

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
LUÍZA FUHRMANN KEHRIG SILVA

**DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE PRODUTOS EM UMA EMPRESA DE
*FAST FOOD***

JOINVILLE

2015

LÚIZA FUHRMANN KEHRIG SILVA

**DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE PRODUTOS EM UMA EMPRESA DE
*FAST FOOD***

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção de Grau de Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística.

Orientadora: Prof^ª. Vanina Macowski Durski Silva, Dr^ª. Eng.

JOINVILLE

2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Luiza Fuhrmann Kehrig Silva
DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE PRODUTOS EM UMA EMPRESA DE FAST
FOOD / Luiza Fuhrmann Kehrig Silva Silva ; orientadora,
Vanina Macowski Durski Silva - Joinville, SC, 2015.
93 p.

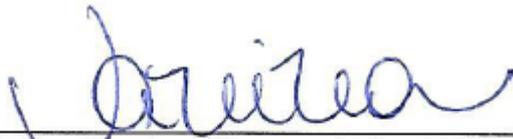
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville.
Graduação em Engenharia de Transportes e Logística.

Inclui referências

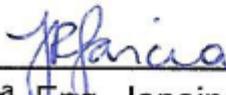
1. Engenharia de Transportes e Logística. 2.
Roteirização. 3. Simulated Annealing. 4. Método da
Varredura. 5. Fast food. I. Macowski Durski Silva, Vanina.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia de Transportes e Logística. III. Título.

DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE PRODUTOS EM UMA EMPRESA DE FAST FOOD

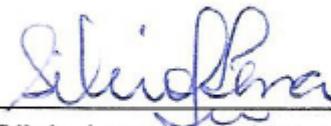
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.



Prof^a. Dr^a. Eng. Vanina Macowski Durski Silva
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof^a. Dr^a. Eng. Janaina Renata Garcia
Membro titular
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof^a. Dr^a. Eng. Silvia Lopes de Sena Tagliapietra
Membro titular
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho à minha família, em
especial ao meu avô.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha mãe, Carla, e ao meu pai, José Aquiles, por me proporcionarem um estudo de boa qualidade que foram fundamentais na minha formação acadêmica. Também queria agradecê-los por sempre me darem suporte, bem como pelas constantes palavras de incentivo, carinho e compreensão durante esta caminhada.

Gostaria de deixar registrado meu agradecimento aos meus irmãos: Bruno pelas frequentes discussões sobre assuntos científicos que ampliaram meus horizontes e influenciaram nas minhas decisões acadêmicas; e ao Gabriel e Rafael por sempre estarem ao meu lado.

Agradeço, em especial, a minha orientadora, Prof. Dr. Vanina Macowski Durski Silva, por ter sido presente e atenciosa apesar da distância física, bem como por suas correções e colaborações que enriqueceram este trabalho, meu muito obrigada.

Ao Senhor João Batista por ter me oportunizado realizar um estágio na Capitão Gourmet, ao Luiz Carlos Shoef Junior por ter disponibilizado todos os dados que eu precisei e por ter tirado as minhas dúvidas, e a todos os funcionários com quem eu tive a oportunidade de trabalhar durante meu estágio na empresa.

Agradeço também a minha tia Ana e o meu amigo André por terem me auxiliado e retirado minhas dúvidas ao meu pedido de ajuda. E às minhas amigas: Elza, Angela, Schayany por terem deixado este período mais leve e por terem escutado minhas frustrações e queixas.

A minha vó, Aldanê, minha tia, Viviane e meu tio Renato por terem me acolhido e proporcionado um ambiente agradável e propício ao meu estudo e, ao meu avô por durante toda a minha caminhada na faculdade ter acreditado na minha capacidade e me chamado de forma carinhosa como “minha engenheira” e por ao final ter me guiado com sua luz.

A secretária de curso Luciana Reginato Dias, por todas as vezes que requisitada ter conseguido solucionar com simpatia os meus problemas e aos demais colegas de curso, professores e servidores que contribuíram com a minha formação.

RESUMO

O ramo alimentício de *fast food* vem crescendo e exigindo maior competitividade das empresas neste setor, as quais frequentemente buscam medidas que reduzam seus custos sem alterar a qualidade de seus produtos. As medidas logísticas apresentam bons resultados para este cenário e tem despertado o interesse de empresários e pesquisadores. O processo de distribuição de produtos, em especial a roteirização, é uma das áreas logísticas que tem se destacado, devido, principalmente, a sua alta representatividade em relação aos custos logísticos. Desta forma, o presente trabalho de conclusão de curso apresenta um estudo de caso sobre a distribuição de produtos alimentícios de *fast food* da empresa Capitão Gourmet, responsável por produzir e entregar os calzones da rede Mini Kalzone. O estudo compreende o entendimento do procedimento atual da distribuição dos produtos da empresa, para então propor um método quanto à definição das rotas de distribuição a serem utilizadas de modo a reduzir as distâncias totais percorridas e por consequência o custo gasto em combustível. Portanto, é desenvolvido um programa computacional implementado na linguagem C++, para a roteirização de uma frota de veículos heterogêneos utilizando ferramentas heurísticas e metaheurísticas, com o uso dos métodos da varredura e *Simulated Annealing*, respectivamente. Por fim, com o método proposto obtém-se uma queda média do custo com combustível de aproximadamente 22%, bem como uma redução média de 21,17% das distâncias totais percorridas, sendo 12,17% das reduções resultado médio do método varredura e 10,74% a média de melhora com a utilização do SA.

Palavras-chave: Roteirização. *Fast food*. Método da Varredura. *Simulated Annealing*.

ABSTRACT

The fast food branch has been growing up and requiring a higher competitiveness from the companies on this field, which frequently look for ways to reduce their expenses without changing the quality of their products. The logistic ways have presented good results for this scenario and they have called the interest of businessmen and researchers. The process of products spreading, especially the scripting, is one of logistic fields, which has called attention, because of mainly its high representativeness dealing to logistic expenses.

This way, the present course conclusion paper presents a case study about the Capitão Gourmet fast food distribution, responsible for producing and handling the calzones from Mini Kalzone net. The study shows the understanding of the updated procedure of the distribution of the company products, and so to suggest a method regard to the definition of the distribution ways to be used in order to reduce the total distance done and so the expense paid in gasoline.

Then, it's been developed a computer program done on the C++ language in order to have a route of a bunch of homogenous cars using heuristic and metaheuristic tools, with the use of the Sweeping and Simulated Annealing methods, respectively.

Finally, there's an average falling of the gasoline expense around 22%, as well as an average falling around 21,17% from the total distances done, being 12,17% from the reduction, an average result of the Sweeping method and 10,74 % the improvement average with the use of SA.

Key words: Routing, Fast food, Sweeping Method, Simulated Annealing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do trabalho	22
Figura 2: Perda de qualidade do produto na distribuição	30
Figura 3: Agrupamentos inadequado (a) e adequado (b) dos pontos	33
Figura 4: Dodecaedro proposto por Willian Rowan Hamilton	34
Figura 5: Exemplo da heurística 2-opt	40
Figura 6: Exemplo do Método das Economias	41
Figura 7: Cálculo dos benefícios	41
Figura 8: Representação do atendimento das empresas.....	48
Figura 9: Fluxograma dos processos logísticos da empresa	50
Figura 10: Representação da matriz origem/destino.....	53
Figura 11: Ordenação dos pontos	54
Figura 12: Fluxograma do algoritmo.....	57
Figura 13: Exemplo da varredura	61
Figura 14: Algoritmo do <i>Simulated Annealing</i>	65
Figura 15: Exemplos de inviabilidades	66
Figura 16: Comparação entre os agrupamentos do cenário 0 e 2	70
Figura 17: Exemplo de solução gerada pelo programa.....	72
Figura 18: Solução do método da varredura para o cenário 2	76
Figura 19: Solução do método <i>Simulated Annealing</i> para o cenário 2.....	77
Figura 20: Solução computacional para o cenário 3	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Maiores marcas de <i>fast food</i> brasileiras	25
Tabela 2: Porcentagem da função aceite	46
Tabela 3: Características da frota	51
Tabela 4: Agrupamento das rotas	68
Tabela 5: Resultados obtidos com o método da varredura	72
Tabela 6: Soluções obtidas com o método da varredura	73
Tabela 7: Análise das soluções geradas para o cenário atual	74
Tabela 8: Análise das soluções geradas para o cenário modificado	75
Tabela 9: Comparação das distâncias percorridas entre os cenários	79
Tabela 10: Análise dos custos.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Processos da cadeia logística	27
Quadro 2: Características dos produtos sensíveis termicamente	28
Quadro 3: Processos logísticos da empresa	49
Quadro 4: Localização das lojas	53
Quadro 5: Agrupamento modificados dos clientes da Grande Florianópolis	70
Quadro 6: Resumo das vantagens e desvantagens de cada cenário	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Motivações da escolha por <i>fast food</i>	25
Gráfico 2: Análise da relação das respostas com os valores das constantes	63
Gráfico 3: Análise da média das respostas com os valores das constantes	63
Gráfico 4: Análise do tempo para gerar as respostas	64
Gráfico 5: Representação das distâncias percorridas	78
Gráfico 6: Análise dos custos	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFIR - Associação Nacional dos Fabricantes de Implementos Refrigerados

TSP - *Travelling Salesman Problem*

VRP - *Vehicle Routing Problem*

SA - *Simulated Annealing*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO	15
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	OBJETIVO GERAL	17
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3	JUSTIFICATIVA	18
1.3.1	JUSTIFICATIVAS ECONÔMICAS E OPERACIONAIS	18
1.3.2	JUSTIFICATIVA ACADÊMICA	19
1.4	METODOLOGIA	21
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	PANORAMA DO SETOR DO FAST FOOD	24
2.2	DISTRIBUIÇÃO DOS PRODUTOS DE FAST FOOD	27
2.3	ROTEIRIZAÇÃO	31
2.3.1	CAIXEIRO VIAJANTE	34
2.3.2	PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS	46
3	MÉTODOS DE SOLUÇÃO NÃO EXATOS	40
3.1	MÉTODOS HEURÍSTICOS	40
3.1.1	MÉTODO DAS ECONOMIAS	41
3.1.2	MÉTODO DA VARREDURA	42
3.2	METAHEURÍSTICAS	43
3.2.1	MÉTODO <i>SIMULATED ANNEALING</i>	44
4	ESTUDO DE CASO	48
4.1	HISTÓRICO DA EMPRESA	48
4.2	DEPARTAMENTOS DA EMPRESA	49
4.3	PROCESSO LOGÍSTICO DA EMPRESA	49
4.4	CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA DO ESTUDO DE CASO	50
4.5	LEVANTAMENTO DOS DADOS DA EMPRESA	51
4.6	IMPLEMENTAÇÃO DO CÓDIGO DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS	54
4.6.1	LÓGICA COMPUTACIONAL DO PROGRAMA	57
5	RESULTADOS	67
5.1	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO	67
5.2	CENÁRIOS	67
5.2.1	CENÁRIO ATUAL	67
5.2.2	CENÁRIO ATUAL COM SEQUENCIAMENTO (1)	69
5.2.3	CENÁRIO MODIFICADO (2)	69
5.2.4	CENÁRIO DE AGRUPAMENTO ÚNICO (3)	71

5.3	AVALIAÇÃO DE CADA CENÁRIO DO PROGRAMA	71
5.3.1	CENÁRIO ATUAL COM SEQUENCIAMENTO (1).....	71
5.3.2	CENÁRIO MODIFICADO (2).....	75
5.3.3	CENÁRIO ÚNICO (3)	77
5.4	COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS.....	79
6	CONCLUSÕES	82
	REFERÊNCIAS	84

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO

A logística surgiu da necessidade dos militares em abastecer seu armamento e suprimentos e seu conceito tem sido adaptado com o tempo de forma a contemplar toda a cadeia logística. Segundo Ballou (2006, p.27):

“Logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes”.

A abertura dos mercados, a globalização e o incremento da tecnologia tornou as atividades de movimentação de mercadorias mais rápidas, e isso gerou impactos nos consumidores que já não aceitam mais esperar por determinado produto ou serviço; assim sendo, o produto só terá valor se estiver no lugar certo, no momento desejado (BALLOU, 2006).

O tempo passou a ser um fator crítico, de forma que as pessoas tentam agilizar suas atividades rotineiras como a alimentação e, neste cenário percebe-se o crescimento da demanda por alimentos do tipo *fast-food*, conhecidos pela praticidade e geralmente pelo custo acessível, os lanches vêm ganhando espaço no setor alimentício. Por alimento do tipo *fast food* entende-se um segmento no setor de alimentação que trabalha com o conceito de lanches e comidas preparadas e servidas rapidamente, que possuem uma produção mecanizada e padronizada (ABREU, 2000).

É importante destacar a necessidade de armazenamento correto durante toda a cadeia logística que envolve este tipo de alimento. Na maioria das vezes, para possibilitar um preparo em poucos minutos esses alimentos são pré-cozidos e congelados e assim, precisam de uma temperatura específica no transporte para não se deteriorarem.

O termo *Cold Supply Chain*, ou cadeia de suprimentos do frio, pode ser empregado para esses tipos de alimentos que precisam de controle térmico durante as etapas da cadeia logística. A atividade de transporte é uma fase crítica e muitas

empresas ainda estão despreparadas para transportá-lo de maneira adequada, garantindo a segurança e higiene do alimento (BAPTISTA, s.d).

A escolha do modal irá determinar o tipo de veículo em que a carga será transportada e essa escolha depende de características da carga, da empresa, bem como características geográficas do trajeto. De acordo com Baptista (s.d, p.16):

“...o transporte por estrada é hoje dominante e está crescendo continuamente em importância. A maior parte dos produtos alimentares está sujeita a ser transportada por estrada em algum ponto da cadeia de fornecimento.”

No Brasil existe um grande problema na infraestrutura dos transportes e um alto incentivo às rodovias, que são responsáveis por 52% dos deslocamentos feitos atualmente no país (PNLT, 2012, p.11). A maioria das cidades tem problemas de congestionamento e com isso as empresas dependentes do modal rodoviário para realizar a entrega de seus produtos sofrem com gastos adicionais de combustível, horas extras, manutenção dos veículos e tempo perdido nas estradas.

Juntamente a isso, é comum às empresas realizarem a distribuição de seus produtos utilizando apenas o racional humano para determinar as rotas que irão atender as demandas dos clientes.

Segundo Ballou (2006) a utilização do racional humano é capaz de determinar boas rotas quando o número de pontos atendidos e restrições são pequenos. Contudo, quando os problemas são complexos a visualização lógica de boas soluções torna-se impraticável, e assim a utilização de ferramentas computacionais que dêem suporte à tomada de decisões são essenciais para obter-se uma boa solução.

O uso de ferramentas computacionais que utilizam métodos heurísticos e metaheurísticos é comum, visto que esses métodos fornecem soluções de boa qualidade em tempo de processamento compatível com as necessidades das empresas.

As novas técnicas, especialmente as metaheurísticas, as quais se diferem das heurísticas por conseguirem explorar um espaço maior de solução, podendo assim fugir de ótimos locais têm se mostrado bastante eficientes. Dentre os algoritmos utilizados destacam-se: *Tabu search*, *Simulated Annealing*, Computação

Evolucionária (Algoritmos Genéticos, Programação Evolucionária, etc.) e Redes Neurais (ARAUJO, 2001).

Durante muito tempo os métodos matemáticos e os modelos computacionais foram ignorados pelo setor empresarial, que desconhecia a capacidade destes métodos em reduzir custos. É neste contexto que o presente trabalho se propõe a estudar a distribuição física dos produtos alimentícios de uma empresa do tipo *fast food*, Capitão Gourmet, responsável pela produção e entrega dos produtos da rede de *fast food* Mini Kalzone. Além disso, propõe-se o desenvolvimento de um modelo computacional que dê suporte para decisões de roteirização da empresa para efetuar a distribuição física de seus produtos.

1.2 OBJETIVOS

Neste tópico apresentam-se os objetivos geral e específicos que este trabalho pretende alcançar.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo computacional capaz de gerar dados que apoiem as decisões de alocação de veículos e roteirização para a distribuição física dos produtos da empresa Capitão Gourmet Indústria de Alimentos LTDA.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos apresentados abaixo serão utilizados para se atingir o objetivo geral:

- a) Analisar o cenário em que a indústria Capitão Gourmet está inserida e quais as necessidades da empresa quanto ao transporte de seus produtos;
- b) Escolher um método para a modelagem do problema em estudo e propor uma solução à distribuição física de produtos da empresa Capitão Gourmet;
- c) Analisar os resultados obtidos com a utilização do programa e propor soluções alternativas à distribuição física de produtos da empresa Capitão Gourmet.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Neste tópico, apresentam-se as justificativas para realização do trabalho, divididas nos âmbitos econômico, operacional e acadêmico.

1.3.1 Justificativas econômicas e operacionais

De acordo com a Revista Exame (2012), os gastos adicionais com a entrega de produtos encarecem em aproximadamente 10% o valor dos produtos da rede de *fast food* Mini Kalzone. Deste modo, o desenvolvimento de medidas de transporte que consigam reduzir os custos da empresa é interessante para deixá-la mais competitiva.

Desta forma, o presente trabalho, que tem por objetivo a construção de um modelo computacional que embase as decisões gerenciais de rotas de distribuição. Este modelo é atraente sobre aspectos econômicos e operacionais para uma empresa, visto que, as companhias buscam medidas que diminuam seus custos sem alterar a qualidade de seus produtos e que as soluções logísticas são muito eficazes para conseguir tais resultados (BALLOU, 2006).

Geralmente, soluções para a atividade de transporte são de grande relevância aos estudos, devido à grande participação desta em termos financeiros. Segundo Lima (2006), os custos de transporte são na ordem de 60% dos custos logísticos no Brasil. Já para Ballou (2006), sua representatividade é na ordem de dois terços dos custos totais de logística de uma empresa.

Segundo Golden e Assad (1986) medidas de roteirização foram capazes de reduzir em 15% os gastos nos transportes das empresas Du Pont e Chevron. Para Melo e Ferreira Filho (2001) as reduções dos custos geralmente ficam em torno de 10 a 15%, em casos críticos de acordo com a Revista Br (2002) *apud* Matos *et al.* (2013) a redução pode chegar a 25%.

No ramo alimentício a necessidade da roteirização da distribuição dos produtos é motivada não apenas para a redução de custos como também para aumentar a segurança quanto à qualidade dos alimentos, já que muitos têm tempo de vida reduzido e são afetados diretamente pela duração e a temperatura durante o percurso em toda cadeia logística.

Em especial o ramo alimentício de *fast food* requer uma cadeia logística que tenha como características: rapidez, visto que seus clientes exigem entregas frequentes, flexibilidade, para conseguir atender as rápidas mudanças de demanda e as necessidades especiais dos diferentes grupos de alimentos transportados, como por exemplo: temperatura.

A empresa do estudo de caso, Capitão Gourmet, atualmente possui a agregação do conjunto de clientes atendidos em uma mesma rota e a ordenação dos atendimentos é realizada segundo o racional humano.

Deste modo, o presente trabalho vem contribuir com o desenvolvimento de um modelo computacional de roteirização de veículos heterogêneos que possa reduzir o número de veículos necessários à distribuição dos produtos bem como minimizar as distâncias totais das rotas, obtendo-se assim uma redução dos custos.

1.3.2 Justificativa acadêmica

Os estudos do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) têm se mantido no topo das pesquisas dos problemas de otimização combinatória, sendo considerado o mais estudado de todos os tempos¹. O interesse no assunto aborda tanto o ramo acadêmico quanto situações práticas, atraindo pesquisadores de diferentes áreas como, por exemplo: matemática, engenharia, física, biologia e inteligência artificial. O interesse dos pesquisadores neste problema está ligado à diversidade de outros problemas combinatórios que se baseiam no PCV, como o problema de roteirização de veículos (ARAUJO, 2001).

A roteirização de veículos vem interessando inúmeras empresas e pesquisadores, e de acordo com o estudo realizado por Eksioglu *et al.* (2009) no período de 1955 a 2005, a taxa de crescimento anual de publicações no assunto foi de 6,09%.

Os estudos de roteirização iniciaram no final da década de 50. Dantzig e Ramser em 1959 desenvolveram um modelo matemático capaz de solucionar problemas de roteirização, em 1964 Clarke e Wright publicaram um estudo baseado no anterior e propondo algumas modificações do modelo, desde então o tema vem sido abordado na literatura (CLARK e WRIGHT, 1964 *apud* GAMA, 2011).

¹ Citação feita pelos organizadores do 8th DIMACS Implementation Challenge: The Travelling Salesman Problem realizado em setembro de 2000. (ARAUJO, 2001)

No Brasil, estudos de roteirização do modal rodoviário têm grande importância devido à grande representatividade do modal no país. Contudo, infelizmente poucas empresas o fazem por desconhecer o poder das técnicas em reduzir os custos.

Neste cenário, o presente trabalho se justifica ao contribuir com o aumento da utilização das técnicas de roteirização apresentando uma revisão bibliográfica sobre a roteirização de veículos e um estudo de caso que apresente os resultados da aplicação de um programa computacional que têm por objetivo a minimização do custo de distribuição de produtos de uma empresa com frota heterogênea.

Assim, o programa desenvolvido visa trabalhar com cenários de diferentes demandas, que se adaptem às necessidades da empresa e que a utilização não se restrinja a usuários que tenham conhecimentos das áreas de roteirização e de pesquisa operacional. Neste estudo, a utilização de métodos exatos foi descartada, visto que quando a demanda ou qualquer outro dado varia este método necessita a adaptação do modelo. Além disso, os métodos exatos operam com um número limitado de variáveis, o que seria outra dificuldade dependendo do número de pontos atendimento das rotas da empresa. Por este motivo, este estudo utilizará um método heurístico para a manipulação dos dados.

A utilização de métodos heurísticos e metaheurísticos para a geração de soluções computacionais é recorrente devido a sua simplicidade de programação, flexibilidade de adaptação às restrições, tempo de processamento e qualidade de soluções, que são compatíveis com as necessidades das empresas.

Dentre as abordagens heurísticas destaca-se o método da varredura. O método da varredura é um procedimento bastante simples para a solução de problemas de roteirização, e usualmente é aplicado a problemas onde a velocidade de resposta é de suma importância. Segundo Ballou (2006) seu erro médio é de 10%.

Visto que o programa computacional trabalhará com cenários de demandas distintos e que a utilização dos programas será frequente, a velocidade do método também se tornou um valor crítico, pois não seria possível a utilização de um programa que demorasse horas ou dias para gerar a resposta, e por esta razão, optou-se pela escolha do método da varredura para iniciar o programa.

Contudo, ainda será necessário a utilização de outro método que fosse capaz de melhorar a resposta de sequenciamento das cidades a ser percorridas durante a

distribuição física dos produtos, apresentado uma redução da distância total percorrida. Desta forma, optou-se pela utilização de uma metaheurística.

As metaheurísticas, as quais se diferem das heurísticas por conseguirem explorar um espaço maior de solução, tendo assim capacidade de fugir de ótimos locais têm se mostrado bastante eficientes. Dentre os algoritmos metaheurísticos tem-se o método do *Simulated Annealing* (SA), o qual foi escolhido para ser aplicado ao estudo de caso.

Dois fatores que contribuíram com a utilização do método foram: a existência de diversos trabalhos já publicados à respeito do método que comprovavam sua eficiência e podiam contribuir com o desenvolvimento do problema da empresa em estudo e a simplicidade de programação do SA.

1.4 METODOLOGIA

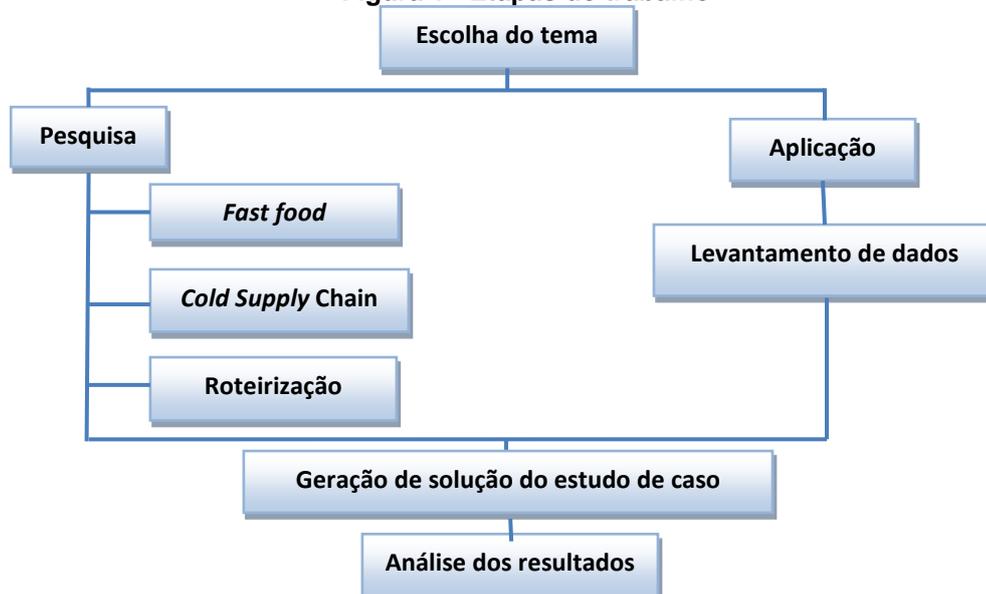
O trabalho apresenta um problema real e específico de roteirização dos produtos da empresa Capitão Gourmet - Indústria e Comércio de Alimentos Ltda. Segundo Yin (1989) estudo de caso é “[...] uma forma de se fazer pesquisa empírica que investiga fenômenos contemporâneos dentro de seu contexto de vida real”.

Dessa forma, o presente trabalho apresenta uma metodologia que envolve pesquisa, aplicação e resultados quantitativos, de acordo com uma sequência de atividades, ilustradas na figura 1, realizadas com o intuito de apresentar os benefícios da roteirização aplicados à distribuição de produtos de uma empresa. Tais etapas compreendem:

- Pesquisa:
 - a) compreender o cenário em que a empresa Capitão Gourmet está inserida, através de uma análise sobre o setor alimentício de *fast food*;
 - b) analisar as características do processo de distribuição dos produtos, em especial os com sensibilidade térmica de modo a compreender as necessidades da entrega das mercadorias da empresa estudada;
 - c) verificar os problemas de roteirização de veículos de forma a identificar, o conjunto de restrições, variáveis e características que estão inseridos no problema de roteirização da empresa;

- Levantamento de dados – fase responsável por reunir informações relevantes da empresa de estudo Capitão Gourmet, como sua frota de veículos e os pontos de atendimento realizados pela fábrica, as quais foram levantadas a partir de trabalhos já publicados sobre a empresa e através de informações disponibilizadas por funcionários da mesma. Nesta etapa também realizou-se o levantamento de dados fundamentais para a análise do estudo de caso, como a matriz de distância de origem e destino dos pontos, a qual foi gerada com a utilização da ferramenta do Google Maps;
- Geração de uma proposta de solução do estudo de caso - com o correlacionamento entre: o problema de roteirização abordados na revisão bibliográfica e a identificação das necessidades da empresa, busca e definição de um método para solucionar o problema em estudo;
- Aplicação de um modelo computacional – desenvolvimento de um modelo computacional com implementação da heurística da varredura e do algoritmo SA na linguagem computacional C++, capaz de dar suporte a decisões operacionais de roteirização de veículos, levando-se em consideração capacidade, tamanho da frota e demanda dos clientes da empresa;
- Análise dos resultados - contempla a interpretação dos dados gerados pelo programa desenvolvido e a verificação se os resultados obtidos vão de encontro aos objetivos esperados com a sua aplicação e ainda, se as respostas são geradas dentro de um tempo de computação viável.

Figura 1 - Etapas do trabalho



Fonte: Autoria Própria

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho de conclusão de curso está estruturado em 6 capítulos, incluindo este introdutório.

O capítulo 2 inicia-se apresentando um panorama sobre a indústria e comércio de empresas do tipo *fast food*, apresentando rapidamente um pouco do seu histórico, sua importância econômica e uma breve análise do cenário nacional neste setor, seguido de uma revisão bibliográfica sobre o processo de distribuição de mercadorias, tratando principalmente das cargas com sensibilidade térmica, finalizando com um referencial teórico que aborda o tema de Roteirização de Veículos: o modelo matemático clássico de roteirização de veículos e suas variações.

O capítulo 3 descreve dois métodos não exatos que podem ser utilizados para modelar e propor soluções ao problema de roteirização de veículos. O primeiro método apresentado, caracteriza-se por ser um método heurístico e denomina-se Método da Varredura. Já o segundo método, metaheurístico, denomina-se *Simulated Annealing*.

O capítulo 4 compreende a introdução e aplicação do estudo de caso, apresentando o histórico da empresa de estudo, Capitão Gourmet, bem como a modelagem do problema, incluindo a definição da função objetivo, restrições, variáveis e características do problema de roteirização de veículos da empresa. Neste capítulo também é realizado o levantamento dos dados para serem inseridos no modelo e, a implementação de um código computacional utilizando a metaheurística *Simulated Annealing* e a linguagem C++.

No capítulo 5 são apresentados os resultados do estudo de caso, e, por fim, o último capítulo é composto pelo encerramento do trabalho, no qual são apresentadas as considerações finais sobre os resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PANORAMA DO *FAST FOOD*

O *food service*, setor de venda de alimentos e bebidas para consumo imediato, teve crescimento extraordinário nas últimas décadas e, segundo Medeiros (2008), de 1995 a 2005 o aumento desse setor foi na ordem de 225%. Uma das motivações do aquecimento do mercado nesse setor foi um conjunto de mudanças políticas, sociais e culturais, dentre elas destacando-se a entrada da mulher no mercado de trabalho, a redução do número de donas de casa, o aumento de pessoas morando sozinhas e o ritmo de vida mais acelerado, no qual as pessoas tem cada dia menos tempo para se dedicar a atividades domésticas (DONNA, 2006).

Nesse cenário a indústria de *fast food*, um dos segmentos do *food service* que tem por diferencial um serviço rápido e geralmente mais acessível também vem conquistando o mercado e apresentando um crescimento de 15% ao ano, segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação (ABIA, 2011).

O conceito de *fast food* nasceu nos Estados Unidos e foi uma evolução do sistema de restaurantes e lanchonetes da década de 40 do tipo *drive-in*, onde o serviço se diferenciou no mercado de alimentação pela padronização, mecanização e rapidez dos seus serviços (VIVALDINI; SOUZA, 2006).

Ainda de acordo com os autores a ideia desse novo sistema de produção no setor alimentício foi de Maurice e Richard McDonald. Juntos os irmãos criaram um processo capaz de agilizar a produtividade e o processo criado assemelha-se às linhas de montagem fordista. O sistema foi planejado com cozinhas bem equipadas, um serviço padronizado e com poucas variedades de alimentos, mas produzidos em grande quantidade. O modelo de processo teve sucesso e logo foi copiado e aplicado por diversas empresas pelo mundo. Assim, a empresa dos irmãos McDonald prosperou rapidamente e até os dias atuais é uma das maiores empresas do ramo.

No Brasil o primeiro empreendimento nesse setor foi em 1951 com uma sorveteria, Falkenburg Sorvetes Ltda., criada pelo americano Robert Falkenburg, na cidade do Rio de Janeiro e inicialmente trabalhava apenas com sorvetes de baunilha, porém mais tarde a empresa aumentou sua variedade de produtos e

passou a ser chamada de Bob's, a primeira e uma das maiores empresas de *fast food* nacional (BOB'S, s.d).

Desde seu surgimento o mercado apresenta-se em expansão e mesmo com a crise financeira mundial o setor de *fast food* vem crescendo, apresentando um impacto gigantesco na economia brasileira, participando com 2,4% do PIB brasileiro e com 8% dos empregos diretos no país (FISPAL *FOOD SERVICE*, s.d).

Em 2013 o faturamento do setor foi da ordem de 9,3 bilhões de reais, gerando 161.325 mil empregos diretos, tendo um aumento de 20 mil em relação ao ano anterior (EMPREENDEDOR, s.d).

De acordo com Silvestro (1999) as lojas de *fast food* se caracterizam por atender um volume médio de clientes por unidade de tempo, devido à demanda que se limita a uma região; desta forma o autor defende que o crescimento de uma rede só é possível com a abertura de novas unidades.

Existem aproximadamente 370 empresas desse setor atuando no Brasil, sendo as maiores marcas atuantes no cenário nacional apresentadas na Tabela 1:

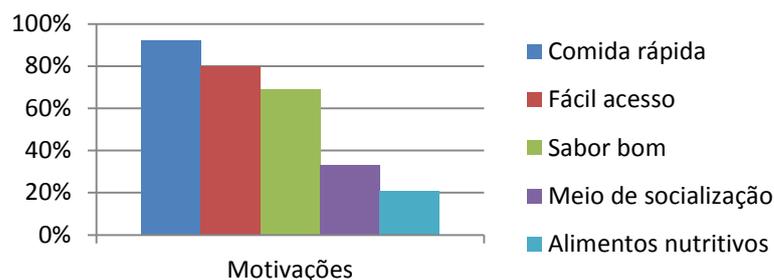
Tabela 1 - Maiores marcas de *fast food* brasileiras

Marca	Número de pontos de venda
Subway	1.600
Bob's	960
McDonald's	750
Giraffas	400
Habib's	305

Fonte: Adaptado de Toda Matéria (s.d)

Uma pesquisa apontou as principais motivações de americanos e europeus escolherem este tipo de comida como mostra a Gráfico 1:

Gráfico 1 – Motivações da escolha por *fast food*



Fonte: Adaptado Leal (s.d)

Analisando o gráfico percebe-se que, quase que a totalidade dos entrevistados são motivados pela rapidez que o setor proporciona, solucionando a indisponibilidade de tempo que grande parte da população tem para preparar e consumir alimentos mais elaborados.

Segundo estudos feitos pela Shopper Experience (2011) *apud* Toda Matéria (s.d), 75% da população brasileira prefere os estabelecimentos do tipo *fast food* aos restaurantes tradicionais, em contrapartida cerca de 2% afirmam nunca consumir este tipo de alimento.

Os estabelecimentos deste setor podem trabalhar com alimentos em três estágios de processamento, conforme apresentado a seguir (YUE, 2007):

- Alimentos crus sem padronização de porções;
- Alimentos crus com padronização de porções;
- Alimentos pré-processados.

Ainda segundo o autor supracitado os alimentos recebidos sem padronização exigem mais etapas de manuseio para separar e padronizar os lanches, o que, em muitas situações acaba afetando o tempo de entrega e/ou os tamanhos das porções. Os alimentos crus também requerem um maior tempo de preparo o que pode prejudicar o setor que deve ter como diferencial o atendimento rápido. A última opção é a mais cara, em contrapartida é a mais indicada para restaurantes do tipo *fast food*.

Ferreira (2009) corrobora com a indicação de produtos semiacabados para reduzir o tempo entre o pedido e a entrega do produto. Ainda segundo o autor, no almoço as refeições são entregues em aproximadamente 10 minutos, já no jantar o tempo médio de entrega aumenta em 15 minutos.

O consumo deste setor é mais frequente durante os dias de semana, onde trabalhadores e estudantes buscam por estabelecimentos que proporcionem uma refeição rápida, sendo a maioria das refeições feitas no almoço, os lanches aparecem na segunda posição e por último encontra-se o jantar (MARINO, 2014).

Conforme Yue (2007) o ramo alimentício de *fast food* é caracterizado por dois tipos de serviço, o *front office* e o *back office*.

- *Front office* – na tradução significa linha de frente, representando o atendimento direto com os clientes;

- *Back office* - é o conjunto de serviços que dão suporte ao *front office*, dentre eles estão os processos de preparo da comida e toda a cadeia logística dos produtos e serviços.

Dentre os processos da cadeia logística, segundo o autor supracitado, destacam-se cinco funções como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Processos da cadeia logística

Atividades	Descrição
Compra	Atividades de desenvolvimento, escolha e negociação com os fornecedores e o processo da compra de fato.
Administração de estoque	Atividades de planejamento e controle, manuseio e transporte dos materiais dentro dos armazéns.
Recebimento de mercadorias	Atividades de recebimento de materiais tanto nos restaurantes como nos centros de distribuição.
Distribuição física	Atividades de transporte entre as etapas da cadeia.
Processamento de pedidos	Atividades de administração de pedidos de insumos, coleta de informações e encaminhamento de pedidos.

Fonte: Yue (2007)

O presente trabalho se limitará a apresentar a atividade de *back office* de distribuição dos produtos, em especial, às de mercadorias alimentícias com sensibilidade térmica.

2.2 DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTOS DAS REDES DE FAST FOOD

Segundo Bowersox e Closs (2007), o principal objetivo da logística de distribuição é conseguir que as mercadorias cheguem ao local desejado, no tempo acordado, com o menor custo possível e sem sofrer danos que possam acarretar em perda de valor ou qualidade do produto.

Para isso, ainda conforme os autores supracitados a logística de distribuição deve coordenar os processos de informação, estoque, armazenagem, manuseio de materiais, embalagem e transporte.

O segmento de distribuição vem aperfeiçoando seu modelo de atuação para se adaptar aos novos cenários do mercado, advindos da globalização, que aumentou a diversidade e quantidade de mercadorias transportadas (FERREIRA, 2009).

De acordo com Silva (2010) a etapa de distribuição, geralmente, restringe-se à escala local, com baixa quilometragem entre a origem e o destino, sendo que normalmente são utilizados caminhões médios e pequenos com capacidade de até oito toneladas.

Um dos fatores que influenciam na distribuição dos produtos são as características e necessidades específicas da carga transportada, dentre elas destacam as cargas com sensibilidade térmica que incluem diversos produtos transportados.

Segundo Prado (2014) os produtos com sensibilidade térmica são transportados em quatro categorias distintas, dependendo do estado que os mesmos se encontram.

Quadro 2 – Característica dos produtos sensíveis termicamente

Tipo de produto	Características
Fresco	Não sofreu tratamento que possa modificar o seu estado natural;
Refrigerado	Sofreu um arrefecimento sem que seja atingida a temperatura do seu ponto de congelação;
Congelado	Produto cuja água de constituição fica congelada, atingindo uma temperatura de -10°C em todos os seus pontos e até a entrega ao consumidor;
Ultracongelado	Produto que, depois de ultrapassar rapidamente a zona de cristalização máxima, atinge -18°C (pode ir formalmente a -25, -30°C) em todos os seus pontos e até entrega ao consumidor.

Fonte: Adaptado de Prado (2014)

A temperatura é específica para cada mercadoria e variações da mesma durante estágios que compõem a cadeia de suprimento podem deteriorar o produto. Neste estudo, apresentar-se-á apenas a logística de distribuição física de produtos perecíveis.

Apesar do setor de *fast food*, ser uma área alimentícia, seu alcance impacta também outras atividades, como o desenvolvimento de novos materiais e embalagens para acondicionar os alimentos proporcionando um aumento da sua vida útil e, a necessidade de transporte para movimentar os produtos.

A necessidade de transportar alimentos refrigerados/congelados criou um novo nicho de mercado. Muitas empresas não querem se responsabilizar pelo transporte de seus alimentos, de forma que terceirizam este processo contratando

operadores logísticos. De acordo com Amaral *et al.* (2004) as redes de *fast food* fazem bastante uso deste serviço, visto que é comum as mesmas possuírem muitas franquias dispersas geograficamente e que necessitam de abastecimento constante.

De acordo com a Fast&Food (s.d) nos Estados Unidos e na Europa a maioria das franquias de *fast food* encontra-se a um raio de 200 quilômetros dos centros de distribuição, deixando o custo com transporte menor. No Brasil, os operadores desse setor têm que abastecer locais mais distantes, o que torna a operação mais cara. Ainda segundo o autor os “custos das atividades de movimentação de mercadoria são bastante variáveis, girando em torno de 2 a 10% do valor do produto”.

O Brasil possui uma grande concentração do transporte sob o modal rodoviário em função da pouca disponibilidade de outras modalidades de transporte (NOVAES, 2007). De acordo com Marino (2014, p.38), esta é uma das maiores dificuldades encontradas na distribuição de produtos do setor de *fast food*. Ainda segundo o autor “não há muitas opções nos modais ferroviário e marítimo, o que encarece a logística”. Outra dificuldade são as condições das estradas nacionais, em especial as situadas nas regiões Norte e Nordeste.

Segundo Ferreira (2009) os restaurantes do setor de *fast food* recebem, em média, mercadoria de duas a três vezes na semana. As entregas são realizadas em datas e horários pré-determinados, as unidades localizadas em *shopping centers* são as mais críticas devido a sua alta restrição de embarque/desembarque que tem por objetivo evitar o congestionamento no pátio (Fast&Food, s.d).

Dessa forma, a logística de transporte dessas mercadorias deve ser tão rápida quanto o processo de produção do alimento, já que a maioria dos estabelecimentos de *fast food* trabalha com estoques baixos e precisam ser reabastecidos com frequência.

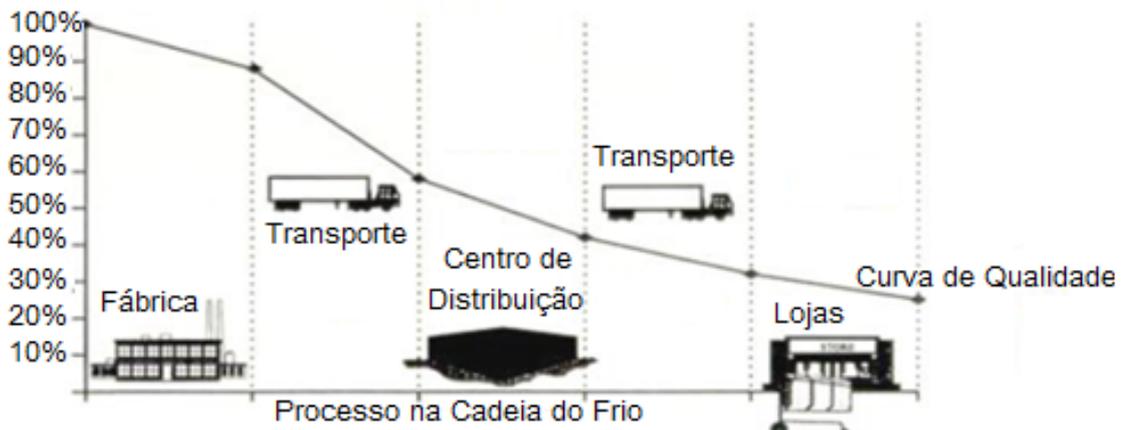
Os veículos frigorificados, utilizados no transporte de alimentos perecíveis são mais pesados que os comuns, o que acaba ocasionando um gasto de combustível elevado.

Para Fávero (2005) um grande problema encontrado na logística de mercadorias com sensibilidade térmica é causado pela falta de conhecimento da necessidade de se manter uma temperatura estável durante todo o trajeto. Segundo o autor, comumente os operadores dos veículos desligam o caminhão em alguns momentos, principalmente no período noturno, com o intuito de diminuir o custo do transporte, o que acaba variando a temperatura do compartimento onde se

encontram os produtos e, conseqüentemente prejudicando a qualidade dos mesmos.

Um estudo realizado por Heap, Kierstan e Ford (1998) aponta para a perda de qualidade do alimento em toda a cadeia logística, apresentada na Figura 2:

Figura 2 - Perda de qualidade do produto na distribuição



Fonte: Heap, Kierstan e Ford (1998)

Segundo os autores a perda de qualidade do produto alimentício é cumulativa e irreversível, sendo o processo de transporte a parte mais crítica. Borre e Agito (2008), afirmam que o uso da refrigeração pode reduzir estas perdas.

Os veículos que transportam mercadorias sensíveis termicamente devem estar preparados para acondicionar respeitando as temperaturas mínimas e máximas dos produtos.

Para assegurar a integridade do alimento, a expedição do produto deve ser realizada somente quando a temperatura de conservação estiver estabilizada e a carga precisa ser alocada no veículo de forma a permitir uma adequada circulação do ar (BAPTISTA, s.d).

O modal rodoviário é o mais adequado para pequenas e médias distâncias a níveis local e regional, sendo utilizado também para complementar os demais modais e permitir a entrega dos produtos porta-a-porta. A capacidade de carga dos veículos é limitada e quando usados para longas distâncias os custos tornam-se elevados. Ademais congestionamentos e a má conservação das vias encarecem ainda mais o transporte rodoviário (PEREIRA, 2013).

Além da preocupação com o veículo o modal rodoviário também necessita de um planejamento do roteiro de entregas, que também é um ponto crítico na manutenção da temperatura no transporte, já que os roteiros impactarão a distância de quilometragem e principalmente o número de paradas de cada rota, as quais devem ser minimizadas para evitar a perda de calor durante o processo de embarque e desembarque (CARVALHO, 2013).

A discussão que segue aborda com mais propriedade a problemática da pesquisa que é o problema de roteirização.

2.3 ROTEIRIZAÇÃO

A atividade de roteirização é definida como a busca dos melhores trajetos, segundo uma função objetivo e obedecendo a uma série de restrições.

A função objetivo é a principal razão pela busca do trajeto ótimo, variando de acordo com o interesse do estudo, existindo três objetivos mais comuns: a minimização dos custos, do tempo e das distâncias.

Já as restrições representam o conjunto de impasses que devem ser considerados na escolha do trajeto, como o número de veículos disponíveis, prazos de entrega, capacidade dos veículos, dentre outras. As restrições limitam as possibilidades de trajeto e tornam o problema mais complexo.

Para Silva (2007) além da função objetivo e das restrições os problemas de roteirização apresentam outros dois parâmetros importantes: as variáveis de decisão e as características do problema.

As variáveis de decisões são as respostas que se buscam com a aplicação do problema, como por exemplo: quantos e quais veículos utilizar, qual roteiro a ser percorrido, qual a quantidade de carga transportada para cada cliente da rota, bem como o tempo de início de atendimento do primeiro cliente da rota (SILVA, 2007).

Ainda de acordo com o autor a abordagem de resolução dependerá de características do problema, como:

- Tipo de operação – refere-se ao tipo de atividade feita pelo veículo, podendo ser: de coleta, quando se busca as mercadorias; entrega, quando distribui as mercadorias ou ainda ambas, quando o mesmo veículo realiza as duas operações;

- Tipo de carga – refere-se à variedade de mercadorias transportadas, podendo ser classificada como carga única, quando apresentar apenas um tipo de mercadoria ou múltipla quando possuir uma maior variedade;
- Frota – pode ser caracteriza quanto à quantidade de veículos disponíveis (limitada, ilimitada) ou quanto à diversidade dos modelos (homogênea, heterogênea);
- Depósito – refere-se à quantidade de depósitos do problema, podendo ser único ou múltiplo.

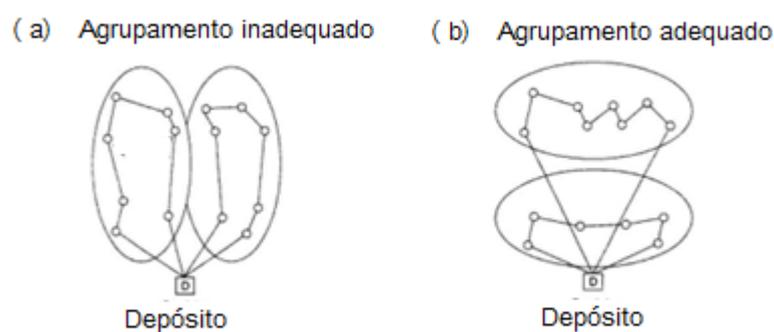
Dentre as vantagens do uso da roteirização destaca-se a redução dos custos logísticos e o aumento do nível de serviço, que conforme Matos Junior *et al* (2013) são resultados de um conjunto de fatores, como:

- O melhor aproveitamento dos veículos;
- O aumento da eficiência operacional;
- A redução do índice de devolução;
- A minimização da distância percorrida;
- A queda de consumo de combustível e gastos com manutenção e pneus e,
- O aumento da qualidade das informações gerenciais.

Conforme Ballou (2006) uma boa roteirização e programação de veículos dependem da aplicação de uma série de princípios, destacando-se:

- O agrupamento das rotas, o qual deve ser realizado incluindo-se paradas próximas entre si como ilustra a Figura 3;

Figura 3 – Agrupamentos inadequado (a) e adequado (b) dos pontos



Fonte: Ballou (2006)

- Os pontos atendidos devem formar uma lágrima, de forma a não ocorrer nenhuma superposição das paradas;

- Os roteiros devem minimizar o uso de veículos, sendo um roteiro ideal aquele onde apenas um veículo é capaz de atender todos os pontos minimizando a distância e/ou tempo.

Conforme Bodin (1990) os problemas de roteirização são divididos em três grupos: roteirização pura, problemas de combinação de veículos e problemas combinados de acordo com as características de suas restrições: espacial e temporal.

- Problemas de roteirização pura – são problemas que trabalham apenas com restrições espaciais, como por exemplo: o problema do caixeiro viajante, também podem apresentar restrições de capacidade, como problemas básicos de roteirização de veículos e o problema do carteiro chinês. Outras características como multiplicidade de depósito e/ou veículos aumentam a quantidade de problemas deste tipo, que tem como objetivo determinar o melhor trajeto.
- Problemas de programação de veículos – caracterizam-se por considerar restrições espaciais e temporais, com limitações de horários, como: tempo máximo para atender os clientes ou de durabilidade de uma rota. Um exemplo desse problema são os problemas de roteirização de veículos com janela de tempo.
- Problemas combinados de roteirização e programação de veículos – também caracterizados por possuir restrições temporais e espaciais, destacam-se por considerar precedência das atividades. De acordo com Ronen (1988) esses problemas podem ser relativos ao transporte de passageiros, como: a programação de linhas de transporte público, privadas e especiais; problemas de prestação de serviço, como: coleta de lixo e correios ou ainda transporte de carga de coleta e distribuição.

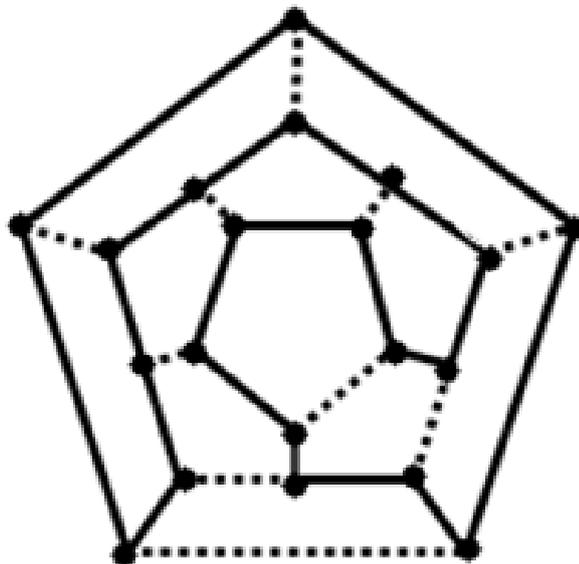
Em virtude da dificuldade de se trabalhar com restrições temporais, este trabalho se restringirá apenas ao tratamento dos problemas de roteirização pura, abordando algum dos problemas citados, bem como métodos de soluções nos próximos tópicos.

2.3.1 CAIXEIRO VIAJANTE

Os problemas de roteirização apresentam diversas variantes, sendo a base da maioria dos problemas o Problema do Caixeiro Viajante (*Travelling Salesman Problem- TSP*).

O problema do caixeiro viajante surgiu com um jogo proposto pelo Willian Rowan Hamilton no qual o objetivo era encontrar uma rota através dos vértices de um dodecaedro apresentado na Figura 4, de tal modo que a rota iniciasse e terminasse no mesmo vértice, sem nunca repetir uma visita (PRADO, 2014).

Figura 4 – Dodecaedro proposto por Willian Rowan Hamilton



Fonte: Freitas (2009) *apud* Prado (2014)

O trajeto de um grafo² que percorre todos os vértices e volta ao ponto inicial sem repetir nenhum vértice ficou então conhecido como ciclo hamiltoniano. Dessa forma o TSP consiste em determinar um ciclo hamiltoniano de um grafo com o menor custo possível (PRADO, 2014).

O modelo matemático para solucionar esse problema foi proposto por Dantzing – Fulkerson – Johnson, e é definido pela função objetivo de se minimizar a somatória dos custos atendidos representados pela equação (1), respeitando as restrições: de cada nó deve sair apenas uma aresta, equação (2); cada nó deve

² Grafo $G(N, A)$ é uma representação composta por um conjunto de nós (N), que geralmente significam cidades ou clientes, e um conjunto de arestas (A), que representam ligações entre os nós, como vias e ferrovias (NASCIMENTO, 2010).

receber apenas uma aresta, equação (3); deve-se proibir a formação de subciclos, equação (4); e por fim as variáveis de decisão devem ser do tipo binárias, equação (5).

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subset N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in N \quad (5)$$

Onde:

- x_{ij} é uma variável binária com saída no vértice “ i ” e destino ao vértice “ j ” e assume o valor de 0, quando a cidade ij não for visitada ou 1, caso contrário;
- N é o número de nós do grafo;
- c_{ij} é o custo de ir do nó “ i ” ao nó “ j ”;
- S é o conjunto de subciclos.

Deste modo, pode-se entender que o problema consiste em um número $R(n)$ de rotas para o caso de n clientes, o qual parte de um cliente inicial, e deve escolher os próximos clientes, tendo sempre o número de opções disponíveis igual a n menos os clientes já visitados. Dessa forma, conclui-se que o conjunto de rotas possíveis, possui cardinalidade dada por: $(n-1)!$ possibilidades de rotas, para grafos completos

e direcionados³. Já para grafos não direcionados⁴, o número total de rotas diminui-se pela metade, ou seja: $R(n) = (n - 1)!/2$ (ARAUJO, 2001).

Aparentemente parece fácil solucionar o problema: em cenários onde o número de clientes é muito pequeno realmente a solução é simples e pode ser encontrada calculando-se todas as rotas possíveis e verificando a de menor custo total. Entretanto, essa estratégia reducionista (força bruta), torna-se inviável para a maioria dos casos, em especial quando o número de clientes é muito grande, visto que o número de rotas possíveis aumenta de forma fatorial.

Prova disto é um exemplo de um grafo completo, não direcionado composto por 20 clientes, o qual terá um universo com $19!/2$ rotas possíveis, o que resulta em aproximadamente 6×10^{16} . Supondo que um computador seja capaz de fazer um bilhão de adições por segundo, tendo assim a capacidade de gerar $10^9/19 = 53$ milhões de rotas por segundo, a demora em se verificar todas as possíveis respostas seria cerca de 36 anos (ARAUJO, 2001).

2.3.2 PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

O Problema de Roteirização de Veículos (*Vehicle Routing Problem - VRP*) consiste em atender um conjunto de clientes dispersos geograficamente com uma quantidade de veículos disponíveis, em que cada rota deve iniciar e finalizar em um mesmo depósito. Geralmente a função objetivo deste problema é minimizar o número de veículos utilizados e/ou a distância percorrida. Da mesma forma que o TSP, todos os clientes devem ser visitados exatamente uma vez, porém o diferencial deste problema é a restrição de capacidade, na qual a demanda total dos clientes de uma rota não deve ultrapassar a capacidade máxima do veículo.

O problema surgiu como um aprimoramento do TSP, feito por Dantzig e Ramser (1959) para a realização de um estudo da distribuição de combustível, levando em consideração a demanda dos postos e a capacidade dos veículos (CACCALANO, 2012).

De acordo com Ballou (2006) os problemas de VRP têm dois objetivos principais: a melhor utilização da frota, de forma a reduzir o número de veículos e os

³ Grafos direcionados são aqueles cujas arestas possuem orientação bem definida, representada por setas. Quando todos os pontos do grafo estão ligados por arestas o grafo é chamado de completo (NASCIMENTO, 2010).

⁴ Grafos não direcionados são aqueles em que as arestas não possuem sentido (NASCIMENTO, 2010).

custos e, a melhor decisão de rota, com a finalidade de obter a minimização da distância total.

Uma formulação básica para o modelo clássico de roteirização de veículos foi introduzida por Fischer e Jaikumar (1981), na publicação "A *Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing*"; como pode ser visto a seguir considerando os parâmetros:

- NV = número de veículos;
- n = número de clientes para os quais uma entrega deve ser feita. Os clientes são indexados de 1 a n e o índice 0 representa o depósito central;
- Q_v = capacidade do veículo v ;
- q_i = Demanda do cliente "i";
- c_{ij} = custo de viagem do cliente "i" para "j";
- S = Representa um subgrafo qualquer do problema, excluindo o depósito.

E as variáveis de decisão:

- $y_i^v = \begin{cases} 1, & \text{se o pedido do cliente "i" é entregue pelo veículo } v \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$
- $x_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{se o veículo } v \text{ viaja do cliente "i" para o "j"} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

O modelo pode ser assim formulado:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_i \sum_j \sum_v x_{ij}^v c_{ij} \quad (6)$$

A equação (6) consiste na minimização dos custos (ou distâncias) totais de viagem e é a função objetivo do modelo, o qual está sujeito a uma série de restrições, conforme apresenta-se a seguir.

$$\sum_i q_i y_i^v \leq Q_v, \quad \forall v=1, \dots, NV \quad (7)$$

$$\sum_v y_0^v = NV \quad (8)$$

$$\sum_v y_i^v = 1, \quad \forall i=1,\dots,n \quad (9)$$

$$\sum_i x_{ij}^v = y_j^v, \quad \forall j=1,\dots,n \text{ e } \forall v=1,\dots,NV \quad (10)$$

$$\sum_i x_{ij}^v = y_j^v, \quad \forall j=1,\dots,n \text{ e } \forall v=1,\dots,NV \quad (11)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij}^v \leq |S| - 1, \quad S \leq N; 2 \leq |S| \leq n - 1; v = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$y_i^v = \{0,1\}, \quad \forall i=1,\dots,n \text{ e } \forall v=1,\dots,NV \quad (13)$$

$$x_{ij}^v = \{0,1\}, \quad \forall i=1,\dots,n, \quad \forall j=1,\dots,n \text{ e } \forall v=\{1,\dots,NV\} \quad (14)$$

A equação (7) representa a restrição quanto à capacidade dos veículos, a equação (8) representa a restrição que garante que todos os veículos iniciem e terminem suas rotas no depósito ($i=0$). A equação (9) condiciona que todos os clientes serão atendidos e que cada um deles será visitado por apenas um veículo. As equações (10) e (11) são restrições de conservação dos fluxos, onde cada cliente terá obrigatoriamente um único arco de entrada e um único arco de saída correspondente, além disso, as equações também asseguram que os veículos não interrompam as suas rotas. A equação (12) impede a formação de subrotas, impondo para cada veículo, que os arcos de qualquer subgrafo S do grafo $G(N, A)$ que compõem o problema, não formem circuitos isolados. As restrições (13) e (14) garantem que as variáveis sejam binárias.

A resolução dessas equações permite soluções ótimas, contudo são de difíceis aplicações para problemas com grande quantidade de variáveis ou restrições. Segundo Cunha (2000, p.51), “os problemas que envolvem a roteirização de veículos correspondem a problemas combinatórios, do tipo NP-difícil”, que significam que sua complexidade é de ordem exponencial, por conseguinte a resolução desses torna-se impraticável com a utilização de pacotes de otimização.

Problemas de roteirização como o TSP e o VRP requerem a avaliação de um número imenso de possibilidades para determinar uma solução exata, em muitos casos, o tempo requerido para esta avaliação pode ultrapassar anos (ARAÚJO, 2001).

Desta forma, o próximo capítulo trata de métodos de solução não exatos, que apesar de não apresentarem uma solução ótima, são capazes de produzir boas respostas em um tempo expressivamente inferior.

3 MÉTODOS DE SOLUÇÃO NÃO EXATOS

3.1 MÉTODOS HEURÍSTICOS

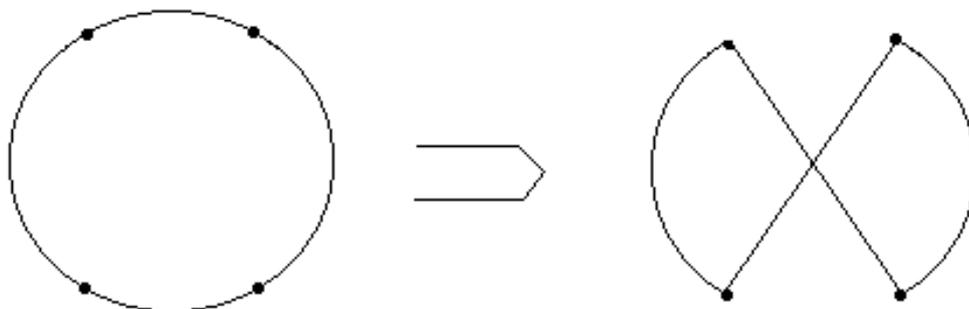
As heurísticas são procedimentos criados para possibilitar a resolução de problemas inviáveis pelos métodos exatos. Possibilitam obter boas soluções, apesar de não retornarem respostas ótimas, apresentando resultados satisfatórios a problemas práticos do dia-a-dia.

Além disso, as heurísticas são, na maioria das vezes, procedimentos mais simples e flexíveis que os métodos exatos, podendo trabalhar com modelos mais complexos, o que torna o seu uso em problemas reais mais frequentes.

As heurísticas podem ter como objetivo duas abordagens: construção ou melhoramento de rotas. O procedimento de construção de rota inicia-se com um cliente (nó) aleatório e gradualmente vai adicionando novos pontos a cada passo segundo algum critério. Dentre as heurísticas, tem-se a do método das economias e o método da varredura.

Os procedimentos de melhoramentos operam a partir de uma solução inicial realizando trocas dos arcos, conforme mostra a Figura 5, com o objetivo de reduzir o custo total da solução. Dentre os procedimentos comumente utilizados destacam-se as heurísticas 2-opt e 3-opt.

Figura 5 – Exemplo heurística 2-opt



Fonte: Araujo (2001)

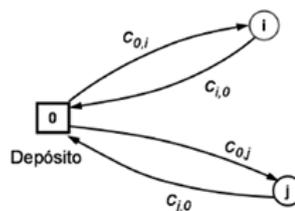
3.1.1 MÉTODO DAS ECONOMIAS

O método das economias também conhecido como Clarke & Wright é uma aprimoramento do método desenvolvido por Dantzig e Ramser em 1959.

Segundo Ballou (2001), a abordagem apresenta flexibilidade para aplicação computacional com relativa rapidez para um número moderado de paradas, apresentando soluções próximas das ótimas, sendo em média apenas 2% mais caras.

A resolução do mesmo tem por objetivo encontrar a minimização da distância percorrida. O problema das economias é solucionado da seguinte maneira. Primeiramente todos os pontos de destino são associados a uma origem como mostrado na Figura 6.

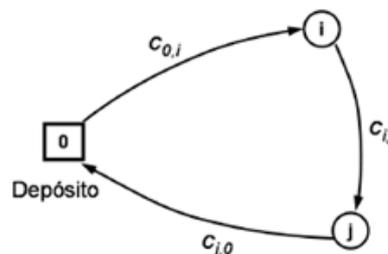
Figura 6 – Exemplo do Método das Economias



Fonte: Araujo (2001)

A segunda etapa do método consiste em calcular os benefícios (distância total percorrida) de ligar dois pontos em uma única rota, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Cálculo dos Benefícios



Fonte: Araujo (2001)

Os benefícios são calculados de acordo com a seguinte equação:

$$s_{ij} = C_{i0} + C_{j0} - C_{ji}, \text{ para todo } i,j.$$

É feita então uma lista de benefícios classificada em ordem decrescente que indicará o ordenamento em que os pontos serão agregados à rota. Existem duas maneiras de montar a ordenação das rotas, a paralela e a sequencial.

Na paralela toma-se o par com maior valor de S_{ij} da lista de benefícios, as próximas ordenações dependeram se os próximos pontos já se encontram nas rotas ou não. Existem três possibilidades, caso:

- a) Apenas um dos pontos encontra-se na rota – verificar se o ponto contido na rota encontra se na ponta, em caso afirmativo ligar o outro ponto do par a esse, desde que a restrição de capacidade não seja ultrapassada;
- b) Os dois pontos já se encontram na rota, deve-se passar para o próximo par da lista de benefícios;
- c) Nenhum dos pontos encontra-se na lista, começar uma nova rota.

Na sequencial, também se inicia com o par de maior valor S_{ij} da lista de benefícios, e vai analisando-se os próximos pares da lista, buscando o próximo par que contenha um dos pontos que estejam ligados ao centro de distribuição na rota atual, caso o outro ponto do par ainda não esteja na rota deve-se adicioná-lo, caso contrário à busca continua. No processo sequencial uma nova rota só é criada quando a rota atual não pode receber nenhum dos pontos ainda não atendidos.

Ambos os casos só são finalizados quando todos os pontos forem atendidos.

3.1.2 MÉTODO DA VARREDURA

O método de varredura, também conhecido como *Sweep Algorithm*, é considerado um método heurístico onde se procura obter a solução dos problemas em duas etapas distintas: a primeira visa agrupar os pontos de demanda segundo algum critério de proximidade; enquanto na segunda etapa, cada grupo é solucionado independentemente (NOVAES, 2007).

O método da varredura é um procedimento bastante simples para a solução de problemas de roteirização, e usualmente é aplicado a problemas onde a velocidade de resposta é de suma importância. Segundo Ballou (2001) seu erro médio é de 10% e a metodologia consiste em uma série de passos, os quais são descritos a seguir:

1. Representação gráfica com a localização dos pontos de atendimento (clientes) e dos pontos de saída (depósitos).
2. Escolha aleatória de uma direção partindo de um dos depósitos, neste passo deve-se desenhar uma linha reta na direção escolhida e girá-la até que cruze um dos pontos de atendimento, e assim, o procedimento deve continuar sucessivamente. Em cada parada é necessário verificar se o veículo tem capacidade de atender a demanda do local, caso o incremento da demanda supere a capacidade do veículo o ponto deve ser desconsiderado e uma nova rota deve ser iniciada naquele ponto aplicando os mesmos procedimentos. Quando todos os pontos estiverem contidos em alguma rota este passo é finalizado.
3. O último passo consiste em organizar a sequência de paradas de cada uma das rotas com a aplicação de qualquer algoritmo que resolva o problema do caixeiro viajante.

3.2 METAHEURÍSTICAS

Metaheurística é a combinação de procedimentos heurísticos em um nível de estrutura mais alto que se adapte a um problema e apresente uma solução boa em um tempo de processamento aceitável (HILLIER e LIEBERMAN, 2005). Quando comparadas com as heurísticas clássicas se destacam por conseguir ampliar o espaço de busca e evitar ótimos locais.

De acordo com Cordeau *et al.* (2002) a aplicação de metaheurísticas para resolver problemas de roteirização de veículos é comum, de forma que diversas metodologias já foram criadas. Ainda segundo o autor, existem três classes de metaheurísticas:

- Baseadas em métodos de busca – são fundamentados na noção de vizinhança: Dada uma solução s , diz-se que s' é um vizinho de s , se s' é obtido de s a partir de um movimento m , isto é: $s' \leftarrow s \oplus m$, ou seja a nova solução (s') é resultado de uma solução (s) mais um movimento (m). Dentre os métodos de busca destacam-se a, *Deterministic Annealing*, *Tabu Search* e a *Simulated Annealing*. Esta será utilizada neste trabalho.

- Baseadas em métodos populacionais – partem de um conjunto de soluções, aplicando sobre estes operadores que visam à melhoria desse conjunto. Um exemplo deste modelo é o algoritmo genético.
- *Learning mechanisms* – como exemplo a otimização por colônia de formigas.

3.2.1 MÉTODO *SIMULATED ANNEALING*

O método *Simulated Annealing*, foi criado baseando-se no processo físico de recozimento (*annealing*) dos materiais. O método foi proposto por Metropolis *et al.* (1953), e em seu estudo o autor introduziu um algoritmo utilizando técnicas de Monte Carlo, para obter uma sequência de estados do material caracterizados pelas posições de suas partículas.

O processo tem por objetivo encontrar um estado de energia, no qual as partículas atômicas do material formem um arranjo altamente estruturado conhecido como cristal; este estado, geralmente, não é um estado natural das substâncias. Para consegui-lo são necessários experimentos que analisem o comportamento dos átomos em relação à variação da temperatura.

A temperatura inicial do experimento é feita dando-se um banho térmico até um valor máximo no qual o sólido derrete, seguido de um resfriamento gradual e vagaroso, até que se alcance novamente seu enrijecimento.

[...] o resfriamento vagaroso é essencial para se manter um equilíbrio térmico no qual os átomos encontrarão tempo suficiente para se reorganizarem em estrutura uniforme com energia mínima. Se o sólido é resfriado bruscamente, seus átomos formarão uma estrutura irregular e fraca, com alta energia em consequência do esforço interno gasto. Na fase líquida todas partículas do sólido arranjam-se aleatoriamente. O estado fundamental do sólido é obtido somente se a temperatura máxima for suficientemente alta e o resfriamento for feito suficientemente lento. Caso contrário o verdadeiro estado de energia mínima não é alcançado ficando o sólido num estado meta-estável (CUNHA,2000).

A ideia de aplicar este método para resolver problemas de otimização combinatória surgiu com Kirkpatrick *et al.* (1983) que mostrou a analogia entre o comportamento dos problemas de otimização combinatória e o processo de recozimento proposto por Metropolis *et al.* (1953).

Na analogia entre um sistema físico de partículas e um problema de otimização combinatória, as seguintes considerações são realizadas:

- a) Soluções de problema de otimização são equivalentes a estados do sistema físico;
- b) O custo de uma solução é equivalente à energia de um estado;
- c) A seleção de uma solução vizinha em um problema de otimização é equivalente à perturbação de um estado físico;
- d) O ótimo global de um problema combinatório é equivalente ao estado fundamental de um sistema de partículas;
- e) Um ótimo local de um problema combinatório é equivalente a resfriamento rápido no sistema físico.

Em uma aplicação que envolva SA na resolução de qualquer problema de otimização combinatória, é fundamental que se defina primeiramente uma solução inicial viável. Para tanto, seja S um conjunto finito do espaço total de soluções de um problema combinatório que contém todas as combinações possíveis que representam as soluções viáveis para o problema. Seja f uma função de valores reais definida sobre S , ou seja, $f: S \rightarrow \mathbb{R}$. O problema se constitui em encontrar uma solução (ou estado) $i \in S$, onde $f(i)$ seja mínimo (ARAUJO, 2001).

Para encontrar uma solução, deve-se definir uma estrutura de vizinhança, onde seja possível se passar de uma solução a outra por meio de pequenas mudanças, através de algum mecanismo de perturbação. O método mais empregado de perturbação está baseado na proposta de LIN (1965).

O autor supracitado determina os métodos k -opt, onde uma estrutura de vizinhança pode ser definida pelo conjunto de todas as rotas que se obtêm removendo k ligações e substituindo-as por k outras ligações, de tal modo que se mantenha uma rota válida. Para $k = 2$, existe apenas uma maneira de se fazer essas duas ligações de modo que a rota continue válida. Se retirarem as ligações $(i, i+1)$ e $(j, j+1)$ então a única maneira admissível de criar uma rota é ligando (i, j) e $(i+1, j+1)$.

Assim, a estrutura da vizinhança, de modo mais simples, pode ser vista como todas as possíveis 2-ligações que podem ser removidas de uma rota e religadas de modo a formar uma nova rota; onde a solução obtida dessa forma combina com o conceito *2-opt*.

A solução obtida pode apresentar melhora ou piora do resultado e dessa forma o algoritmo SA analisa a solução e, sempre que verificado uma melhora, a nova solução é aceita, em casos de piora o método pode aceitar a solução para escapar de um ótimo local.

A probabilidade de aceitar um movimento que aumente a função de custo é chamada de função de aceite e é normalmente representada por $e^{\frac{-\Delta E}{T}}$, onde: ΔE é a diferença entre os valores da função objetivo e T é uma temperatura, a qual é passada inicialmente à solução e decrementada a cada laço (ARAUJO, 2001).

Esta função de aceite implica que os pequenos aumentos da função de custo (ΔE) são provavelmente mais aceitos que os grandes, e que quando a temperatura T é alta, mais movimentos são aceitos, mas quando a temperatura T se aproxima de zero, muitas soluções serão rejeitadas. A Tabela 2 a seguir representa a porcentagem de uma opção de piora ser aceita segundo algumas temperaturas e variações de energia.

Tabela 2 – Porcentagem da função de aceite

Variação da Energia	Temperatura			
	0,1	0,5	1	10
0,001	99,00%	99,80%	99,90%	99,99%
0,1	36,79%	81,87%	90,48%	99,00%
1	0,00%	13,53%	36,79%	90,48%
10	0,00%	0,00%	0,00%	36,79%
50	0,00%	0,00%	0,00%	0,67%

Fonte: Pozo (2015)

O algoritmo SA é iniciado com quatro parâmetros: a temperatura inicial que deve ser relativamente alta para evitar que a solução fique prematuramente presa a um mínimo local; o número de interações máximo que determina a quantidade de movimentos estabelecidos na vizinhança em cada temperatura, a temperatura final que estabelece um laço externo ao algoritmo e um alfa que determina o tamanho do passo que a temperatura será gradualmente reduzida. Uma das dificuldades da utilização do método é justamente determinar um valor para esses parâmetros.

Para determinar a temperatura inicial Kirikpatrick *et al.* (1983) sugere a utilização da seguinte equação: $T_0 = \ln f(x_0)$, onde: $f(x_0)$ é o valor da função

objetivo da solução inicial. Neste estudo, por analogia tem-se que a temperatura é expressa como o logaritmo neperiano da função objetivo, que é a somatória das distâncias de todas as rotas. A temperatura é reduzida ao decorrer do método pela multiplicação por um fator fixo, alfa, que de acordo com a teoria, deve acontecer de forma gradual e lenta, e dessa forma o valor que é usualmente selecionado varia entre 0.8 a 0.99.

O valor usado no algoritmo afeta o tempo de execução e a qualidade desejada para a solução. Se o valor for pequeno, então a temperatura resfria rapidamente levando o algoritmo a parar rapidamente, contudo obtém soluções pobres (pois pouco se analisou as possibilidades combinatórias de soluções). Se estiver próximo de 1 então a temperatura reduz lentamente, exigindo maior tempo de execução e obtendo soluções de melhor qualidade.

O número de transições requeridas para restabelecer esse equilíbrio depende da variação da temperatura e do tamanho da instância do problema. O número de interações para cada temperatura é dado por uma constante c que multiplica o tamanho da vizinhança do problema.

O valor de c afeta o algoritmo de duas maneiras. Se c é pequeno então cada cadeia consistirá de um pequeno número de transições propostas. Então a temperatura irá resfriar rapidamente e o algoritmo terminará em um pequeno intervalo de tempo, contudo, na maioria das vezes apresentam soluções de pior qualidade, pois pouco se analisou as possibilidades combinatórias de soluções. Por outro lado, valores de c grandes exigem muito tempo de execução, porém, na maioria das vezes, resultam em soluções de melhor qualidade. No estudo de caso deste trabalho, serão adotadas essas equações para se obter os parâmetros do programa computacional, que estarão descritos com mais detalhes no seção 4.6.1.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 HISTÓRICO DA EMPRESA

A indústria Capitão Gourmet, empresa que produz e distribui os produtos da rede de *fast food* Mini Kalzone, surgiu em 1990 em Florianópolis – Santa Catarina, inicialmente com apenas um restaurante localizado no bairro da Trindade. Em abril de 1992 com a proposta de abrir um novo negócio, o qual venderia pizzas em fatias, foi aberta uma filial no centro da cidade, porém a ideia não prosperou e logo o produto foi adaptado: ao invés da venda de pizzas o estabelecimento começou a trabalhar com calzones, que teve uma maior aceitação, já que proporcionava o que os clientes desejavam, refeições rápidas (SILVA, 2006).

Em 1994 surgiu a logomarca Mini Kalzone, seu crescimento foi gradual e atualmente a empresa já conta com 69 lojas espalhadas por onze estados brasileiros, são eles: Santa Catarina, Ceará, Rio Grande do Sul, Bahia, Pernambuco, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Norte, Distrito Federal, Paraná e Goiás.

A empresa tem duas unidades industriais, sendo uma localizada em Santa Catarina, e a outra no Ceará. A distribuição é separada por regiões como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Representação do atendimento das empresas



Fonte: Autoria Própria

O presente trabalho terá como enfoque apenas as atividades envolvidas na distribuição física de produtos realizadas a partir unidade situada na cidade industrial Pedra Branca em Palhoça, Santa Catarina. Tal unidade foi construída e inaugurada no final de 2002 e anteriormente ao término da construção da fábrica os produtos eram produzidos em uma pequena indústria em Florianópolis e em uma unidade

localizada em Porto Alegre, que foi extinta assim que a construção da mesma foi finalizada.

4.2 DEPARTAMENTOS DA EMPRESA

A indústria é composta por nove departamentos, listados no Quadro 3.

Quadro 3 - Processos logísticos da empresa

Departamento	Descrição
Planejamento e Controle de Produção	Planeja a produção seguindo procedimentos padrões de forma a garantir a qualidade dos produtos.
Financeiro	Administra os recursos financeiros da empresa controlando contas a receber e contas a pagar. Obtém fontes de financiamentos, quando preciso e aplicando os recursos, quando excedentes.
Recursos Humanos	Seleciona candidatos a emprego, administra a política salarial, bem como a de benefícios, admissões e demissões de empregados, avaliação de satisfação dos empregados, informações para folha de pagamentos.
Compras	Cota junto à carteira de fornecedores pré-aprovados, negociação de preços e pedidos de matéria-prima.
Recepção e estocagem de matéria-prima	Recepciona, confere quantidades e qualidades, armazena a matéria-prima e realiza o pré-preparo de recheio.
Recheio	Preparo e estocagem de recheios.
Confecção	Preparo de massa, montagem de produtos e pré-assamento.
Embalagem e Expedição	Congelamento, embalagem e estocagem dos produtos acabados e distribuição dos mesmos.
Venda e Logística	Recebe os pedidos dos clientes, fatura, e passa a ordem de entrega ao departamento de expedição para organização nos caminhões frigoríficos.

Fonte: Adaptado de Silva (2010)

Este trabalho foi desenvolvido baseando-se nas atividades realizadas pelo departamento de embalagem e expedição.

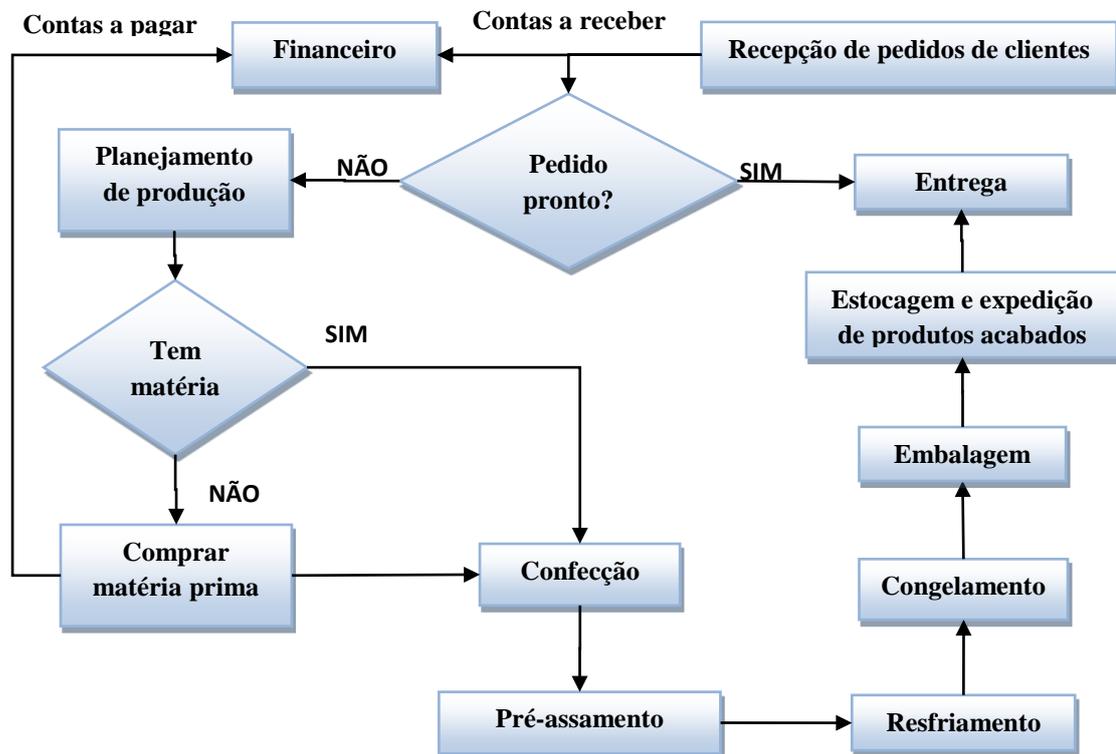
4.3 PROCESSOS LOGÍSTICOS DA EMPRESA

O processo logístico da empresa inicia-se com a realização dos pedidos pelas lojas situadas na região sul, sudeste e centro-oeste do Brasil. Tais pedidos são feitos via *e-mail* ou telefone. Posteriormente é analisada a quantidade de matéria-prima, e

caso a mesma já exista e seja suficiente, é feita uma programação da produção e inicia-se o processo produtivo; caso contrário, é feita a solicitação da compra com os fornecedores.

Assim que a produção dos produtos é finalizada é feito o resfriamento, congelamento e embalagem dos calzones que são encaminhados para o estoque. Quando todo o pedido estiver em estoque é inicializada a distribuição física dos produtos. A Figura 9 abaixo mostra um fluxograma das etapas:

Figura 9 – Fluxograma dos processos logísticos da empresa



Fonte: Adaptado de Silva (2006)

Como os produtos transportados pela empresa são congelados eles necessitam de um condicionamento durante a distribuição que permita que os alimentos não sofram alterações devido à variação da temperatura durante seu processo logístico.

4.4 CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA DO ESTUDO DE CASO

Realizando-se uma correlação entre os assuntos abordados na revisão bibliográfica e o estudo de caso, verificou-se que o problema de roteirização da empresa se caracteriza por ter uma operação de distribuição de calzones com as

seguintes características: uma frota de veículos limitada e heterogênea e um único depósito situado na cidade de Palhoça, na Pedra Branca, em Santa Catarina, sendo responsável por abastecer os estados já mencionados anteriormente. Apesar dos calzones possuírem sabores diferentes, eles são embalados e transportados em caixas de mesmo formato e dimensão, de modo que a carga foi definida como sendo homogênea.

As variáveis do problema consistem em definir o sequenciamento de clientes a serem visitadas, bem como os veículos a serem utilizados e quais os grupos de clientes que cada veículo irá atender. Já as restrições consideradas são compostas pela capacidade máxima de cada veículo, pelo número máximo de veículos disponibilizados pela empresa à realização da distribuição dos produtos e, pela necessidade de demanda dos pontos de atendimento.

4.5 LEVANTAMENTO DE DADOS

Este tópico tem por objetivo ilustrar os dados da empresa quanto à frota de veículos, pontos de atendimento e as demandas; e o dado auxiliar da matriz origem/destino dos pontos de atendimento que são necessários para a resolução do problema de roteirização de veículos.

Frota

Para realizar a distribuição dos produtos a empresa Capitão Gourmet conta com uma frota própria composta por sete veículos como mostra a Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Característica da frota

Veiculo	Ano	Capacidade (nº de caixas)	Custo por km
Mercedes Benz 710	2001	195	R\$ 1,020
Volkswagen 8.150 E Worker 2P (D)	2002	266	R\$ 1,080
FIAT Fiorino Furgao 1.3 8V FLEX	2008	36	R\$ 0,495
Mercedes Benz Atego 2428 6x2 3 Eixos	2012	1.100	R\$ 1,653
Merceds Benz 915 C	2011	357	R\$ 1,549
Mercedes Benz Atego 2429 6x2 2P (DISEL) E5	2013	1.500	R\$ 1,613
Volkswagen 15.180E Constellation 2P (D)	2008	630	R\$ 1,227

Fonte: Autoria Própria

O custo por quilômetro apresentado pela tabela leva em conta sete gastos, sendo eles: combustível, seguro, óleo, pneus, filtro, manutenção e emplacamento.

O modelo FIAT Fiorino Furgão apesar de apresentar um custo muito inferior aos outros, não é preparado para acondicionar mercadorias congeladas, logo, conforme verificado na revisão bibliográfica ele não pode ser utilizado para transportar as mercadorias com sensibilidade térmica, sendo assim foi desconsiderado neste modelo. A empresa utiliza este veículo apenas para as viagens de produtos secos.

Clientes

Os veículos transportam calzones congelados para 48 lojas atendidas pela empresa, as quais estão localizadas em cinco estados e 28 cidades, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4 – Localização das lojas

Rio Grande do Sul	Santa Catarina	Paraná	São Paulo	Distrito Federal	Goiás	Mato Grosso do Sul
Cachoeirinha	Balneário Camboriú	Curitiba	Campinas	Brasília	Anápolis	Campo Grande
Canoas	Blumenau	Londrina	Mogi Guaçu		Valparaíso	
Caxias	Criciúma		Sorocaba			
Gravataí	Florianópolis		Tucuruvi			
Pelotas	Itajaí					
Porto Alegre	Jaraguá					
	Joinville					
	Lages					
	Tubarão					

Fonte: Autoria própria

Demanda

Outro dado importante na roteirização de veículos é a demanda dos clientes, contudo, este dado no caso da empresa não é constante. Os clientes realizam os pedidos somente com alguns dias de antecedência de modo que esta restrição será levada em conta, mas precisará de uma entrada permanente dos valores, os quais

terão como unidade de entrada o número de caixas de calzones solicitado pelos clientes.

Matriz origem/destino

Além de dados da frota, pontos de atendimento e demanda, um modelo de roteirização requer outros dados os quais não são fornecidos pela empresa, como por exemplo: a matriz origem/destino das viagens a serem realizadas no decorrer do processo de distribuição de produtos. A matriz origem/destino é composta por um arquivo que contém as distâncias entre todos os pontos (lojas, clientes) atendidos: composta pelos pares de clientes e entre os clientes e a empresa.

A elaboração desta matriz foi feita utilizando-se a ferramenta *Google Maps*, para encontrar os dados das distâncias entre os pontos, considerando que as distâncias entre os pontos i,j são diferentes das distâncias entre os pontos j,i .

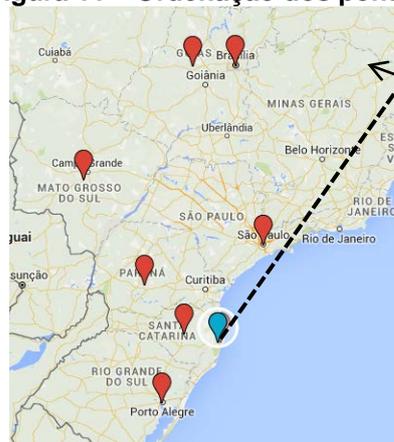
O arquivo gerado possui 2041 linhas e três colunas, onde a primeira e a segunda colunas representam um algarismo que identifica os pontos de atendimento, sendo respectivamente, o ponto de origem e o ponto de destino e a terceira coluna designa a distância entre os pontos. A Figura 10 ilustra parcialmente a matriz origem/destino.

Figura 10 – Representação da matriz origem/destino

0,1,684
0,2,693
0,3,784
0,4,828
0,5,1641

Fonte: Autoria própria

Os pontos foram ordenados sequencialmente, segundo uma heurística de varredura, de acordo com o seguinte critério. O cliente de Sorocaba-SP, recebeu o ponto 1 e os demais clientes foram recebendo pontos sucessivos de acordo com uma varredura em sentido anti-horário a partir do ponto já mencionado. Nesta lógica de atendimento enumerou-se os atendimentos segundo a seguinte sequência: os clientes do estado de São Paulo, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina (com exceção da cidade de Florianópolis), Rio Grande do Sul e finalmente os clientes localizados na Grande Florianópolis, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Ordenação dos pontos

Fonte: Autoria Própria

O ponto representado em azul na Figura 11 representa a empresa Capitão Gourmet, os demais pontos em vermelho representam os estados onde a empresa realiza entregas. A escolha do ponto de partida foi feita com o objetivo de priorizar os clientes mais distantes da empresa e ao mesmo tempo deixar as entregas locais, na Grande Florianópolis, por último; de modo que no momento de agregação das rotas os pontos distantes ficassem em uma mesma rota.

4.6 IMPLEMENTAÇÃO DO CÓDIGO DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Este tópico abrange a análise do código computacional de roteirização de veículos heterogêneos desenvolvido por Furtado e Neves (s.d). Este código foi utilizado como base para o desenvolvimento do programa computacional implementado neste trabalho, devido suas características serem muito semelhantes ao problema de distribuição da empresa em estudo. Tanto o programa original, quanto o programa desenvolvido para o estudo de caso utilizam a linguagem C++.

Para a adaptação do programa foram necessárias uma série de mudanças, tanto para adequar as necessidades da empresa, como para adaptar alguns problemas encontrados no código original. A seguir será apresentada uma análise do funcionamento do código original, para posteriormente descrever as alterações realizadas. A lógica do código desenvolvido por Furtado e Neves (s.d) consiste na seguinte sequência de procedimentos.

- 1º - Leitura dos arquivos – consiste na função de leitura dos arquivos com dados da matriz origem/destino; dados da frota: quantidades de modelos de veículos,

número de veículos de cada modelo, capacidade máxima que cada modelo consegue comportar; dados dos clientes: número total de clientes, demanda de clientes.

- 2º - Cálculo do número de veículos necessários – a função possui um laço onde o valor da demanda total era reduzido do veículo disponível com maior capacidade, o procedimento é repetido até que a demanda seja inferior à zero, ao final do laço a função retorna o número de veículos necessários.

Problema do procedimento: nem sempre o número de veículos necessários retorna uma solução viável, como por exemplo: num problema onde um cliente (1) e outro cliente (2) possuam cada um uma demanda de 3 unidades, e um terceiro cliente (3) possua demanda de 2 unidades, totalizando 8 unidades de demanda para o sistema e que ainda, exista uma frota de 3 veículos, com 2 modelos, um modelo capaz de comportar 4 unidades, e o outro modelo com capacidade máxima de 2 unidades, sendo que a frota é composta por 2 veículos de capacidade maior e apenas um do menor.

O programa realizaria a seguinte lógica: primeiramente utiliza o veículo com maior capacidade, no caso do exemplo será o modelo que comporta 4 unidades. No passo seguinte subtrai-se este valor da demanda total, neste caso 8 unidades. Assim $(8-4)$ para obter a demanda restante ainda não alocada (4 unidades). Nesta etapa o programa verifica se o resultado é um número superior a zero. Visto que, $4 > 0$ busca-se o maior veículo disponível para alocar a demanda restante, dentre os modelos do exemplo, ainda existe um modelo com capacidade igual a 4 que será utilizado, visto que é o maior veículo disponível. Logo ele alocará a demanda restante de 4 unidades neste veículo, dessa forma a solução encontrada será de 2 veículos com capacidade de 4 unidades.

Essa solução não é aplicável ao problema visto que apenas um veículo pode atender cada cliente e as demandas não podem ser fracionadas em veículos distintos. Uma solução viável neste caso seria o uso de toda a frota, cada um dos veículos de capacidade de 4 unidades deveria atender um cliente com demanda de 3 unidades, enquanto o veículo capaz de comportar 2 unidades, atenderia o cliente faltante.

3º - Criação de uma solução inicial – a função consiste em armazenar nas primeiras posições do vetor solução, o número das capacidades dos veículos encontradas utilizando a função acima com um símbolo de negativo (-) à frente que serve para identificar que se trata de uma capacidade, seguida de algarismos que identificam os clientes.

Ainda usando o exemplo acima, a solução gerada no programa seria composta pelo seguinte vetor: {-4,-4,1,2}, onde as duas posições iniciais representam a utilização do veículo de modelo de capacidade 4 unidades e as outras duas posições o sequenciamento de atendimento dos clientes, 1→2.

Além do problema já citado anteriormente, este modelo de solução também apresenta outra limitação, visto que é impossível determinar qual veículo atende qual cliente. Portanto, para este trabalho de conclusão de curso será utilizado o método da varredura para gerar a solução inicial, alocando os clientes nos veículos segundo uma ordenação pré-estabelecida, atendendo os clientes enquanto a capacidade do veículo não for ultrapassada. Caso a demanda exceda a capacidade do veículo, um novo veículo será utilizado.

- 4º - Melhora da solução – a função consiste na utilização do algoritmo do *Simulated Annealing*, o qual, como já explicado anteriormente usa uma série de mudanças aleatórias das soluções em busca de um sequenciamento de clientes que minimize a função objetivo. No momento em que a função realiza a troca, qualquer posição escolhida pelo programa é aceita.

Problema: esta função pode retornar uma série de empecilhos como, por exemplo: um sequenciamento de clientes que não respeite o limite máximo de capacidade do veículo, o não aproveitamento das capacidades e até mesmo casos em que todos os clientes não são atendidos por nenhum veículo.

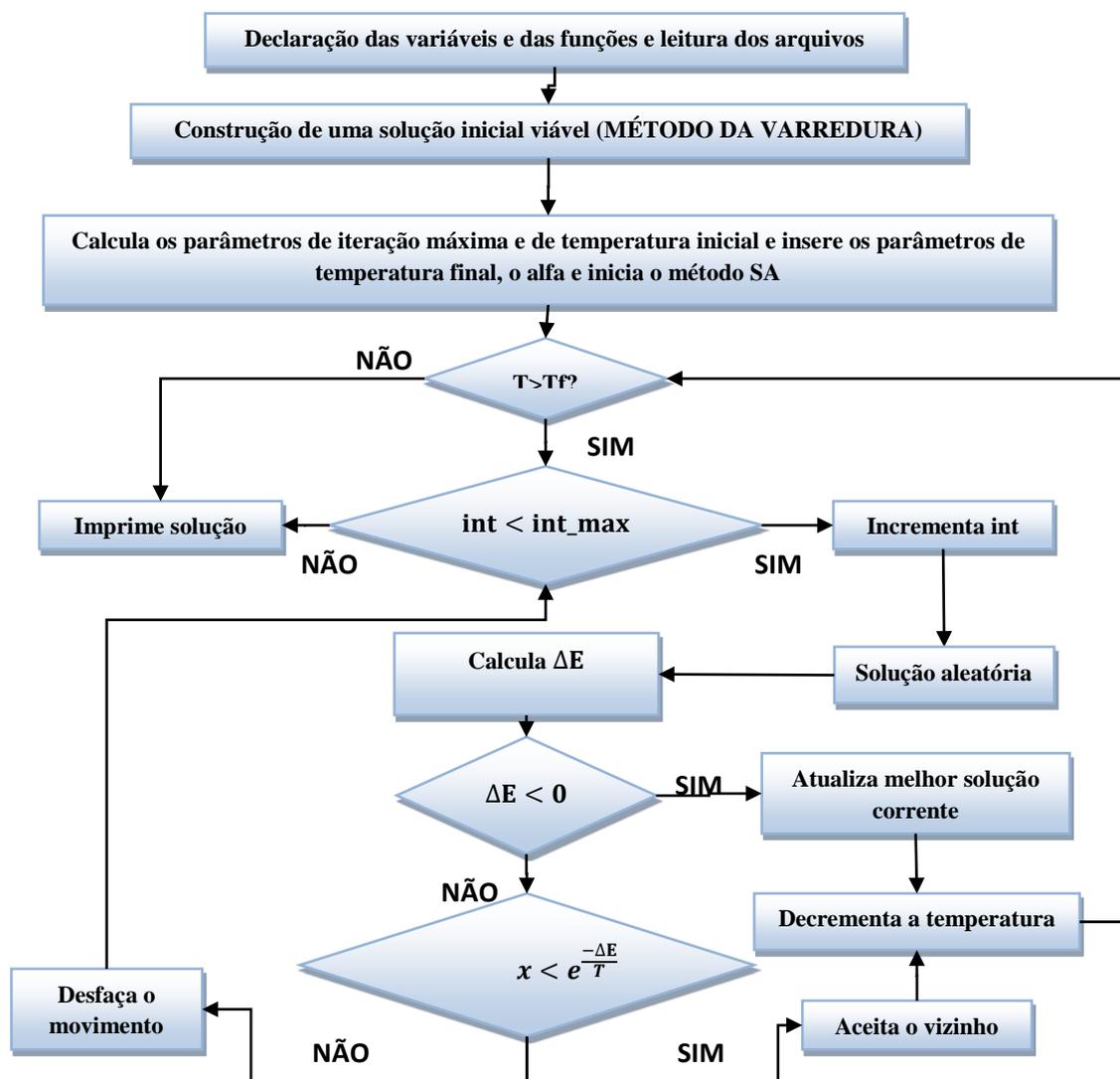
Para o desenvolvimento do modelo de roteirização para a distribuição dos produtos da empresa Capitão Gourmet foram alterados os dados dos arquivos de acordo com o cenário da empresa, bem como mudanças na lógica de algumas funções de modo a adaptar-se às inconsistências encontradas. A seguir está detalhado o conjunto de alterações realizadas.

4.6.1 LÓGICA COMPUTACIONAL DO PROGRAMA

A implementação do algoritmo foi realizada na linguagem de programação C++ utilizando o método da varredura modificado (que será detalhado no decorrer deste tópico), para definir uma solução inicial viável, seguido da metaheurística *Simulated Annealing* para encontrar o sequenciamento das rotas de modo a minimizá-las.

A Figura 12 representa um fluxograma da lógica computacional desenvolvida e aplicada ao código, o qual terá suas funções explicadas com mais detalhes ao decorrer do tópico.

Figura 12 – Fluxograma do algoritmo



Fonte: Autoria Própria

Arquivos de entrada

A partir da Figura 12, percebe-se que para o funcionamento do código é necessário a leitura de uma série de arquivos de entrada, os quais contém o mesmo conjunto de arquivos utilizados no programa desenvolvido por Neves e Furtado (s.d), contudo os dados foram adaptados ao cenário da empresa, inserindo-se os dados levantados no tópico 4.5.

- “QuantTiposVeiculos” – armazena o número de veículos diferentes. No caso do problema em estudo, este arquivo possui o valor de 6 que representa os veículos que podem transportar os produtos refrigerados.
- “NumeroVeiculos” – armazena um vetor de tamanho igual ao número passado para o arquivo anterior, onde cada posição do vetor identifica a quantidade de veículos de cada um dos modelos. No problema em estudo, o vetor do arquivo é composto pelos números: {1,1,1,1,1,1} isto significa que existe somente um veículo de cada um dos modelos.
- “CapacidadeVeiculos” – armazena um vetor com tamanho igual ao arquivo anterior, sendo que cada posição armazena a capacidade de cada um dos modelos da frota (em caixas). No problema em estudo, este vetor é composto pelos números: {196, 266, 1100, 357, 1500, 630} que representam o número máximo de caixas que o veículo é capaz de acomodar.
- “NumeroClientes” – armazena o número total de clientes existentes; neste estudo consideram-se 48 clientes.
- “DemandaClientes” – armazena um vetor com número da demanda de cada um dos clientes, sendo necessário colocar o valor 0 para os pontos sem demanda. No problema este vetor é atualizado de acordo com os pedidos feitos para a indústria.
- “MatrizDistancias” – armazena um arquivo com as distâncias entre todos os pontos existentes, conforme apresentado anteriormente na Figura 10.

Visto que a empresa está em processo de expansão e que as variáveis de decisão se alteram no decorrer do tempo, este conjunto de arquivos permite que o programa se adapte a novos cenários da empresa, requerendo apenas modificações nos arquivos já existentes. Por exemplo: a aquisição de um novo veículo ou a

abertura de uma nova loja pode ser inserida ao programa através da atualização dos arquivos.

Construção da solução inicial

Conforme apresentado na Figura 12 o código continua com a construção de uma solução inicial, a qual de acordo com revisão bibliográfica deve conter os veículos que serão utilizados e os clientes que serão visitados, respeitando-se as restrições de capacidade do veículo e atendimento das demandas.

A função solução inicial é responsável por alocar a frota de forma a minimizar o número de veículos necessários respeitando as restrições do problema.

Para isso, primeiramente o programa calcula o número de clientes com demanda não nula e cria um vetor do tamanho deste resultado menos 1, já que o primeiro elemento do vetor terá como posição o número 0. Cada posição do vetor será ocupada pela identificação (serão utilizados algarismos) de cada um dos clientes que contém demanda.

A criação da solução inicial é feita a partir dos arquivos: “NumeroVeiculos”, “CapacidadeVeiculos”, “DemandaClientes” e do vetor construído anteriormente com a identificação dos clientes que possuem demanda.

O processo inicia com a ordenação dos veículos de forma decrescente à sua capacidade de armazenamento, para dar preferência ao maior veículo e minimizar o número de veículos necessários para realizar as entregas.

A partir do vetor de veículos ordenados é alocada a demanda referente à capacidade do maior veículo, a posição inicial do vetor solução e acrescenta-se um símbolo de negativo (-) à frente do valor para identificar que se trata de um veículo. O vetor solução continua a ser preenchido com as clientes utilizando-se da heurística da varredura, com uma pequena modificação, enquanto o método originalmente aloca um novo veículo sempre que o próximo cliente ultrapassa a capacidade do veículo. Neste modelo a varredura procede em busca de um cliente que possa ser atendido somente depois de percorrer todos os clientes e verificar que a demanda ultrapassa a capacidade do veículo; então é alocado ao vetor solução a capacidade do maior veículo disponível com um símbolo de negativo à frente, e continua-se o processo de varredura no primeiro cliente que não foi atendido. Esta modificação foi inspirada na heurística sequencial do método das economias.

Como por exemplo, supondo que o problema é composto pelos seguintes vetores.

- “CapacidadeVeiculos” = {196, 266, 1.100, 357, 1.500, 630}
- “NumeroVeiculos” = {1,1,1,1,1,1}
- “DemandaClientes” = {280, 470, 500, 100, 190, 150, 300, 200}
- Vetor dos clientes = {1, 2, 5, 22, 23, 25, 27, 35}

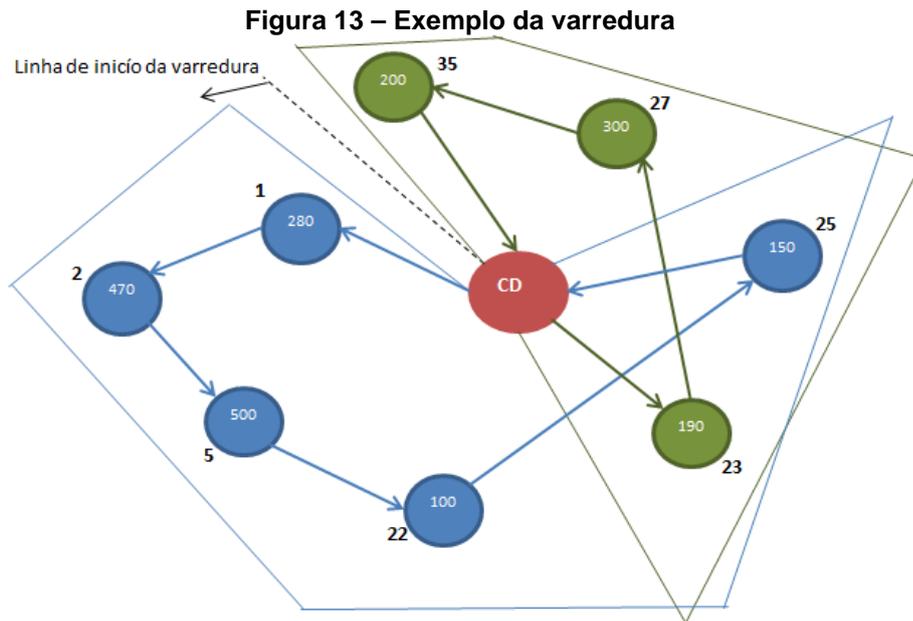
Primeiramente será feito o ordenamento do vetor da capacidade dos veículos; deste modo, a nova sequência será:

“CapacidadeVeiculos” = {1.500, 1.100, 630, 357, 266, 196}

A partir deste momento inicia-se o processo de construção do vetor solução, o qual irá alocar na posição inicial o valor de {-1.500} e em seguida avaliará a demanda dos clientes que podem ser alocadas a este veículo. Inicia-se o processo de varredura e, tendo que a demanda da cidade 1 é inferior à capacidade do veículo ($280 < 1.500$), ela será o segundo valor acrescentado no vetor solução, {-1.500,1}, a demanda do segundo, do quinto (ocupando a terceira posição no vetor dos clientes) e do vigésimo segundo clientes também poderão ser acomodadas ao veículo, {-1.500, 1, 2, 5, 22}.

Assim, continua-se o processo de varredura, buscando incluir ao vetor solução outros clientes das posições subsequentes.

A demanda do vigésimo terceiro cliente ultrapassa a capacidade, logo ele não pode ser alocado àquele veículo, a demanda do vigésimo quinto cliente não ultrapassa a capacidade, logo ele é acrescentado ao vetor solução, {1.500, 1, 2, 5, 22, 25}. Como o veículo encontra-se totalmente preenchido e ainda existem clientes não alocados, o próximo veículo disponível com maior capacidade é alocado, {-1.500, 1, 2, 5, 22, 25, -1.100}; as demandas dos clientes restantes não ultrapassam a capacidade do veículo e dessa forma o vetor solução inicial ficará: {-1.500, 1, 2, 5, 22, 25, -1.100, 23, 27, 35} conforme apresenta a Figura 13.



Na Figura 13 a sequência de nós em azul representa a rota realizada pelo veículo com capacidade de 1.500 unidades de caixas, enquanto a sequência dos nós verdes representa a rota realizada pelo veículo de capacidade 1.100 unidades, e o ponto em vermelho é uma representação do centro de distribuição.

Função objetivo

A próxima etapa do código conforme a Figura 12 é o cálculo do parâmetro de temperatura inicial, para que o código realize este cálculo é necessário primeiramente que ele tenha conhecimento da função objetivo, visto que ela é uma das variáveis da expressão do cálculo da temperatura inicial, deste modo é realizada primeiramente esta função, a qual retornará a somatória das distâncias obtidas a partir da solução inicial feita com a heurística da varredura.

Esta função também será utilizada novamente no decorrer do programa computacional durante o algoritmo do SA, que são todos os procedimentos apresentados após o cálculo dos parâmetros na Figura 12, essa função é chamada no algoritmo SA de energia (E) pela analogia feita de Metropolis *et al.* (1953), em relação ao recozimento dos materiais.

O funcionamento da função objetivo consiste em uma análise do número contido em cada uma das posições do vetor solução. Caso ele seja negativo (um

veículo), ela busca na matriz origem/destino a distância entre a empresa e o cliente que estiver ocupando a posição subsequente à analisada. Caso seja positivo, ela realiza a análise da próxima posição. Nesta etapa é verificada se trata de um número negativo ou de um número positivo que pode ou não estar na última posição do vetor. Para cada um dos casos é realizado o segundo procedimento:

- Caso seja um número negativo ou um número positivo que se encontra na última posição é verificada na matriz origem/destino a distância de retorno do cliente para a indústria;
- Caso seja um valor positivo e a posição do vetor seja inferior à última é verificada na matriz origem/destino a distância entre os clientes.

No decorrer da função são somados os valores das distâncias encontradas. Quando a última posição é analisada a função retorna o resultado da somatória das distâncias.

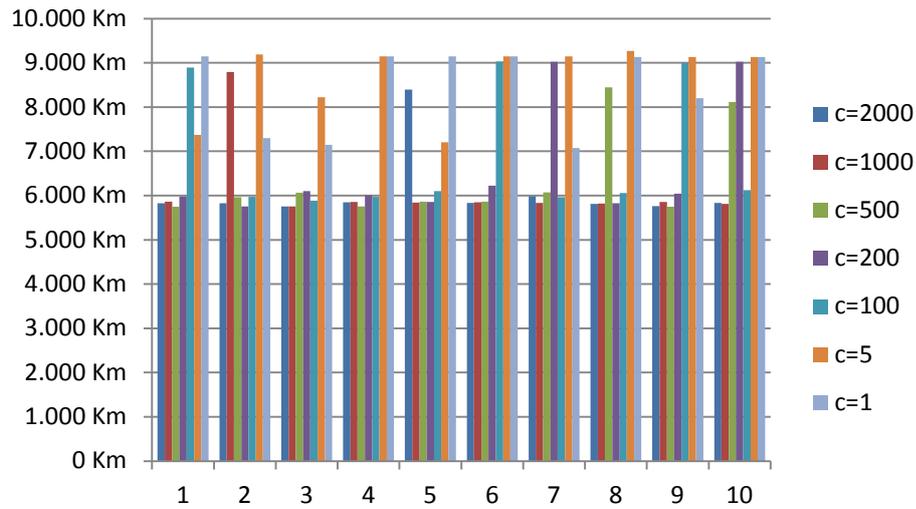
Parâmetros da função SA

O método *Simulated Annealing* necessita da entrada de parâmetros, como visto na revisão bibliográfica. Esta função do programa é responsável por calcular e estabelecer esses dados de entrada do algoritmo.

O parâmetro de temperatura inicial é feito a partir da equação proposta por Kirikpatrick *et al.* (1983) $T_0 = \ln f(x_0)$, onde: $f(x_0)$ é a função objetivo da solução inicial, calculada de acordo com o tópico apresentado anteriormente. A temperatura inicial do trabalho irá variar de acordo com os clientes escolhidos e a distância total realizada pelas rotas.

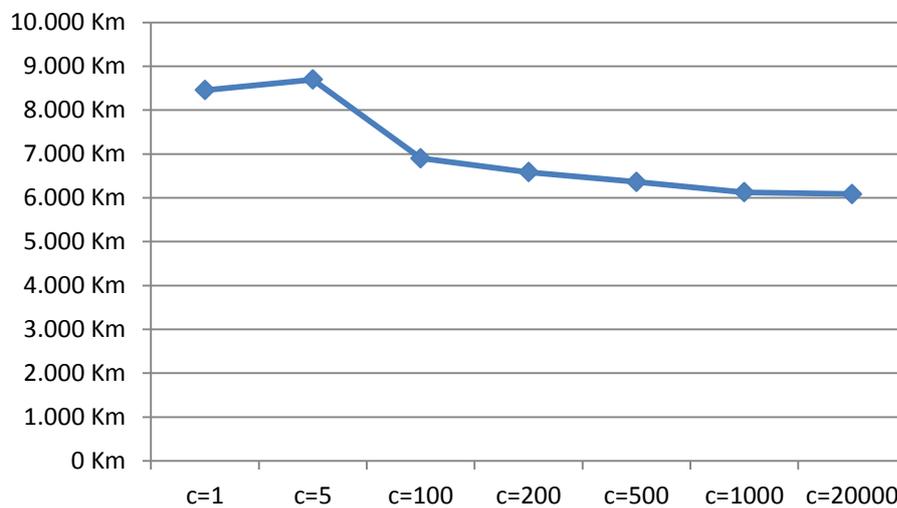
O parâmetro de iteração máxima (*SAMax*) realiza o cálculo de acordo com a equação proposta pelo mesmo autor, $SAMax = N \times c$, onde N expressa o número de vizinhos da solução e c representa uma constante adimensional.

Com o intuito de encontrar um valor adequado para a constante, realizou-se uma sequência de dez soluções, considerando uma vizinhança de 48 clientes a serem atendidos, e avaliaram-se seus resultados, conforme apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Análise da relação das respostas com os valores das constantes

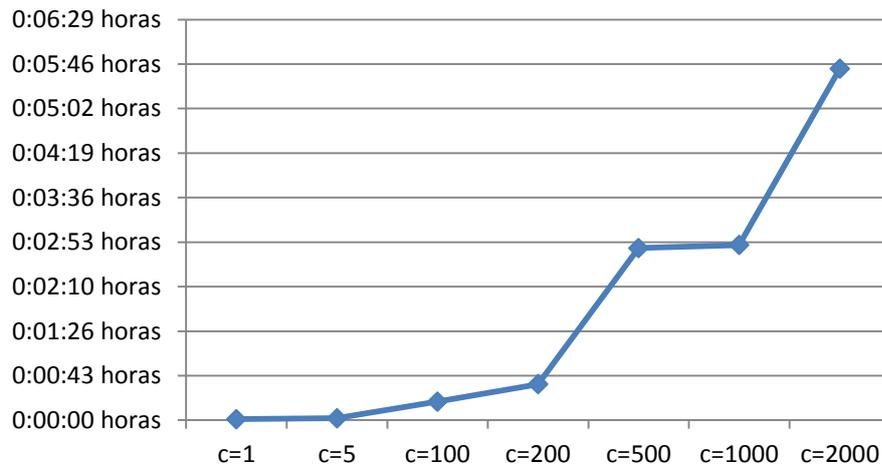
Fonte: Autoria Própria

Através do Gráfico 2 pode-se inferir que quanto menor a constante utilizada, maior será a variação da solução e, conseqüentemente, pior são os resultados obtidos, como mostra o Gráfico 3 com as médias das respostas apresentadas.

Gráfico 3 – Análise da média das respostas com os valores das constantes

Fonte: Autoria Própria

Com a análise do Gráfico 3 verifica-se que a variação da média das soluções reduz com o aumento de c , visto que, as soluções para $c=1000$ e $c=2000$ serem próximas, um aumento de c , não seria mais justificado, visto que tornaria o programa mais lento, sem apresentar uma melhora significativa à função objetivo. A diferença de tempo para obter uma solução está representada pelo Gráfico 4.

Gráfico 4 – Análise do tempo para gerar as respostas

Fonte: Autoria Própria

O Gráfico 4 comprova que o aumento da constante reduz a velocidade de convergência do método, dessa forma, adotou-se o valor de 2000 à constante. Para o α , considerou o valor de 0,99, de forma que a solução tivesse um processo de resfriamento mais lento e, assim gerasse respostas melhores. Por fim, nesta função também foi definida a temperatura final de resfriamento, a qual foi adotada com um valor de 0,001.

Função de melhora da solução (SA)

O método *Simulated Annealing* é responsável por tentar encontrar uma nova solução, a qual obtenha uma redução na distância total percorrida. A função funciona de acordo com o algoritmo apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Algoritmo do Simulated Annealing

```

procedimento SA ( $f(\cdot)$ ,  $N(\cdot)$ ,  $\alpha$ ,  $S_{Amax}$ ,  $T_0$ ,  $s$ )
 $s^* \leftarrow s$     {Melhor solução obtida até então}
IterT  $\leftarrow 0$  {Número de iterações na temperatura  $T$ }
 $T \leftarrow T_0$   {temperatura corrente}
enquanto ( $T > 0.0001$ )
  enquanto (IterT  $<$   $S_{Amax}$ ) faça
    IterT  $\leftarrow$  IterT + 1
    Gerar um vizinho ( $s'$ ) aleatoriamente na vizinhança  $N^k(s)$ 
     $\Delta = f(s') - f(s)$ 
    se ( $\Delta < 0$ ) então
       $s \leftarrow s'$ 
      se ( $f(s') < f(s^*)$ ) então  $s^* \leftarrow s'$ 
    senão
      Tome  $x \in [0,1]$ 
      se ( $x < e^{-\Delta/T}$ ) então
         $s = s'$ 
    fim-se
  fim-enquanto
   $T = T \times \alpha$ 
  IterT = 0
fim-enquanto
retorne  $s^*$ 
fim-procedimento

```

Fonte: Araujo (2001)

Onde:

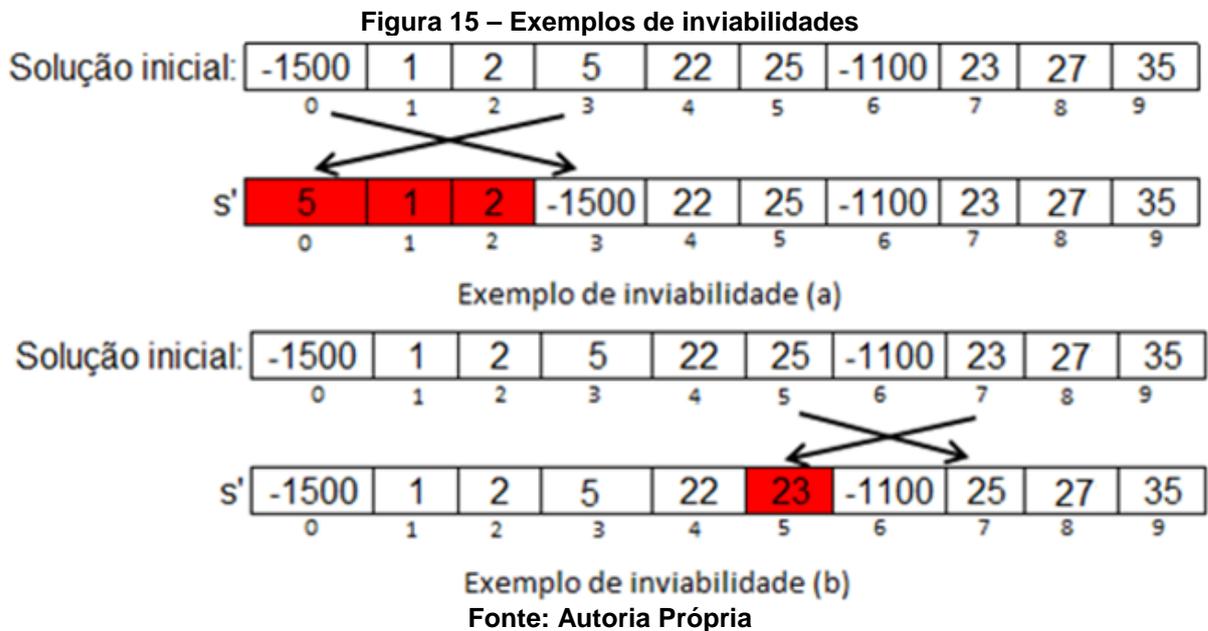
- $F(\cdot)$ é a função objetivo;
- $N(\cdot)$ é o numero de vizinhos da solução;
- α é o tamanho do passo do resfriamento;
- S_{Amax} representa o número máximo de interações;
- T_0 é a temperatura inicial; e,
- s é a solução inicial

O procedimento de gerar um vizinho (s') foi realizado a partir da implementação de uma função troca de posição, onde o programa escolhe aleatoriamente duas posições do vetor solução para serem trocadas, caso a troca delas não construa nenhuma inviabilidade na solução. Como inviabilidade de solução entende-se: a) Cliente sem um veículo antecessor – todo cliente precisa estar associado a algum veículo, a alocação dos clientes é representada pelo programa, a partir das clientes subsequentes a um veículo, de modo que, quando o vetor solução inicia com um cliente, não estará sendo atendido por nenhum dos veículos do vetor; b) Ultrapassar a capacidade do veículo – no vetor solução o

conjunto de cidades contidas entre dois veículos ou entre um veículo e o último elemento do vetor solução representam os pontos de entrega do caminhão, dessa maneira, a soma das demandas dos clientes atendidos não pode ultrapassar a capacidade máxima do veículo.

Caso as inviabilidades não sejam verificadas a solução corrente (s') é construída com a troca das posições, caso contrário, o (s') continua a ser igual à solução anterior s .

Na Figura 15 estão representadas duas trocas, utilizando-se os dados do exemplo na Figura 13 feito na construção da solução inicial, que geram as inviabilidades, citadas anteriormente.



O exemplo (a) mostra a inviabilidade ocasionada por não ter nenhum veículo para entregar as mercadorias da rota $5 \rightarrow 1 \rightarrow 2$, enquanto o exemplo (b) apresenta a inviabilidade ocasionada pelo excesso de demanda. Na Figura 13 a demanda dos clientes $1+2+5+22+23$ é igual a 1.530 unidades, valor superior ao veículo de capacidade 1500 unidades, que distribuirá os produtos para estes clientes.

5 RESULTADOS

Neste capítulo será descrita a metodologia de avaliação do programa desenvolvido nesse trabalho, bem como apresentados os dados utilizados para realização da avaliação. Por último, os resultados obtidos com a utilização do modelo proposto, comparando os valores de rotas atuais utilizadas pela empresa em estudo, Capitão Gourmet, com as respostas obtidas com a utilização da heurística da varredura e da metaheurística do *Simulated Annealing*.

5.1 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

A avaliação do método proposto foi realizada comparando as rotas do cenário atual da empresa com três novos cenários que serão descritos no decorrer do capítulo. Visto que o código foi programado desconsiderando restrições de tempo, o programa só deveria ser compilado com clientes que possuíssem o mesmo período de data de entrega, pois, senão a solução obtida poderia alocar clientes com prazo de entregas diferentes em uma mesma rota.

5.2 CENÁRIOS

Neste tópico são abordados tanto o cenário atual das rotas da empresa quanto os cenários propostos neste trabalho.

5.2.1 CENÁRIO ATUAL (0)

A empresa atualmente opera com doze rotas, conforme mostra a Tabela 4, composta pela sequência de pontos de atendimento de cada rota e do valor total da distância para sair da empresa, percorrer todos os clientes da rota e retornar ao ponto de partida.

Exemplo: a rota 1 apresentada a seguir na Tabela 4 é composta pela seguinte sequência de atendimento: empresa→Forquilha→Anita→Felipe→empresa; todo este trajeto percorre uma distância de 35,23 quilômetros.

Tabela 4 – Agrupamento das rotas

Rota 1	
Continente	35,23
Forquilha	
Anita	
Felipe	
Rota 2	
Florianópolis	Distância (Km)
Capitão	53,29
Trindade	
UFSC	
Kobrasol	
Angeloni Cap.	
Rota 3	
Florianópolis	Distância (Km)
Floripa	78,50
Angeloni BM	
Iguatemi	
Lagoa	
Rota 4	
Florianópolis	Distância (Km)
Itaguaçu	35,90
Via Catarina	
Continente	
Forquilha	
Rota 5	
Florianópolis	Distância (Km)
Beira Mar	35,90
Anita	
Felipe	
Rota 6	
Florianópolis	Distância (Km)
Capitão	85,60
Trindade	
UFSC	
Kobrasol	
Lagoa	
Angeloni Cap.	
Rota 7	
Joinville	Distância (Km)
Muller	371,30
Garten	
Rota 8	
Norte SC	Distância (Km)
Park	417,29
Neumarket	
Norte	
Jaraguá	
Itajaí	
Balneário Camboriú	
Rota 9	
Sul SC e RS	Distância (Km)
Tubarão	1.746,90
Criciúma	
Caxias do Sul	
Cachoeirinha	
Canoas	
Gravataí	
Pelotas	
Lages	
Rota 10	
PR, SP e MS	Distância (Km)
Curitiba	3.530,00
Metro	
Campinas	
Sorocaba	
Buriti	
Londrina	
Campo Grande	
Rota 11	
CO	Distância (Km)
Taguatinga	3.658,30
Pátio Brasil	
Brasília	
Conjunto Nacional	
JK	
Alameda	
Anápolis	
Valparaíso	
Rota 12	
CO	Distância (Km)
Londrina	2.584,00
Campo Grande	

Fonte: Autoria Própria

As rotas atuais, segundo Luiz Carlos Shoef Junior, engenheiro da empresa Capitão Gourmet, foram construídas levando-se dois parâmetros em consideração: localização dos clientes e frequência de atendimento. Assim, há seis rotas que são responsáveis por atender os clientes da Grande Florianópolis, que demandam uma frequência maior que os outros clientes: cada um destes pontos é atendido uma ou duas vezes na semana, enquanto os demais clientes demandam, em geral, um atendimento mensal ou quinzenal.

As rotas de distribuição variam e assim, a distância apresentada na Tabela 4 é um valor aproximado, o qual foi calculado utilizando a sequência dada pela empresa com os valores levantados na matriz origem/destino. Esse conjunto de rotas será tratado neste trabalho como cenário atual.

5.2.2 CENÁRIO ATUAL COM SEQUENCIAMENTO (1)

O cenário atual com sequenciamento difere-se do cenário 0, pois utiliza o programa para ordenar o atendimento dos clientes, de forma que a solução obtida com o programa pode apresentar uma nova sequência de atendimento para cada uma das 12 rotas da Tabela 8.

5.2.3 CENÁRIO MODIFICADO (2)

Analisando as seis primeiras rotas do cenário 0, os quais atendem clientes situados na Grande Florianópolis e são os mesmos do cenário 1, percebeu-se que a escolha do conjunto de clientes atendidos por cada rota era realizada de forma inadequada, segundo o critério de Ballou (2001), conforme foi apresentado na seção 2.3 na Figura 3.

Desta forma, criou-se o cenário 2, que organiza os clientes em novas rotas, as quais não necessariamente terão o sequenciamento de clientes apresentado na Tabela 9, a sequência de atendimento de cada rota será determinada somente depois da utilização do programa computacional. O cenário 2 respeitou as necessidades de frequência de atendimento, apesar de modificar os períodos de

data de entrega, os quais terão de ser acordados com os clientes. As novas rotas estão apresentadas no Quadro 5.

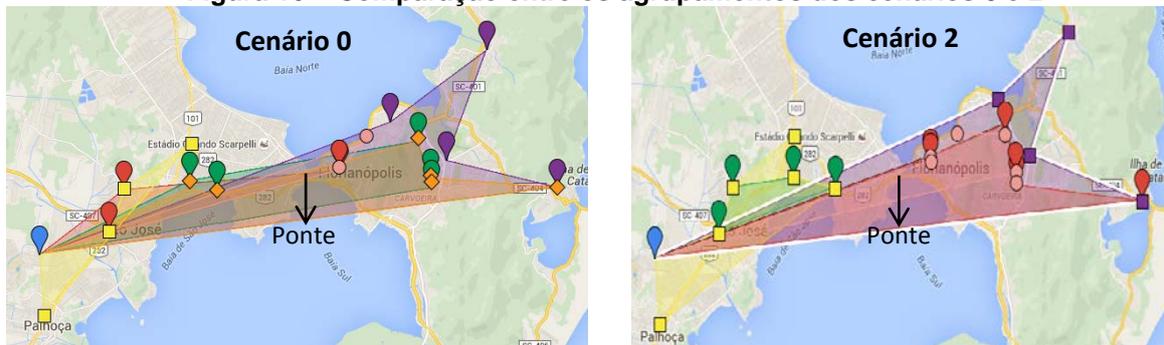
Quadro 5 – Agrupamento modificado dos clientes da Grande Florianópolis

Rotas da Grande Florianópolis				
Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5
Anita	Continente	Floripa	Itaguaçu	Beira Mar
Felipe	Kobrasol	Angeloni Beira Mar	Via Catarina	Anita
UFSC	Forquilha	Iguatemi	Continente	Capitão
Trindade	Angeloni Capoeiras	Lagoa	Forquilha	Trindade
Lagoa			Kobrasol	UFSC
			Angeloni Capoeiras	

Fonte: Autoria Própria

A Figura 16 ilustra uma comparação entre as rotas da Grande Florianópolis para os cenários 0 e 2.

Figura 16 – Comparação entre os agrupamentos dos cenários 0 e 2



Fonte: Autoria Própria

O ponto azul das imagens representa a empresa, enquanto cada cor dos demais pontos representa um dos clientes da rota de atendimento. Analisando as imagens percebe-se que o cenário 0 apresenta uma rota a mais que o cenário 2. Outra mudança entre os cenários é a distribuição geográfica dos clientes pertencentes a cada rota, tanto na parte à esquerda, com clientes mais próximos à empresa, quanto na parte à direita, o número de rotas de atendimento foram reduzidas em duas unidades. Isto significa uma redução na necessidade de atravessar a ponte, o que no caso da cidade de Florianópolis é bastante significativo, visto que este trajeto se encontra frequentemente congestionado.

É importante ressaltar que o número de vezes que cada cliente será atendido, permaneceu constante, logo o cenário 2 respeitou a frequência de atendimento de cada cliente.

Quanto aos demais 32 clientes o cenário 2 realizou uma união dos clientes atendidos pelas rotas 7 a 11 da Tabela 4, visto que todos eles tinham a mesma frequência. Os clientes da rota 12 já estavam sendo atendidos pela rota 10, dessa forma estes clientes não foram incluídos novamente. Esta união aumentou a possibilidade de rotas que o programa poderia gerar com estes clientes.

5.2.4 CENÁRIO DE AGRUPAMENTO ÚNICO (3)

O cenário 3, não levou em consideração a frequência que as lojas são atendidas, de modo que agregou todos os clientes para que o programa realizasse a análise e retornasse as melhores rotas.

Dessa forma, esta situação explora melhor as possibilidades de combinações de rotas a serem feitas, e em contrapartida, exige uma mudança drástica no planejamento das entregas. Assim neste cenário, foi compilado o programa com a entrada de demanda de todos os clientes.

5.3 AVALIAÇÃO DE CADA CENÁRIO DO MODELO PROPOSTO

Neste tópico serão descritos os resultados alcançados com a utilização do modelo proposto para: o cenário atual com sequenciamento (1), o cenário modificado (2) e o de agrupamento único (3) comparados ao cenário atual (0).

5.3.1 CENÁRIO ATUAL COM SEQUENCIAMENTO (1)

Para a realização deste cenário, primeiramente foi preciso estipular as demandas dos clientes, as quais foram determinadas a partir de uma análise dos relatórios de viagens dos últimos três meses da empresa Capitão Gourmet. Observou-se que as frequências e as entregas apresentavam uma grande variação, e assim optou-se por realizar a avaliação para o cenário 1 a partir dos dados de planejamento de cada uma das rotas e das médias de demanda de cada cliente.

Na Figura 17 está representado o resultado obtidos apenas com o método da varredura, para a rota 1 do cenário 1.

Figura 17 – Exemplo de solução realizada pelo programa

```

ROTEAMENTO DE VEICULOS DE FROTA HETEROGENEA
*****
      1. Otimizar utilizando Simulated Annealing
      2. Sair do Programa
*****
      Escolha: 1
*****
s[ 0]=-1500
s[ 1]=Continente
s[ 2]=Forquilha
s[ 3]=Anita
s[ 4]=Felipe
inicial fo 35.235001
  
```

Fonte: Autoria Própria

O roteamento, como esperado utiliza o maior veículo com capacidade de armazenar 1.500 caixas de calzones para atender os clientes: Continente, Forquilha, Anita e Felipe, respectivamente nesta sequência. Para realização de uma avaliação das rotas que atendem a Grande Florianópolis, o programa foi executado mais 5 vezes, realizando-se as modificações da entrada de demanda, de modo a inserir os dados dos pontos atendidos na rota de estudo. Ao final elaborou-se a Tabela 5 com cada um dos resultados de modo a analisar as respostas fornecidas pelo programa.

Tabela 5 – Resultados obtidos com o método da varredura

Rotas	Resultados originais (km)	Resultados com o método da varredura (km)	Porcentagem de melhora/piora com a utilização do programa
1	35,23	35,23	0,00%
2	53,29	53,29	0,00%
3	78,50	64,09	18,34%
4	35,90	26,10	27,29%
5	39,33	39,33	0,00%
6	86,56	67,11	22,45%
TOTAL:	328,83	284,19	13,57%

Fonte: Autoria Própria

Através da Tabela 5, percebe-se que em algumas rotas (1, 2 e 5) a utilização do modelo proposto não trouxe qualquer melhoria na redução das distâncias. Dentre os motivos, destaca-se a pequena quantidade de pontos que cada rota atende de modo que a ordenação apenas com o racional humano consegue realizar boas escolhas, e para esses casos não se justifica a utilização do programa.

Ainda assim, o programa gerou alguma melhoria em metade das rotas utilizadas, tendo ao total uma redução de 13,57% das distâncias das entregas locais. O programa também foi executado para as outras 6 rotas realizadas pela empresa, cujos resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Soluções obtidas com o método da varredura

Rotas	Resultados originais (km)	Resultados com o método da varredura (km)	Porcentagem de melhora com a utilização do programa (km)
7	371,30	371,30	0,00%
8	417,29	421,89	1,10%
9	1.746,80	1.869,59	-7,02%
10	3.530,00	3.196,30	9,45%
11	3.658,30	3.555,90	2,79%
12	2.584,00	2.595,00	-0,42%
TOTAL:	12.307,69	12.009,98	2,41%

Fonte: Autoria Própria

Analisando a Tabela 6, percebe-se que a utilização da heurística da varredura, em alguns casos pode até ocasionar em piora da resposta atual, como acontece com a rota 9 e 12. Assim, para obter-se uma melhora da função objetivo utilizou-se o método *Simulated Annealing*, cujos resultados para este cenário estão descritos no tópico a seguir.

A Tabela 7 apresenta um dos resultados obtidos com a execução do programa. Como a metaheurística SA, realiza trocas aleatórias, as soluções geradas a partir dos mesmos dados de entrada podem resultar em diferentes respostas.

Tabela 7 – Análise das soluções geradas para o cenário atual

Rotas	Resultados originais (km)	Resultados com o método da varredura (km)	Resultados com o método SA (km)	Porcentagem total de melhora com a utilização do programa
1	35,23	35,23	35,23	0,00%
2	53,29	53,29	45,55	14,52%
3	78,50	64,09	64,09	18,34%
4	35,90	26,10	26,10	27,29%
5	39,33	39,33	39,00	0,84%
6	86,56	67,11	59,90	30,79%
7	371,30	371,30	371,30	0,00%
8	417,29	421,89	413,89	0,81%
9	1.746,80	1.869,59	1.860,30	-6,49%
10	3.530,00	3.196,30	3.187,10	9,71%
11	3.658,30	3.555,90	3.502,19	4,26%
12	2.584,00	2.584,00	2.584,00	0,00%
TOTAL:	12.636,52	12.295,17	12.199,69	3,54%

Fonte: Autoria Própria

Analisando a tabela pode-se observar que as rotas 1, 7 e 12 possuem uma porcentagem de melhora nula, e através da aplicação da formulação matemática com auxílio da ferramenta Excel para essas rotas, constatou-se que ambas já estão com suas rotas ótimas, ou seja, não era possível o programa encontrar qualquer rota melhor.

O resultado total apresentou uma pequena redução das distâncias em 3,54% e uma das rotas, a 9, apresentou uma piora com a aplicação do programa, logo para este cenário em que cada grupo tem um baixo número de clientes a utilização do modelo computacional pouco impacta, não justificando a utilização do mesmo para o sequenciamento dos clientes em cada uma das rotas.

Isto não significa que o programa não seja eficaz, apenas que, devido às rotas terem poucos pontos, a avaliação das possibilidades de combinações era facilmente feita pelo racional humano. Para verificação de um cenário onde exista a agregação/modificação destas rotas resultaria em redução de custos foi elaborado um novo cenário apresentado anteriormente no tópico 5.2.3.

Visto que, o cenário atual apresenta poucos clientes em cada rota, em nenhuma das respostas necessitou-se mais de um veículo para atender a demanda e dessa forma, não foi possível avaliar o programa quanto a sua capacidade de escolha da frota no cenário 1.

5.3.2 CENÁRIO MODIFICADO (2)

O cenário 2 tem dois focos distintos, um é avaliar os benefícios quanto à redução das distâncias, e o outro quanto à utilização da frota. Para isso analisou-se primeiramente a distribuição física das lojas na Grande Florianópolis, modificando-se as rotas de entrega, mas preservando-se a frequência de atendimento dos clientes.

Na sequência foram analisados também os demais pontos de atendimento, verificando os resultados com o método da varredura, bem como com a aplicação do método SA de melhoria. A Tabela 8 ilustra os resultados obtidos com as rotas da Grande Florianópolis, apresentadas anteriormente no Quadro 5.

Tabela 8 – Análise das soluções geradas para o cenário modificado

Rotas	Resultados com o método da varredura (km)	Resultados com o método SA (km)	Porcentagem de melhora em relação ao método da varredura
1	63,03	61,03	3,17%
2	26,29	26,29	0,00%
3	64,09	64,09	0,00%
4	26,10	26,10	0,00%
5	50,33	46,53	7,54%
TOTAL:	229,86	224,06	2,52%

Fonte: Autoria Própria

A partir da Tabela 8 pode-se inferir que, do mesmo modo que os casos anteriores, por ter um pequeno número de pontos a melhora de cada rota ocasionada pelo sequenciamento dos clientes é pequena. O método do SA foi capaz de melhorar a resposta da varredura como um todo em 2,52% dos casos para os clientes da Grande Florianópolis.

Para os clientes das outras localidades, a resposta obtida pelo programa apenas com o método da varredura, está apresentada na Figura 18.

Figura 18 – Solução do método da varredura para o cenário 2

```

*****
s[ 0]=-1500
s[ 1]=Sorocaba
s[ 2]= Shopping Metro
s[ 3]=Campinas
s[ 4]=Shopping Buriti
s[ 5]=Valparaiso
s[ 6]= Anapolis
s[ 7]= Taguatinga
s[ 8]= Patio Brasil
s[ 9]=JK
s[10]=Brasilia
s[11]=C Nacional
s[12]=Alameda
s[13]=Campo Grande
s[14]=Londrina
s[15]=-1100
s[16]=Curitiba
s[17]= Muller
s[18]= Garten
s[19]= Jaragua
s[20]=Norte
s[21]=Neumarket
s[22]= Park
s[23]= Itajai
s[24]=Balneário Camboriu
s[25]=Lages
s[26]=Pelotas
s[27]=-630
s[28]=Tubarão
s[29]=Criciúma
s[30]=Gravataí
s[31]=Cachoeirinha
s[32]=Canoas
s[33]=Porto Alegre
s[34]=-357
s[35]=Caxias
inicial fo 8191.600098

```

Fonte: Autoria Própria

A leitura desses dados é feita da seguinte maneira, o veículo com capacidade de 1.500 unidades irá distribuir seus produtos nesta ordem: Sorocaba → Shopping Metro → Campinas → Shopping Buriti → Valparaíso → Anápolis → Taguatinga → Pátio Brasil → JK → Brasília → C Nacional → Alameda → Campo Grande → Londrina. O veículo com capacidade de 1.100 irá realizar a entrega aos clientes: Curitiba → Garten → Jaraguá → Norte → Neumarket → Park → Itajaí → Balneário Camboriú → Lages → Pelotas; o veículo com capacidade de 630 para os clientes: Tubarão → Criciúma → Gravataí → Cachoeirinha → Canoas → Porto Alegre; e por fim o veículo com capacidade de 357 entregará apenas para Caxias. Para a frota realizar toda esta entrega os veículos percorrem um total de 8.191,6 quilômetros.

Já com a utilização da metaheurística SA há uma redução na distância total, de 13,15% se comparado com o método da varredura, totalizando 7.114,4

quilômetros. Além disso, o programa fornece as novas rotas, bem como uma análise delas, que está representada na Figura 19.

Figura 19 – Solução do método *Simulated Annealing* para o cenário 2

```

***** ROTAS:*****
s[ 0]=-1500
s[ 1]=Londrina
s[ 2]=Campo Grande
s[ 3]= Taguatinga
s[ 4]= Anapolis
s[ 5]=JK
s[ 6]=Brasilia
s[ 7]= Patio Brasil
s[ 8]=C Nacional
s[ 9]=Valparaiso
s[10]=Alameda
s[11]=Shopping Buriti
s[12]=Campinas
s[13]= Shopping Metro
s[14]=Sorocaba
s[15]=-1100
s[16]=Balneário Camboriu
s[17]=Neumarket
s[18]= Park
s[19]=Norte
s[20]= Jaragua
s[21]=Curitiba
s[22]= Garten
s[23]= Muller
s[24]= Itajai
s[25]=-630
s[26]=Lages
s[27]=Pelotas
s[28]=Canoas
s[29]=Cachoeirinha
s[30]=Criciúma
s[31]=Tubarão
s[32]=-357
s[33]=Gravatá
s[34]=Porto Alegre
s[35]=Caxias

*****ANALISE DAS ROTAS:*****
ROTA: 1
veiculo: -1500
distancia: 4020.500000 quilometros
custo: 4288.533203 reais
total ocupacao= 1468 caixas
taxa_de_ocupacao_caminhao=97.866667 %

ROTA: 2
veiculo: -1100
distancia: 699.400024 quilometros
custo: 746.026672 reais
total ocupacao= 947 caixas
taxa_de_ocupacao_caminhao=86.090909 %

ROTA: 3
veiculo: -630
distancia: 999.299988 quilometros
custo: 1065.920044 reais
total ocupacao= 536 caixas
taxa_de_ocupacao_caminhao=85.079365 %

ROTA: 4
veiculo: -357
distancia: 1395.199951 quilometros
custo: 1488.213257 reais
total ocupacao= 353 caixas
taxa_de_ocupacao_caminhao=98.879552 %

*****ANALISE TOTAL:*****
funcao objetivo = 7114.399414 quilometros

```

Fonte: Autoria Própria

A partir da análise das rotas pode-se concluir que o programa proposto não só é útil para a redução das distâncias, como também para a determinação e aproveitamento dos veículos. Esta execução do programa contou com quase todos os clientes, exceto os clientes da Grande Florianópolis; a solução forneceu um resultado de 4 veículos para realizar a entrega, os quais saem com uma taxa de ocupação média de 91,97%, enquanto nos cenários 0 e 1 são realizadas 5 rotas para atender aos mesmos clientes.

5.3.3 CENÁRIO ÚNICO (3)

O cenário 3 apresenta os resultados referentes a um único agrupamento de clientes, cuja principal vantagem é conseguir uma melhoria nas respostas como apresentado na Figura 20, onde mostra-se a análise das rotas geradas. Em

contrapartida, para a utilização deste cenário necessita-se de modificações das frequências de atendimento que dificultam a definição das datas de entrega.

Figura 20 – Solução computacional para o cenário 3

```

*****ANALISE DAS ROTAS:*****
ROTA: 1
veiculo: -1500
distancia: 4020.500000 quilometros
custo: 4288.533203 reais
total ocupacao= 1468 caixas
taxa_de_ocupacao_caminhao=97.866667 %

ROTA: 2
veiculo: -1100
distancia: 570.799988 quilometros
custo: 608.853333 reais
total ocupacao= 1040 caixas
taxa_de_ocupacao_caminhao=94.545455 %

ROTA: 3
veiculo: -630
distancia: 1530.199951 quilometros
custo: 1632.213257 reais
total ocupacao= 627 caixas
taxa_de_ocupacao_caminhao=99.523810 %

ROTA: 4
veiculo: -357
distancia: 630.799988 quilometros
custo: 672.853333 reais
total ocupacao= 356 caixas
taxa_de_ocupacao_caminhao=99.719888 %

ROTA: 5
veiculo: -266
distancia: 64.834999 quilometros
custo: 69.157333 reais
total ocupacao= 264 caixas
taxa_de_ocupacao_caminhao=99.248120 %

*****ANALISE TOTAL:*****
funcao objetivo = 6817.136230 quilometros

```

Fonte: Autoria Própria

Para o cenário 3 a redução das distâncias entre o método da varredura e o método SA foi de 1.549,06 quilômetros, o que representa uma queda de 18,51% na função objetivo do modelo. Conforme apresentado na Figura 20 para a realização da entrega foram utilizados 5 veículos, com uma média de taxa de ocupação de 98,25%.

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS

Este tópico tem por intuito realizar uma comparação entre os resultados dos cenários apresentados, avaliando o total de distância percorrida, os custos gastos com combustível e uma análise das vantagens e desvantagens de cada um dos cenários.

A tabela 9 retrata uma comparação entre os cenários 1, 2 e 3, apresentando a redução da distância total percorrida em relação ao cenário 0, o qual possui 10.052,52 quilômetros, sendo este resultado a somatória das distâncias totais de cada rota apresentada na Tabela 8, com exceção da rota 12, visto que os dois clientes desta rota já tinham sido atendidos na rota 10.

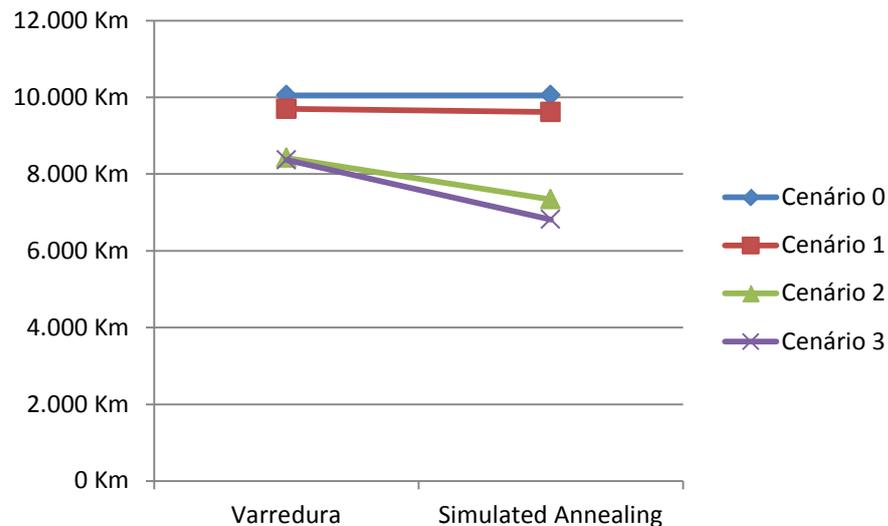
A comparação além de apresentar a redução de cada cenário, mostra quais métodos resultaram nesta redução, de forma que o método da varredura e a solução final do programa, nomeado na Tabela 9 de “Ambos”, são comparados com o valor da distância total do cenário 0, enquanto o método do SA é comparado ao resultado obtido pelo método da varredura do cenário em análise, apresentando a melhoria que o algoritmo proporciona àquela solução.

Tabela 9 – Comparação das distâncias percorridas entre os cenários

Cenários	Varredura		<i>Simulated Annealing</i>		Ambos (Varredura e SA)	
	Redução (km)	Porcentagem	Melhoria (km)	Porcentagem	Redução (km)	Porcentagem
1	353,35	3,51%	83,47	0,86%	436,82	4,34%
2	1.631,05	16,22%	1.082,99	12,85%	2.714,05	26,99%
3	1.686,32	16,77%	1.549,06	18,51%	3.235,38	32,18%
Média	1.223,573	12%	905,1733	11%	2.128,75	21%

Fonte: Autoria Própria

A redução média das distâncias os cenários 1,2,3 com a utilização do método proposto foi de aproximadamente 21%. O método varredura apresentou uma redução média das distâncias comparado com o cenário 0 em aproximadamente 12%. A média de melhora da utilização do algoritmo SA em relação ao método da varredura foi de aproximadamente 11%. O Gráfico 5, apresenta os dados da Tabela 9.

Gráfico 5– Representação das distâncias percorridas

Fonte: Autoria Própria

Com o Gráfico 5 pode-se inferir que, tanto a utilização da heurística da varredura, quanto a metaheurística SA, resultam em uma melhora da função objetivo. Através da análise da representação também se percebe que a proporção de redução do cenário 1 é bastante inferior aos outros cenários. Um dos motivos para a sua diferença é a grande quantidade de rotas, que são formados por poucos clientes e reduzem as possibilidades de sequenciamento da rota.

Também foi realizada uma análise do custo mensal gasto em combustível, o qual foi elaborado da seguinte maneira, apresentando para os cenários 1 e 2 os custos gastos com as rotas da Grande Florianópolis em um grupo e os custos com os demais clientes em outro grupo. Esta distinção fez-se pela diferença das quantidades de vezes que ocorrem atendimento por mês aos clientes.

O custo desses cenários foi calculado a partir da seguinte equação: $Custo = d \times p \times f$; onde: d é o valor da distância total percorrida, p é o valor de preço de combustível por quilômetro e f é a frequência de atendimento por mês.

Para a constante p , foi considerado apenas o preço gasto com combustível, utilizando-se o valor de R\$ 3,20 (três reais e vinte centavos) por litro e um gasto comum a todos os veículos da frota de 3 quilômetros por litro, o que resultou em um valor de 1,066 reais/quilômetros. Já para a variável f considerou-se uma frequência semanal de atendimento, para cada grupo da Grande Florianópolis, ou seja, um f igual a 4 para este grupo, enquanto para os demais clientes considerou-se uma entrega quinzenal ($f=2$). O cenário 3, por não possuir distinção entre estes dois

grupos; considerou-se que todos os clientes são atendidos duas vezes ao mês ($f=2$). Estes valores foram calculados tanto para o método da varredura, quanto para a resposta final do programa (varredura e SA).

Com esses dados foi construída a tabela 10, representada a seguir, a qual também apresenta o valor em porcentagem de redução do custo em relação ao cenário 0, o qual possui um gasto mensal, de acordo com o mesmo cálculo, estimado em R\$ 1.402,99 (um mil e quatrocentos e dois reais e noventa e nove centavos) para as entregas de Florianópolis e R\$ 20.743,87 (vinte mil e setecentos e quarenta e três reais e oitenta e sete centavos) para os demais clientes, o que resulta em um gasto mensal em combustível de R\$ 22.146,87 (vinte e dois mil e cento e quarenta e seis reais e oitenta e sete centavos).

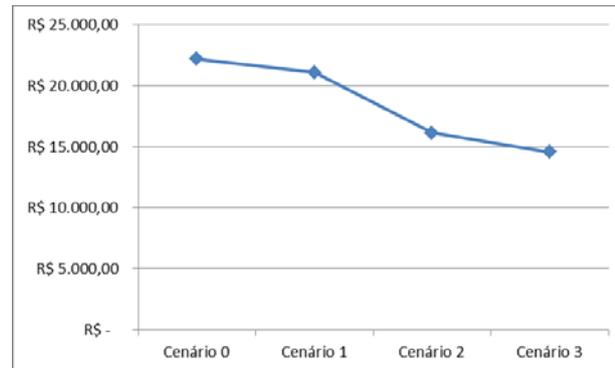
Tabela 10 – Análise dos custos

Cenário 1	Varredura	<i>Simulated Annealing</i>	Porcentagem de redução
Florianópolis	1.216,79	1.151,54	18%
Demais	20.085,29	19.914,23	4%
Total	21.302,08	21.065,77	5%
Cenário 2	Varredura	<i>Simulated Annealing</i>	Porcentagem de redução
Florianópolis	980,76	956,02	32%
Demais	17.475,41	15.177,38	27%
Total	18.456,17	16.133,40	27%
Cenário 3	Varredura	<i>Simulated Annealing</i>	Porcentagem de redução
Todos	17.847,87	14.543,21	34%

Fonte: Autoria Própria

A partir dos dados da Tabela 10, calculou-se o custo médio gasto nos cenários 1, 2 e 3 e comparou-se com o valor encontrado para o cenário 0, onde verificou-se uma queda média do custo com combustível de aproximadamente 22% do custo sem a utilização do programa e com a utilização do programa.

Para facilitar a análise dos custos, foi gerado o Gráfico 6 com os dados apresentados anteriormente na Tabela 10.

Gráfico 6 – Análise dos custos

Fonte: Autoria Própria

A partir do Gráfico 6 percebe-se que os cenários 1, 2, 3 apresentaram uma redução do custo atual, sendo o 3 o mais barato e o cenário 1 o mais caro das soluções apresentadas pelo programa.

Apesar de mais barato o cenário 3 apresenta uma grande dificuldade de ser implementado numa empresa, visto que, toda a programação e frequência de entrega iria se modificar. Além disso, este cenário dificultaria a previsão de data de entrega das mercadorias, já que o programa não conta com uma previsão de tempo de entrega, e os clientes locais (Grande Florianópolis) estariam inseridos em rotas com os demais clientes, onde o prazo de entrega pode levar dias, devido às grandes distâncias percorridas. A Tabela 16 apresenta um resumo das principais vantagens e desvantagens da utilização de cada um dos cenários.

Quadro 16 – Vantagens e Desvantagens de cada cenário

Cenários	Vantagens	Desvantagens
1	Já estar combinado com as lojas a frequência e ter um planejamento que permita isto.	Maior Custo; Maior número de viagens; Menor Aproveitamento dos veículos;
2	Economia dos custos com combustível; Redução do número de viagens; Capacidade de atender as demandas atuais dos clientes.	Necessidade de negociar com as lojas de forma a adaptar as novas rotas de entrega.
3	Menor custo; Maior aproveitamento dos veículos.	Necessidade de negociar com as lojas novas frequências e dificuldade de estabelecer e garantir as datas de entrega.

Fonte: Autoria Própria

Visto as vantagens e desvantagens, o cenário 2, apresenta-se mais indicado para a aplicação dentro da empresa, necessitando de poucas modificações e trazendo tanto benefícios de custo, como em aproveitamento de veículos.

6 CONCLUSÃO

Neste capítulo, destacam-se, a importância da roteirização para uma empresa de *fast food* no processo de distribuição de seus produtos e analisa-se a contribuição que o modelo proposto oferece. Também são apresentadas algumas limitações do programa e recomendadas uma série de sugestões a ser exploradas em trabalhos futuros.

As redes de *fast food* se diferenciam no mercado alimentício por proporcionar um serviço rápido e prático, sendo que a agilidade deste setor não se limita à produção e consumo do alimento, porém toda sua cadeia logística exige processos rápidos e frequentes.

Uma das dificuldades deste setor alimentício diz respeito ao processo de distribuição de seus produtos, que geralmente compreende uma grande quantidade de franquias que estão dispersas geograficamente.

A roteirização pode contribuir para a empresa tornar-se mais competitiva no mercado, possibilitando trajetos com menores custos e tempo de entrega. Desta forma, este trabalho teve por objetivo verificar os benefícios da utilização da roteirização para uma empresa que distribui alimentos com sensibilidade térmica, propondo um modelo computacional capaz de realizar a roteirização de uma frota heterogênea utilizando-se as abordagens heurísticas e metaheurísticas dos métodos: da varredura e *Simulated Annealing*.

Para demonstrar a aplicabilidade do programa computacional, foram construídos três cenários de estudo e comparou-se os resultados atuais com os resultados obtidos com a aplicação do método proposto. Dois parâmetros foram avaliados, a redução da distância e o valor gasto em combustível mensalmente.

O método proposto mostrou que tanto o método da varredura, quanto o SA, apresentam melhoras ao sistema de distribuição física de produtos da empresa Capitão Gourmet, sendo que quanto maior a possibilidade de combinações melhor são os resultados apresentados.

Os resultados também apontaram que enquanto as soluções geradas para o método da varredura são constantes, o método SA apresenta variações da solução que são minimizadas através de uma boa escolha de parâmetros de entrada.

O método proposto obteve como resultado da roteirização uma redução média de 21,17% das distâncias, sendo 12,17% das reduções resultado médio do método varredura e 10,74% a média de melhora com a utilização do SA. Essas reduções provocaram uma queda média do custo com combustível de aproximadamente 22%.

Estes resultados validam a aplicação do modelo proposto, bem como verificam a capacidade de medidas logísticas, em especial as de roteirização serem utilizadas nas empresas com o intuito de reduzir os custos, indo de encontro com os dados apresentados na revisão bibliográfica.

O modelo proposto apresenta algumas limitações, no que diz respeito aos veículos, o método desenvolvido tenta sempre minimizar o número de veículos, para isso utiliza sempre o veículo com maior capacidade, isto em algumas situações pode gerar respostas não muito inteligentes em relação ao aproveitamento da frota, logo para suprir esta limitação sugere-se para trabalhos futuros que depois de alocado o veículo verifique-se se a demanda contida no mesmo caberia em algum veículo com capacidade inferior.

A segunda limitação do programa diz respeito à falta de dados em relação ao as datas de atendimento, e os tempos de percurso, que são de difícil previsão, estas informações poderiam contribuir para a criação de um programa que conseguisse avaliar todos os clientes de uma única vez, semelhante ao cenário 3, o qual apresenta o melhor resultado em questão de custo, mas que dificilmente poderá ser aproveitado por uma empresa em vista da dificuldade de programar as entregas.

Uma terceira limitação do modelo refere-se aos dados das demandas utilizadas, os quais foram feitos utilizando-se uma estimativa, o que pode não corresponder a realidade da empresa, desta forma, para trabalhos futuros seria interessante a análise de cenários reais.

Além destas sugestões, aconselha-se a realização da aplicação de um método exato a fim de quantificar o número de soluções ótimas obtidas com o uso do programa, bem como a busca de diferentes pontos de partida para o método da varredura e a busca por novos parâmetros de entrada da metaheurística do SA.

Por fim, ainda sugere-se a utilização de outros métodos heurísticos, metaheurísticos e híbridos para verificar as vantagens e desvantagens de cada modelo.

REFERÊNCIAS

ABREU, E. S. **Restaurante "por quilo": Vale quanto pesa?** Uma avaliação do padrão alimentar em restaurantes de Cerqueira César, São Paulo, SP. 2000. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). São Paulo: Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo – USP, 2000.

AMARAL, Brenda M. do; SOUZA Filho, Solano M. de; FAVERO, Luiz Andréa. *Outsourcing* na gestão da cadeia do frio: O caso Tru Logística. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA DE SISTEMAS, 6. **Anais...** Fortaleza: Instituto de Engenharia - UNAM. 23 a 27 julho de 2004.

ANFIR. **Estatísticas**: 2013.

Disponível em: <<http://www.anfir.org.br/apoio.php?pagina=1#>>. Acesso em: 15 set. 2015.

ARAUJO, Haroldo Alexandre de. **Algoritmo *Simulated Annealing*: Uma Nova Abordagem**. 2001. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **Mercado de Food Service**. 2011. Disponível em: <<http://www.abia.org.br/cfs2011/mercado.asp>>. Acesso em: 22 set. 2015.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 532 p.

BAPTISTA, Paulo. **Higiene e Segurança Alimentar no Transporte de Produtos Alimentares**. Disponível em: <http://alimentosonline.com.br/arquivos/826/transporte_alim_vol1.PDF>. Acesso em: 3 set. 2015.

BOB'S. **Bob's 50 anos: Uma História de Qualidade.** Disponível: <http://www.bobs.com.br>. Acesso em: 15 de set. 2015.

BODIN, Lawrence D. ***Twenty Years of Routing and Scheduling.*** *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 38, No. 4, 1990. pp. 571-579.

BORRE, M.; AGITO, N. Operadores logísticos frigorificados. NTC&Logística, São Paulo, nov. 2008. Disponível em: <http://www.ntcelogistica.org.br/camaras/ctcf/artigoCompleto.asp?codarti=180>> Acesso em: 24 maio 2010.

BORNHOLDT, Enio Roberto. **Varejo e Logística Ampliam Cadeia do Frio.** 2014. Disponível em: <http://www.sincovaga.com.br/ct/Noticias/Noticia.aspx?noticia=27659>>. Acesso em: 22 set. 2015.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J. **Logística empresarial.** São Paulo: Atlas, 2007.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Projeto de Reavaliação de Estimativas de Metas do PNLT.** Brasília. 2012

CACCACLANO, Luiz. **Roteirização de Veículos para Abastecimento de Linhas de Produção.** 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia em Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

CARVALHO, Carolina Correa de. **Otimização Dinâmica da Logística de Distribuição de Produtos Alimentícios Refrigerados e Congelados.** 2013. 228 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

CORDEAU, J-F.; LAPORTE, G. **Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem**. *Technical Report G-2002-15, Group for Research in Decision Analysis (GERAD), Montreal, 2002.*

CUNHA, C.B. **Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais**. *Transportes*, v. 8, n. 2, pp. 51-74, 2000.

DANTZING, G. B., & RAMSER, J. H. **The Truck Dispatching Problem**. *Management Science*, 6(1), 80-91. [http:// dx.doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80](http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80), 1959.

DONNA, Enzo. **A Nova Distribuição do Food Service Brasileiro**. Road Show. Ima Food Service. FISPAL, 2006.

EKSIOGLU, B; VURAL, A.V.; REISMAN, A. *The vehicle routing problem: a taxonomic review*. **Computers & Industrial Engineering**. V.57, p1472-1483, 2009.

EMPREENDEDOR. **Pesquisa Aponta Setor de Fast Food como Campeão em Números de Marcas Franquiadas**. Disponível em: <<http://empreendedor.com.br/noticia/pesquisa-aponta-setor-de-fast-food-como-campeao-em-numero-de-marcas-franqueadas/>>. Acesso em: 18 set. 2015.

FAST&FOOD. **Estudo de Caso Fast&Food**. Disponível em: <http://pensa.org.br/wp-content/uploads/2015/10/Estudo_de_caso_Fast_food_2002> Acesso em: 18 set. 2015.

FAVERO, Luiz Andrea. **A logística do agronegócio: desafios e perspectivas**. Recife: GELPE - Grupo de Estudos de Logística em Pernambuco, 2005.

FERREIRA, Patricia Borges. **Estudo Comparativo das Estratégias de Suprimentos Utilizadas por duas Redes de Food Service**. 2009. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Administração e Desenvolvimento Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: <http://200.17.137.108/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=917>. Acesso em: 18 set. 2015.

FISPAL. **Revista Food Service**. São Paulo. Disponível: <http://www.fispal.com.br>. Acesso 15 set. 2015.

FURTADO, Rodrigo Oliveira; NEVES, Tiago Araújo. **Resolução do problema de roteamento de veículos com frota heterogênea**. Trabalho realizado na cadeira de Inteligência Computacional para Otimização do curso de Ciências da Computação realizado na Universidade Federal de Ouro Preto.

Disponível em:

<<http://www.decom.ufop.br/marcone/Disciplinas/InteligenciaComputacional/InteligenciaComputacional.htm>>. Acesso em: 15 set. 2015.

GAMA, Mateus Brito. **Roteirização de Veículos: Implementação e Melhoria do Método de Clarke e Wright**. 2011. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2011.

GOLDEN, Bruce L.; ASSAD, Arjang A. **Perspectives on Vehicle Routing: Exciting New Developments**. *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 34, No. 5. 1986, pp. 803-810.

HEAP, R. D. **Cold Chain Performance Issues Now and in the Future**. IIR Bulletin, 2006. n. 4, p. 1-11.

HEAP, R.; KIERSTAN, M.; FORD, G. **Food transportation**. Londres: Blackie Academic & Professional. Herrera, B. A. L. D. M. 1998.

HILLIER, F. S.; LIBERMAN, G.J. **Introduction to Operations Research**. 8th. Boston MA: McGraw-Hill, 2005.

KIRKPATRICK, S., GELATT, Jr. C. D. AND VECCHI, M. P., **Optimization by Simulated Annealing, Science**, n. 220, 1983, p. 671-680.

LEAL, Daniele. **Crescimento da Alimentação Fora do Domicílio**. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63350/1/san-vol-17-1-Daniele123-132.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2015.

LIMA, Maurício Pimenta. **Custos Logísticos na Economia Brasileira**. Disponível em: <http://www.centrodeestudosemlogistica.com.br/new/fspublic.htm>. Artigo escrito em 2006. Acesso em 03 de setembro de 2015

LIN, S., **Computer solutions of the traveling salesman problem**, Bell System Technical Journal, n. 44, 1965, p. 2245-2269.

LITWAK, David. **Cold as Its Weakest Link**. *Supermarket Business*, n. 54(6), pp. 119-123, 1999.

LOGWEB. **Fast Food: Rapidez na Mesa e na Estrada**. 2007. Disponível em: <http://www.logweb.com.br/fast-food-rapidez-na-mesa-e-na-estrada/>. Acesso em: 18 set. 2015

MARINO, Silvia. **Mercado Quente**. 2014. Pag. 38-44. Disponível em: http://www.martin-brower.com.br/imprensa/rev_tecnologistica_agosto14.pdf. Acesso em: 18 set. 2015.

MATOS JUNIOR, Carlos Alberto de *et al.* O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará. In: Congresso Brasileiro de Custos, 2013, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia: Anais, 2013. p. 1 - 16.

MEDEIROS, Fábio de Oliveira *et al.* Estudo de uma Operadora Logística da Cadeia do Frio Situada no Nordeste Brasileiro: o Caso TRU-LOGÍSTICA. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008, Rio Branco. **Pôster**. UFRPE, 2008. p. 1 - 14.

Disponível em: <http://sober.org.br/palestra/9/279.pdf>. Acesso em: 18 out. 2015.

MELO, A.C.S.; FERREIRA FILHO, V.J.M. **Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos**. *Pesquisa Operacional*. vol.21 nº2 Rio de Janeiro, 2001.

METROPOLIS, W., ROSENBLUTH, A., ROSENBLUTH, M., TELLER, A. AND TELLER, E., ***Equation of State Calculations by Fast Computing Machines***, *Journal of Chemical Physics*, vol. 21, 1953, p. 1087-1092.

MOUREH, J e DERENS, E. ***Numerical Modelling of the Temperature Increase in Frozen Food Packaged in Pallets in the Distribution Chain***. *International Journal of Refrigeration* 23 pp. 540-552, 2000.

NASCIMENTO, Mariá Cristina Vasconcelos . **Metaheurísticas para o Problema de Agrupamentos de Dados em Grafos**. 2010. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Matemáticas e de Computação, Usp, São Carlos, 2010.

NEVES FILHO, L. C. **Refrigeração e Alimentos** – Apostila do Curso Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas; SP, 1998.

NEVES FILHO, Lincoln de Camargo. **A Dicotomia da Cadeia do Frio e Alimentos: Estocagem, distribuição e varejo**. 2013. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitetura.com.br/noticias/903/A-dicotomia-da-cadeia-do-frio-e-alimentos.aspx>>. Acesso em: 09 set. 2015.

NOVAES, Antônio G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia operação e avaliação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2007. p. 408.

PACIEVITCH, Thais. **Fast-Food**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/curiosidades/fast-food/>>. Acesso em: 18 set. 2015.

PEREIRA, Márcia de Andrade. **Apostila de Sistemas de Transportes**. 2013. Disponível em: <<http://www.dtt.ufpr.br/Sistemas/Arquivos/apostila-sistemas-2013.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2015

POZO, Aurora. **Metaheurísticas**. Notas de aula UFPR. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1595663/>>. Acesso em: 15 out. 2015.

PRADO, Jacqueline Ribeiro; BARROS, Thayse Dobis. **Cold Chain Management: Análise da Roteirização na Distribuição de Sorvetes**. 2014. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção Com Ênfase em Controle e Automação, Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

REVISTA BR. **Softwares de Roteirização trazem Benefícios Imediatos para Operadores de Transporte**, 2002.

Disponível em: <<http://www.brexpress.com.br/consulta.cfm?Noticia=2157>> Acesso em: 14 set. 2015.

REVISTA EXAME. **Ir de Helicóptero é mais Barato nas Grandes Cidades Brasileiras**. 2012. Disponível em:

<<http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/1015/noticias/ir-de-helicoptero-e-mais-barato>>. Acesso em: 04 set. 2015.

REVISTA EXAME. **Redes de Fast Food se Expandem e Miram o Interior**. 2014. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/noticias/redes-de-fast-food-se-expandem-e-miram-o-interior-2>>. Acesso em: 18 set. 2015.

RODRIGUES, Jean-Paul; CRAIG, Mathew. New York, Hofstra University, 2010. Disponível em:

<<http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/appl5en/ch5a5en.html>>. Acesso em: 21 set. 2015.

RONEN, D. **Perspectives on Pratical Aspects of Truck Routing and Scheduling**. *European Journal of Operation Research*, 35(2):137-145, 1988.

SILVA, Rodrigo Casado Oliveira. **Avaliação da Implantação de Softwares de Roteirização de Veículos**. PUC-Rio. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Industrial. Agosto de 2007.

SILVA, Gerson Brião da. **A Gestão da Cadeia de Frio: uma Análise de Fatores Logísticos**. 2010. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, Eduardo Cardoso. **O Apoio da Margem de Contribuição para Estratégias de Marketing**. 2006. 63 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Contábeis, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<http://tcc.bu.ufsc.br/Contabeis294239>>. Acesso em: 04 set. 2015.

SILVESTRO, R. *Positioning services along the volume-variet diagonal*. **International Journal of Operations & Production Management**. V. 19, n 4, p. 339-420, 1999.

TODA MATÉRIA. **Fast Food**. Disponível em: <<http://www.todamateria.com.br/fast-food/>>. Acesso em: 18 set. 2015.

VIVALDINI, Mauro; SOUZA, Fernando Bernardi de. O relacionamento colaborativo na cadeia de suprimentos do McDonald's. In: SIMPEP, 2006, Bauru. **Anais**. Bauru: Unimep, 2006. p. 1 - 12. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/21.pdf>. Acesso em: 15 set. 2015.

YIN, R. K. **Case Study Research: Design and Methods**. Newbury Park, CA: Sage Publications, p.23, 1989.

YUE, Gin Kwan. **Modelo de negócio: uma proposta de visão integrada de processos logísticos em redes de restaurantes fast food**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia). São Paulo: Universidade de São Paulo – USP, 2007.