



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
ESCOLA DE DE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA - DEPRO

OURO DE
PRETO
MINAS
PRODUÇÃO,



TITULO DA MONOGRAFIA

AUTOR DA MONOGRAFIA

Ouro Preto – MG

20xx

AUTOR DA MONOGRAFIA

email@gmail.com

TÍTULO DA MONOGRAFIA

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de graduado em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof^o André Luís Silva

Ouro Preto – MG

20xx

Folha de Rosto (verso) – Ficha catalográfica

Deverá ser elaborada pelo profissional bibliotecário de sua Unidade ou da Biblioteca Central, objetivando a padronização das entradas de autor, orientador e definição dos cabeçalhos de assunto à partir de índices de assuntos reconhecidos internacionalmente

0xxx

SOBRENOME, Nome do autor. Título da monografia. 20XX YY
páginas.

Orientador: Prof^o André Luís Silva.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Produção,
Administração e Economia.

1. Palavra chave. 2. Palavra chave. 3. Palavra chave. 4. Palavra
chave. 5. Palavra chave.

Dedico este trabalho a ????

AGRADECIMENTOS

Epigrafes

RESUMO

SOBRENOME, Nome do autor. **Título da monografia.** 20xx. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Ouro Preto.

Texto do resumo

Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo.
Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo.
Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo.
Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo.
Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo. Resumo.
Resumo. Resumo. Resumo.

Palavras-chaves: Palavra Chave, Palavra Chave, Palavra Chave, Palavra Chave,
Palavra Chave.

ABSTRACT

SOBRENOME, Nome do autor. **Title in english.** 20XX. Course Work Conclusion (Graduate in Production Engineering). Federal University of Ouro Preto.

Text in english

Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract.
Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract.
Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract.
Abstract. Abstract. Abstract. Abstract. Abstract.

Key-words: Key Word, Key Word, Key Word, Key Word,.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Sumário

Sumário.....	1
1. INTRODUÇÃO AO ESTUDO.....	14
1.1 Justificativa do Trabalho.....	21
1.2 Objetivo.....	22
1.2.1 Objetivo geral.....	22
1.2.2 Objetivos específicos.....	22
1.3 Estrutura do Trabalho.....	22
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1 Definição de Problema de Roteamento de Veículo.....	23
2.2 CATEGORIAS DO PRV.....	26
2.3 PRVC.....	28
2.3.1 DEFINICAO,.....	28
2.3.2 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	29
2.3.3 APLICACOES.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.4 SOLUCOES/ALGORITMOS DO PRVC.....	31
3. METODOLOGIA.....	32
3.1 Conceito de Pesquisa.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Classificações da Pesquisa.....	33
3.2.1 Quanto aos Objetivos.....	33
3.2.2 Quanto à forma de Abordagem.....	33
3.2.3 Quanto à forma, tipo.....	33
3.2.4 Quanto aos métodos de pesquisa.....	34
3.3 Área da Pesquisa.....	34
3.4 Técnicas de Coleta de Dados.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.1 Documentação Indireta.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.2 Documentação Direta.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.3 Observação Direta Intensiva.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.4 Observação Direta Extensiva.....	Error! Bookmark not defined.
3.5 Variáveis.....	Error! Bookmark not defined.
3.6 Tabulação e Análise de Dados.....	Error! Bookmark not defined.
3.7 Considerações Finais.....	Error! Bookmark not defined.
4. ESTUDO DE CASO.....	34

5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	42
5.1	Conclusões	42
5.2	Recomendações.....	42
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1 INTRODUÇÃO AO ESTUDO

Um cenário inovador estabeleceu-se com a transição para o século XXI, neste ambiente houve mudanças em âmbitos sociais, econômicos, produtivos e organizacionais. Estas mudanças acarretaram novos desafios e o aumento da complexidade dos já existentes. Segundo Santos (2004) “o momento presente é um ponto de inflexão entre a era da certeza e do raciocínio lógico (era industrial), e uma nova era caracterizada pela imprecisão, pelo futuro desconhecido e pelo número infinito de possibilidades que se apresentam (era do conhecimento)”.

De modo a acompanhar o novo ambiente ao qual é estabelecida a realidade atual, que ampliou a troca de informações e aumento de forma avassaladora a competitividade entre organizações. Valeu-se da Engenharia de Produção como um dos meios para adaptação dos processos antiquados as diversas transformações sofridas pelas organizações.

A Engenharia de Produção é um ramo da engenharia que desenvolveu-se com a necessidade de concepção, melhoria e implementação de processos, equipamentos, sistemas visando adequá-los ao ser humano de forma proveitosa e eficiente. Para o mesmo são necessárias diversas noções matemáticas, físicas e sociais, de modo a conhecer o ambiente, as pessoas e sua interação. Essa engenharia apresenta-se abrangente, sendo assim foi dividida em subáreas de modo a facilitar seu entendimento e compreensão.

Segundo a ABEPRO (2012), compete à Engenharia de Produção o projeto, a implantação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados, envolvendo homens, materiais e equipamentos, especificar, prever e avaliar os resultados obtidos destes sistemas, recorrendo a conhecimentos especializados da matemática, física, ciências sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projeto da engenharia.

Uma das áreas mais abordadas nos últimos anos pela Engenharia de Produção consiste da necessidade de aprimoramento dos processos produtivos, tempo de resposta e custo. Para o mesmo são utilizadas diversas técnicas para otimizar as atividades executadas pelas empresas e organizações. Para resolver estes problemas de complexidade significativa deve-se valer da Pesquisa Operacional.

Segundo a ABEPRO (2012), Pesquisa Operacional consiste da resolução de problemas reais envolvendo situações de tomada de decisão, através de modelos matemáticos habitualmente processados computacionalmente. Aplica conceitos e métodos de outras disciplinas científicas na concepção, no planejamento ou na operação de sistemas para atingir seus objetivos. Procura, assim, introduzir elementos de objetividade e racionalidade nos processos de tomada de decisão, sem descuidar dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas.

“A Pesquisa Operacional é uma ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, aplica conceitos e métodos de várias áreas científicas na concepção, planejamento ou operação de sistemas. A Pesquisa Operacional é usada para avaliar linhas de ação alternativas e encontrar as soluções que melhor servem aos objetivos dos indivíduos ou organizações.” (SOBRAPO, 2012).

Um dos problemas tratados com a ajuda da Pesquisa Operacional é a logística de transporte, devido às diversas variáveis presentes, sendo necessária uma resposta rápida com um custo baixo e buscando a redução da frota de automóveis.

Segundo Martins & Silva (2009) o transporte é uma área-chave de decisão dentro do estudo logístico. À exceção do custo de bens adquiridos, o transporte absorve, em média, a porcentagem mais elevada de custos do que qualquer outra atividade logística.

Segundo Lima (2006), no Brasil os custos de transporte logísticos equivalem em aproximadamente a 7,5 do PIB (Produto Interno Bruto). Dentre as atividades logísticas, o custo de transporte corresponde a 60%.

O custo logístico como citado acima está fortemente relacionado ao custo de transporte. Sendo assim, em busca de reduzirem-se os custos logísticos deve-se melhorar realizar uma avaliação eficaz sobre transporte e aprimora-la sempre que possível. Um dos meios para alcançar esse benefício deve-se ao cálculo de rotas que permite medir, adaptar, corrigir e implementar novas técnicas que busquem a melhora no transporte.

O problema de Roteamento de Veículos define grande parte dos problemas de transporte terrestre, sendo assim será abordada para tratar este aspecto que influência diretamente no custo do produto acabado. E que se bem estruturado pode gerar um retorno considerável para a empresa avaliada.

O Roteamento de Veículos é um problema presente na maioria das empresas de transporte, logística e distribuição. Seu objetivo é determinar, dentre todas as possíveis rotas alternativas, qual é a que representa o menor custo, ou seja, qual é a solução ótima (GOLDBARG; LUNA, 2000).

O Problema de Roteamento de Veículos tradicional consiste em definir rotas entre um depósito e um conjunto de pontos de entrega que minimize o custo de transporte. O Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas é uma variação deste problema e é definido como: dado uma rede de transporte onde se localizam n consumidores e 1 depósito, onde cada consumidor i tem uma demanda p_i de coleta ou demanda d_i de entrega ou ambas, e dado um conjunto de veículos com capacidade limitada Q , definir rotas otimizadas que satisfaçam a todas as demandas dos consumidores, respeitando a quantidade e a capacidade dos veículos (Dell'Amico et al., 2005).

Este estudo procurou dar ênfase aos pontos relativos a modelagem do problema de Roteamento de Veículos devido a sua complexidade e retorno possível devido sua implementação.

Formulação do Problema

A globalização trouxe diversas vantagens organizacionais, entretanto a competitividade entre empresas cresceu consideravelmente. Com isso, a população passou a exigir que as empresas não apenas atendessem às necessidades básicas, mas que apresentassem aspectos diferenciais sendo eles qualidade, tempo de resposta, preço, entre outros. Analisando o processo de produção é compreensível que os custos anteriores e posteriores à fabricação (custo de energia, custo de transporte), têm grandes implicações sobre o preço final dos produtos.

As alterações no comércio mundial implicaram em um crescimento significativo da demanda por transporte. Sendo observada uma intensificação dos fluxos comerciais, exigindo a modernização dos meios de transporte e investimentos no sistema logístico.

O custo de transporte pode ser dividido em duas áreas, o transporte interno e o externo. Essas duas áreas devem ser analisadas e otimizadas para que o custo final do produto e o tempo de resposta sejam melhorados. Entretanto o custo de transporte externo possui

maior peso sobre o preço final devido a complexidade de transporte, distância percorrida e meios de transporte possíveis.

Estes aspectos negativos do sistema de transporte acabam culminando no chamado Problema de Roteamento de Veículos (PRV). De acordo com Smiderle (2001), este problema se caracteriza como um conjunto organizado de métodos que visa o estudo sobre o atendimento de demandas localizadas nos arcos/arestas ou nós/vértices de alguma rede de transportes, objetivando tomar decisões quanto ao planejamento do sistema, como: determinação do número de rotas, contratação de mão-de-obra, localização de depósitos, números de veículos na frota, entre outros, de forma a reduzir os custos da atividade. Podendo ser alcançados, reduzindo-se: prazos de entrega de produtos, caminhos a serem percorridos, emprego de mão-de-obra, número de veículos e outros.

Entretanto existem diversos PRV e para facilitar sua análise, são divididos em grupos que apresentem restrições semelhantes. Segundo Toth & Vigo (2001) podem ser classificados como:

- PRV com capacidade limitada;
- PRV com distância limitada;
- PRV com Backhauls;
- PRV com entrega e coleta;
- PRV com janela de tempo.

Um PRV com capacidade limitada (PRVC) apresenta uma frota fixa de veículos de entrega de capacidade uniforme e deve atender a demanda total dos clientes conhecidos para uma única mercadoria partindo de apenas um depósito a um custo mínimo de trânsito mínimo. Ou seja, PRVC possui uma restrição adicional de que cada veículo deve ter capacidade uniforme de uma única mercadoria. Um exemplo do mesmo segue descrito abaixo:

Segundo Bittencourt *et al* (2012), o PRVC acrescentado de uma restrição relativa ao número máximo de pedidos permitidos por caminhão. O grafo $G = (V, A)$ associado ao problema possui um conjunto de vértices $V = \{0, \dots, n\}$ que representam localidades

(clientes ou cidades), estando o depósito no vértice 0 e um conjunto A de arestas associadas às possibilidades de trânsito entre os vértices. Cada arco (i, j) , $i \neq j$, é associado a uma matriz de valores $C = [c_{ij}]$ não negativa. Considera-se que o depósito dispõe de um número dado K (constante) de veículos disponíveis, todos de mesma capacidade Q , cada um podendo atender a um número máximo M_k de pedidos. As seguintes premissas e restrições devem ser respeitadas:

1. Cada vértice em $V \setminus \{0\}$ é visitado apenas uma vez e por exatamente um veículo;
2. Todas as rotas se iniciam e terminam no depósito;
3. Restrição de capacidade: a cada vértice $i > 0$ é atribuído um peso não negativo (ou demanda) d_i e a soma dos pesos de qualquer rota do veículo não pode exceder a capacidade Q do veículo.
4. Restrição de número máximo de pedidos: cada vértice $i > 0$ possui um determinado número de pedidos p_i , cujo somatório para cada veículo k não deve exceder M_k .
5. Restrição de atribuição: o caminhão $k = 1$ deve obrigatoriamente atender aos clientes $i = 1$ e $i = 2$.

Por fim, adentrando ao assunto tratado neste trabalho serão introduzidas algumas informações básicas sobre a distribuição de bebidas alcoólicas em áreas urbanas e como é estruturada essa distribuição. De modo a contextualizar o problema e possibilitar um melhor entendimento sobre o assunto.

Segundo Rosenbloom (2009) a estrutura da distribuição é composta por quatro elementos, sendo eles:

- Fábrica: responsável pela produção do produto final e comercialização de grande porte;
- Distribuidor: responsável pela distribuição em certa área ou região, podendo haver distribuidores de larga e pequena escala;
- Varejista: correspondem aos supermercados, hipermercados, lojas, mercearias e bares;
- Consumidor: agente final ao qual o produto é destinado.

Normalmente o produto da fábrica é repassado ao distribuidor geral, o mesmo é responsável por abastecer os varejistas, distribuidores de menor escala e consumidores com grande demanda. Em seguida os varejistas e distribuidores menores abastecem os consumidores de menor demanda.

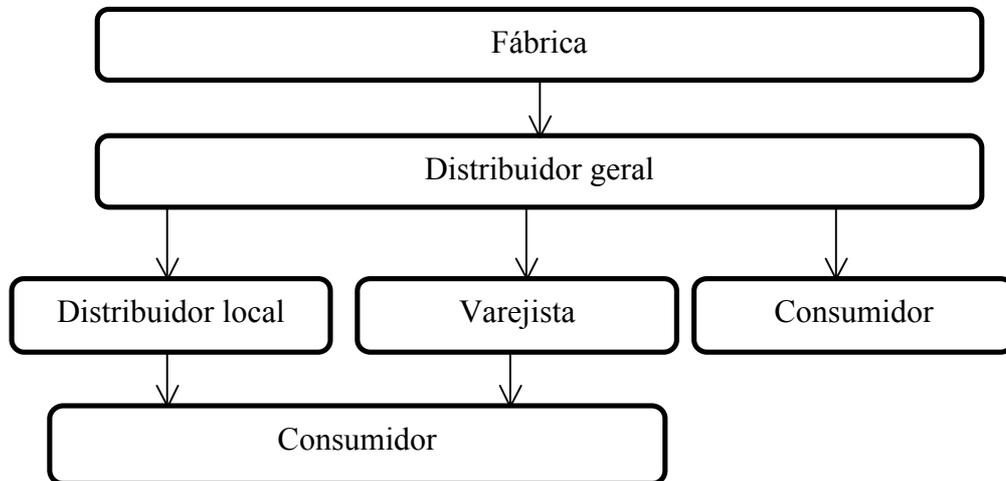


Figura 1 - Estrutura de distribuição
Fonte: Adaptado de ROSENBLOOM (2002)

Um dos fatores que impactam consideravelmente no montante distribuído é devido a sazonalidade das vendas. Esta sazonalidade possui duas principais vertentes sendo elas pelo clima e pelo período de festividades (festas de final de ano e carnaval).

Entretanto alguns meios são utilizados para controlar esta sazonalidade, tais quais, o aumento do investimento em publicidade e a oferta de promoções para os distribuidores locais, varejistas e consumidores de grande demanda tentando aumentar as vendas pela fábrica.

O produto em questão corresponde à cerveja, uma bebida alcoólica que durante o período de Verão apresenta aumento considerável em seu consumo, devido a fatores culturais e climáticos, fornecida por uma das grandes empresas do ramo que produz e distribuem este produto em território Brasileiro.

Outro grande problema deve-se a concorrência existente neste nicho de mercado, consumidores de bebidas alcoólicas acima de 18 anos de ambos os sexos. O modelo proposto por Poter apresenta de forma clara:

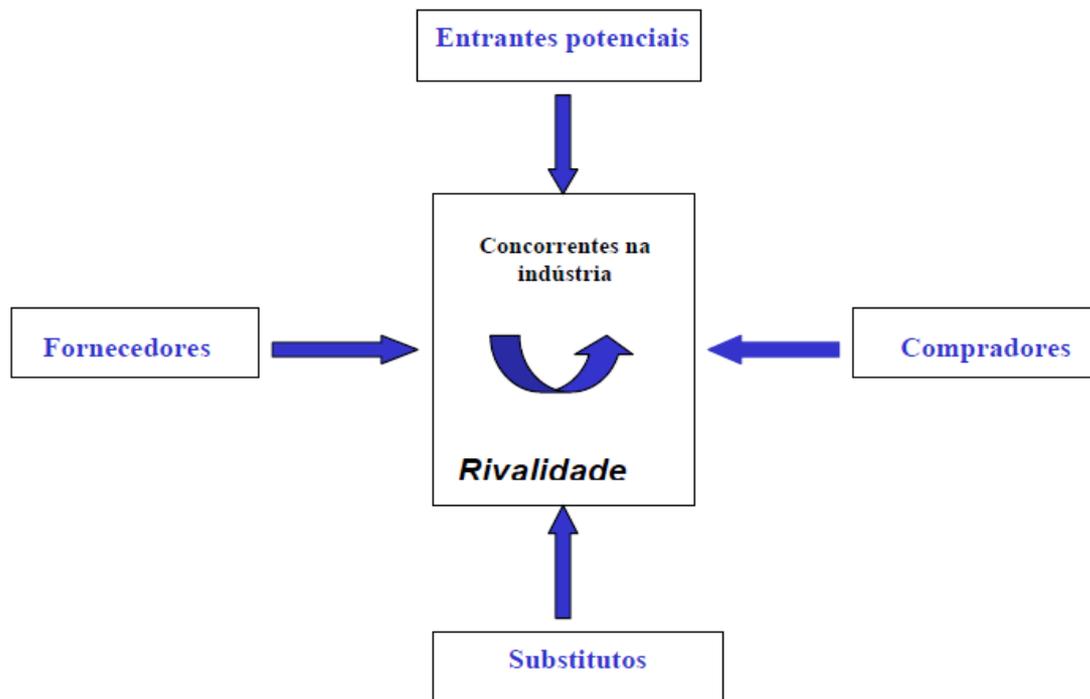


Figura 2 - Cinco forças de Porter
Fonte: Adaptado de PORTER (2004)

1. Entrantes potenciais: Novas marcas de produtos alcoólicos;
2. Rivalidade: disputa pelo mercado das marcas já consagradas;
3. Substitutos: bebidas não alcoólicas ou outros tipos de bebidas alcoólicas;
4. Compradores: diversos compradores, porém segmentados e muito diversificados;
5. Fornecedores: diversas fábricas responsáveis pela produção do mesmo produto.

Finalmente, definindo a cidade onde será realizado este estudo, temos Ouro Preto/MG. A mesma apresenta algumas peculiaridades que a difere de outros centros urbanos, sendo a principal o fato de a mesma ser um patrimônio histórico mundial e por isso apresentar restrições quanto ao peso máximo dos caminhões, horários de circulação restritos, ruas estreitas, falta de asfaltamento. Estes fatores citados dificultam o cálculo de rotas em Ouro Preto e a diferem do problema de Roteamento de Veículos nas outras cidades.

A partir dessas considerações iniciais e conhecimentos posteriores observar a complexidade e necessidade de uma logística de transporte eficiente e eficaz. Frente aos

pontos listados, a questão problema desse texto pode ser assim colocada: Qual modelo matemático empregar no cálculo de rotas de distribuição de bebidas em Ouro Preto, considerando as especificações do problema, tais quais, veículos com carga limitada, compradores espalhados pela cidade e com custo reduzido?

1.1 *Justificativa do Trabalho*

O cálculo de rotas envolve diversas variáveis além de exigir uma quantidade grande de manipulações e resoluções de equações. O cenário avaliado abre precedente para o emprego de ferramental computacional para apoiar tais atividades. Com isso, alguns benefícios são alcançados, tais quais, redução de tempo destinado ao cálculo da rota, de custos de movimentação, dos tempos de transporte, dos gastos com manutenção e da mão de obra ociosa. Entretanto, é necessário um referencial teórico e técnicas para a resolução desse problema.

Algumas técnicas para o cálculo de rotas são descritas e de fácil resolução com a ajuda da Pesquisa Operacional, sendo elas a programação linear e programação inteira. Com a aplicação destas técnicas é possível otimizar, criar e avaliar os sistemas de roteamento e distribuição do transporte, tamanho de frota, horários de entrega, caminho ótimo, entre outros.

A avaliação de problemas de roteamento deve ter foco em alguns aspectos chave, sendo eles: custo, tempo e mão de obra. Entretanto, a complexidade de resolver um problema real que busque a redução destes três quesitos torna-se inviável em tempo hábil e com custo aceitável. Deste modo, faz valer-se das métricas da Pesquisa Operacional como meio para a validação de problemas reais de roteamento, considerando diversas restrições no problema que dificultam a comprovação dos resultados.

O trabalho descrito neste texto foi realizado em Ouro Preto. A justificativa para a escolha desta cidade se deve ao fato das restrições impostas nela frente ao problema, sendo alguns: ruas estreitas, restrição de horário para circulação de caminhões, ruas não asfaltadas, dificuldade de carga e descarga de materiais. Como a mesma encontra-se localizada em uma região de depressão, a grande maioria das ruas apresentam inclinações o que aumenta o custo de transporte e manutenção de forma significativa.

A escolha do Estudo de Caso como metodologia desse trabalho se deve ao fato de não haver trabalhos semelhantes em Ouro Preto, além do entendimento do funcionamento da distribuição e da possível melhora no fluxo de materiais tratado.

O software escolhido para o mesmo foi o LINGO devido a sua interface simples, as técnicas do *Branch and Bound* estarem implementadas e ao prévio conhecimento deste.

A aplicação destas técnicas em um estudo de caso teve como intuito validar sua aplicação em um problema real sobre cálculo de rotas. Onde são contemplados aspectos complexos, muitas vezes ignorados e/ou desconsiderados em problemas teóricos.

1.2 Objetivo

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho busca modelar matematicamente o cálculo de rotas de veículos em uma pesquisa aplicada em uma empresa Cervejeira, responsável pelo gerenciamento da distribuição de seus produtos na cidade de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais.

1.1.2 Objetivos específicos

Com o intuito de compreender melhor o assunto de modo a alcançar o objetivo geral, delimitaram-se metas mais específicas. São elas:

- Realizar um levantamento na literatura sobre o roteamento de modo a compreender técnicas/métodos utilizados para resolução de problemas;
- Levantar os requisitos envolvidos no cálculo de rotas;
- Modelar matematicamente o cálculo de rotas em Ouro Preto para a entrega de bebidas;
- Programar e executar o modelo matemático no software LINGO;
- Analisar os resultados e se possível fornecer sugestões de melhora.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este estudo está estruturado em cinco capítulos, onde no primeiro capítulo é apresentado a introdução ao assunto, a justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos geral e específicos. O segundo capítulo trata de uma revisão bibliográfica da literatura onde conceitos e teorias a respeito do roteamento de veículos serão

apresentados. O terceiro capítulo apresentará a metodologia utilizada na pesquisa, informando como e porque cada etapa foi realizada e seu respectivo intuito. O quarto capítulo apresentará o estudo de caso, de modo a contextualizar o ambiente tratado e os meios utilizados para tratar e quantificar o caso de modo a avalia-lo e se possível otimiza-lo. Por fim, o quinto capítulo trará as conclusões e análises alcançadas a partir do estudo de caso juntamente com o levantamento teórico realizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é apresentar um referencial teórico com conceitos, classificações e outras considerações importantes sobre os temas que fundamentam o estudo, sendo eles:

1.4 Definição de Problema de Roteamento de Veículo

Problema de roteamento de veículo (PRV) foi proposto, inicialmente, por Dantzig & Ramser (1959) com o objetivo de definir rotas entre um depósito e um conjunto de pontos de entrega, ao qual minimize o tempo, distância percorrida ou custo. O mesmo apresenta restrições básicas que consistem em:

- Cada cidade é visitada, uma única vez por um único veículo;
- Cada rota é iniciada num depósito e finalizada no mesmo depósito;
- Todas as demandas devem ser satisfeitas.

Laporte (1992) formalizou o problema e empregou uma nova nomenclatura ao problema com os seguintes termos:

Seja $G = (N, E, C)$ o grafo onde $N = \{1, \dots, n\}$ é o conjunto de nodos que representam cidades ou clientes, E o conjunto de arestas e $C = (c_{ij})$ a matriz de distâncias associada a E . C é simétrica se somente se $c_{ij} = c_{ji}$ para todos $i, j \in N$. Esta matriz deve satisfazer a desigualdade triangular, ou seja, $c_{ij} + c_{jk} \geq c_{ik}$ para todo $i, j, k \in N$.

Segundo Naddef (1994), a formulação matemática do PRV pode ser descrita como:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^{N-1} c_{Ni} + \sum_{i=1}^{N-1} c_i N \quad (2.1)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i=1}^{N-1} x_{ij} \leq 1, j = 1, 2, \dots, (N-1) \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^{N-1} x_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, (N-1) \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} x_{ij} = N - V - 1 \quad (2.4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (2.5)$$

$$y_i - y_j + Lx_{ij} \leq L - 1, 1 \leq i \neq j \leq (N-1) \quad (2.6)$$

$$u_i - u_j + wx_{ij} \leq w - Q, 1 \leq i \neq j \leq (N-1) \quad (2.7)$$

$$v_i - v_j + (c_{ij} - c_{iN} - c_{Nj} + T)x_{ij} \leq T - c_{iN} - c_{Nj}, 1 \leq i \neq j \leq (N-1) \quad (2.8)$$

Onde:

- V é o número de veículos;
- W é a capacidade do veículo;
- Q é a demanda em cada cliente;
- T é o valor máximo de carga em um deslocamento;
- L é o número máximo de clientes atendidos em um deslocamento;
- c_{ij} é o custo associado ao deslocamento de i para j ;
- y_i, u_i e v_i são números reais arbitrários;
- x_{ij} é uma variável indicadora, dada por:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o veículo se desloca entre o cliente } i \text{ e o cliente } j, \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

A equação (2.2) diz que pelo menos um veículo chegará ao cliente j vindo de outro cliente. A equação (2.3) diz que pelo menos um veículo sairá do cliente i para visitar outro cliente. A equação (2.4) diz que se houver círculos, haverá então V rotas. A equação (2.5) determina que a variável de decisão x_{ij} seja binária. A equação (2.6) impede a existência de ciclos. A equação (2.7) denota a restrição de capacidade a ser atendida. A equação (2.8) trata da restrição quanto ao tamanho máximo T em cada rota.

Além da formulação matemática é necessário apresentar as definições para clientes, veículos e objetivos. Segundo Toth & Vigo (2001) elas são:

- Clientes: vértices do gráfico onde os clientes estão localizados, demanda que deve ser entregue ou coletada, período do dia em que deve ser realizada a entrega, tempo de carga e descarga e subconjunto de veículos que podem servir o cliente;
- Veículos: depósito de saída e chegada do veículo, capacidade do veículo, possibilidade de subdivisão do veículo em compartimentos, maquinário permitido de carga e descarga, subconjunto de arcos no grafo que podem ser utilizados e custo associado a sua utilização;
- Objetivos: minimização do custo global de transporte, minimização do número de veículos utilizados, minimização das penalidades associadas a entregas incompletas, balanceamento entre rotas, pelo tempo e carga.

Como pode ser observado, existem diversos objetivos tratados nos PRVs, entretanto para a resolução destes problemas em tempo hábil, devem-se definir sub-conjuntos de objetivos.

O PRV para tratar estes objetivos, necessita de diversos tipos de variantes e especificidades de modo a tratar problemas reais. Para facilitar sua análise pode-se subdividir o problema em algumas categorias, e estas serão apresentadas a seguir.

1.5 *Categorias do PRV*

Existem diversos tipos de PRVs e por este motivo os mesmos são divididos em categorias que apresentem restrições semelhantes. Estas categorias são usualmente geradas a partir da manipulação e inserção de restrições ao modelo base.

Desrochers, Lenstra & Savelsbergh (1990) classificam estes problemas de acordo com os seguintes itens:

- Endereços: número de depósitos, tipo de demanda, lista de restrições de endereços, e por fim, lista de seleção de endereços;
- Veículos: quantidade de veículos, sua capacidade, elemento transportado, ordenação de entrega, tempo disponível para percorrer a rota;
- Características do problema: tipo de rede, estratégia adotada, restrições entre endereços, restrições entre endereço e veículo, restrições entre veículos;
- Objetivos: quantidade de objetivos a serem atendidos, tipos de objetivos.

Marinakis & Migdalas (2007) tratam as classificações e variantes da seguinte forma: Roteamento de Veículos Capacitados (PRVC), Roteamento de Veículos com Janela de Tempo (PRVJT), Roteamento de Veículo com Coleta e Entrega (PRVEC), Roteamento com Múltiplos Depósitos (PRVMD), Roteamento de Veículos Dinâmicos e Estocásticos (PRVDE), Roteamento de Veículos com Múltiplos Períodos (PRVMP), Roteamento de Veículos com Frota Heterogênea (PRVFH) e Roteamento de Veículos Abertos (PRVA).

Segundo Eksioglu, Vural e Reisman (2009) as seguintes classes de problemas de PRV foram listadas, de acordo com as variantes possíveis e suas referências em publicações:

- Tipo de estudo: teóricos, aplicação de métodos, implementação, revisão de literatura;
- Características do cenário: número de paradas na rota, carregamento fracionado, quantidade demandada, requisição de tempo, tempo de espera, estrutura da janela de tempo, horizonte de tempo, círculos e cobertura de arcos/nós;
- Características físicas: rede de transporte, localização dos endereços, geografia dos endereços, número de pontos de origem, número de pontos de

carregamento/descarregamento, tipo da janela de tempo, número de veículos, capacidade do veículo (homogêneos e heterogêneos), tempo de viagem e custo de transporte;

- Características da informação: evolução da informação, qualidade da informação, disponibilidade da informação e processamento da informação;
- Características dos dados: dados utilizados, dados não utilizados.

Segundo Toth & Vigo (2001) podem ser classificados como:

a) PRV com capacidade limitada (PRVC):

No PRVC todos os clientes correspondem a pontos de entrega e a demanda é determinística, conhecida anteriormente, e pode não ser dividida. Os veículos são idênticos e possuem um único depósito central, e apenas a restrição de capacidade é imposta aos veículos.

b) PRV com distância limitada (PRVD):

O PRVD apresenta restrições de distância ou tempo máximo associado a cada rota. Em particular, uma distância é calculada para cada arco do grafo e a distância total percorrida em cada rota não pode ultrapassar o máximo definido. Os veículos podem ser diferentes, o que pode ou não implicar na diferença do tamanho máximo do percurso deles.

c) PRV com Backhauls (PRVB):

O PRVB é uma extensão do PRVC em que os clientes são particionados em dois subconjuntos. O primeiro subconjunto, L, contém n *Linehaul* clientes, cada requerendo uma certa quantidade de produtos a ser entregue. O segundo subconjunto, B, contém m *Backhaul* clientes, onde uma certa quantidade de produtos devem ser coletados. Neste problema, existe uma restrição de precedente entre *linehaule backhaul*, quando uma rota serve os dois tipos de clientes, todos os clientes *linehaul* (entrega de produtos) devem ser servidos anteriormente aos cliente *backhaul* (coleta de produtos).

d) PRV com entrega e coleta (PRVEC):

Na versão básica do PRVEC, cada cliente é associado a duas quantidades d_i e p_i , que representando a demanda de produtos homogêneos a serem entregues e coletados em cada cliente. Às vezes, apenas uma demanda $d_i = d_i - p_i$ é usada para cada cliente, indicando a diferença na rede entre a entrega e coleta. É assumido que em cada local a entrega é realizada antes da coleta. Portanto, a carga atual do veículo antes da chegada num dado local é definida como a carga inicial menos todas as demandas já entregues acrescido de todas as demandas coletadas.

e) PRV com janela de tempo (PRVJT):

O PRVJT é uma extensão do PRVC onde as restrições de capacidade são impostas e cada cliente é associado a um intervalo de tempo, chamado de janela de tempo. O serviço em cada cliente deve começar dentro da janela de tempo associada ao mesmo. Este problema consiste em encontrar um conjunto de veículos com rotas simples, com custo mínimo, e de tal modo que: cada rota visite o depósito, cada cliente seja visitado por exatamente 1 rota, a soma da demanda dos clientes visitados não exceda a capacidade dos veículos e para cada cliente o serviço inicie dentro da janela de tempo.

Como pode ser visto o PRVC é tratado por quase todos os autores por ser um dos casos mais básicos do PRV e pelas suas diversas aplicabilidades. Os autores Marinakis & Migdalas (2007) e Toth & Vigo (2001) utilizam uma definição semelhante do PRVC enquanto Desrochers, Lenstra & Savelsbergh (1990) e Eksioglu, Vural & Reisman (2009) utilizam uma classificação no qual os problemas são descritos como um conjunto de subgrupos. A seguir será exemplificado o PRVC devido ao mesmo ser o foco deste trabalho.

1.6 PRVC

1.6.1 Definição

O PRVC é uma das variantes do clássico PRV, onde é acrescido da restrição de capacidade presente em cada veículo. Cada cliente deve ser visitado por pelo menos um veículo de modo a suprir a demanda do mesmo. Como citado cada veículo apresenta uma capacidade limitada e a mesma deve ser respeitada, de modo que, a rota realizada por cada veículo apresente demanda inferior a sua capacidade limite. O objetivo neste problema é minimizar a distância total percorrida, o que tem implicação final na redução dos custos totais de transporte.

Segundo Toth & Vigo (2001) podemos descrever o grafo teórico do problema PRVC, como sendo: $G = (V, A)$ seja um grafo completo, onde $V = \{0, \dots, n\}$ é o conjunto de vértices e A é o conjunto de arcos. Os vértices $i = 1, \dots, n$ correspondem aos clientes com demandas conhecidas $d_i \geq 0$ e o vértice 0 corresponde ao depósito. Um custo não negativo, c_{ij} , é associado a cada arco $(i, j) \in A$ e representa o custo de viagem do vértice i para o vértice j . Geralmente, o uso de arcos cíclicos, (i, j) , não é permitido e é imposto que $c_{ii} = +\infty$ para todo $i \in V$. Se G é um grafo direcionado, o custo da matriz c é assimétrico, e o problema correspondente é chamado de PRVC assimétrico (PRVCA). Caso contrário, temos $c_{ij} = c_{ji}$ para todo $(i, j) \in A$, o problema é chamado de PRVC simétrico (PRVCS), e o conjunto de arcos A é geralmente substituído por um conjunto não direcionado de nós, E onde eles são referenciados por um único índice e .

Sejam $\delta(S)$ e $\sigma(S)$ representando um conjunto de arcos $e \in E$ (ou arcos $(i, j) \in A$) que tenham apenas um ou dois pontos finais em um subconjunto de clientes S . Assume-se que a matriz de custos satisfaz a desigualdade triangular $c_{ik} + c_{kj} \geq c_{ij}$ para todos $i, j, k \in V$. Um conjunto K de veículos idênticos, todos com capacidade C , estão disponíveis no depósito e cada veículo pode atender a uma ou mais rotas.

O PRVC consiste em calcular um conjunto de K circuitos simples, correspondentes as rotas de veículos com o mínimo de custo tais que: cada circuito deve iniciar-se no vértice 0 (depósito), cada vértice $i \in V - 0$ é visitado por exatamente um circuito, a soma das demandas dos vértices visitados por um veículo não deve exceder a capacidade do mesmo, C .

1.6.2 Modelagem Matemática

O modelo matemático a seguir será apresentado para o caso geral, sendo possível evidenciar as diferenças entre o PRV e PRVC. A visualização do modelo permite um melhor entendimento do problema e as restrições associadas ao mesmo. Em Toth & Vigo (2001) o modelo matemático do PRVC é definido como:

Variáveis binárias x_{ij} são utilizadas para indicar se um veículo irá utilizar (ou não) o arco na solução: $x_{ij} = 1$ se e somente se $arc(ij) \in A$, isto é, a solução contém o trajeto que sai do cliente i para o cliente j . Constantes c_{ij} representam o custo para percorrer o trajeto entre os clientes e é proporcional a distância entre os mesmos.

O objetivo pode ser descrito como:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \quad (2.9)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1, \forall j \in V - \{0\}; \quad (2.10)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ij} = 1, \forall i \in V - \{0\}; \quad (2.11)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0} = k; \quad (2.12)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0j} = k; \quad (2.13)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \geq \gamma(S), \forall S \subseteq V - \{0\}, S \neq \emptyset; \quad (2.14)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j \in V; \quad (2.15)$$

As equações (2.10) e (2.11) determinam que cada cliente será visitado exatamente uma única vez. As equações (2.12) e (2.13) implicam nos graus requeridos pelo vértice do depósito. A restrição de capacidade é representada na equação (2.14). A equação (2.15) diz respeito as variáveis x_{ij} serem binárias.

Este modelo ainda é aceito como o modelo básico para definir os PRVCs, entretanto para suprir especificidades dos problemas reais são adicionadas algumas restrições e alterações ao mesmo. A seguir serão citadas algumas aplicações deste modelo.

1.6.3 Aplicações

Há na literatura diversas aplicações deste modelo ao qual é possível observar que um modelo simples como este possa resolver diversos problemas reais. Alguns autores apresentam trabalhos nesta área, tais quais, Guimarães (2011) utiliza as técnicas da PRVC para a solução de problemas de carregamento de contêiner (PCC), melhorando o arranjo das caixas dentro de cada contêiner e possibilitando a redução do número de rotas.

Scarpin *et al* (2010) apresentam duas propostas para a configuração de frota e roteamento de entregas de produtos de linha branca de uma rede supermercadista, objetivando minimizar a distância percorrida pela frota de veículos e consequentemente os custos de transporte.

Bittencourt *et al* (2012) aplica o PRVC como técnica para a distribuição de produtos de um frigorífico na cidade de Juiz de Fora (MG).

Arias-Rojas (2012) propõem rotas para o transporte escolar na cidade de Bogotá (Colômbia) para uma das escolas de modo a minimizar os custos envolvidos.

Rodríguez & Ruiz (2012) aplicam o PRVC assimétrico para a resolução do Problema do Caixeiro Viajante na região da Península Ibérica.

Kant *et al* (2008) apresentam o caso da empresa Coca-Cola (CCE) ao qual busca otimizar o roteamento de veículos para melhorar a eficiência da entrega de seus produtos em âmbito global, para o mesmo é utilizado o software ORTEC.

Bautista, Fernández & Pereira (2008) descrevem um método para a solução do problema de coleta de lixo urbano no município de *Sant Boi de Llobregat*, na região metropolitana de Barcelona.

Fernandez *et al* (2000) resolvem um problema de distribuição global de uma companhia de comida situada em Valencia, Espanha com as técnicas de Monte Carlos.

As aplicações citadas apresentam uma gama extensa de áreas ao qual o PRVC pode ser aplicado para a solução de problemas reais. Além destas é possível encontrar diversas outras aplicações na literatura, a partir disso, pode-se observar a aplicabilidade deste método para a solução de problemas complexos com custos viáveis e com tempo de solução aceitável.

2.1.1 Soluções /Algoritmos do PRVC

O PRVC corresponde a um dos problemas de roteamento, entretanto diversos autores buscam novas técnicas para a solução destes problemas. A partir deste ponto podemos subdividir os PRVCs em dois grupos, sendo eles exatos e heurísticos. Esta subdivisão deve-se as explícitas diferenças entre os dois métodos, sendo que os métodos exatos apresentam demonstrações matemáticas comprovadas, porem exigem muito esforço e

tempo computacional. Os métodos heurísticos apresentam soluções (aproximadas) com menor esforço e tempo, mas não possuem provas matemáticas.

Como citado anteriormente o PRVC pode ser aplicado em diversas áreas, por este motivo muitos autores realizam estudos sobre o mesmo e tentam aprimorar e melhorar o seu tempo de resolução. Os autores Iori *et al* (2004), Ralphs (2003) e Belenguer *et al* (2011) tratam o método exato de *Branch-and-Cut*. Já Baldacci *et al* (2007), Toth & Vigo (2002), Contardoa *et al* (2012) e Baldacci & Mingozzi (2006) apresentam o método exato *Lower Bounds*.

Enquanto isso, diversos autores tratam dos métodos heurísticos, tais quais, Baker & Ayechev (2003), Berger & Barkaoui (2003), Prins (2004) utilizam os algoritmos evolucionários, Bullnheimer *et al* (1999), Reimann *et al* (2004), Yu *et al* (2009) tratam o algoritmo da Colônia de Formigas, Osman (1993), Lin *et al* (2009) apresentam o Recozimento Simulado, Taillard (1993), Gendreau *et al* (1994), Rego & Roucairol (1996) experimentam a busca Tabu, Ai & Kachitvichyanukul (2009) demonstram a Otimização por Enxame de Partículas, entre outros.

Podemos observar que o número de métodos heurísticos presentes na literatura é superior aos exatos, isso deve-se a aplicabilidade dos mesmos em problemas reais. Pois, com maior complexidade os métodos exatos apresentam custos e tempos computacionais inviáveis para a resolução dos problemas, enquanto os métodos heurísticos mesmo que não encontrem a solução ótima apresentam respostas próximas do ótimo e condizentes com o tempo e esforço computacional presentes.

O intuito deste trabalho não corresponde a tratar os métodos de solução, mas sim em apresentar o modelo matemático para a resolução de um PRVC e utilizar o software LINGO para a resolução do mesmo, o qual já apresenta alguns métodos exatos implementados. A utilização dos métodos exatos ou heurísticos não influenciará no decorrer do problema, pois o mesmo apresenta baixa complexidade e poucas variáveis. Com isso, o esforço da máquina e o tempo computacional não serão grandes.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tratará da classificação metodológica empregado no projeto. Para tanto serão descritas as classificações possíveis e área da pesquisa.

Em linhas gerais, as atividades se pautaram em investigar aspectos técnicos que poderiam melhorar a logística de distribuição de cargas urbanas por meio do uso dos conhecimentos sobre PRVC e da aplicação dos mesmos em um caso real.

1.7 Classificações da Pesquisa

A metodologia utilizada no presente trabalho consiste em um Estudo de Caso sobre o roteirização de veículos.

1.7.1 Quanto aos Objetivos

De acordo com Wazlawick (2008, p. 37) uma pesquisa pode ter finalidade técnica ou científica. Os trabalhos técnicos apenas usam o conhecimento já disponível, enquanto os trabalhos científicos devem, além de usar o conhecimento já disponível, criar novos conhecimentos, associando-os dentro de uma estrutura coerente àqueles que já são conhecidos.

De acordo com a definição exposta, o presente trabalho é caracterizado como técnico, pois utiliza de conhecimentos já existentes e objetiva aplica-los em um estudo de caso.

1.7.2 Quanto à forma de Abordagem

Miguel et al (2012, p. 47) consideram que a escolha da abordagem da pesquisa precede a escolha do método de pesquisa propriamente dito. A classificação usualmente encontrada na literatura para abordagens em trabalhos acadêmicos é em abordagem qualitativa e abordagem quantitativa, embora alguns autores adotem a combinação destas duas como uma terceira abordagem.

Considerando os critérios apresentados, este estudo pode ser enquadrado como quantitativo, por apresentar uma ênfase na modelagem e resolução de um problema quantificável.

1.7.3 Quanto à forma, tipo

Ribeiro e Zabadal (2010, p. 30) afirmam que os estudos científicos, de forma geral, podem ter caráter exploratório, descritivo, explanatório ou preditivo, sendo que ainda alguns autores incluem o tipo explicativo.

Exploratório é aquele em que há novos aspectos, novos enfoques ou até novas áreas a serem descobertas, examinando um tema ou área pouco estudado, podendo abrir campo para muitas e novas pesquisas. (Ribeiro & Zabadal, 2010)

Avaliando esta forma de classificação, pode-se pautar a presente pesquisa como um estudo de caráter exploratório, já que estuda uma área pouco difundida no Brasil, e visou oferecer novos resultados ao problema presente.

1.7.4 Quanto aos métodos de pesquisa

Miguel *et al* (2012) citam como principais métodos de pesquisa adotados na Engenharia de Produção: o levantamento tipo survey, o estudo de caso, e a modelagem e simulação.

O estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio de análise aprofundada de um ou mais objetos de análise (casos) (MIGUEL, FLEURY, et al., 2012).

A metodologia utilizada nesta monografia para análise dos resultados é o estudo de caso. Assim sendo, os resultados estão restritos ao caso analisado, não podem ser generalizado para outros problemas de roteamento, devido as suas especificidades.

1.8 *Área da Pesquisa*

A presente pesquisa foi embasada na abordagem da Logística e da Pesquisa Operacional, com enfoque no Roteamento de Veículos. Sendo esse um problema ligado ao transporte de carga, em busca da redução dos custos de transporte e melhora no atendimento ao cliente.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso em questão visa desenvolver a modelagem matemática do PRVC e implementá-la para a distribuição de bebidas na cidade de Ouro Preto, MG. De modo, a validar sua aplicabilidade no contexto tratado e apresentar possíveis rotas para o transporte de modo a suprir a demanda em períodos de alto consumo, com uma resposta eficiente e com custo reduzido. Neste sentido, essa seção parte da caracterização da empresa. Posteriormente, define-se o problema estudado, apresentam-se a solução alcançada.

4.1 *Caracterização da Empresa*

A empresa em questão Companhia de Bebidas das Américas (AmBev) é uma empresa de capital aberto produtora de bens de consumo do Brasil, tendo nascido da fusão entre a Antarctica e a Brahma em 1999. Atualmente, a Ambev tem mais de 40 mil

funcionários, dos quais aproximadamente 26 mil só no Brasil. A mesma é responsável pela produção, distribuição e coleta de seus produtos.

Pelo tamanho da mesma, a distribuição de sua vasta gama de produtos é dividida em dois canais: os Centros de Distribuição Direta (CDDs), todos da Ambev, e as 165 Revendas terceirizadas.

Uma de suas revendedoras a Distribuidora de Bebidas FARID LTDA fundada em 1997 e localizada em Mariana – MG. Esta é responsável pelo suprimento das cidades Mariana, Ouro Preto e Itabirito – MG e seus respectivos distritos.

4.2 Contextualização do Problema

A FARID por ser uma empresa de médio porte, apresenta dificuldade em atender a alta demanda durante períodos festivos (feriados e eventos culturais) nas cidades de Mariana e Ouro Preto pelo aumento da procura pelos seus produtos em períodos coincidentes. Este é o caso do período do Carnaval, ao qual a procura por bebidas fornecidas pela mesma apresenta sua demanda máxima. Com isso, o número de funcionários e equipamentos responsáveis pelo carregamento e transporte apresenta-se saturado. Juntamente com essa demanda ocorre o aumento no número de clientes, e como os clientes encontram-se dispersos pela região, o aumento da complexidade logística é visível. **Inclua uma tabela de consumo dividido por meses do anos...ou mesmo alguma tabela com algum dado sobre o consumo dividido por períodos de tempos.... (a empresa não me forneceu esses dados)**

O maior problema enfrentado pela FARID corresponde a demanda da cidade de Ouro Preto, pois a mesma apresenta um dos maiores carnavais de Minas Gerais. A demanda por produtos pode ser dividido em três grupos distintos, sendo eles PETs (Figura 3), Latas (Figura 4) e Engradados de garrafas retornáveis (Figura 5). Esta divisão deve-se pelo tamanho das unidades e como as mesmas são embaladas para transporte. Pelo seu tamanho distinto os caminhões transportam por vez apenas um destes grupos.



Figura 3 - Embalagem PETs



Figura 4 - Embalagem Latas



Figura 5 - Engradado de Garrafas retornáveis

O trabalho em questão visará apenas a avaliação do transporte de Engradados de garrafas retornáveis, pois não foram viabilizados dados a respeito dos demais produtos e o modelo funcionará da mesma forma, a única alteração necessária seria a mudança da quantidade limite transportada em cada caminhão.

Inclua uma foto da empresa... ou mesmo do espaço físico da FARID (não estou conseguindo encontrar uma foto boa da empresa)

4.3 Caracterização do Problema

O planejamento da distribuição de bebidas na cidade de Ouro Preto partiu da subdivisão do problema em função dos bairros, de modo a limitar o número de rotas avaliadas e

com isso fornecer uma resposta mais ágil. A seguir será apresentado um mapa de um dos bairros, Centro, com o posicionamento de seus clientes.

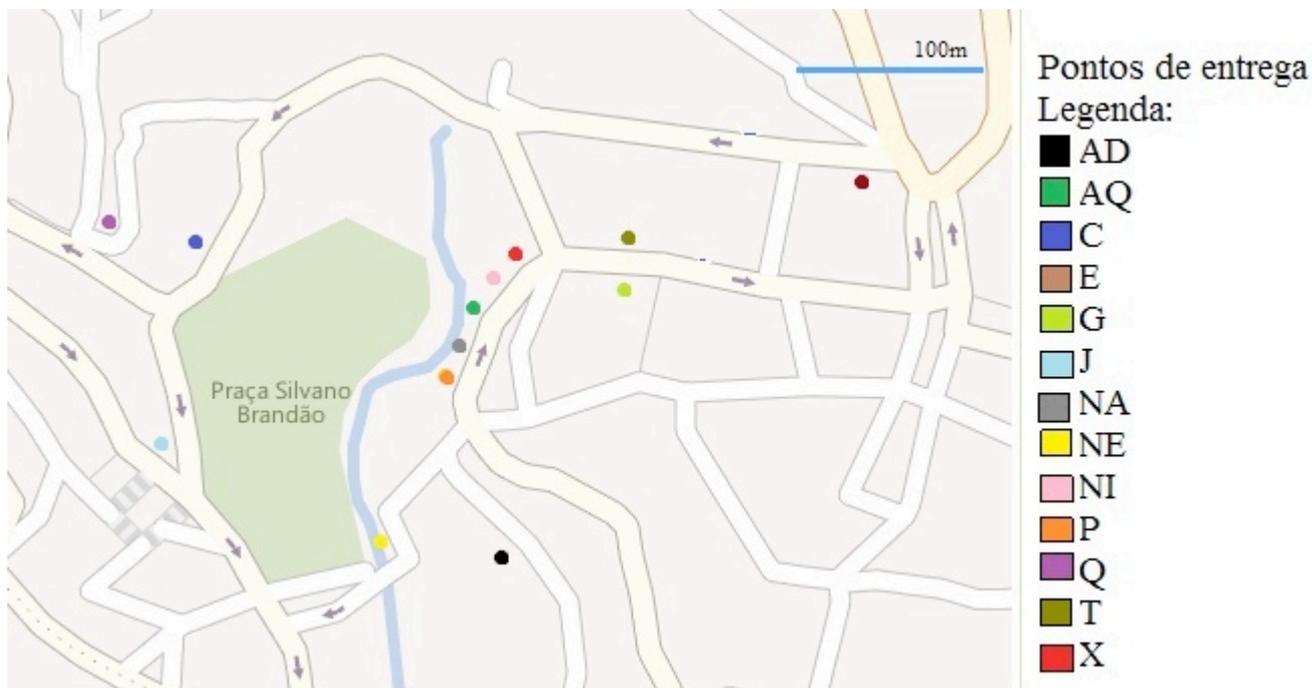


Figura 6 - Posicionamento dos Clientes no Bairro Centro Fonte: adaptado pelos autores no software GoogleMaps, 2013.

A partir do posicionamento e a ajuda do Google Maps, foi calculada a distância entre os clientes e clientes/depósito que situa-se na saída de Ouro Preto.

Foi gerado uma tabela para facilitar a visualização das distâncias associadas, os pontos que se encontravam a menos de 10 metros de distância foram agrupados para facilitar a análise. Sendo no total 3 pontos agrupados (G e T), (AQ e NI) e (NA e P).

Distâncias entre pontos	DEPOSITO	AD	NI / AQ	C	E	G / T	J	NA / P	NE	Q	X
DEPOSITO	0	3400	3600	4000	3800	3700	4100	3600	3600	4000	3600
AD	3500	0	160	550	750	250	630	130	110	520	170
NI / AQ	3500	1205	0	335	285	80	470	185	1345	355	20
C	3700	1100	1290	0	1560	1360	135	1260	1230	2010	1300
E	3800	1450	500	280	0	330	415	470	1590	450	510
G	3500	1500	545	790	315	0	925	515	1635	770	555
J	3500	970	1160	1540	1220	1125	0	1130	1105	1510	1170
NA / P	3600	1235	35	365	415	110	500	0	1375	385	45
NE	3500	990	1170	1565	1370	1260	670	1140	0	1535	1180
Q	4600	1940	1640	1460	1180	1570	1595	1610	1720	0	1650
X	3500	1190	0	320	270	65	455	190	1330	510	0

Tabela 1 - Distância entre os pontos de entrega em metros

Abaixo segue a demanda de cada cliente para o período do Carnaval, os dados são referentes a carnavais passados de modo a ocultar a situação atual por desejo da empresa.

Ponto de Entrega	Quantidade Engradados
AD	250
NI / AQ	650
C	100
E	100
G / T	370
J	70
NA / P	250
N	200
Q	300
X	200

Tabela 2 - Quantidade de Engradados pedidos

A empresa para atender toda a região dispõe de 20 caminhões de mesmo tamanho, sendo que cada um possui a capacidade máxima de 180 engradados divididos em 6 compartimentos de tamanho igual.



Figura 7- Modelo dos caminhões de entrega

O próximo tópico, portanto, apresenta as restrições consideradas, seguidas pela formulação matemática, ferramentas utilizadas e resultados.

4.4 Restrições

De forma a adequar o problema descrito acima ao PRVC as restrições abaixo devem ser tratadas:

- Cada veículo deve iniciar e finalizar sua rota no depósito;
- Cada rota deve respeitar a limitação de carga dos veículos;
- Os veículos podem realizar mais de uma rota;

- Cada cliente deve ser visitado pelo menos uma vez;
- A demanda dos clientes deve ser atendida em sua totalidade;
- Nenhum cliente deve ser visitado mais de quatro vezes;

A seguir serão descritas os motivos e razões para as restrições citadas.

4.4.1 Início e Fim da Rota

A partir da avaliação do sistema é imprescindível que os veículos tenham pontos de início e fim de rota diferentes. Já que ao finalizar uma das rotas o mesmo pode ser direcionado a próxima e assim sucessivamente.

4.4.2 Limitação de Carga

Como já citado acima, os veículos possuem mesma capacidade e é impossível realizar entregas com cargas superiores, tanto por questão de espaço, segurança. Sendo assim, cada rota deve respeitar a limitação por veículos.

4.4.3 Múltiplas rotas por veículo

Essa restrição permite que um mesmo caminhão realize diversas entregas durante um mesmo expediente de trabalho.

4.4.4 A Demanda deve ser suprida

Como o caso estudado trata da distribuição de bebidas para diversos clientes, fica implícito que a entrega deve atender a todos. Com isso, pelo menos uma rota deve passar em cada ponto de demanda e suprir a mesma em sua totalidade.

4.4.5 Repetições de entrega

Foi definido que nenhum cliente deve ser visitado mais de quatro vezes por alguns motivos: tempo necessário para estacionar em local movimentado, insatisfação dos clientes pela mobilização da mão-de-obra, dificuldade de controle pelos entregadores já que o mesmo é feito manualmente.

4.5 *Formulação Matemática*

A formulação matemática apresentada nessa seção consiste em uma variação do PRVC, o qual aborda as restrições citadas na seção anterior. O algoritmo proposto foi implementado para os dados apresentados acima. Não convém, principalmente no que diz respeito a tempos computacionais, realizar uma execução que abordasse a cidade de

Ouro Preto como um todo. Assim, primeiramente serão especificados os dados e variáveis relevantes ao problema para, em seguida, apresentar as equações do modelo.

- Conjuntos
 - P: conjunto da demanda de produto pelos clientes;
 - D: conjunto das distâncias entre os clientes e clientes/depósito;
- Dados
 - K = Número de veículos;
 - N = Número de clientes;
 - Cij = Custo do arco i ao j;
 - Mi = Demanda do cliente i;
 - Qk = Capacidade do veículo k;
- Variáveis:
 - Xijk = indica qual veículo k percorrerá o arco de i ao j;

$$\text{Min } C_{ij}X_{ijk} \quad (1)$$

Restrições

$$\sum_{j=1}^N X_{ijk} = \sum_{j=1}^N X_{jik} \leq 1 \quad \forall i = 0; k \in (1, \dots, K) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N M_i \sum_{j=0; j \neq i}^N X_{ijk} \leq Q_k \quad \forall k \in (1, \dots, K); i \in (1, \dots, N) \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0; j \neq i}^N X_{ijk} = 4 \quad \forall i \in (1, \dots, N) \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0; i \neq j}^N X_{jik} = 4 \quad \forall j \in (1, \dots, N) \quad (5)$$

$$X_{ijk} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in (1, \dots, N); k \in (1, \dots, K) \quad (6)$$

$$C_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in (1, \dots, N) \quad (7)$$

$$Q_k \geq 0 \quad k \in (1, \dots, K) \quad (8)$$

$$M_i \geq 0 \quad \forall i \in (1, \dots, N) \quad (9)$$

Em (1) é definida a função objetiva, em que busca-se reduzir da distancia de transporte para os veículos, e conseqüentemente redução do custo total de transporte. A equação (2) valida que cada rota inicia e termina no depósito. Em (3) define-se que a demanda de cada rota não deve ser superior a capacidade do veículo. As equações (4) e (5) definem que cada cliente pode ser visitado no máximo 4 vezes, respeitando as restrições citadas anteriormente. Em (6), (7), (8), (9) definem que os dados e variáveis de modo que todos sejam igual ou superior a 0 para os dados intervalos.

4.6 Ferramentas Utilizadas

A entrada de dados do modelo foi feita através da planilha eletrônica Microsoft Excel, versão 2007. O modelo de otimização linear inteira foi implementada no software LINGO, versão 11.0, o qual aplica o método de *Branch & Bound* para obtenção da solução ótima.

O software foi executado em um computador com as seguintes especificações:

- Sistema Operacional Windows 7 Ultimate;
- Processador Core 2 Duo 2.4Ghz;
- Memória RAM de 4GB;

As soluções são armazenadas no software Excel 2007, no qual o usuário pode acompanhar as rotas realizadas por cada veículo.

Faltam os dados da aplicação. Ou seja, com a demanda levantada e com esse modelo, quais foram os resultados? Inclua uma tabela com os dados finais, uma outra tabela com exemplos de rotas geradas, figura do mapa com as rotas geradas etc.

Alem de mostrar tabela e mapas com os dados das rotas, faça uma crítica dos dados obtidos, por exemplo: a quantidade de km percorrido foi apropriada? O tempo utilizado para calcular as rotas foi grande? Todas as restrições, com as rotas geradas foram

atendidas? (estou tendo problemas com a modelagem, o problema esta rodando mas não esta encontrado solução viável.)

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A constante tentativa pelas empresas em encontrar novas técnicas e melhorias em seus processos, culminando no aumento da competitividade e permanência no mercado. Neste âmbito, o estudo sobre roteamento de veículos pode viabilizar uma vantagem em função da melhora dos custos e / ou tempos de entrega.

Neste trabalho buscou-se tratar o Problema do Roteamento de Veículos Capacitados (PRVC), apresentando a sua aplicabilidade em um estudo de caso, onde por meio da ajuda da Pesquisa Operacional pode modelar e propor uma possível solução em tempo e custos viáveis.

5.1 Conclusões

O presente estudo propôs um método para definição de rotas de entrega para distribuição de bebidas, em uma cidade com diversas especificidades de carga e variação da demanda. O objetivo da formulação apresentada é minimizar a distância total percorrida e conseqüentemente os custos de transporte.

Os resultados presentes neste texto possibilitaram modelar matematicamente o cálculo de rotas em Ouro Preto e propor caminhos ótimos para suprir a sua demanda. Entretanto o problema tratado foi limitado a uma pequena região da cidade, de modo a validar o modelo supracitado.

Como citado anteriormente, não foi possível verificar a real melhora com estas técnicas devido a falta de informações sobre como a empresa realizava a sua definição de rotas e os custos associadas a mesma.

5.2 Recomendações

Para trabalhos futuros, sugere-se abranger o local tratado avaliando a cidade de Ouro Preto como um todo, de modo a achar uma solução ótima global. Outros estudos mais aprofundados podem querer trabalhar não apenas a distribuição de Engradados de garrafas retornáveis, e avaliar a possibilidade de entrega conjunta com os demais produtos disponibilizados pela empresa, sendo interessante considerar métodos

heurísticos, ou metaheurísticas, para que o tempo de solução seja coerente com a necessidade da empresa.

E por fim um dos problemas não verificados foi a possibilidade de criação de outro depósito provisório na cidade durante períodos de pico. De modo a reduzir os tempos e custos de transporte, reduzindo a distância entre o depósito e seus respectivos clientes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SOBRENOME, Nome. *Título do livro*: subtítulo do livro. 3º ed. Cidade: Editora, 20XX.

SOBRENOME, Nome. *Título da monografia*. Monografia de Graduação em Engenharia de Produção – UFOP. Ouro Preto – MG, 20XX.

SOBRENOME, Nome. *Título da dissertação de mestrado*. Dissertação em Engenharia de Produção e Sistemas – UFOP, Ouro Preto. 20XX.

SOBRENOME, Nome. *Título da tese de doutorado*. Tese em Engenharia de Produção e Sistemas – UFRJ, Rio de Janeiro. 20XX.

SOBRENOME, Nome. *Título do artigo*. In: Nome do Congresso – SIGLA Cidade do congresso, 200XX.

SOBRENOME, Nome. Título do artigo. *Nome da revista acadêmica*. Cidade, vol. 00, no. 00, p.p. 00-01, 20XX.

Ex:

MARCONI, M. A. e LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (coordenador) *et al.* ***Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.*** 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

OLIVEIRA, Edson A. C. de. A utilização do Controle Estatístico de Processos em uma empresa de Fabricação de Aços Especiais do Estado de Minas Gerais. Monografia de graduação em Engenharia de Produção, UFOP. Ouro Preto - MG, 2007.

OLIVEIRA, Elis E. de Souza. Aplicação de ferramentas de controle da qualidade como auxílio no tratamento e redução de perdas: estudo de caso em um processo de tratamento de minérios de uma unidade industrial situada em Minas Gerais. Monografia de graduação em Engenharia de Produção, UFOP. Ouro Preto - MG, 2010.

RIBEIRO, V. G.; ZABADAL, J. R. S. ***Pesquisa em computação:*** uma abordagem metodológica para trabalhos de conclusão de curso e projetos de iniciação científica. Porto Alegre: Editora UniRitter, 2010.

WAZLAWICK, Raul Sidnei. ***Metodologia de pesquisa para ciência da computação.*** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

YIN, Robert K. ***Estudo de caso:*** planejamento e métodos. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.