à demanda de viagens;
- $D_v = 1425$, onde se avaliou pela demanda anual;
- $O_{i,v} = 144$, cada caminhão pode realizar 144 viagens por ano.

Para identificar a otimização da solução deste problema, utilizou-se o pacote lpSolve (do inglês Linear Problem Solver, ou solucionador de problema linear), versão 3.5.1. A seguinte programação foi utilizada para resolver o problema no software R:

Quadro 1 - Programação foi utilizada para resolver o problema no software R

```
viaj_mes = 10
viaj_ano = viaj_mes*12

cam_1 = 1*viaj_ano
cam_2 = 2*viaj_ano
cam_3 = 3*viaj_ano
cam_4 = 4*viaj_ano
cam_5 = 5*viaj_ano
cam_6 = 6*viaj_ano
cam_7 = 7*viaj_ano
cam_8 = 8*viaj_ano
cam_9 = 9*viaj_ano
cam_10 = 10*viaj_ano
cam_11 = 11*viaj_ano
cam_12 = 12*viaj_ano

s_C1 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_1)
s_C2 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_2)
s_C3 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_3)
s_C4 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_4)
s_C5 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_5)
s_C6 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_6)
s_C7 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_7)
s_C8 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_8)
s_C9 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_9)
s_C10 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_10)
s_C11 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_11)
s_C12 = c(sum(Dados$Demanda)-cam_1+30, cam_12)

Solved_Transporte_C1 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,5)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C1)
Solved_Transporte_C2 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,6)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C2)
Solved_Transporte_C3 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,7)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C3)
Solved_Transporte_C4 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,8)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C4)
Solved_Transporte_C5 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,9)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C5)
Solved_Transporte_C6 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,10)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C6)
Solved_Transporte_C7 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,11)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C7)
Solved_Transporte_C8 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,12)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C8)
Solved_Transporte_C9 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,13)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C9)
Solved_Transporte_C10 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,14)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C10)
Solved_Transporte_c11 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,15)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C11)
Solved_Transporte_C12 = lp.transport(as.matrix(Dados[,c(2,16)]), direction="min", c(rep(">=", 29)),
Dados$Demanda, c(rep("<=", 2)), s_C12)
```

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

A partir da programação, obtiveram-se os resultados que serão discutidos, considerando a distância de ida e volta das cidades listadas. Os resultados para o Cenário 1 estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Custos discriminados para o cenário 1

| Destino | Modal Terceirizado | Modal Próprio | Total de Viagens | Custo de Modal Terceirizado | Custo de Modal Próprio |
|--------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------------------|------------------------|
| Antônio Prado/RS | 10 | 0 | 10 | R\$21.284,20 | R\$0,00 |
| Barão/RS | 3 | 0 | 3 | R\$6.052,17 | R\$0,00 |
| Bento Gonçalves/RS | 36 | 0 | 36 | R\$72.986,04 | R\$0,00 |
| Cachoeirinha/RS | 1 | 0 | 1 | R\$1.639,88 | R\$0,00 |
| Canela/RS | 3 | 0 | 3 | R\$6.052,17 | R\$0,00 |
| Canoas/RS | 14 | 0 | 14 | R\$22.958,32 | R\$0,00 |
| Caxias do Sul/RS | 275 | 0 | 275 | R\$557.532,25 | R\$0,00 |
| Eldorado do Sul/RS | 2 | 0 | 2 | R\$3.293,46 | R\$0,00 |
| Encantado/RS | 6 | 0 | 6 | R\$12.770,88 | R\$0,00 |
| Estância Velha/RS | 18 | 0 | 18 | R\$31.741,74 | R\$0,00 |
| Esteio/RS | 2 | 0 | 2 | R\$4.256,96 | R\$0,00 |
| Farroupilha/RS | 12 | 0 | 12 | R\$24.328,68 | R\$0,00 |
| Garibaldi/RS | 4 | 0 | 4 | R\$8.109,56 | R\$0,00 |
| Gravataí/RS | 20 | 0 | 20 | R\$33.137,60 | R\$0,00 |
| Montenegro/RS | 2 | 0 | 2 | R\$3.661,64 | R\$0,00 |
| Nova Bassano/RS | 172 | 0 | 172 | R\$386.384,24 | R\$0,00 |
| Nova Petrópolis/RS | 2 | 0 | 2 | R\$3.661,64 | R\$0,00 |
| Nova Prata/RS | 309 | 0 | 309 | R\$694.143,78 | R\$0,00 |
| Novo Hamburgo/RS | 120 | 0 | 120 | R\$211.611,60 | R\$0,00 |
| Pelotas/RS | 1 | 0 | 1 | R\$675,67 | R\$0,00 |
| Poço das Antas/RS | 21 | 0 | 21 | R\$42.575,19 | R\$0,00 |
| Porto Alegre/RS | 182 | 0 | 182 | R\$290.280,90 | R\$0,00 |
| Rio Grande/RS | 5 | 0 | 5 | R\$1.951,15 | R\$0,00 |
| Santa Maria/RS | 0 | 1 | 1 | R\$0,00 | R\$1.226,01 |
| Santa Rosa/RS | 0 | 1 | 1 | R\$0,00 | R\$2.101,40 |
| São Leopoldo/RS | 7 | 0 | 7 | R\$11.948,44 | R\$0,00 |
| Triunfo/RS | 7 | 0 | 7 | R\$11.793,67 | R\$0,00 |
| Vera Cruz/RS | 1 | 0 | 1 | R\$1.673,58 | R\$0,00 |
| Westfalia/RS | 70 | 118 | 188 | R\$148.989,40 | R\$177.144,30 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

É importante notar que o modal próprio foi completamente consumido no processo, sendo escolhidas as cidades que apresentavam maior vantagem relativa para o tipo de modal, caracterizadas por fatores adicionais à distância e mais relacionadas com a quantidade

demandada. Assim, podem-se observar na Tabela 5 os resultados no cenário com seis caminhões.

Tabela 5 – Custos discriminados para o cenário 6

| Destino | Modal Terceirizado | Modal Próprio | Total de Viagens | Custo de Modal Terceirizado | Custo de Modal Próprio |
|--------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------------------|------------------------|
| Antônio Prado/RS | 10 | 0 | 10 | R\$21.284,20 | R\$0,00 |
| Barão/RS | 3 | 0 | 3 | R\$6.052,17 | R\$0,00 |
| Bento Gonçalves/RS | 36 | 0 | 36 | R\$72.986,04 | R\$0,00 |
| Cachoeirinha/RS | 1 | 0 | 1 | R\$1.639,88 | R\$0,00 |
| Canela/RS | 3 | 0 | 3 | R\$6.052,17 | R\$0,00 |
| Canoas/RS | 14 | 0 | 14 | R\$22.958,32 | R\$0,00 |
| Caxias do Sul/RS | 104 | 171 | 275 | R\$210.848,56 | R\$244.179,26 |
| Eldorado do Sul/RS | 0 | 2 | 2 | R\$0,00 | R\$2.017,86 |
| Encantado/RS | 0 | 6 | 6 | R\$0,00 | R\$9.006,61 |
| Estância Velha/RS | 18 | 0 | 18 | R\$31.741,74 | R\$0,00 |
| Esteio/RS | 0 | 2 | 2 | R\$0,00 | R\$3.014,85 |
| Farroupilha/RS | 0 | 12 | 12 | R\$0,00 | R\$16.464,05 |
| Garibaldi/RS | 0 | 4 | 4 | R\$0,00 | R\$5.565,53 |
| Gravataí/RS | 20 | 0 | 20 | R\$33.137,60 | R\$0,00 |
| Montenegro/RS | 0 | 2 | 2 | R\$0,00 | R\$2.436,19 |
| Nova Bassano/RS | 172 | 0 | 172 | R\$386.384,24 | R\$0,00 |
| Nova Petrópolis/RS | 2 | 0 | 2 | R\$3.661,64 | R\$0,00 |
| Nova Prata/RS | 0 | 309 | 309 | R\$0,00 | R\$505.427,08 |
| Novo Hamburgo/RS | 120 | 0 | 120 | R\$211.611,60 | R\$0,00 |
| Pelotas/RS | 0 | 1 | 1 | R\$0,00 | R\$209,76 |
| Poço das Antas/RS | 0 | 21 | 21 | R\$0,00 | R\$28.649,79 |
| Porto Alegre/RS | 182 | 0 | 182 | R\$290.280,90 | R\$0,00 |
| Rio Grande/RS | 5 | 0 | 5 | R\$1.951,15 | R\$0,00 |
| Santa Maria/RS | 0 | 1 | 1 | R\$0,00 | R\$1.158,80 |
| Santa Rosa/RS | 0 | 1 | 1 | R\$0,00 | R\$2.034,19 |
| São Leopoldo/RS | 7 | 0 | 7 | R\$11.948,44 | R\$0,00 |
| Triunfo/RS | 7 | 0 | 7 | R\$11.793,67 | R\$0,00 |
| Vera Cruz/RS | 1 | 0 | 1 | R\$1.673,58 | R\$0,00 |
| Westfalia/RS | 0 | 188 | 188 | R\$0,00 | R\$269.594,42 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Nota-se que houve um aumento do consumo do modal próprio, sendo que a oferta pelo modal passa a ocupar espaço significativo entre as opções de viagens da empresa. Isto decorre de um custo mais baixo quando da utilização de modal próprio para que se obtenha uma melhor estrutura de custos de produção.

A fim de evitar a conclusão, expõem-se os resultados associados ao cenário com 12 unidades de caminhão, omitindo-se os resultados dos demais cenários. Pode-se notar na Tabela 6 que a demanda é completamente consumida pelo modal próprio por consequência do custo menor em relações ao custo de contratação de modal terceirizado.

Tabela 6 – Custos discriminados para o cenário 12

| Destinos | Modal Terceirizado | Modal Próprio | Total de Viagens | Custo de Modal Terceirizado | Custo de Modal Próprio |
|--------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------------------|------------------------|
| Antônio Prado/RS | 0 | 10 | 10 | R\$ 0,00 | R\$ 16.448,20 |
| Barão/RS | 0 | 3 | 3 | R\$ 0,00 | R\$ 4.340,60 |
| Bento Gonçalves/RS | 0 | 36 | 36 | R\$ 0,00 | R\$ 52.755,19 |
| Cachoeirinha/RS | 0 | 1 | 1 | R\$ 0,00 | R\$ 1.110,16 |
| Canela/RS | 0 | 3 | 3 | R\$ 0,00 | R\$ 4.486,66 |
| Canoas/RS | 0 | 14 | 14 | R\$ 0,00 | R\$ 15.511,03 |
| Caxias do Sul/RS | 0 | 275 | 275 | R\$ 0,00 | R\$ 412.895,09 |
| Eldorado do Sul/RS | 0 | 2 | 2 | R\$ 0,00 | R\$ 2.103,69 |
| Encantado/RS | 0 | 6 | 6 | R\$ 0,00 | R\$ 9.293,03 |
| Estância Velha/RS | 0 | 18 | 18 | R\$ 0,00 | R\$ 22.226,82 |
| Esteio/RS | 0 | 2 | 2 | R\$ 0,00 | R\$ 3.012,01 |
| Farroupilha/RS | 0 | 12 | 12 | R\$ 0,00 | R\$ 17.097,43 |
| Garibaldi/RS | 0 | 4 | 4 | R\$ 0,00 | R\$ 5.885,00 |
| Gravataí/RS | 0 | 20 | 20 | R\$ 0,00 | R\$ 22.738,26 |
| Montenegro/RS | 0 | 2 | 2 | R\$ 0,00 | R\$ 2.559,82 |
| Nova Bassano/RS | 0 | 172 | 172 | R\$ 0,00 | R\$ 291.028,80 |
| Nova Petrópolis/RS | 0 | 2 | 2 | R\$ 0,00 | R\$ 2.714,85 |
| Nova Prata/RS | 0 | 309 | 309 | R\$ 0,00 | R\$ 502.883,42 |
| Novo Hamburgo/RS | 0 | 120 | 120 | R\$ 0,00 | R\$ 148.007,28 |
| Pelotas/RS | 0 | 1 | 1 | R\$ 0,00 | R\$ 239,14 |
| Poço das Antas/RS | 0 | 21 | 21 | R\$ 0,00 | R\$ 28.851,77 |
| Porto Alegre/RS | 0 | 182 | 182 | R\$ 0,00 | R\$ 199.909,70 |
| Rio Grande/RS | 0 | 5 | 5 | R\$ 0,00 | R\$ 1.220,46 |
| Santa Maria/RS | 0 | 1 | 1 | R\$ 0,00 | R\$ 1.183,36 |
| Santa Rosa/RS | 0 | 1 | 1 | R\$ 0,00 | R\$ 2.053,35 |
| São Leopoldo/RS | 0 | 7 | 7 | R\$ 0,00 | R\$ 8.278,05 |
| Triunfo/RS | 0 | 7 | 7 | R\$ 0,00 | R\$ 8.736,26 |
| Vera Cruz/RS | 0 | 1 | 1 | R\$ 0,00 | R\$ 1.185,62 |
| Westfalia/RS | 0 | 188 | 188 | R\$ 0,00 | R\$ 269.109,32 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Em resumo, obtiveram-se os seguintes níveis de custos em cada um dos cenários avaliados. A Tabela 7 indica que o aumento da frota própria diminui os custos de modal de forma absoluta, sendo que no 6º cenário, quando existe uma maior quantidade de veículos

próprios, o custo do modal próprio ainda é menor do que o terceirizado. Sempre o modal próprio será utilizado em plena capacidade, ainda que a maior presença do modal próprio não se configure uma correlação direta com a distância ou com a demanda da cidade de destino. Comparando o cenário 1 com o cenário 12, tem-se uma redução nos custos operacionais no valor de R\$ 738.102,14, ou seja, uma grande redução utilizando 100% da demanda com o modal próprio.

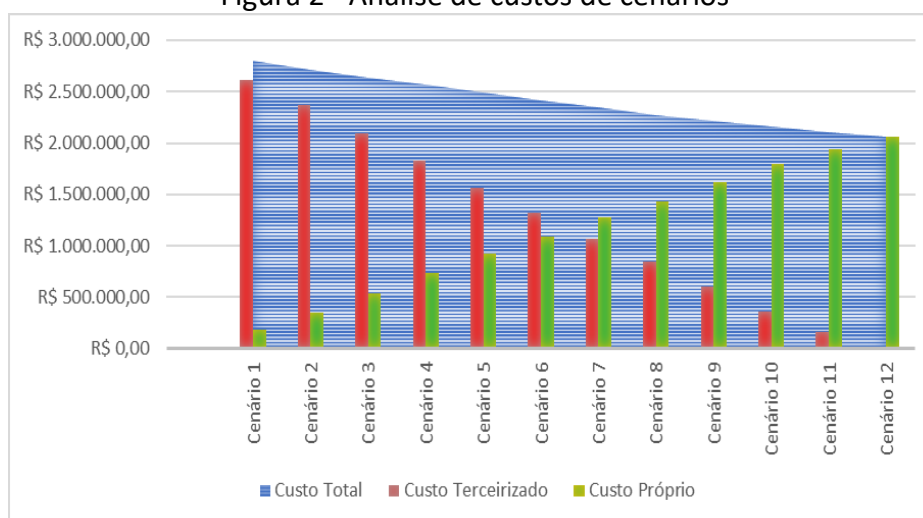
Tabela 7 – Custos de Cenários

| Cenário | Oferta Terceiros | Oferta Própria | Custo Terceirizado | Custo Próprio | Custo Total |
|------------|------------------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Cenário 1 | 1305 | 120 | R\$2.615.494,81 | R\$180.471,71 | R\$2.795.966,52 |
| Cenário 2 | 1185 | 240 | R\$2.365.262,62 | R\$348.029,20 | R\$2.713.291,82 |
| Cenário 3 | 1065 | 360 | R\$2.095.692,22 | R\$542.699,96 | R\$2.638.392,18 |
| Cenário 4 | 945 | 480 | R\$1.826.121,82 | R\$737.370,72 | R\$2.563.492,54 |
| Cenário 5 | 825 | 600 | R\$1.569.292,70 | R\$920.017,88 | R\$2.489.310,58 |
| Cenário 6 | 705 | 720 | R\$1.326.005,90 | R\$1.089.758,40 | R\$2.415.764,30 |
| Cenário 7 | 585 | 840 | R\$ 1.066.192,74 | R\$1.278.658,74 | R\$2.344.851,48 |
| Cenário 8 | 465 | 960 | R\$ 844.028,27 | R\$1.431.017,99 | R\$2.275.046,26 |
| Cenário 9 | 345 | 1080 | R\$ 600.741,47 | R\$1.614.127,89 | R\$2.214.869,36 |
| Cenário 10 | 225 | 1200 | R\$ 360.468,98 | R\$1.795.434,62 | R\$2.155.903,60 |
| Cenário 11 | 105 | 1320 | R\$ 167.469,75 | R\$1.940.387,76 | R\$2.107.857,51 |
| Cenário 12 | 0 | 1425 | R\$ 0,00 | R\$2.057.864,38 | R\$2.057.864,38 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Pode-se observar na Figura 2, a análise dos custos dispostos em um gráfico, onde se destaca a linearidade da operação.

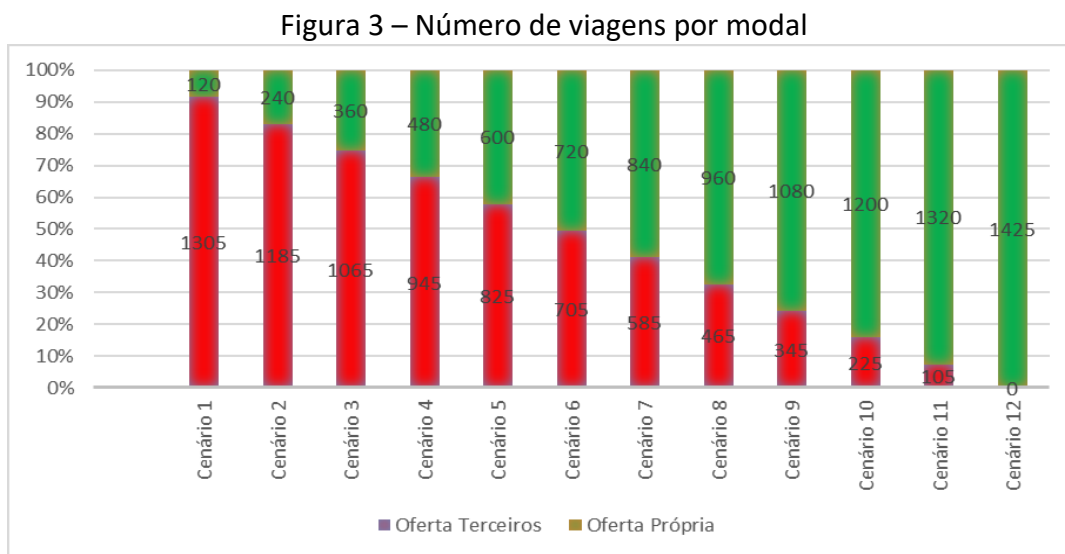
Figura 2 - Análise de custos de cenários



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Nota-se a diminuição dos custos totais conforme o aumento de disponibilidade de veículos próprios e a redução dos veículos terceirizados, sempre mantendo o valor da demanda necessário. Observa-se que no cenário 6 a oferta de veículos de terceiros ainda é maior que a oferta de veículos próprios. Em seguida, no cenário 7 a operação se inverte e a oferta de veículos próprios é maior que a oferta de veículos de terceiros.

Por fim, a Figura 3 apresenta o gráfico de número de viagens por modal, onde é possível visualizar a oferta de viagens em cada um dos cenários:



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

O cenário 1 é composto por pouco mais de 90% da oferta de viagens com o modal terceirizado. O modal próprio inicia-se, a partir do cenário 7, a apresentar uma representação maior que o modal terceirizado e, por fim, no cenário 12 a oferta de viagens é feita somente com veículos próprios.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou discutir o problema de transporte em múltiplos modais para um caso onde existe a redução do problema a um transporte comum. Como objetivo primário, avaliou-se com sucesso a melhor estratégia de operação para a empresa em questão, apontando para uma clara vantagem do modal próprio que, além de ser mais barato, em média, mesmo com custos fixos mais elevados, permite uma alocação mais eficiente dos recursos operacionais da empresa.

As contribuições do trabalho se dão em duas áreas distintas. A primeira é que se demonstrou que problemas de transporte multimodais podem ser reduzidos em dimensionalidade a ponto de serem tratados como problemas de transporte simples, caracterizando assim uma compreensão aprofundada do problema de transporte com modais em situações simplificadas.

A segunda contribuição do trabalho é a utilização de um método mais robusto para a solução de um problema sob uma estratégia simplificada, de forma que se atingiu um resultado satisfatório, quanto aos objetivos práticos da empresa e quanto à aplicação de técnicas mais modernas de solução de problemas lineares.

A presente pesquisa pode ainda ser expandida para a utilização de componentes principais e agrupamentos de dados para reduzir a dimensionalidade de problemas mais complexos, envolvendo uma maior gama de modais e uma maior gama de condições de restrição à oferta, à demanda, ao transporte e às localidades. De forma geral, aponta-se que o uso das ferramentas permite uma precisão similar de resultados com menor esforço algébrico e analítico.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. N. **Logística aplicada**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

ARAÚJO, J. G. D. Desafios e oportunidades do transporte rodoviário. Harvard Business Review Brasil. Estratégia. 17 de novembro de 2014. Disponível em: <<http://hbrbr.uol.com.br/desafios-e-oportunidades-do-transporte-rodoviario/>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. Logística Empresarial. 5 ed. Porto Alegre: Bookman. 2006.

BARTH, M. B; MICHEL, F. D. **Dimensionamento de uma frota de veículos com foco na redução de custos**: estudo de caso. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**: uma nova estratégia. São Paulo: Contexto, 2002.

BOWERSOX, D.; CLOSS, D. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Anuário CNT do Transporte 2017: Estatísticas consolidadas**. Material para imprensa. MTPA: Brasília, 2017a. Disponível em: <<http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017/Inicial>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisas**. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, H. P. F. A relação entre seguro de transportes de mercadorias e custos empresariais: um estudo de caso em empresa produtora de equipamentos destinados a exploração de petróleo no Brasil. In: VII Congresso nacional de Excelência em Gestão. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro, Niterói: CNEG, 2011.

LUENBERGER, D. G.; YINYU Y. **Linear and nonlinear programming**: International series in operations research & management science. 3 ed. Berlin: Springer, 2008.

PARKER, R. G; RARDIN, R. L. **Discrete Optimization**: Computer Science and Scientific Computing, Academic Press London, 1988.

ROESCH, S. M. A. **Projeto de estágio e de pesquisa em administração**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2013.

RUSSIANO, A. R.; ALMEIDA FILHO, A. T. de. **Modelo de filas para dimensionamento de frota em uma empresa de energia elétrica**. 2010. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

STRINGHER, F. G. **Designação de rotas para frota dedicada em uma rede de distribuição de linha branca**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TURNQUIST, M. A. Fleet sizing under production Cycles and Uncertain Travel Times. **Transportation Science**, 1986.