



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM LOGÍSTICA E PESQUISA
OPERACIONAL**

FRANCISCO ANDESSON VIEIRA SILVA

**UM ALGORITMO GENÉTICO PARA O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE
VEÍCULOS COM JANELA DE TEMPO APLICADO NA DISTRIBUIÇÃO DE
SERVIÇOS DE TELECOMUNICAÇÃO**

FORTALEZA

2016

FRANCISCO ANDESSON VIEIRA SILVA

UM ALGORITMO GENÉTICO PARA O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE
VEÍCULOS COM JANELA DE TEMPO APLICADO NA DISTRIBUIÇÃO DE SERVIÇOS
DE TELECOMUNICAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Logística e Pesquisa Operacional da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Logística e Pesquisa Operacional. Área de concentração: Gestão Logística.

Orientador: Prof. Dr. José Lassance de Castro Silva.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S58a Silva, Francisco Andesson Vieira.
Um algoritmo genético para o problema de roteamento de veículos com janela de tempo aplicado na distribuição de serviços de telecomunicação / Francisco Andesson Vieira Silva. – 2016.
93 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Logística e Pesquisa Operacional, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. José Lassance de Castro Silva.
1. Problema de roteamento de veículos. 2. Algoritmo genético. 3. Logística no setor de telecomunicação.
I. Título.

CDD 658.5

FRANCISCO ANDESSON VIEIRA SILVA

UM ALGORITMO GENÉTICO PARA O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE
VEÍCULOS COM JANELA DE TEMPO APLICADO NA DISTRIBUIÇÃO DE SERVIÇOS
DE TELECOMUNICAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Logística e Pesquisa Operacional da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Logística e Pesquisa Operacional. Área de concentração: Gestão Logística.

Aprovada em: 25/08/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Lassance de Castro Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Silvia Maria de Freitas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Plácido Rogério Pinheiro
Universidade Fortaleza (UNIFOR)

À minha mãe, Senhora Maria Benedita, minha
querida Avó, Dona Orleí, minha Esposa,
Dayanne e minha doce filha, Sophia.

AGRADECIMENTOS

Ao GESLOG e à UFC pela oportunidade que me foi concedida em cursar esse Mestrado.

Ao Prof. Dr. José Lassance de Castro Silva, pela excelente orientação. Mais do que isso, por todo o encorajamento, presteza e apoio nos momentos cruciais dessa jornada maravilhosa que tive a honra de fazer parte.

Aos professores participantes da banca examinadora Profa. Dra. Silvia Maria de Freitas e Prof. Dr. Plácido Rogério Pinheiro pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos Prof. Dr. Tiberius, pelas valiosas colaborações na minha Qualificação.

Ao Thiago do Geslog, por todo o apoio e presteza em atender prontamente as solicitações.

Ao grande Prof. Dr. Bosco e o Prof. Dr. Américo por toda a coragem e dignidade em lutar por essa turma até o fim.

Ao meu grande amigo Diego por ter me ajudado com as tabulações para os experimentos computacionais.

Por fim, queria agradecer a todos os meus colegas de Mestrado e, posso dizer que foram mais que colegas, foram verdadeiros companheiros, amigos durante essa jornada. Quero que saibam que carrego comigo um “pedacinho” de cada um no coração.

“Stay Hungry, Stay Foolish.”

(Steve Jobs)

RESUMO

O Setor de Telecomunicações cresce a nível vertiginoso e, empresas terceirizadas que atendem à demanda de instalações desses serviços tem que atentar a várias questões. Tais questões vão desde a ordem técnica, regulação desses serviços por parte da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e, ainda nesse sentido, atender o cliente final dentro da janela de tempo acordada, para que não haja sanções a essas prestadoras de serviços. Nesse contexto, o presente trabalho irá descrever o panorama geral desse mercado, seus agentes reguladores, normas e um estudo da logística aplicado a um estudo de caso. Isso será feito com base nas técnicas da Pesquisa Operacional, passando desde problemas clássicos, como: Caixeiro Viajante, Problema de Roteamento de Veículos até métodos evolutivos, como o Algoritmo Genético. A implementação dessa última técnica será feita de maneira que sejam testadas as instâncias do estudo de caso da empresa SS Telecomunicações, comparando os resultados encontrados com outras instâncias na literatura e do atual modelo de roteamento utilizado por essa organização. Dessa forma será analisada a eficiência do presente algoritmo diante de um problema prático da logística.

Palavras-chave: Problema de roteamento de veículos; Algoritmo genético; Logística no setor de telecomunicação.

ABSTRACT

The Telecommunications industry is growing at breakneck level and subcontractors that meet the demand for facilities such services have to pay attention to several issues. These issues range from the technical, regulation of these services by Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), and also in this sense, serve the end customer within the agreed time window, so there are no penalties to these service providers. In this context, this paper will describe the overall picture of the market, its regulators, standards and a logistics study applied to a case study. This will be done based on the techniques of Operational Research, going from classic problems such as: Salesman Vehicle Routing Problem to evolutionary methods such as genetic algorithm. The implementation of this last technique will be made so that the bodies of the study of the SS Telecommunications company if they are tested by comparing the results with other instances in the literature and the current model of routing used by this organization. Thus this algorithm efficiency to be analyzed before a practical problem of logistics.

Keywords: Vehicle routing problem; Genetic algorithm; Logistics in the telecommunication sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– População da internet e sua penetração no mundo.....	20
Figura 2	– Densidade do SCM por Região (acessos por 100 domicílios).....	26
Figura 3	- Evolução do preço médio mensal de 1Mb no SCM (em R\$).....	26
Figura 4	- Mercado compartilhado de acessos no SCM em 2013.....	27
Figura 5	- Indicadores de Qualidade de SCM da ANATEL.....	31
Figura 6	- Heurística do Vizinho Mais Próximo.....	46
Figura 7	- Fluxo do Algoritmo Genético.....	49
Figura 8	- Exemplo de cruzamento.....	53
Figura 9	- Matriz de Priorização das OS's	60
Figura 10	- Fluxograma da SS Telecomunicações.....	61
Figura 11	- Segunda etapa do crossover OX.....	65
Figura 12	- Terceira etapa do crossover OX.....	65
Figura 13	- Segunda etapa do <i>PM</i> crossover.....	66
Figura 14	- Terceira etapa do <i>PM</i> crossover.....	66
Figura 15	- Rota com Clusters.....	77
Figura 16	- Pseudoprocesso para atender restrições de janela de tempo e capacidade dos instaladores.....	78
Figura 17	- Impacto das restrições no AG.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Desvio à solução ótima para AG com Crossover 1P.....	70
Gráfico 2	– Desvio à solução ótima AG com Crossover 2P.....	71
Gráfico 3	– Desvio à solução ótima para AG com Crossover PM.....	72
Gráfico 4	– Desvio à solução ótima de AG com todos os cruzamentos.....	74
Gráfico 5	– Comparação entre o desempenho das rotas (Km).....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico da solução de instâncias do PCV da <i>TSPLIB</i>	38
Tabela 2 – Explosão combinatória do PCV.....	40
Tabela 3 – Variações do Problema do Caixeiro Viajante.....	41
Tabela 4 – Indicadores NET.....	58
Tabela 5 - Instâncias utilizadas.....	69
Tabela 6 - Apresentação dos resultados de AG com cruzamento 1P	70
Tabela 7 - Apresentação dos resultados de AG com cruzamento 2P.....	71
Tabela 8 - Apresentação dos resultados de AG com cruzamento PM.....	73
Tabela 9 - Desvios da solução ótima e tempo de processamento.....	74
Tabela 10 – Tempo médio de execução dos contratos.....	79
Tabela 11 – Capacidade instaladores.....	80
Tabela 12 – Resultado prévio Roteirização A.....	82
Tabela 13 – Resultado prévio Roteirização B.....	82
Tabela 14 – Resultado prévio do Modelo de Roteirização Atual.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G	Telefonia móvel de segunda geração
4P`s	Produto, Preço, Praça e Promoção
AG	Algoritmo Genético
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
C/C++	Linguagem de programação
Cade	Conselho Administrativo de Defesa Econômica
CDMA2000	Método de acesso a canais em sistemas de comunicação
COP	Controladores de central de instaladores
CRM	<i>Costumer Relationship manegement</i>
FSVRP	Problema de Dimensionamento e Roteirização de uma Frota de Veículos
GB	<i>Gigabyte</i>
Ghz	<i>Gigahertz</i>
GRASP	<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>
GSM	<i>Global System for Mobile</i>
HC	Heurística Construtiva
HIMB	Heurística de Inserção Mais Barata
HIMBM	Heurística de Inserção Mais Barata Modificada
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KM	Quilômetros
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
Mb	<i>Megabytes</i>
Mbps	<i>Megabytes</i> por segundo
OS	Ordem de Serviço
P.O	Pesquisa Operacional
PCE	Problema de Coleta e Entrega
PCV-G	Problema do caixeiro viajante Generalizado
PCV-B	Problema do caixeiro viajante com Bônus
PCV-S	Problema do caixeiro viajante com Subconjuntos
PCVG	Problema do caixeiro viajante com Gargalo
PCV	Problema do Caixeiro Viajante
PCVB	Problema do caixeiro viajante <i>Backhauls</i>
PCVE	Problema do caixeiro viajante Estocástico
PCVJT	Problema do caixeiro viajante com janela de tempo
PCVM	Problema do caixeiro viajante Múltiplo
PCVSC	Problema do caixeiro viajante Simétrico com Cluster
PM	<i>Partially Matched</i>
PRV	Problema de Roteamento de Veículos
PRVJT	Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo
SAC	Serviço de atendimento ao Cliente
SCM	Serviço de Comunicação Multimídia

SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SIC	Serviço de Informação ao Cidadão
SS	Empresa do Estudo de Caso
TSP	<i>Travelling Salesman Problem</i>
TSPLIB	Biblioteca de instâncias do PCV
TV	Televisor
URA	Unidade de Resposta Audível
VLSI	<i>Very Large Scale integration</i>
VT	Visita Técnica
WCDMA	<i>Wide-Band Code-Division Multiple Access</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa e relevância do trabalho.....	18
1.2 Problemática.....	19
1.3 Objetivos: Geral e Específicos.....	22
1.4 Metodologia	22
1.5 Estrutura e organização do trabalho	23
2 CARACTERÍSTICAS DO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES.....	24
2.1 Sobre a Anatel	24
2.2 Panorama das telecomunicações no Brasil.....	25
2.3 Políticas públicas de telecomunicações	28
2.4 Diretrizes para as políticas públicas em telecomunicações	29
2.5 Aspectos sobre a qualidade do serviço prestado.....	29
2.6 Indicadores de qualidade	30
3 REVISÃO DA LITERATURA	33
3.1 Logística.....	33
3.2 O Papel do Transporte para Logística.....	34
3.3 Abordagens da Pesquisa Operacional	36
3.3.1 <i>Introdução a Pesquisa Operacional</i>	36
3.4 O Problema do Caixeiro Viajante (PCV)	37
3.4.1 <i>Complexidade do PCV</i>	40
3.4.2 <i>Aplicações do PCV</i>	41
3.4.3 <i>Variações do Problema do caixeiro Viajante</i>	41
3.5 O Problema de Roteamento de Veículos.....	42
3.5.1 <i>O Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo</i>	43
3.6 Métodos Heurísticos	45
3.6.1 <i>Heurística NN – Técnica do vizinho mais próximo (Nearest Neighbor)</i>	46
3.7 Abordagem aproximada com Metaheurísticas	47
3.8 Algoritmo Genético	48
3.8.1 <i>Princípios Básicos dos Algoritmos Genéticos</i>	50
3.8.2 <i>Representação Cromossômica</i>	51
3.8.3 <i>Operadores Genéticos</i>	51

3.8.4 Seleção.....	52
3.8.5 Recombinação (Crossover).....	52
3.8.6 Mutação.....	53
4 ESTUDO DE CASO	55
4.1 Descrição da empresa estudada e seu escopo de negócio	55
4.1.1 Principais processos de negócio	55
4.1.2 Processos de apoio.....	56
4.2 Manutenções da Base de clientes da área de visitas técnicas	57
4.3 Indicadores de qualidade internos exigidos pela NET.....	58
4.4 Caracterização do problema específico	60
4.5 Processo atual de roteirização dos técnicos.....	60
4.6 Regulatórios	62
4.7 Softwares de apoio à gestão da operação	62
4.8 Problema a resolver	63
4.9 Algoritmo Genético Aplicado ao Problema Específico.....	63
5 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS E ANÁLISES DOS RESULTADOS	68
5.1 AG Aplicado nas Instâncias do PCV	68
5.2 AG Aplicado ao problema prático.....	75
5.2.1 Roteirização A	76
5.2.2 Roteirização B	76
5.2.3 Capacidade dos instaladores.....	79
5.2.4 Impacto das restrições de janela de tempo e capacidade sobre a rota do AG	80
5.2.5 AG (Roteirização A x Roteirização B) VS Rota Atual	81
5.3 Aplicação do AG ao problema prático.....	83
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
6.1 Conclusões	85
6.2 Sugestões para trabalhos futuros	86
REFERÊNCIAS.....	88
ANEXO A – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DAS ROTAS	92
ANEXO B – ROTA AG SEM RESTRIÇÕES.....	93

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

Ciente da alta competitividade global e da importância do efetivo controle de custos como estratégia das organizações, percebe-se que ao passar dos anos os responsáveis por essas organizações precisam ter informações coerentes sobre o atual cenário para que possam tomar decisões assertivas quanto a seus custos, de maneira a garantir sua permanência no mercado.

Como destaca Goulart Júnior (2000), uma das principais bases para o sucesso nas empresas é a boa gestão dos custos, no qual há a identificação e análise da atual situação da organização e de como estão sendo alocados os custos aos produtos e/ou serviços.

No caso Brasileiro, o quesito competitividade é mais “Darwiniano” para as organizações privadas devido ao regime tributário ser bastante oneroso para as empresas. Segundo o Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação – IBPT, em 2013 a carga tributária do Brasil representava 36,42% do seu Produto Interno Bruto - PIB, no qual o país ocupou a última posição entre o grupo econômico de países: Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS), com relação à carga tributária naquele ano.

Fazendo uma analogia com a teoria evolucionista, as empresas mais aptas sobreviverão. Por outro lado, as organizações públicas iriam se tornar extremamente improdutivas, pois não teriam controle dos seus gastos e definhariam a longo prazo com a falta de credibilidade perante a sociedade.

Dessa forma os problemas de Pesquisa Operacional podem ser uma fonte de inspiração e conhecimento para que as organizações em geral (Pública, Privada e Terceiro Setor) sobrevivam, com isso gerem empregos, melhore a economia como um todo, melhore a gestão dos recursos, aplicando-os de maneira eficiente e em longo prazo garantam o objetivo da sustentabilidade.

Conforme Arenales et al (2007) “a pesquisa operacional, em particular a programação matemática, trata de problemas de decisão, faz uso de modelos matemáticos que procuram representar (em certo sentido imitar) o problema real”. Através de modelagem matemática do problema real a pesquisa operacional busca encontrar soluções ótimas ou quase-ótimas para maximizar um determinado ganho ou minimizar perdas.

Nesse estudo em particular, vamos tratar de um problema de Roteamento de Veículos com frota homogênea e janela de tempo para a instalação e manutenção de serviços de Telecomunicação (TV a cabo, Telefone e Internet), no qual os instaladores se deslocam até o cliente para instalar e/ou reparar os seus respectivos aparelhos contratados junto à operadora de telecomunicações.

O Problema de Roteamento de Veículos proposto por Dantzig e Ramser (1959), é um problema que tem o objetivo gerar rotas entre o depósito e um conjunto de clientes, minimizando o custo de transporte (distância ou tempo), respeitando algumas restrições: cada cliente só pode ser visitado uma única vez e por apenas um veículo; cada rota é iniciada e finalizada no depósito; em nenhum momento a capacidade do veículo pode ser ultrapassada e a demanda de todos os clientes tem de ser atendida.

Nesse contexto há uma série de outras restrições às quais esses instaladores são apresentados, como janela de tempo, especificações técnicas do serviço e questões de prioridade de instalação tendo em vista que são regulados pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), órgão do Governo incumbido de regular o setor.

Para resolver esse problema, abordar-se-á um estudo de caso em uma empresa do setor privado, no qual será aplicado um Algoritmo Genético (AG) para solucionar o problema de maneira satisfatória. O AG é uma técnica da computação evolutiva bastante utilizada na resolução de problemas de Pesquisa Operacional.

1.1 Justificativa e relevância do trabalho

Segundo a Anatel (2015b),

O Brasil contava com 25,57 milhões de acessos de banda larga fixa em dezembro de 2015. No último mês de 2015, o Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) estava presente em 38,47% dos domicílios.

Em Dezembro de 2007 esse quantitativo não passava de 8,26 milhões de acessos de lares com os serviços de SCM, ou seja, mais que triplicou o número de adesões.

O fato é que os serviços de telecomunicações trouxeram muita integração, nos conectando ao mundo todo a partir de um “clique”, onde avanços consideráveis foram obtidos em todas as áreas de conhecimento, aumentando a velocidade do desenvolvimento do nosso país, principalmente o serviço de SCM.

Obviamente que esses serviços têm padrões de qualidade exigidos por lei, e em alguns casos eles não são seguidos pelas operadoras que estão no mercado. Nesse sentido, a Anatel regulamenta esse mercado, com a missão de tentar garantir os direitos dos cidadãos ao fazer-se cumprir os deveres das empresas operadoras desse sistema para contribuir com o desenvolvimento do Brasil.

Na atual conjuntura, ter um serviço de instalação e manutenção dos planos vendidos de maneira otimizada é algo de interesse comum entre operadores de telecomunicações, os clientes e a Agência Reguladora. A empresa ganha por reduzir seus custos e alavancar seus negócios através da propaganda positiva gerada por sua boa prestação de serviços, o cliente por ser atendido plenamente pelo que foi contratado e Agência Reguladora por está cumprindo a sua missão diante da sociedade.

Além desse contexto social, o presente trabalho irá abordar um dos principais problemas da área de Pesquisa Operacional, o Problema de Roteamento de veículos com Janela de Tempo (PRVJT) como solução para o estudo, propondo um AG que apresente resultados satisfatórios, em um tempo computacional aceitável, para a roteirização na distribuição de instalação de serviços de telecomunicação.

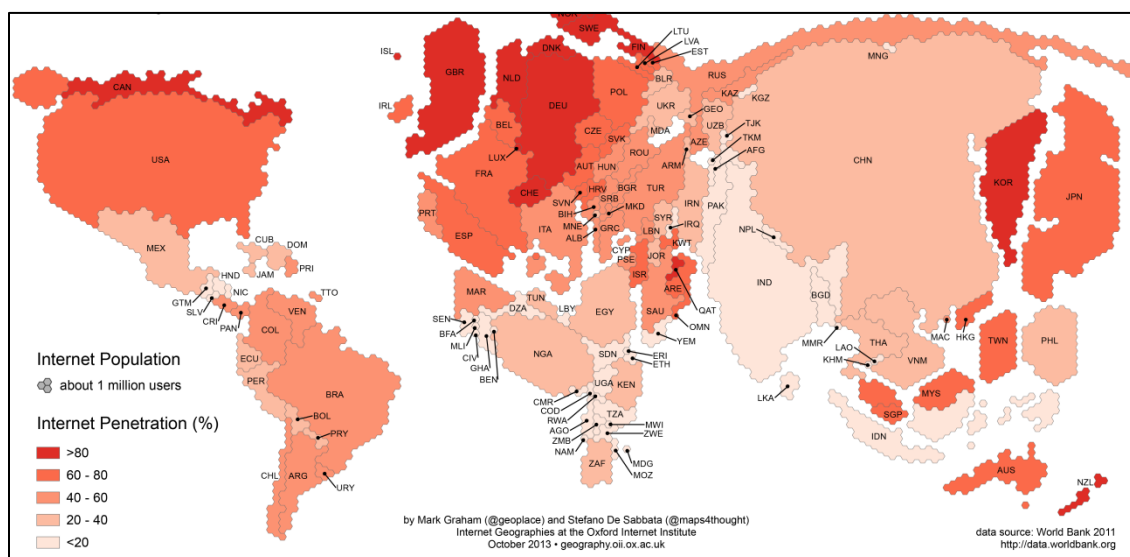
As técnicas baseadas em Pesquisa Operacional (PO) podem auxiliar o tomador de decisão a optar por um serviço mais eficiente e competitivo. Quando há a aplicação eficiente de uma destas técnicas numa situação real é possível obter uma considerável minimização de custos ou maximização de lucro.

É sob esta ótica, que o presente trabalho visa desenvolver um método para utilização mais eficiente de uma frota de veículos na Empresa SS Telecomunicações.

1.2 Problemática

No Brasil, a quantidade da população que acessa a internet, contabilizando todos os tipos de acesso não passa de 51%, enquanto que nos países desenvolvidos, esse percentual começa a partir dos 80%. Isso mostra o potencial de crescimento do Brasil nessa área. Na (FIGURA 1) abaixo, será apresentada uma visão mundial sobre a densidade de acessos a internet por cada país.

Figura 1 – População da *internet* e sua penetração no mundo



Fonte: *Information Geographies* (2011).

Com a atual estrutura de clientes e com a projeção de crescimento dos usuários dos serviços de telecomunicação para os próximos anos, sem que haja conhecimento de técnicas que venham a colaborar para uma melhora na prestação dos serviços, é algo que impactará significativamente as empresas que farão as instalações e manutenções desses serviços.

Além do crescimento da demanda pelos serviços há o agravante do trânsito nas grandes capitais Brasileiras, onde impacta bastante as rotas a serem seguidas para aplicação destes serviços das empresas. Ter uma rota otimizada é uma estratégia que pode ser o divisor de águas entre prestar o serviço com qualidade e garantir rentabilidade no negócio de instalações e não prestar um serviço de péssima qualidade.

Segundo Bowersox e Closs (2001), entre 1974 e 1994 os custos de transporte representaram cerca de 51% dos custos logísticos totais. As grandes empresas brasileiras que trabalham com distribuição de mercadorias e/ou recolhimento, cientes da representatividade dos custos de transportes na sua matriz de custos logísticos, utilizam softwares que otimizam suas rotas, garantindo competitividade, melhor rentabilidade e redução nesses custos.

Para empresas de pequeno e médio porte, ter um software como esse é um sonho, tendo em vista os altos custos para a aquisição das licenças. Dessa forma, muitas trabalham com rotas feitas de forma manual, o que em muitos casos podem gerar rotas extremamente onerosas, impactando diretamente na elevação dos custos da operação, má prestação de serviços aos clientes e problemas com a regulamentação da Anatel.

A parte comercial e estrutura técnica dos serviços de telecomunicação são realizadas pela operadora de telecom, enquanto a parte de instalação é realizada por empresas terceirizadas. Em alguns casos as operadoras também mantêm algumas equipes técnicas, mas a grande maioria da sua força de instalação vem de empresas terceirizadas.

As empresas terceirizadas que instalam os pacotes adquiridos pelo consumidor final tem que cumprir uma série de indicadores de qualidade que as operadoras exigem e que são baseados tanto nos seus modelos de negócios quanto nas exigências regulatórias da Anatel.

Os indicadores são relacionados a uma variedade de objetivos, que vão desde:

- a) atender o cliente na janela de tempo combinada na venda;
- b) resolver o problema do cliente na primeira visita;
- c) não instalar serviço fora do padrão de qualidade estipulado pela operadora;
- d) não reagendar instalações; e
- e) priorizar clientes regulatórios (que tem prioridade pela Anatel).

Esses são apenas alguns dos objetivos dos indicadores das operadoras. Outros indicadores relacionados a questões mais de administração da base de clientes, como: quantidade de chamados abertos pelos clientes não podem extrapolar um percentual “x” da base total, que serão detalhados mais a frente.

Todas essas questões fazem com a roteirização dessas empresas sejam extremamente complexas de se resolver, principalmente pela quantidade de restrições qualitativas que esses serviços apresentam.

De acordo com o contexto apresentado, o problema de pesquisa que emerge desse estudo é:

“Como traçar uma rota ótima (ou muito próxima disso) para uma equipe de campo de instaladores de tv a cabo, internet e telefone de maneira a atender as restrições particulares de qualidade que a ANATEL e os operadores impõe às empresas de instaladores terceirizadas”.

Dessa forma, torna-se necessário o desenvolvimento de um algoritmo que possa dar suporte na construção dessas rotas e acompanhá-las, que contemplem essas particularidades do segmento e ao mesmo tempo dê uma solução coerente diante da atual realidade dessas empresas.

A hipótese levantada nesse trabalho é que o uso da técnica do Algoritmo Genético aliado com o problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo e Frota Homogênea pode gerar boas soluções, aquelas que são muito próximas do ótimo global, servindo como base para a tomada de decisão, aumentando a eficiência das instalações desses serviços e minimizando os custos com transporte.

1.3 Objetivos: Geral e Específicos

O principal objetivo deste trabalho é a resolução do problema logístico de roteirização de uma frota de veículos homogênea através da elaboração de um método de resolução baseado na meta-heurística Algoritmo Genético.

Como objetivos específicos têm-se:

- a) Pesquisar e apresentar abordagens existentes para os problemas de roteamento;
- b) Estudar a atuação da ANATEL perante as operadoras de telecomunicações e o panorama desse setor;
- c) Desenvolver, implementar, testar e validar um algoritmo genético aplicado ao problema específico;
- d) Aplicar a abordagem proposta em um estudo de caso real, de modo a validá-la sob o ponto de vista prático; e
- e) Comparar as soluções geradas pelo modelo proposto com soluções reais implementadas pela empresa estudada, de modo a avaliar os benefícios da abordagem proposta.

1.4 Metodologia

O presente trabalho será abordado como um estudo de caso, tendo em vista a sua praticidade na hora de comparar os resultados encontrados com os que são apresentados no cotidiano das empresas.

De acordo com Chizzotti (1998), o estudo de caso designa pesquisas diversas que serão coletadas e registradas os dados de um caso específico com o objetivo de relatar, de forma organizada, uma experiência ou avaliá-la analiticamente, com o fim de tomar decisões.

Para a realização deste trabalho cumpriu-se um conjunto de tarefas de forma disciplinada:

- a) realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os assuntos envolvidos;
- b) pesquisou-se e foi experimentado algoritmos de roteirização;
- c) criou-se uma técnica própria para adaptação das restrições do problema real perante ao AG proposto e foi avaliada a sua efetividade;
- d) foi desenvolvida, implementada e testada a técnica de solução para o problema;
- e
- e) escreveu-se a versão final da dissertação.

1.5 Estrutura e organização do trabalho

Este plano está composto por seis capítulos organizados da seguinte forma: No capítulo I, são apresentadas a introdução, a justificativa, os objetivos, a metodologia e a estrutura do trabalho; No capítulo II é apresentada à ANATEL, o panorama do setor de telecomunicação brasileiro atual e os principais indicadores monitorados pela agência. No capítulo III, far-se-á uma breve revisão bibliográfica sobre o papel do transporte para a logística, a abordagem da Pesquisa Operacional para este problema, bem como o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) e o Problema de Roteamento de Veículos (PRV) clássico e algumas de suas variações, heurísticas, meta-heurísticas e Algoritmo Genético; O capítulo IV apresentará o estudo de caso, descrevendo o problema que será abordado. Ainda no capítulo IV, será apresentado o modelo proposto para atacar o problema, expondo o seu modo de funcionamento em que será destacado o AG formulado para atacar o problema de pesquisa desse trabalho. O capítulo IV também tratará do seu funcionamento e de como ele é executado, suas funções internas e os cálculos realizados; o capítulo V irá expor os experimentos computacionais, discutindo-os e analisando a sua relevância para o caso estudado. As conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros serão abordados no capítulo VI.

CAPÍTULO II

2 CARACTERÍSTICAS DO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES

Neste capítulo será apresentado a Agência Reguladora das Telecomunicações no Brasil, assim como sua atuação no setor, suas características, o panorama atual desse mercado, alguns dos indicadores de qualidade da ANATEL e uma visão de como os clientes podem fazer valer suas queixas junto ao órgão regulador.

2.1 Sobre a Anatel

Em 1997, foi instituída a ANATEL, pela Lei 9.472. A ANATEL foi à primeira agência reguladora do Brasil, sendo uma entidade integrante da Administração Pública Federal, vinculada ao Ministério das Comunicações.

Cabe à Anatel adotar medidas necessárias para o atendimento do interesse público e para o desenvolvimento do setor de telecomunicações brasileiro. Segundo ANATEL (2015d), no rol de atribuições da agência, destacam-se:

- a) implementar a política nacional de telecomunicações;
- b) representar o Brasil nos organismos internacionais de telecomunicações;
- c) expedir ou reconhecer a certificação de produtos, observados os padrões e as normas por ela estabelecidos;
- d) compor administrativamente conflitos de interesses entre prestadoras de serviços de telecomunicações;
- e) reprimir infrações aos direitos dos usuários; e
- f) exercer, relativamente às telecomunicações, as competências legais em matéria de controle, prevenção e repressão das infrações da ordem econômica, ressalvadas as pertencentes ao Conselho Administrativo de Defesa Econômica (Cade).

A sede da agência é em Brasília, onde realiza as atividades de fiscalização e mantém contato com a sociedade por meio de Gerências Regionais e Unidades Operacionais em todas as capitais brasileiras.

O objetivo da agência é promover o desenvolvimento das telecomunicações no Brasil de modo a dotá-lo de uma moderna e eficiente infraestrutura de telecomunicações, capaz de oferecer serviços adequados à sociedade com preços justos, em todo o território nacional.

2.2 Panorama das telecomunicações no Brasil

Segundo a ANATEL (2015d), o setor de telecomunicações é um dos setores econômicos mais importantes no mundo, caracterizado por sua dinamicidade tecnológica. Já há algumas décadas, ele exerce um papel determinante sobre a cultura, a economia e a política, permeando todas as esferas da atividade humana e moldando as relações sociais.

Ainda segundo a ANATEL (2015d), os desafios que se apresentam para o futuro não são pequenos. Historicamente, o Brasil deu dois grandes saltos no âmbito das telecomunicações. O primeiro foi na década de 1970, após a criação da Embratel e da Telebrás, o país passou a ser dotado de rede satelital própria, integrou os grandes troncos de comunicação nacionais e desenvolveu uma sólida política produtiva e tecnológica no setor. O segundo salto ocorreu na transição do século XX para o século XXI, com a forte expansão da telefonia fixa e da telefonia móvel e, mais recentemente, com a ampliação das redes da banda larga no País.

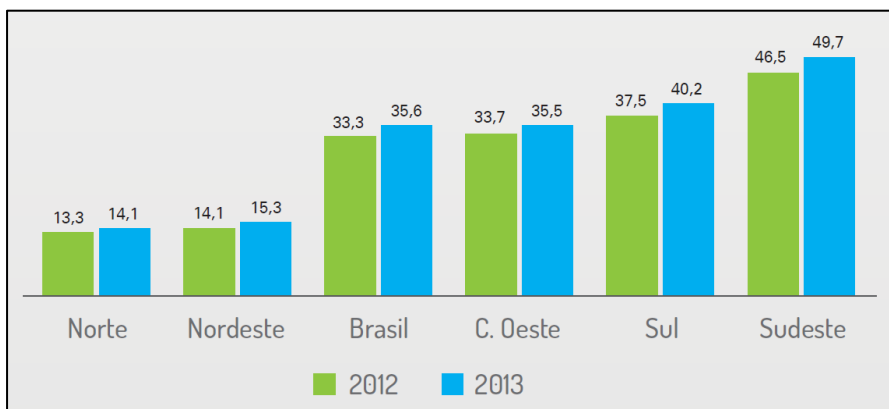
No final de 2013, o Brasil contava com 44,7 milhões de acessos a telefones fixos em serviço – o que representou um aumento de 0,9% em relação a 2012, e foi o menor percentual desde 2010.

O aumento no número de acessos a serviços de telecomunicações, alavancado pelas empresas autorizadas, ocorreu, principalmente pela popularização dos pacotes combos, que contemplam um mix de vários serviços de telecomunicações, como banda larga, Tv por Assinatura e telefonia móvel.

A quantidade de acessos de banda larga móvel (que inclui as tecnologias WCDMA, CDMA2000 e LTE, além dos terminais de dados) teve crescimento de 63,4% no último ano. Os acessos GSM (incluindo acessos 2G) tiveram redução de 21,3%, indicando uma importante migração para o uso de terminais com suporte a maiores velocidades de conexão.

O Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) teve, em 2013, crescimento de 11,9% em relação ao ano anterior. Com o acréscimo de 2,4 milhões de novos clientes, o principal serviço de telecomunicações para a oferta de acesso fixo à internet em banda larga encerrou o ano com 22,2 milhões de assinantes.

Figura 2 – Densidade do SCM por Região (acessos por 100 domicílios)

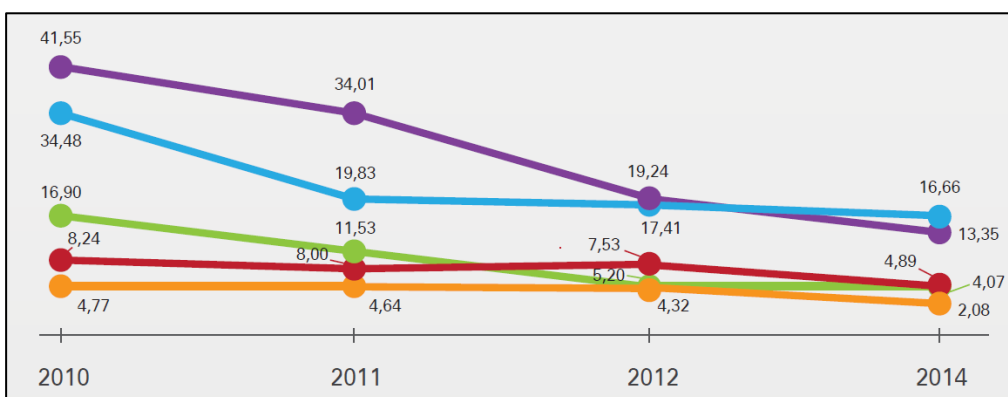


Fonte: Anatel (2015d).

Apesar do crescimento do número de acessos ser promissor na direção da massificação do acesso e inclusão digital, nota-se que as regiões Norte e Nordeste estão muito abaixo da média nacional. O sudeste é o que tem a maior densidade do serviço, a cada 100 domicílios, como detalhado no gráfico acima da (FIGURA 2).

Com a baixa dos preços médio mensal sobre 1Mbps, isso resulta na maior competição neste mercado e no setor. Desde 2010 os preços de internet vêm caindo, em alguns casos, como mostra o gráfico a seguir, a redução ultrapassou os 70%.

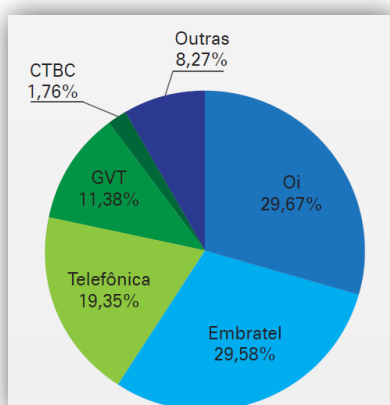
Figura 3 – Evolução do preço médio mensal de 1Mb no SCM (em R\$)



Fonte: Anatel (2015d).

Com crescimento de 10,9% em relação a 2012, O Brasil fechou 2013 com mais de quatro mil empresas autorizadas a prestar o Serviço de Comunicação Multimídia (Internet Banda Larga), porém mesmo com o aumento das prestadoras de serviços o mercado ainda continua sendo dominado pelos grandes grupos econômicos que possuem concessionárias do Serviço Telefônico Fixo Comutado, como mostra o gráfico a seguir na (FIGURA 4).

Figura 4 – Mercado compartilhado de acessos no SCM em 2013



Fonte: Anatel (2015d).

A TV por Assinatura apresentou, no final de 2013, crescimento de 11,3% em relação ao ano anterior. O Brasil contava com 18 milhões de assinaturas dos serviços de TV paga. Com esse resultado, o País encerrou o ano com 28,9 assinaturas para cada grupo de cem domicílios. Considerando a estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 3,2 pessoas por domicílio, os serviços de TV por Assinatura estavam disponíveis, no final do ano, para 57,6 milhões de brasileiros.

No quesito infraestrutura, o Brasil também avança. Continua os investimentos tanto para criar novas rotas e aumentar a capacidade dos cabos submarinos – infraestrutura essencial para a troca de dados entre os países e, conseqüentemente, para o funcionamento da internet, quanto para o lançamento de novos satélites com cobertura nacional.

No que tange à ampliação do acesso e uso dos serviços, houve, sem dúvida, avanços importantes na última década. O desafio para os próximos anos é atender, com preços acessíveis e qualidade satisfatória, uma parcela significativa da sociedade ainda à margem do setor, representada principalmente por pessoas com menor poder aquisitivo, residentes em

áreas rurais ou remotas ou pertencentes a populações específicas, como quilombolas e ribeirinhos.

Quanto às relações de consumo no setor de telecomunicações, de 2008 a 2011, o número de reclamações registradas na Anatel se manteve relativamente estável em torno de 5,83 reclamações por mil acessos. Porém, em 2012, foram registradas 6,84 reclamações por mil acessos, um aumento de 17,32% em relação aos anos anteriores. Em 2013, o acréscimo foi ainda maior. Tomando-se por base as 3.113.233 reclamações reportadas à Anatel, ou seja, 8,63 por mil acessos aos serviços de telecomunicações, verifica-se um aumento de 26,17% no grau de conflito nas relações de consumo em relação a 2012. Cabe destacar que as reclamações registradas em 2013 se concentraram, basicamente, em questões relacionadas à cobrança (33,9%) e à qualidade (20,8%) dos serviços.

2.3 Políticas públicas de telecomunicações

Em 2003, a Presidência da República emitiu o Decreto nº 4.733, dispondo sobre os objetivos e as diretrizes para as políticas públicas de telecomunicações, abrangendo, entre outros aspectos, a organização da exploração dos serviços de telecomunicações e o desenvolvimento industrial e tecnológico do setor.

Para tanto, todos os órgãos da Administração Pública Federal deveriam observar a finalidade primordial de atendimento ao cidadão quando da elaboração e execução de políticas públicas de telecomunicações, bem como os seguintes objetivos:

- a) inclusão social;
- b) universalização e ampliação do acesso;
- c) otimização e a modernização da prestação dos serviços públicos;
- d) desenvolvimento econômico, social e tecnológico local, regional e nacional;
- e) geração de empregos e capacitação da mão-de-obra;
- f) competição ampla, livre e justa;
- g) diversificação dos serviços, com qualidade; e
- h) tarifas e preços acessíveis.

2.4 Diretrizes para as políticas públicas em telecomunicações

Em conformidade com a Portaria nº 178/2008 do Ministério das Comunicações, as ações e providências adotadas pela Anatel na implementação das políticas públicas em telecomunicações devem almejar, entre outros objetivos:

- a) aumento na oferta de serviços para o acesso à Internet por meio de banda larga, bem como a abrangência e a capacidade de suas redes de suporte;
- b) redução de barreiras ao acesso e ao uso dos serviços nas diversas regiões do País;
- c) proteção e defesa dos direitos dos usuários;
- d) diversificação na oferta de serviços;
- e) competição e concorrência na exploração de serviços;
- f) benefícios em termos de preço e qualidade;
- g) ambiente favorável ao surgimento e fortalecimento de novos prestadores;
- h) modelo de competição que favoreça o compartilhamento de redes; e
- i) desenvolvimento e produção de bens e serviços.

Essas diretrizes visam permitir ao Estado acompanhar as frequentes transformações tecnológicas e alterações das condições do mercado de telecomunicações, estabelecendo novos ciclos de desenvolvimento que beneficiem os cidadãos e as organizações. Desse modo, a implementação de políticas públicas pela Anatel serve à constante atualização das bases para a organização dos serviços de telecomunicações, com fundamentação na competição e na universalização e com vistas à evolução da sociedade da informação característica deste século.

2.5 Aspectos sobre a qualidade do serviço prestado

De acordo com a ANATEL, as Prestadoras de serviços são avaliadas em diversos aspectos na prestação de seus respectivos serviços. Entre eles, está a qualidade do serviço e produto oferecido aos consumidores.

A qualidade dos serviços prestados compreende a avaliação das interrupções no fornecimento do serviço, falta de suporte técnico, demora no atendimento dos chamados e o não cumprimento dos níveis de serviços que constam no contrato entre prestadora e cliente.

2.6 Indicadores de qualidade

A Resolução 574 da ANATEL (2016c) traz no seu cerne o Regulamento de Gestão da Qualidade do Serviço de Comunicação Multimídia, onde prevê os indicadores que serão o norte para o padrão de qualidade das empresas autorizadas do setor.

Serão avaliados apenas os indicadores de SCM para que não seja tão extenso, em que serão apresentados na (FIGURA 5) abaixo.

Figura 5 – Indicadores de Qualidade de SCM da ANATEL

(continua)

Item	Indicador	Descrição	Fórmula	Onde:		
1	SCM1	Taxa de Reclamações	$SCM1 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número total de reclamações, no mês, junto à Prestadora de SCM	B - número total de acessos em serviço na rede da Prestadora no último dia do mês.	
2	SCM2	Taxa de Reclamações na Anatel	$SCM2 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número total de reclamações, no mês, junto à Anatel, em desfavor da Prestadora de SCM	B - número total de reclamações, no mês, junto à Prestadora de SCM	
3	SCM3	Taxa de Reclamações Reabertas na Prestadora	$SCM3 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número total de reclamações reabertas na Prestadora de SCM, no mês	B - número total de reclamações recebidas em todos os canais de atendimento da Prestadora, no mês	
4	SCM4	Garantia de Velocidade Instantânea Contratada	$SCM4 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número de vezes em que o resultado final da medição, obtido de acordo com § 1º do artigo 15, permaneceu igual ou inferior à latência bidirecional definida nos respectivos artigos de cada indicador, durante o PMT, no mês	B - número total de medidas obtidas de acordo com § 1º do artigo 15, durante o PMT, no mês	
5	SCM5	Garantia de Velocidade Média Contratada	$SCM5 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	x - valor de cada medição de velocidade instantânea, em percentual da velocidade máxima contratada, durante o PMT, no mês	n - número total de medidas obtidas de acordo com § 1º do artigo 15, durante o PMT, no mês	
6	SCM6	Latência Bidirecional	$SCM6 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número de vezes em que o resultado final da medição, obtido de acordo com § 1º do artigo 15, permaneceu com a meta de acordo com o definido nos respectivos artigos de cada indicador, durante o PMT, no mês	B - número total de medidas obtidas de acordo com § 1º do artigo 15, durante o PMT, no mês	
7	SCM7	Variação de Latência	$SCM7 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número de vezes em que o resultado final da medição, obtido de acordo com § 1º do artigo 15, permaneceu com a meta de acordo com o definido nos respectivos artigos de cada indicador, durante o PMT, no mês	B - número total de medidas obtidas de acordo com § 1º do artigo 15, durante o PMT, no mês	
8	SCM8	Taxa de Perda de Pacote	$SCM8 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número de vezes em que o resultado final da medição, obtido de acordo com § 1º do artigo 15, permaneceu com a meta de acordo com o definido nos respectivos artigos de cada indicador, durante o PMT, no mês	B - número total de medidas obtidas de acordo com § 1º do artigo 15, durante o PMT, no mês	

Figura 5 – Indicadores de Qualidade de SCM da ANATEL

(Continuação)

Item	Indicador	Descrição	Fórmula	Onde:		
9	SCM9	Taxa de Disponibilidade	$SCM9 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número de vezes em que o resultado final da medição, obtido de acordo com § 1º do artigo 15, permaneceu com a meta de acordo com o definido nos respectivos artigos de cada indicador, durante o PMT, no mês	B - número total de medidas obtidas de acordo com § 1º do artigo 15, durante o PMT, no mês	
10	SCM10	Taxa de Atendimento pelo Atendente em Sistemas de Autoatendimento	$SCM10 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número total de chamadas atendidas por atendentes em até vinte segundos nos Sistemas de Autoatendimento da Prestadora, quando esta opção for selecionada pelo Assinante, no mês	B - número total de tentativas de acesso aos atendentes nos Sistemas de Autoatendimento da Prestadora, quando esta opção for selecionada pelo Assinante, no mês	
11	SCM11	Taxa de Instalação do Serviço	$SCM11 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número total de instalações realizadas no prazo estabelecido no <i>caput</i> , contado a partir da solicitação, no mês	B - número total de instalações realizadas, no mês	
12	SCM12	Taxa de Solicitações de Reparo	$SCM12 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número total de solicitações de reparo recebidas pela Prestadora, no mês	B - número total de acessos em serviço na rede da Prestadora no último dia do mês	
13	SCM13	Taxa de Tempo de Reparo	$SCM13 = \frac{A}{B} \times 100$	A - número total de solicitações de reparo, atendidas no prazo de vinte e quatro horas ou dentro do prazo solicitado pelo Assinante, se diverso, contado a partir do seu recebimento, no mês	B - número total de solicitações de reparo recebidas pela Prestadora, no mês	
14	SCM14	Taxa de Resposta ao Assinante	$SCM14 = \frac{A}{B + C} \times 100$	A - número total de solicitações de serviços ou pedidos de informação recebidos pela Prestadora, respondidos em até cinco dias úteis, no mês	B - número total de solicitações de serviços ou pedidos de informação, recebidos pela Prestadora no respectivo mês	C - número total de solicitações de serviços ou pedidos de informação, relativos aos meses anteriores, ainda não respondidos ao Assinante

Fonte: Adaptado da ANATEL (2016c).

CAPÍTULO III

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, serão abordados assuntos como: a logística, o papel do transporte para a logística, à abordagem da Pesquisa Operacional para o problema específico, o Problema do Caixeiro Viajante e o Problema de Roteamento de Veículos clássico e algumas de suas variações, heurísticas, meta-heurísticas e Algoritmo Genético.

3.1 Logística

Segundo Bowersox e Closs (2001), a logística envolve a integração de informações, transporte, estoque, armazenamento, manuseio de materiais e embalagens.

Para Gomes e Ribeiro (2004, p.11),

A logística é o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, a movimentação e o armazenamento de materiais, peças e produtos acabados (e os fluxos de informação correlatos) por meio da organização e dos seus canais de *marketing*, de modo a poder maximizar as lucratividades presentes e futuras com o atendimento dos pedidos a baixo custo.

Segundo Council of Logistics Management (*Apud* MOURA *et al.*, 2004),

Logística é a parte do gerenciamento de cadeias de suprimento responsável pelo planejamento, implementação e controle, de modo eficiente e eficaz, do fluxo e armazenagem de produtos (bens e serviços) e informações relacionadas, do ponto de origem até o ponto de consumo, com vistas ao atendimento das necessidades dos clientes.

Desta forma, uma gestão logística eficiente deve se preocupar com todos estes aspectos logísticos, agindo de maneira a alcançar uma maior eficiência e efetividade dos processos logísticos. A competência na gestão desta área está diretamente ligada ao desempenho da organização e seu nível de serviço.

Bowersox e Closs (2001) advertem que o termo “logística” não é específico dos setores privados ou públicos. A gestão logística deve ser uma preocupação tanto no setor público quanto no setor privado.

Apesar da gestão pública e da gestão privada ter objetivos diferentes (a gestão privada tem como objetivo o lucro, já a gestão pública deve ter como objetivo o desenvolvimento social), a preocupação com uma eficiente gestão logística não deve ser descartada em nenhum destes ramos.

Na visão de Christopher (1999), há um turbulento mercado atual, onde não basta ter produtos atraentes, preços competitivos e anúncios criativos. Há uma ascensão de exigência dos consumidores, buscando serviços e produtos com alta qualidade.

Ciente dessa questão, apesar da logística ter o seu foco principal na distribuição de mercadorias e ou serviços de maneira eficiente e a baixo custo, isso não quer dizer que ela esteja apenas no patamar operacional das organizações, ela tem lugar também na tática e na estratégia, pois através do fluxo de informações é possível implantar melhorias significativas nas operações logísticas assim como no desenvolvimento de novos produtos, sistemas e ou processos.

Assim, a logística deixa de ser vista de forma isolada e passa a ser percebida como um componente operacional da estratégia do composto de marketing (4P's – Produto, Preço, Promoção e Ponto de Venda ou Distribuição). Por meio deste conceito a distribuição passa a ter papel fundamental em várias estratégias na rede logística, tornando necessária a geração de soluções que possibilitem flexibilidade e velocidade na resposta ao cliente ao menor custo possível, gerando assim maior competitividade para a organização.

Pós 1990, a logística obteve uma significativa evolução com a utilização de novas tecnologias e novos conceitos, tais como o Supply Chain Management, Enterprise Resource Planning, Customer Relationship Management, Warehouse Management System e Eletronic Data Interchange que contribuem para seu grande desenvolvimento, complementando dessa forma o conceito de logística integrada e consequentemente, a cadeia de suprimentos.

Por tudo que foi descrito, temos então que a logística é um fator importantíssimo na estratégia e no desempenho das organizações. E sem um bom planejamento logístico não será tão fácil chegar aos objetivos estratégicos almejados pelas organizações, comprometendo a sua sobrevivência no mercado.

3.2 O Papel do Transporte para Logística

O transporte é uma das principais funções logísticas, além de demandar parcela significativa dos recursos. Do ponto de vista de custos, Nazário (apud Fleury et al., 2000)

afirma que o transporte representa cerca de 60% de todas as despesas logísticas, o que em alguns casos pode significar duas ou mais vezes o lucro de uma companhia. Exerce também papel crucial no desempenho da logística enquanto serviço ao cliente, pois disponibiliza os produtos onde existe demanda potencial, dentro de prazos adequados as necessidades do comprador.

Dar celeridade ao atendimento é fundamental para que uma empresa de logística possa atingir a demanda de clientes e produtos no menor tempo possível. A logística tem um papel fundamental em todos os setores da economia mundial. E dentre os modais possíveis dentro de um plano logístico, pode-se ter os setores marítimo, hidroviário, rodoviário, aéreo e ferroviário. O transporte de mercadorias é usado para que se possam disponibilizar diferentes produtos para os locais exatos onde há a demanda, ou a necessidade.

O transporte é fundamental para que os objetivos logísticos de uma empresa e a satisfação do consumidor sejam atingidos de forma rápida e eficiente. O produto precisa estar no local correto, na quantidade certa e no tempo previsto, tudo isso sempre calculando o menor tempo possível.

O transporte surge como um dos elementos mais visíveis das operações logísticas. Como consumidores estamos acostumados a relacionar os trens e caminhões com todo o serviço de transporte. Embora seja uma noção razoável sobre o papel do transporte na operação logística. Mas a funcionalidade real é movimentação e armazenagem de produtos.

Podemos descrever por isso que movimentação de produtos é necessário, à medida que são deslocados com o objetivo de agregar valores, ou ainda aproximá-los do cliente final.

Segundo Bowersox (2004), “o transporte utiliza recursos financeiros, porque são necessários gastos internos para manter uma frota própria ou, gastos externos para contratação de terceiros”.

O objetivo final do transporte logístico então é minimizar tempo e gastos, e maximizar a satisfação dos clientes, em relação ao desempenho da entrega.

Para Bowersox, (2004), há 5 fatores que influenciam na tomada de decisão de transporte. Os principais são o vendedor e o comprador, que negociam sozinhos prazos e valores, concluem a venda e depois vão escolher o transporte que melhor se enquadrar em suas necessidades. Ambos têm um objetivo em comum, movimentar a mercadoria em determinado tempo com o menor custo possível.

Juntamente com os problemas de roteirização e programação de utilização de equipamentos de transporte, há a intenção de obter o melhor uso de veículos e motoristas, suprimindo as expectativas do cliente.

As decisões de transporte poderão ser táticas, com a implantação de rotas diárias ou semanais. Ela se realiza em curto prazo, ou pode ser em longo prazo. Neste caso trata-se de uma decisão de transporte estratégico a transportadora busca aumentar sua receita bruta, impondo o maior valor que o cliente possa pagar, E assim, diminuir seus gastos com mão de obra, combustível, desgaste do veículo, e se possível consolidar com outras cargas.

Em resumo de características básicas, a escolha do serviço de transporte deve avaliar as vantagens sobre o preço, tempo médio de viagem, variabilidade de tempo de trânsito, e perdas e danos. Tudo isso oferecido com uma frequência capaz de torná-lo atraente.

3.3 Abordagens da Pesquisa Operacional

São abordados nos próximos itens alguns tópicos sobre os fundamentos relacionados com a Pesquisa Operacional (PO) que constituem a base da proposta deste trabalho: Introdução a PO, O Problema do Caixeiro Viajante e suas variações, O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) e suas variações, em especial O Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo e o Algoritmo Genético (AG).

3.3.1 Introdução a Pesquisa Operacional

Segundo Colin (2007), a PO tem várias formas de definição, entretanto três características devem estar presentes em todas elas: Uso de métodos matemáticos, desejo constante por otimização e orientação a aplicações.

Sobre as características citadas acima, a pesquisa operacional surgiu em torno da II Guerra Mundial. O objetivo inicial era a melhoria das estratégias militares. Entretanto, no período pós-guerra, o conceito foi difundido nas empresas e indústrias americanas. A busca pela otimização baseada em modelos matemáticos tem como objetivo maximizar ou minimizar uma função definida sobre certo domínio finito.

Geralmente nos problemas de P.O têm-se uma função objetivo e um conjunto de restrições que estão relacionados às variáveis de decisão.

3.4 O Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV), denotado na literatura como *Travelling Salesman Problem* (TSP), é um problema que determina a melhor rota para passar por um conjunto de cidades, visitando uma a uma, sem repetição de cidades e retornando à cidade de origem, com o menor caminho possível, podendo também reduzir tempos de deslocamentos e possíveis custos associados. Este problema trata-se de um problema clássico de otimização.

Em Silva et al. (2005), o Problema do Caixeiro Viajante consiste em determinar uma rota para o caixeiro que minimize a distância total percorrida na rota, passando por todas as cidades a serem visitadas, somente uma única vez. Existem n cidades para serem visitadas e são conhecidas as distâncias d_{ij} , para $1 \leq i, j \leq n$, entre as cidades.

Para Cunha et al. (2002), a origem do PCV é creditada à William Rowan Hamilton, com o invento de um jogo, cujo objetivo era traçar um roteiro através dos vértices de um dodecaedro (os vértices equivalem às cidades). O jogo teria início e fim no mesmo vértice, sem repetir a visita.

Em 1930, o problema passou a ser estudado nas universidades de Havard e Princeton, mas somente nas décadas de 50 e 60 é que ele ganhou popularidade no meio científico da Europa e Estados Unidos. Neste período, George Dantzig, Delbert Ray Fulkerson Delbert Ray e Selmer Johnson resolveram o problema por meio de Programação Linear Inteira, desenvolvendo o método de plano de corte para resolvê-lo de forma ótima (SILVA, 2013).

O PCV consiste, basicamente, em analisar todos os circuitos (rotas) hamiltonianos existentes para n pontos a fim de obter a distância mínima ou menor tempo do percurso (função objetivo). Um circuito hamiltoniano é aquele que passa por todos os vértices do grafo. Os vértices podem ser representados pelos n pontos geográficos de localização das cidades, enquanto as arestas são as vias que ligam diretamente cada cidade (GOMES, 2011).

Para Viana (1998), o máximo de caminhos ou rotas distintas em um circuito hamiltoniano é dado por $(n-1)!$. Constata-se que é inviável a análise de todas as soluções possíveis (distintas) mesmo para problemas de pequena complexidade com $n = 15$.

O PCV tem sido largamente utilizado nos últimos 50 anos. Durante este período, o PCV tem servido de benchmark para muitos algoritmos de otimização combinatória desde as técnicas clássicas a abordagens baseadas em busca tabu, redes neurais e algoritmo genético (SANTOS, 2009).

Em 1990, Reinelt (1990) criou uma biblioteca contendo várias instâncias do PCV que vinham sendo (e são até hoje) testadas e discutidas na literatura. Essa biblioteca é chamada de TSPLIB e contém mais de 100 exemplos com tamanhos que variam de 14 até 85.900 pontos de visita (vértices).

A maior instância do problema do caixeiro viajante resolvida é composta por um passeio através 85.900 cidades em uma aplicação VLSI¹ que surgiu no Bell Laboratories no final de 1980. O cálculo com Concorde² foi realizado em 2005/06 e relatado no livro “O Problema do Caixeiro Viajante: Um Estudo Computacional”. A instância é chamada pla85900 em TSPLIB de Gerd Reinelt; o mais curto passeio possível para o problema tem comprimento 142.382.641 unidades. Na Tabela 1 é apresentada uma pequena linha do tempo com as principais instâncias resolvidas do PCV no TSPLIB.

Tabela 1 – Histórico da solução de instâncias do PCV da TSPLIB

Ano	Instâncias	Tamanho	Pesquisadores
1954	dantzig42	49	Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954)
1962	aleatória	64	Held e Karp (1962)
1974	aleatória	67	Camerini, Fratta e Maffioli (1974)
1980	gr120	120	Grötschel (1980)
1980	lin318	318	Crowder e Padberg (1980)
1987	att532	532	Padberg e Rinaldi (1987)
1991	gr666	666	Grötschel e Holland (1991)
1991	pr2392	2392	Padberg e Rinaldi (1991)
1995	pla7397	7397	Applegate, Bixby, Chvatal e Cook (1995)
1998	usal3509	13509	Applegate, Bixby, Chvatal e Cook (1998)
2001	d15112	15112	Applegate, Bixby, Chvatal e Cook (2001)
2004	sw24798	24978	Applegate, Bixby, Chvatal, Cook e Helsgaun (2004)
2005/06	pla85900	85900	Applegate, Bixby, Chvatal, Cook Espinoza, Goycoolea e Helsgaun (2005/06)

Fonte: Adaptado de PRESTES (2006).

Apesar das dificuldades dos pesquisadores para encontrarem soluções para o problema com instâncias de médio e grande porte, é notável o avanço que se tem alcançado na solução do PCV nos últimos anos. A (TABELA 1) mostra essa evolução das soluções das

¹ *Very-large-scale integration* (VLSI) é o processo de criação de um circuito integrado (IC) por combinação de milhares de transistores em um único chip. O microprocessador é um dispositivo VLSI.

² O Concorde TSP Solver é um programa para resolver o problema do caixeiro-viajante. Foi escrito por David Applegate, Robert E. Bixby, Vašek Chvátal, e William J. Cook, em ANSI C, e está disponível gratuitamente para uso acadêmico.

instâncias do PCV a partir de 1954 até 2006, evoluindo na solução de 42 cidades para 85.900, respectivamente.

A formulação matemática para o PCV é dada pela seguinte função objetivo, definida abaixo, e sujeita às restrições que se seguem:

$$\text{Função objetivo: } \textbf{Minimizar} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

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

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

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

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

A variável $x_{ij} = 1$ determina que a cidade j seja imediatamente visitada à cidade i na rota que está sendo apresentada. Em caso contrário, $x_{ij} = 0$. A notação n representa o número de cidades do problema, S é um subconjunto do conjunto $\{1, 2, \dots, n\}$ e o símbolo “ $|$ ” representa a cardinalidade de um conjunto. Desta forma, a função objetivo (1) é a representação matemática da minimização do somatório das distâncias (dado por d_{ij}) entre as cidades da rota, considerando somente os vértices que pertencem à rota específica ($x_{ij} = 1$). As restrições (2) e (3) garantem que para cada cidade i e j só participam da rota uma única vez como conexão de saída e uma única vez como conexão de chegada. A restrição (4) garante que não haja rotas com ciclos de comprimento diferente de n , ou seja, uma rota que não inclua todas as cidades que devem ser visitadas, e a restrição (5) garante, por sua vez, que x_{ij} deve ser uma variável binária, ou seja, que só admita valor 0 ou 1.

O PCV tem despertado a atenção, mesmo após décadas de estudo, ele ainda não tem sido completamente resolvido e pode ser aplicado a uma larga classe de problemas de nosso cotidiano.

Com base na sua formulação inicial, diferentes variações do problema têm sido propostas.

3.4.1 Complexidade do PCV

De acordo com Silva (2013), o PCV possui complexidade computacional de tal forma que todos os esforços programáveis conhecidos para resolver tais problemas crescem exponencialmente com o tamanho do problema.

A complexidade de um problema computacional é dada pelo consumo de recursos computacionais (tempo, memória, etc.) usados para apresentar uma solução aceitável, dado um critério específico do problema a ser resolvido.

A (TABELA 2), dada a seguir, mostra a explosão combinatória de soluções para problemas de grande complexidade. O tempo estimado está calculado com base em uma máquina hipotética da ordem de 10^{-9} segundos, para execução das instruções de controle do programa, de acesso aos dados, cálculo das distâncias, comparações e chamadas a subprogramas (VIANA, 1998).

Tabela 2 – Explosão combinatória do PCV

n	n!	Tempo
5	120	0,00012 segundos
10	3628800	3,62880 segundos
12	479001600	8 minutos
15	1307674368000	15 dias
20	2432902008176640000	77.147 anos
50	3.0414093201713378043612E+0064	∞
100	9.3326215443944152681699E+0157	∞
500	1.2201368259911100687912E+1134	∞
1000	4.0238726007709377354362E+2567	∞

Fonte: Viana (1998).

3.4.2 Aplicações do PCV

Existem muitas aplicações do PCV associados a problemas práticos, como exemplo, o problema de roteamento de veículos. Segundo Goldbarg e Luna (2000), o PVC está presente em vários problemas clássicos, tais como:

- a) programação de operação de máquinas e manufatura;
- b) programação de transporte entre células de manufatura;
- c) otimização do movimento de ferramentas de corte;
- d) otimização de perfuração de furos de placas em circuitos impressos;
- e) problemas de roteamentos de veículos;
- f) problemas de sequenciamento;
- g) problemas de programação e distribuição de tarefas em plantas; e
- h) trabalhos administrativos, entre outros.

3.4.3 Variações do Problema do caixeiro Viajante

Existem várias variações do Problema do Caixeiro Viajante. A seguir, algumas destas variações são destacadas na (TABELA 3).

Tabela 3 – Variações do Problema do Caixeiro Viajante

(Continua)

Item	Descrição	O que trata	Referência
PCVS-C	Problema do Caixeiro Viajante Simétrico com Cluster	É um caso especial de PCV simétrico, em que existem clusters que possuem restrições que os obrigam a estar em uma determinada sequência de atendimento.	(Goldbarg e Luna, 2000).
PCV-G	Problema do Caixeiro Viajante Generalizado	proposto por Ong em 1982. É semelhante ao PCVS-C, mas cada grupamento formado deve contribuir com um certo número de nós para o ciclo hamiltoniano. A versão <i>equality</i> exige que apenas um vértice em cada cluster seja visitado.	(Goldbarg e Luna, 2000).
PCVB	Problema do Caixeiro Viajante <i>Backhauls</i>	Pode ser considerado um caso especial de PCVG onde os nós de G são particionados em dois grupamentos denominados normalmente de L (nós <i>linehauls</i>) e B (nós <i>backhauls</i>). A matriz de custo do problema atende as condições da norma euclidiana. Uma versão do problema determina que os nós de L sejam visitados inicialmente e, posteriormente, os nós de B. A estratégia dessa versão é dar preferência ao descarregamento dos veículos para, posteriormente, realizar o carregamento em direção ao depósito.	(Goldbarg e Luna, 2000).
PCV-B	Problema do Caixeiro Viajante com Bônus	Proposto por Fischetti e em 1988, o PCV-B associa um bônus b_i a cada nó do grafo e procura uma rota hamiltoniana de menor comprimento dada a condição restritiva, que consiste na obtenção de um bônus total maior ou igual a um certo valor mínimo.	(Goldbarg e Luna, 2000).
PCV-S	Problema do Caixeiro Viajante com Subconjuntos	Proposto por Laporte e Martello em 1987, o PCV-S aborda uma situação análoga ao PCV-B, mas o problema consiste na construção de uma rota através de um subconjunto de nós maximizando o total de prêmios coletados pela rota, onde o comprimento não deve exceder a um certo valor.	(Goldbarg e Luna, 2000).

Tabela 3 – Variações do Problema do Caixeiro Viajante

(Continuação)

Item	Descrição	O que trata	Referência
PCVJT	Problema do Caixeiro Viajante com Janela de Tempo	PCVJT estipula um intervalo de tempo $[a_i, b_i]$ para cada vértice i , onde o vértice i não pode ser visitado antes de a_i e depois de b_i . Se o vértice i for visitado antes de a_i , será necessário esperar um tempo w_i até a_i ; mas se o vértice i for visitado depois de b_i , a rota fica inviável. O objetivo é minimizar o custo da rota, onde o custo da rota pode ser a distância total percorrida (neste caso o tempo de espera é ignorado) ou o tempo total gasto para completar a rota (neste caso o tempo de espera w_i é adicionado ao tempo de viagem).	(SOLOMOM, 1987).
PCV-G	Problema do Caixeiro Viajante com Gargalo ou bottleneck	PCV-G, também conhecido como MinMax, foi formalizado por Burkard em 1991, e consiste em obter um ciclo hamiltoniano tal que seu arco de maior comprimento seja mínimo. Tais problemas são tradicionais no contexto de otimização, pois estarem associados a situações de deslocamento de facilidades.	(Goldbarg e Luna, 2000).
PCVM ou PMCV	Problema do Caixeiro Viajante Múltiplo	é uma generalização do PCV onde é necessário usar mais de um caixeiro viajante, ou seja, devem ser encontradas r rotas, todas iniciando e terminando em um certo nó, associados a r caixeiros, cuja soma total é mínima. Cada caixeiro deve viajar por uma sub-rota de nós, a qual inclui um depósito comum e cada nó, exceto o depósito, deve ser visitado por exatamente um caixeiro. A formulação em programação matemática para o PCVM é uma extensão natural da formulação de designação do PCV, tendo a definição de variáveis análoga.	
PCVE	Problema do Caixeiro Viajante Estocástico	No PCVE as janelas de tempo, os nós, os tempos e os custos das arestas são elementos aos quais poderemos associar distribuições de probabilidades que lhes definirão existência ou valor. Na literatura, foram relatados casos com clientes estocásticos (PCVCE), nos quais determinados nós podem não demandar uma visita, havendo uma rota ótima incluindo todos os nós e outra excluindo os nós não demandantes.	(Goldbarg e Luna, 2000).
PRV	Problema de Roteirização de veículos	O objetivo deste problema é traçar caminhos mínimos para que uma frota de veículos, inicialmente em um ou mais depósitos, possa atender uma demanda de consumidores dispersos em um espaço geográfico, em um determinado horário, com diferentes demandas pelos produtos a serem distribuídos. A diferença deste problema para o problema de múltiplos caixeiros está no acréscimo da restrição de capacidade de veículos. Há também outras restrições aplicadas a este problema, como janela de tempo para o atendimento de clientes e tempo máximo de viagem dos veículos.	
FSVRP	Problema de Dimensionamento e Roteirização de uma Frota de Veículos	Trata-se de uma variação do problema de roteamento de veículos, onde deve-se primeiramente especificar a quantidade de veículos necessários (frota ilimitada) para o roteamento, e depois, determinar o roteiro mínimo de cada veículo, para que no final, as demandas de todos os clientes sejam atendidas com os custos fixos de veículos e os custos variáveis de roteirização sendo mínimos. Neste problema, se os veículos da frota possuem a mesma capacidade e custos fixos, pode-se dizer que a frota é homogênea. Caso contrário, a frota é denominada heterogênea.	Subramanian <i>et al.</i> (2011)
PCE	Problema de Coleta e Entrega	Este problema é tido como uma variação do VRP, onde há uma restrição de precedência no atendimento da demanda dos clientes, pois as cargas são transportadas pelos veículos do depósito aos clientes e entre os clientes.	Berbeglia, Cordeau e Laporte (2010).

Fonte: Adaptada de Peixoto (2015).

3.5 O Problema de Roteamento de Veículos

O Problema de Roteamento de Veículos foi introduzido por Dantzig e Ramser (1959), onde em um depósito central, utilizam-se um número de veículos idênticos V , com capacidade máxima Q , para atender à demanda de um conjunto de n clientes, representadas q_i

quantidades, $i \in \mathbf{C} = \{0, 1, \dots, n+1\}$, sendo 0 e $n+1$ o depósito central, de onde partem e chegam os veículos, respectivamente. Cada trecho entre dois clientes i e j , possui um custo simétrico associado c_{ij} , para $0 \leq i, j \leq n+1$.

Uma particularidade do PRV é o Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo (PRVJT), que inclui a restrição do intervalo de tempo para atendimento do cliente: o veículo tem que chegar a um consumidor dentro de um intervalo de tempo (janela de tempo). Normalmente, considera-se permitido ao veículo chegar antes do horário previsto em um consumidor, porém será necessário esperar o momento de iniciar o serviço, seja para carregar ou descarregar cargas ou serviços demandados. Cada veículo tem um tempo de serviço, que somente depois de transcorrido poderá partir para outro consumidor. Em alguns casos costuma-se relaxar a janela de tempo, permitindo o início do serviço antes da respectiva abertura ou após o fechamento da janela de tempo, somando-se um custo adicional por esta violação.

3.5.1 O Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo

O problema de roteamento de veículos com janela de tempo pode ser descrito da seguinte forma. Um conjunto de V veículos idênticos, representado pelo conjunto $V = \{1, \dots, M\}$, necessitam realizar entregas ou coletas em uma região, tendo como ponto de partida um depósito central. Os n consumidores dentro da região mais o depósito central estão representados pelo conjunto \mathbf{C} , que são vértices de um grafo $G = (\mathbf{C}, A)$.

Nesta modelagem, dois vértices, 0 e $n+1$, são utilizados para representar respectivamente a saída e a chegada dos veículos no depósito central. As variáveis t_{ij} e c_{ij} representam o tempo e a distância necessários para ir do vértice i ao vértice j , respectivamente. Cada consumidor i está associado a uma demanda q_i . Além disso, cada consumidor deverá ser atendido por um único veículo. Quanto à janela de tempo, definida como o intervalo $[a_i, b_i]$, indica que a partir do instante inicial a_i é permitido o início da entrega ou coleta no consumidor i . Caso a chegada do veículo no consumidor i ocorra antes do instante a_i o veículo deverá esperar.

O veículo não poderá chegar depois do instante b_i , pois viola a restrição de tempo do problema. Os veículos são idênticos e possuem uma capacidade máxima de carga K . Os veículos irão consumir um tempo de serviço atendendo o consumidor i igual a ts_i . A seguir o modelo matemático para o problema de otimização.

$$(\text{PRVJT}): \text{Minimizar} = \sum_{v=1}^M \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} c_{ij} x_{ijv} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{v=1}^M \sum_{j=1}^{n+1} x_{ijv} = 1, \quad \forall i \in C \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^n q_i \sum_{j=1}^n x_{ijv} \leq K, \quad \forall v \in V \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jv} = 1, \quad \forall v \in V \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ihv} - \sum_{j=1}^n x_{h jv} = 0, \quad \forall v \in V, h \in C \quad (10)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{i(n+1)v} = 1, \quad \forall v \in V \quad (11)$$

$$r_{iv} + ts_i + t_{ij} - W(1 - x_{ijv}) \leq r_{jv}, \quad \forall i, j \in C, \forall v \in V \quad (12)$$

$$a_i \leq r_{iv} \leq b_i, \quad \forall i \in C, \forall v \in V \quad (13)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\}, \forall i, j \in C, \quad i \neq j, \forall v \in V \quad (14)$$

A equação (6) é o custo associado a cada aresta (i, j) utilizado na solução, percorrido por cada veículo v . A restrição da equação (7) garante que cada consumidor i seja atendido por um único veículo. A equação (8) garante que cada veículo v atenderá somente um conjunto de consumidores cuja demanda total não ultrapasse a sua capacidade K . As equações (9) e (11) garantem, respectivamente, que cada veículo parta do depósito central e que retorne a ele ao final de sua rota. A equação (10) garante a continuidade das rotas, ou seja, se um veículo chega a um consumidor i ele deverá sair deste para o consumidor h seguinte, perfazendo todos os trechos entre consumidores até o último consumidor j ($x_{ihv}, x_{h jv}$). A equação (12) garante que o instante de chegada de um veículo v a um consumidor j (r_{jv}) não poderá ocorrer antes do tempo de chegada ao consumidor anterior i (r_{iv}) mais o tempo de serviço no primeiro (ts_i) e o tempo de percurso no trecho (i, j) , dado por t_{ij} . É assumido, neste trabalho, que a velocidade constante no tempo de percurso t_{ij} é igual à 20 Km/h, pois trata da velocidade de deslocamento dos veículos nas grandes cidades brasileiras por conta do trânsito. A constante W , sendo suficientemente grande, garante que a equação (12) seja

somente uma restrição efetiva quando x_{ijv} seja igual a 1, ou seja, quando o veículo v percorre o trecho (i, j) . Adicionalmente, este instante deve estar dentro da janela de tempo $[a_i, b_i]$ para o consumidor em questão, o que é garantido pela equação (13). Finalmente, a equação (14) garante a integralidade binária das variáveis x_{ijv} do problema.

3.6 Métodos Heurísticos

De acordo com Viana (1998), heurística é qualquer método ou técnica criada, ou desenvolvida, para resolver um determinado tipo de problema. As metaheurísticas são consideradas heurísticas de uso geral ou uma heurística das heurísticas. Trata-se de um método aproximativo desenvolvido especificamente para resolver um problema de grande complexidade.

Reeves (1995), apud Silva (2013), descreve heurística como uma técnica que procura boas soluções com um tempo computacional razoável, sem garantir nem viabilidade nem otimalidade, e ainda em muitos casos, sem definir quão próxima uma solução viável encontra-se da solução ótima de determinado problema específico.

Encontram-se na literatura dois tipos de heurísticas aplicadas ao Problema do Caixeiro Viajante:

- a) Heurísticas Construtivas; e
- b) Heurísticas de Melhoramento.

Uma Heurística Construtiva têm por característica a construção de soluções por meio de um processo iterativo que inicia com uma solução vazia e adiciona um novo elemento a cada iteração até a obtenção de uma solução viável. A escolha de cada elemento a ser inserido em cada passo varia de acordo com a função de avaliação especificada pelo problema abordado.

Heurísticas pertencentes a esta classe, normalmente, tendem a ordenar os elementos candidatos utilizando uma função gulosa, que calcula o benefício da inserção de cada elemento, e somente o “melhor” elemento é inserido a cada iteração. Se aplicado ao PCV, uma Heurística Construtiva (HC) tentará encontrar uma “boa” rota, considerando a cada interação somente o próximo passo, ou seja, o critério de escolha é basicamente local (CAMPELLO e MACULAN, 1994, apud SILVA, 2013).

Como exemplos de Heurísticas Construtivas pode-se citar: Heurística do Vizinho mais Próximo, Heurística da Inserção Mais Barata e Heurística de Clark e Wright.

Já as heurísticas de melhorias de roteiro, denominadas de k-Opt, também chamadas de técnicas de busca local ou de refinamento, constituem uma família de Heurísticas utilizadas para melhorar uma solução viável.

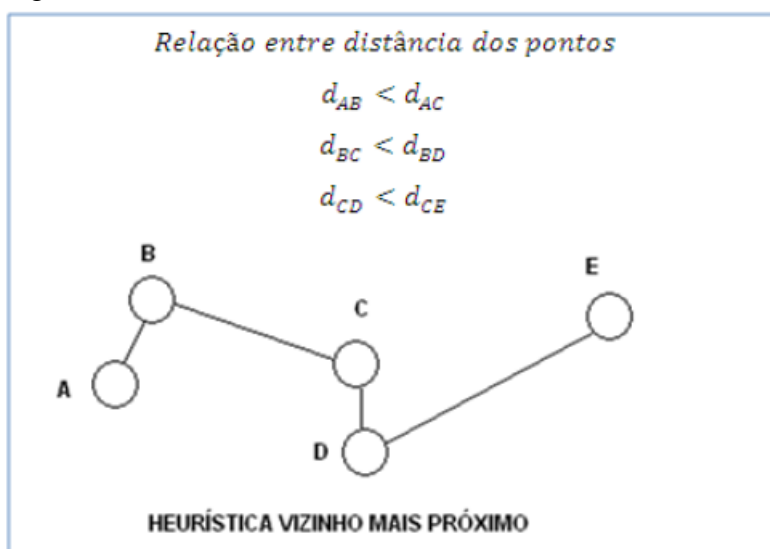
3.6.1 Heurística NN – Técnica do vizinho mais próximo (Nearest Neighbor)

A heurística Nearest Neighbor (vizinho mais próximo) foi descrita por Solomon (1987). Por tratar-se de um método aproximativo desenvolvido para resolver um problema rapidamente, as soluções geradas não necessariamente são exatas ou ótimas. Este método, como o próprio nome diz, possui uma concepção bastante simples e intuitiva.

Através de uma matriz de distâncias entre diversos pontos, o percurso é construído com base na distância entre estes pontos, sendo o mais próximo da origem adicionado primeiro e os demais pontos adicionados posteriormente. Esses pontos são inseridos segundo a sua proximidade em relação ao último ponto adicionado na rota.

Na (FIGURA 6), a seguir, pode-se verificar que em relação ao ponto inicial “A” da sequência, o vizinho mais próximo é o ponto “B”; em relação ao ponto “B”, o ponto “C” está mais próximo e assim por diante. Este processo se repete enquanto o limite da capacidade da rota é respeitado.

Figura 6 – Heurística do Vizinho Mais Próximo



3.7 Abordagem aproximada com Metaheurísticas

Segundo Santos (2009), os algoritmos aproximados tornam-se viáveis em função da quantidade de soluções do problema que cresce exponencialmente com sua dimensão.

Dentre as diferentes abordagens para a obtenção de soluções aproximadas, pode-se citar:

- a) algoritmos probabilísticos – são algoritmos que se caracterizam pelo fato de que, no momento da tomada de decisão, escolhe-se seguir um caminho de ação aleatório ao invés de escolher uma dentre os conjuntos de alternativas prévias;
- e
- b) metaheurísticas – são métodos projetados tendo como base as características das soluções ou as propriedades do problema e possuem uma complexidade bem menor em relação aos algoritmos exatos. De forma geral, as metaheurísticas produzem soluções viáveis de boa ou excelente qualidade, mas sem a garantia do ótimo. As metaheurísticas são estratégias de alto nível que guiam heurísticas mais específicas, a fim de encontrar soluções viáveis para problemas específicos (MILANO E ROLI, 2004). Vale ressaltar que uma das principais características das Metaheurísticas são suas capacidades de fugir de ótimos locais e explorar outras regiões em busca do ótimo global.

A seguir, são descritos alguns exemplos de metaheurísticas:

- a) algoritmos genéticos;
- b) busca tabu;
- c) colônia de formigas;
- d) algoritmos dos pássaros;
- e) algoritmos das abelhas;
- f) *greedy randomized adaptive search procedure* (GRASP);
- g) *Simulated Annealing*; e
- h) nuvem de partículas (*ParticleSwarm*).

Nesse trabalho, um algoritmo genético será desenvolvido, implementado, testado e validado quando aplicado ao problema específico. A seguir, um estudo preliminar será apresentado sobre a teoria dos algoritmos genéticos.

3.8 Algoritmo Genético

Os algoritmos genéticos, criados por Holland (1975) baseiam-se nos processos observados na evolução natural das espécies e suas aplicabilidades em projetos de softwares de sistemas artificiais. Holland conseguiu incorporar características da evolução biológica natural a um algoritmo para construir um método de resolução de problemas complexos, imitando o processo natural da evolução das espécies. Termos como: cromossomos, genes, alelos, genótipo e fenótipo, comuns nos sistemas biológicos, têm correspondentes no modelo computacional especialmente proposto para simular esses processos.

A ideia básica consiste em que, de forma similar à teoria biológica dos sistemas naturais, os “melhores” indivíduos sobrevivem e geram descendentes com suas características hereditárias. Estes elementos, que compõem as novas gerações, tendem a ter a mesma aparência, ou fenótipo, que seus antecessores (VIANA, 1998).

O Algoritmo Genético, através de um simples mecanismo de reprodução sobre um conjunto de soluções codificadas de um determinado problema, consegue produzir solução de boa qualidade e constitui hoje uma importante técnica de busca, empregada na resolução de uma grande variedade de problemas, nas mais diversificadas áreas (MAZUCCO, 1999).

Assim, de forma análoga à evolução natural das espécies, um algoritmo genético parte de uma população de indivíduos gerados aleatoriamente (configurações iniciais de um problema), faz a avaliação de cada um (aplicação da função objetivo), seleciona os “melhores” (escolha daqueles cuja função de custo tenha os maiores valores, se for um problema de maximização, ou os menores valores, caso o problema seja de minimização) e promove manipulações genéticas, como cruzamento e mutação (correspondentes às perturbações) a fim de criar uma nova população. Este processo adaptativo pode ser usado para resolver qualquer problema de otimização (VIANA, 1998).

Segundo Bento e Kagan (2008), o Algoritmo genético (AG) representa uma classe de algoritmos de otimização que empregam mecanismos de pesquisa probabilístico de soluções, baseado no processo de evolução biológico, combinando aspectos da mecânica, da genética e da seleção natural de indivíduos. Apesar de envolver procedimentos aleatórios, os AGs se distanciam muito dos métodos de busca puramente aleatórios.

Ainda segundo Bento e Kagan (2008), os Algoritmos Genéticos são métodos numéricos de otimização que, para maior robustez, se diferenciam dos outros em quatro aspectos fundamentais:

- a) os AGs trabalham com codificação de parâmetros, ao invés dos parâmetros originais do sistema;
- b) os AGs buscam a solução ótima a partir de um conjunto de soluções, não a partir de uma única solução;
- c) o AG básico emprega uma função de avaliação para as diferentes soluções pesquisadas, codificadas em sequências de comprimento conhecido, conhecidas como *strings*, empregando alfabeto binário na representação destas sequências; e
- d) os AGs utilizam regras probabilísticas na pesquisa de novas soluções e não determinísticas.

Segundo Viana (1998), os Algoritmos Genéticos possuem as seguintes características:

- a) utilizam técnicas de randomização;
- b) são robustos (abrangentes);
- c) trabalham unicamente com o valor da função objetivo;
- d) utilizam regras probabilísticas e determinísticas; e
- e) são de uso geral (metaheurísticas).

De acordo com Bona (2005), uma das principais características dos Algoritmos genéticos é a sua simplicidade de implementação. A Figura 6 a seguir, apresenta o fluxo básico de um Algoritmo Genético com os seus três operadores fundamentais: Seleção, Crossover e mutação.

Figura 7 – Fluxo do Algoritmo Genético

```

Procedure Algoritmo Genético
begin
  t ← 0
  inicializar P(t)
  avaliar P(t)
  while (not condição_terminal) do
    begin
      t ← t + 1
      selecionar p (t) a partir de P(t – 1)
      recombinar e mutar P(t)
      avaliar P(t)
    end
  end
end

```

Fonte: Tanomaru (1995).

O AG inicia gerando um número pré-definido de soluções iniciais, aleatoriamente ou não, formando a população inicial. Computacionalmente, a implementação deste procedimento é muito simples, não havendo comprometimento do tempo computacional para construir esta população inicial (BENTO e KAGAN, 2008).

De acordo com Burian (2009), os Algoritmos Genéticos, como métodos inspirados no mecanismo de seleção natural e genética, combinam o desenvolvimento de formas apropriadas, por meio de série de estruturas. O mecanismo inclui troca de informação, para formar um algoritmo adaptativo. Em cada geração, um novo conjunto de indivíduos artificiais é criado, usando unidades de outro grupo mais antigo. Esse processo gera, frequentemente, indivíduos melhores adaptados. Assim, de maneira eficiente, exploram-se informações históricas para buscar um novo conjunto de resultados, com ganho de desempenho.

Ainda segundo Burian (2009), os Algoritmos genéticos não interrompem a busca quando encontram um ótimo local, pois se comportam como a seleção natural, ou seja, continuam pesquisando soluções melhores do ponto de vista sistêmico.

3.8.1 Princípios Básicos dos Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos são métodos de otimização baseados na evolução natural e contém uma população de bits (ou strings, ou permutações, etc.) que será transformada pelos três operadores genéticos: seleção, crossover e mutação.

Cada cromossomo representa uma possível solução para o problema a ser otimizado e cada posição corresponde à contribuição de alguma variável do problema (gene). Essas soluções são classificadas como “funções de avaliação”, retornando os melhores valores (BURIAN, 2009).

Na maior parte das aplicações, a população inicial de N indivíduos é gerada aleatoriamente ou através de um processo heurístico.

Como no caso biológico, não há evolução sem variedade. Ou seja, a teoria da seleção natural ou “lei do mais forte” necessita de que os indivíduos tenham diferentes graus de adaptação ao ambiente em que vivem. Uma boa característica usada nos AGs vem do fato de ser importante que as populações cubram uma área bem distribuída uniformemente do espaço de busca.

Segundo Tanomaru (1995), os algoritmos genéticos necessitam da informação do valor de uma função objetivo para cada membro da população, que deve ser um valor não negativo. Nos casos mais simples, usa-se justamente o valor da função em que se deseja maximizar. A função objetivo dá, para cada indivíduo, uma medida de quão bem adaptado ao ambiente ele está, ou seja, quanto maior o valor da função objetivo, maiores são as chances de o indivíduo sobreviver no ambiente e reproduzir-se, passando parte de seu material genético a gerações posteriores.

3.8.2 Representação Cromossômica

Segundo Michalewicz (1999), a representação cromossômica constitui o primeiro passo para a aplicação de um algoritmo genético na resolução de um problema. Consiste na determinação de uma maneira de se representar cada possível solução S do espaço de busca, como uma sequência de símbolos gerados a partir de um conjunto discreto de caracteres, geralmente números arábicos. No caso geral, tanto o método de avaliação quanto o alfabeto genético dependem de cada problema. Porém, uma vez definida a estrutura mais apropriada para representar a solução do problema, esta deve poder representar todas as soluções possíveis do problema univocamente, e permanecer imutável no decorrer do processo.

Na maioria dos algoritmos genéticos assume-se que cada indivíduo é constituído por um único cromossomo (fato que não ocorre na genética natural), razão pela qual é comum utilizar os termos cromossomos e indivíduos indistintamente. A maior parte dos algoritmos genéticos, proposta na literatura, utiliza uma população de tamanho fixo, com cromossomos também de tamanhos constantes (TANOMARU, 1995).

3.8.3 Operadores Genéticos

O papel dos operadores genéticos em um AG é criar novos indivíduos a partir de cromossomos existentes na população. Existem operadores de cruzamento e de mutação. No caso dos operadores de cruzamento, são criados cromossomos filhos pela recombinação das características dos cromossomos pais, os quais são escolhidos conforme o método de seleção adotado.

Segundo Goldberg (1989), três classes de operadores genéticos considerados básicos, e figuram na grande maioria das implementações: seleção, recombinação e mutação.

3.8.4 Seleção

Baseado nos valores da função de adequação, os indivíduos são selecionados para comporem um conjunto de pais da próxima geração. Um método bastante comum para realizar a seleção é a utilização de uma roleta viciada ou tendenciosa que possibilita que cada indivíduo seja selecionado em função da sua adequação, com maior probabilidade de escolha para os indivíduos melhor avaliados. Outra forma de seleção é a utilização de critérios elitistas, onde os melhores indivíduos são sempre escolhidos, sem necessidade do uso de roleta. A quantidade de indivíduos que serão selecionados como pais e sua presença ou não na geração seguinte é definida no algoritmo e está ligada á estratégia a ser utilizada.

De acordo com Tanomaru (1995), o mecanismo de seleção dos AGs emula os processos de reprodução assexuada e seleção natural. Em geral, gera-se uma população temporária de N indivíduos extraídos com probabilidade proporcional à adequabilidade relativa de cada indivíduo na população. Neste processo, indivíduos com baixa adequabilidade terão alta probabilidade de extinção, ao passo que indivíduos adequados terão grandes chances de sobreviverem.

3.8.5 Recombinação (Crossover)

O processo de recombinação é um processo sexuado, ou seja, envolve mais de um indivíduo que emula o fenômeno de “crossover”, a troca de fragmentos entre pares de cromossomos. Na forma mais simples, trata-se de um processo aleatório que ocorre com a probabilidade fixa que deve ser especificada pelo usuário (TANOMARU, 1995).

Qualquer que seja a variante escolhida, estes operadores atuam sobre o espaço de busca realizando um refinamento das soluções codificadas pelos cromossomos genitores, uma vez que, a recombinação preserva a informação genética de boa qualidade dos mesmos, configurando assim, uma busca local a partir dos genitores (TANOMARU, 1995).

Este operador permite que seja feita a recombinação de estruturas genéticas de dois indivíduos (pais) da população, criando novos indivíduos diferentes daqueles existentes na geração atual. Para que isso aconteça, o operador (crossover) escolhe de forma aleatória dois indivíduos da população dos pais e troca parte de seus materiais genéticos, resultando em cromossomos filhos que serão inseridos na população em substituição (ou não) aos seus pais. Para realizar a operação de cruzamento, são definidos pontos na estrutura do cromossomo

para a troca do material genético. O número de pontos de cruzamento e sua localização são parâmetros do projeto, variando de um problema para outro.

Na (FIGURA 8) a seguir, mostra-se um exemplo de cruzamento em que um ponto de corte é escolhido aleatoriamente e os filhos são gerados pela combinação do seguimento à esquerda de um dos pais com o seguimento à direita do outro pai e vice-versa.

Figura 8 – Exemplo de cruzamento

PAI 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PAI 2	2	1	4	3	5	9	1	7	8	6
FILHO 1	1	2	3	4	5	9	10	7	8	6
FILHO 2	2	1	4	3	5	6	7	8	9	10

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.8.6 Mutação

Como em todas as metaheurísticas, O AG corre risco de convergir prematuramente e ficar preso a um mínimo local. Uma forma de evitar que isso aconteça é com a utilização do operador mutação, que corresponde a uma pequena perturbação na configuração de alguns cromossomos, permitindo com isto, a exploração em outras regiões do espaço de busca do problema. Da mesma forma que para o operador cruzamento, a mutação necessita de um parâmetro de controle, a taxa de mutação, que também deve ser escolhida criteriosamente.

O processo de mutação em AGs é equivalente à busca aleatória. Basicamente, seleciona-se uma posição num cromossomo e muda-se o valor do gene correspondente aleatoriamente para outro alelo possível. O processo é geralmente controlado para parar um AG.

Estes operadores conduzem à exploração de novas regiões do espaço de busca do problema, gerando nova informação genética, assim ao sofrer a mutação, um cromossomo passa a mapear um novo ponto do espaço de busca, possivelmente em área ainda não explorada, transferindo a busca empreendida pelo cromossomo para esta área. Estes

operadores consistem em um importante mecanismo de manutenção da diversidade da população e de cobertura do espaço de busca. Quando os indivíduos de uma população vão se tornarem muito semelhantes, o efeito do operador de crossover vai se anulando gradativamente fazendo com que as populações em gerações sucessivas se tornem cada vez mais semelhantes (MAZZUCCO, 1999).

Um estudo minucioso sobre a computação evolutiva, com modelos de AGs aplicados ao PCV e PRVJT está sendo concluído.

CAPÍTULO IV

4 ESTUDO DE CASO

Serão apresentadas nesse capítulo as principais características da empresa do estudo de caso assim como a descrição detalhada do problema a ser abordado, trazendo a tona os principais processos, indicadores, procedimentos, estrutura hierárquica e diretrizes que nortearão o trabalho a fim de encontrar uma solução viável para o desafio desse estudo.

4.1 Descrição da empresa estudada e seu escopo de negócio

A SS Telecomunicações, empresa que será a fonte de dados para o presente estudo de caso, é uma microempresa que faz parte do grupo Vector, uma empresa do setor de call center. Atualmente, entre os clientes da Vector está a empresa NET, da área de telecomunicações, como um dos mais importantes, onde é feita parte da comercialização de seus planos (Combos).

Devido a comercialização dos pacotes de assinatura, surgiu a oportunidade de ter uma equipe de “Campo” para instalar inicialmente apenas os pacotes vendidos pela operação de call center interno e com o passar do tempo a equipe foi crescendo e foi expandida para atender vendas externas.

Atualmente, a NET é uma das grandes empresas no setor de telecomunicações no Brasil, fazendo parte de um grupo internacional, chamado Telecom Americas. Esse grupo também é dono das operadoras Embratel e Claro. O grupo detém, segundo a ANATEL, cerca de 32,03% do mercado, com dados atualizados até Janeiro de 2016.

4.1.1 Principais processos de negócio

Seguem os principais serviços prestados pela empresa e seus respectivos processos:

- a) instalações agendadas (adesão) – engloba o acompanhamento das instalações programadas diariamente para a equipe de campo, que deverá atender os padrões de qualidade exigidos pela NET e Anatel, isso implica que uma vez que a instalação não atenda as expectativas do consumidor, os gestores e

supervisores da operação deverão refazer essa instalação, aumento os custos da operação e impactando no congestionamento da rota atual programada para novas instalações;

- b) visita técnica (VT) – consiste em atender pequenas demandas de consumidores que precisam de alguns ajustes em seus aparelhos. Ou seja, serviços mais simples, como configurar um controle remoto ou sincronizar os aparelhos “*Decoders*” com o satélite, mas que se não gerenciados, podem gerar sanções para a operadora e conseqüentemente para a empresa terceirizada por parte da operadora, podendo acarretar até no descredenciamento dessa empresa; e
- c) retirada de equipamentos – consiste na logística reversa dos aparelhos instalados nos consumidores que por algum motivo desistiram desse serviço. Esses equipamentos são recolhidos pelos técnicos, armazenados no almoxarifado da terceirizada e finalmente devolvidos a operadora para que ela possa realizar a limpeza e conserto em casos que o aparelho esteja danificado e, por fim o retorno desse equipamento em uma nova adesão de um novo pacote vendido.

4.1.2 Processos de apoio

Seguem os principais processos de apoio dos instaladores:

- a) supervisão – é um processo realizado diretamente no campo (na rua acompanhando os serviços dos técnicos), com o intuito de fiscalizar e dar suporte aos técnicos em casos mais complexos de instalação. O supervisor é um profissional com muita experiência em instalações, mas além das atividades citadas acima o mesmo ainda deve liderar um grupo de instaladores;
- b) coordenação – processo tático que dá suporte aos técnicos e supervisores, porém internamente na empresa. Além de questões administrativas, como acompanhamento de faltas, contratações, demissões, *feedbacks* e reuniões em geral com a equipe de campo, supervisores e técnicos;
- c) gerência de operações – no caso da SS, como faz parte do grupo vector, o coordenador é subordinado a um gerente que cuida da operação como um todo, em que a principal função é dar direcionamento estratégico a equipe, acompanhando os indicadores de qualidade, volume de contratos a realizar,

produtividade da equipe, reuniões com a NET, apresentar e defender os resultados para a direção do grupo vector;

- d) controladores (COP) – processo de acompanhamento dos serviços junto ao cliente. É a ponte que conecta consumidor a equipe técnica. Quando um técnico vai atrasar, quando o consumidor busca esclarecimentos, é essa equipe que conversa com ele. Caso o consumidor necessite reagendar o serviço ou qualquer outro suporte inerente à informação sobre o serviço, é com essa equipe que será tratada a questão. Além desses processos, os controladores executam as baixas dos contratos nos *softwares* de gestão da operação, de acordo com o código produtivo informado pelo técnico e confirmado pelo cliente; e
- e) almoxarifado – processo que cuida do fluxo de material, estocagem, movimentação, expedição e controle dos materiais em posse dos técnicos. Desde o recebimento, mapeamento (localização) do equipamento, recebimentos provenientes do fluxo reverso até a entrega desses equipamentos aos responsáveis finais, sejam eles consumidores (no fluxo de instalação), seja para a NET, que recolhem os equipamentos retirados dos clientes.

Atualmente, a SS possui 15 equipes de técnicos, onde são divididos por especialidade, sendo 10 para adesões (instalações) e 5 para visitas técnicas. Também possuem 2 supervisores, 1 Coordenador, 4 Controladores e 1 Gerente Operacional.

4.2 Manutenções da Base de clientes da área de visitas técnicas

A equipe de Visitas Técnicas (VT) tem o seu principal foco estar de prontidão para atender as demandas da base de clientes da região incumbida a SS para gerenciar. Isso acontece, pois quando os clientes acionam a NET para a resolução de algum tipo de problema com os serviços comercializados, as equipes terceirizadas devem atender com máxima urgência essas demandas, afim de que não gere reclamações por parte do cliente junto ao órgão regulador, que nesse caso é a ANATEL.

Devido a forte atuação de fiscalização da ANATEL às operadoras, há uma preocupação a mais em não gerar problemas com consumidor e consequentemente não ter problema junto a ANATEL. As multas para os operadores que não atendem as demandas de

acordo com as normas são extremamente onerosas, o que faz com os operadores sempre estejam em alerta, antevendo eventuais problemas com os pacotes comercializados junto aos consumidores.

Na grande maioria dos casos, as empresas terceirizadas que prestam os serviços de instalação são remuneradas de acordo com a quantidade de contratos executados, o que implica que se a empresa terceirizada não instalar nada, ela não terá remuneração alguma. Esse processo é para adesão, ou seja, novos clientes, porém nos casos de Visita Técnica, onde as demandas são de pessoas que já são consumidoras dos serviços da NET, a remuneração é fixa, paga pela base de clientes daquela região, independente da quantidade de serviços que os clientes solicitarem. Isso ocorre para garantir que os consumidores sejam atendidos plenamente, dirimindo eventuais reclamações junto a ANATEL por parte do consumidor.

4.3 Indicadores de qualidade internos exigidos pela NET

Os indicadores da NET estão intrinsecamente relacionados com os indicadores de qualidade da ANATEL, de maneira que o cumprimento desses indicadores por parte das empresas terceirizadas garanta por consequência o cumprimento dos indicadores da ANATEL.

Os indicadores mensuram o percentual de contatos realizados pela base de clientes em seu SAC, os registros de solicitações de serviços técnicos, o cumprimento da agenda das instalações pré-acordadas entre as empresas que venderam os planos com o consumidor final, as revisitas e a execução do serviço na primeira visita ao cliente. Abaixo na (TABELA 4), serão apresentados com detalhes esses indicadores.

Tabela 4 – Indicadores NET

(Continua)

ITEM DE CONTROLE	INDICADOR	MÉTRICAS	META
Contact Rate Técnico Total	% de ligações recebidas na CRN por assunto técnico.	Fórmula: Nº de ligações recebidas na CRN assunto técnico / Base domicílios conectados . São consideradas todas as ligações na URA. Fonte: Portal de Indicadores de Área Técnica.	< 45% (menor que 45%)

Tabela 4 – Indicadores NET

(Continuação)

ITEM DE CONTROLE	INDICADOR	MÉTRICAS	META
AT1 - Manutenção Técnica	% de manutenções técnicas / Domicílios Habilitados.	Fórmula: Total de Assistências Técnicas / Base de domicílios Habilitados. Fonte: Portal de Indicadores de Área Técnica.	< 6,5% (menor que 6,5%)
TEC1 - Cumprimento de Agenda	% das OS's executadas na agenda programada / total de OS's executadas por mês.	Fórmula: Total de OS's executadas na agenda programada / Total de OS's executadas no mês. Fonte: Portal de Indicadores de Área Técnica.	> 93% (maior que 93%)
AT5 - Revisita - Manutenção	% Assistências Técnicas resolvidas na 1ª visita.	Fórmula: Total de Visitas executadas na 1ª visita / Total de Visitas Executadas. Fonte: Portal de Indicadores de Área Técnica.	> 73% (maior que 73%)
Log VT	% de Clientes com 3 ou mais visitas em 30 dias.	Fórmula: Quantidade de Clientes com 3 ou mais visitas em 30 dias / Total de visitas geradas. Configuração: Budget Período. Fonte: Portal de Indicadores de Área Técnica.	< 2,8 % (menor que 2,8 %)
I5 - Revisita - Instalação	% Instalações realizadas na 1ª visita (não contempla cliente ausente)	Fórmula: Total de Instalações Executadas na 1ª visita / Total de Instalações. Fonte: Portal de Indicadores de Área Técnica.	> 63% (maior que 63%)
SE5 - Revisita - Serviços	% Serviços executados na 1ª visita.	Fórmula: Total de Serviços executados na 1ª visita / Total de Serviços. Fonte: Portal de Indicadores de Área Técnica.	> 73% (maior que 73%)
X5 Total - Execução na 1ª Visita	% Atendimentos executados na 1ª visita (AT5 + I5 + SE5)	Fórmula: Total de Serviços executados na 1ª visita / Total de Serviços. Resultados dos ind.: AT5, I5 e SE5 ponderado pelo total de OS's dentro e fora do padrão. Fonte: Portal de Indicadores de Área Técnica.	> 70% (maior que 70%)

Fonte: Elaborada pelo autor

Cientes desses indicadores, todas as empresas terceirizadas para instalações devem cumprir a risca cada um desses indicadores, sujeito a sanções e até um descredenciamento dessa empresa por parte da Operadora.

4.4 Caracterização do problema específico

O problema é caracterizado como um Problema do Roteamento de Veículo com Janela de Tempo, Frota Homogênea, pois os carros dos técnicos seguem padrões exigidos pela NET.

Os técnicos têm que se deslocar até os clientes espalhados nos diversos pontos da cidade, enfrentar trânsito, cumprir agenda, na qualidade esperada atendendo os indicadores e fazendo isso para o maior número de clientes possível.

O cerne da questão é propor um método (Modelo) de roteamento que reduza os custos com transporte, aumente a disponibilidade dos técnicos e dê celeridade no atendimento aos consumidores, evitando desgaste com a operadora e rentabilize a empresa terceirizada.

4.5 Processo atual de roteirização dos técnicos

O roteirização dos veículos é realizado pelos supervisores, no qual eles recebem as ordens de serviço no dia anterior e, manualmente é feito o processo da rota. Os principais pontos ponderados como prioridade na hora de desenvolver a rota estão relacionados na (FIGURA 9), dada a seguir.

Figura 9 – Matriz de Priorização das OS's

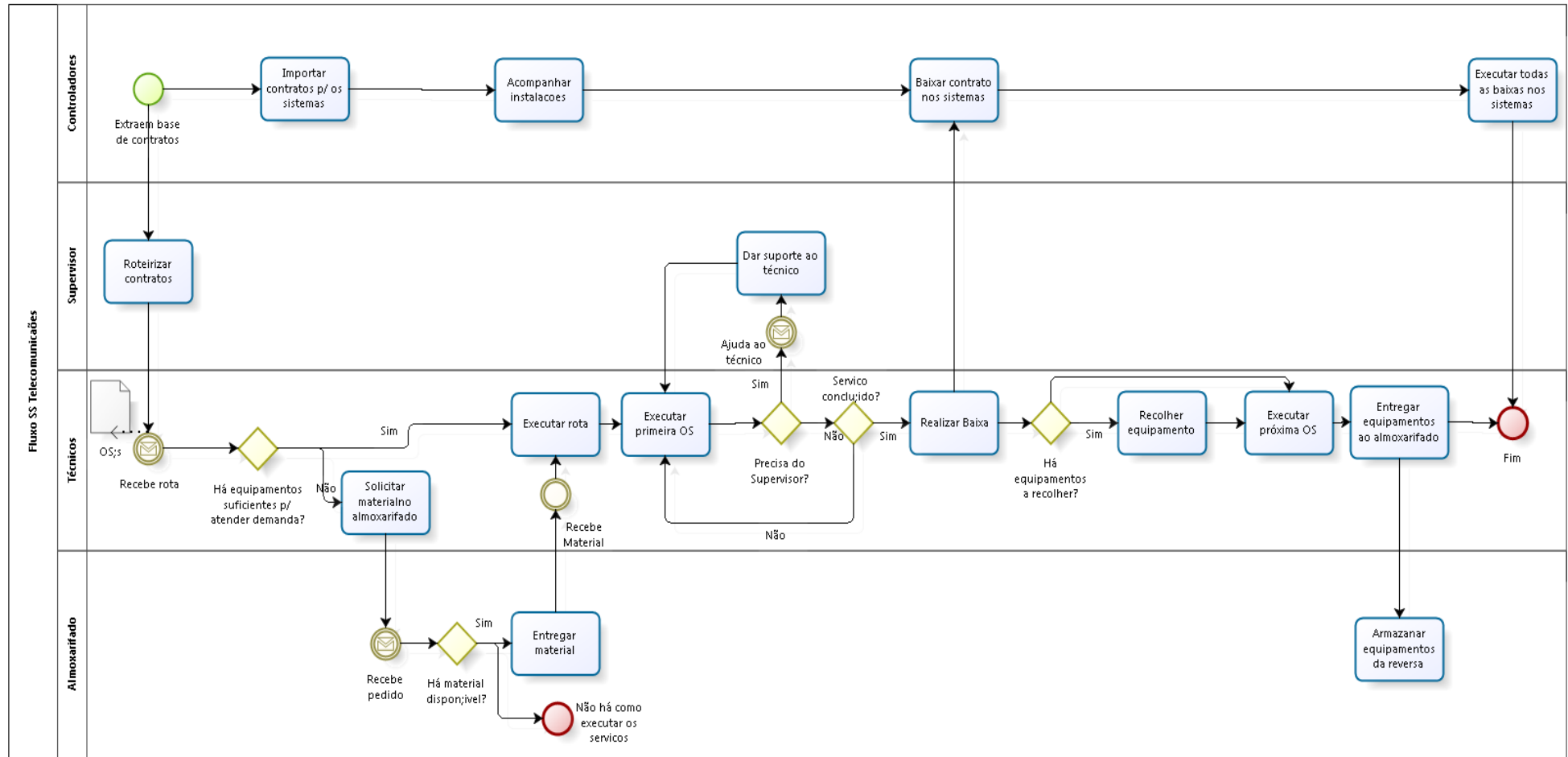
MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO				
ITEM	PRIMEIRO	SEGUNDO	TERCEIRO	QUARTO
REGULATORIO	▲			
VALOR	■	▲		
DESLOCAMENTO	■	■	▲	
PRAZO DE ENTREGA DA OS	■	■	■	▲

Fonte: Elaborada pelo autor.

A ordem de priorização é atender todos os regulatórios, depois as OS's de maior retorno financeiro, seguida do menor deslocamento e OS's com prazo comprometido.

Todos esses parâmetros são inseridos no problema manualmente, o que não garante a sua otimalidade, pois o que o supervisor faz é apenas atender a matriz de priorização e “clusterizar” as OS's em uma região. Assim um técnico atende somente os serviços que estão na sua área, evitando deslocamentos de outros técnicos.

Figura 10 – Fluxograma da SS Telecomunicações



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.6 Regulatórios

Os regulatórios são serviços que devem ser executados o mais rápido possível pelas terceirizadas, tendo em vista que são eles os que são fiscalizados diretamente pela ANATEL e, caso não recebam tratativa adequada dentro da janela de tempo estipulado pelo órgão, gera multa para a operadora que descumpra a norma. Os regulatórios são classificados como:

- a) retorno de credenciada – quando há a instalação dos aparelhos, porém em menos de 30 dias o objeto apresenta alguma não conformidade, a operadora se verá obrigada a enviar uma equipe para tratar da questão. Por isso o nome retorno, pois a empresa que fez a instalação está retornando para refazer o serviço que não ficou bem feito; e
- b) mudança de endereço – essa questão também é bem fiscalizada pela ANATEL, então quando ocorre do cliente se mudar, a operadora deve atendê-lo o mais breve possível, de modo a atender a normativa do órgão.

4.7 Softwares de apoio à gestão da operação

Uma operação como a SS Telecomunicações trabalha com várias plataformas de Softwares, desde o pacote Office, CRM e Intranet da NET. Dentre esses softwares podemos destacar:

- a) *activia* NET – sistema que possibilita extrair a base de clientes com visita programada para o dia seguinte, servindo como informação para que seja realizado o roteamento das visitas. Além desse ponto, o *software* também faz gestão dos contratos, para analisar se as terceirizadas estão atendendo os contratos dentro da qualidade esperada e gera indicadores para que a NET possa extrair relatórios que servirão como base na tomada de decisão dos gestores; e
- b) sistema *Imperium* – é um *software* baseado em um SGBD, que serve como “espelho” do sistema *activia* da NET. Como a NET não cede o uso do *activia* para as terceirizadas, e as mesmas precisam gerir suas operações de forma eficiente, a ferramenta vem como uma solução incrível para analisar os detalhes de gestão, como: produtividade, volume por técnico e, fácil extração

da base em arquivo do *Excel* que pode ser facilmente aplicada a uma tabela dinâmica e analisar os dados necessários para corrigir eventuais falhas de gestão da operação.

4.8 Problema a resolver

Atualmente a SS cobrança trata aproximadamente 30 contratos dia, ou seja, visitam 30 clientes distintos diariamente. Sabendo disso, uma instância desse tamanho seria inviável tratá-la de maneira exata, pois como vimos nos capítulos anteriores, o tempo computacional inviabilizaria o processo de rotear esses clientes a tempo.

Outro fator complicador desse problema são os seus indicadores de qualidade, no qual deverão ser introduzidos no problema como parâmetro, dessa forma o problema de roteamento ficará tão complexo quanto os encontrados na literatura. O indicador TEC 1, mede por exemplo a janela de tempo que o cliente deve ser atendido, o que já encontramos na literatura do PRVJT, porém com algumas particularidades, alguns indicadores como o LOG VT e AT5 tem que ter prioridade na rota, tendo em vista que fazem parte do grupo de serviços regulatórios, o que significa que são regulados diretamente pela ANATEL e passíveis de sanções caso não sejam sanados dentro do tempo determinado pela agência.

Sabendo disso, o desafio é gerar um algoritmo genético para o Problema de Roteamento de Veículos com Janela de tempo que contemple as restrições de qualidade apresentados nesse trabalho de maneira a gerar as menores rotas possíveis, gerando maior eficiência e consequentemente menores custos, maximizando lucro, por instalar os serviços mais rentáveis e também por propiciar que a capacidade máxima dessa equipe seja alcançada, evitando desperdícios e momentos de ociosidade que tanto prejudicam a gestão dessa operação.

4.9 Algoritmo Genético Aplicado ao Problema Específico

Os componentes usadas na construção do algoritmo genético são:

- a) o cromossomo representa uma permutação das n rotas dos instaladores, definindo uma solução viável para o problema. Por exemplo, para $n=5$, as permutações $\langle 1\ 3\ 5\ 4\ 2 \rangle$, $\langle 3\ 5\ 4\ 2\ 1 \rangle$, $\langle 5\ 4\ 2\ 1\ 3 \rangle$, $\langle 4\ 2\ 1\ 3\ 5 \rangle$ e $\langle 2\ 1\ 3\ 5\ 4 \rangle$ representam a rota $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$. Trabalhamos com permutação

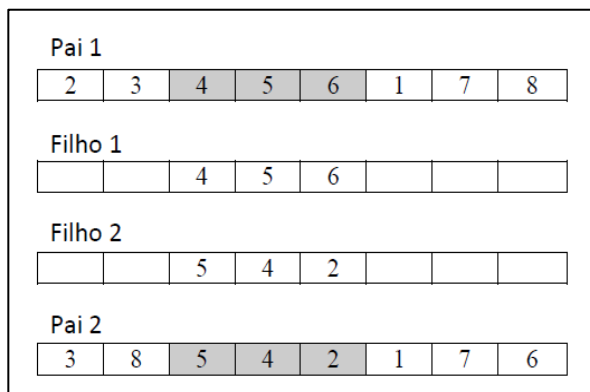
- iniciando sempre pelo ponto 1. Caso seja gerada uma permutação fora deste formato é possível transformá-la neste formato, bastando verificar onde está o ponto 1 na referida permutação e iniciar a rota representada por ela a partir deste ponto. Do exemplo dado, exceto a primeira permutação que já inicia com 1, qualquer uma das outras permutações podem ser transformada na primeira;
- b) a função custo é dada pela distância total percorrida nesta rota, função $g(s)$;
 - c) o AG proposto tem uma população inicial com 40 indivíduos (P), selecionados pelas heurísticas gulosas de inserção mais baratas (HIMBM), conforme descrita em (SILVA 2013). As 40 melhores soluções destas heurísticas serão inseridas na população inicial do AG obedecendo a uma ordem crescente na função fitness, quando o problema for de minimização. Desta forma, os melhores indivíduos da população são P_1, P_2, \dots, P_{40} , nesta ordem;
 - d) a seleção será feita com todos os indivíduos da população; e
 - e) o cruzamento pode ser feito entre todos os indivíduos da população, dando 780 cruzamentos (combinação de 40 dois a dois). Pode-se também dividir a população em faixas e cruzar todos os elementos de uma faixa com todos os elementos de outra(s) faixa(s). Por exemplo, podemos dividir a população em 4 faixas (F_1, F_2, F_3 e F_4) com dez elementos cada. Na Faixa 1 ficam os dez primeiros melhores indivíduos, os 10 melhores seguintes ficam na Faixa 2, e assim sucessivamente. O cruzamento pode ser feito com todos os indivíduos da F_1 com F_3 e F_2 com F_4 , gerando 200 cruzamentos ao invés de 780. No estudo feito para determinar a melhor maneira de esquematizar a seleção ficou constatado que o uso da primeira opção produziu melhores resultados que o da segunda opção.

O operador *crossover* é definido da seguinte forma. Primeiro divida a solução em 3 partes, sendo dois pontos de corte c_1 e c_2 , com $1 \leq c_1 \leq n$, $1 \leq c_2 \leq n$ e $c_1 \neq c_2$. O operador *crossover* implementado foi o *Order Crossover* (OX) (GOLDBERG, 1989). O operador *crossover* OX foi criado baseado na ideia dos bons blocos construídos. Por isso, baseia-se nas posições relativa e absoluta das cidades na rota. Segue o procedimento:

- a) são escolhidos dois pais através do método de seleção (Pai 1 e 2);
- b) com base nos pontos de cortes determinados, o cromossomo foi dividido em três blocos, conforme ilustrados nas Figuras 11 e 12. O segundo bloco de cada cromossomo é copiada para cada um dos Filhos (O1 e O2). Esta etapa preserva

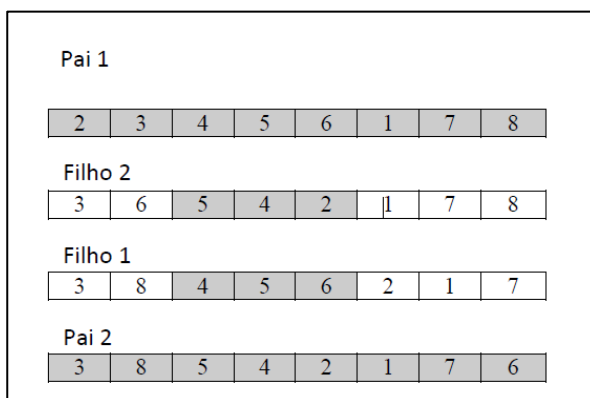
- as posições absoluta e relativa das estruturas do cromossomo de cada pai em cada filho, dando a ideia de que haja hereditariedade; e
- c) as posições não-preenchidas de cada filho são copiadas das posições do outro pai no sentido da esquerda para a direita (FIGURA 11). Este procedimento faz com que seja preservada a ordem relativa das cidades nas rotas.

Figura 11 – Segunda etapa do *crossover OX*



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Terceira etapa do *crossover OX*



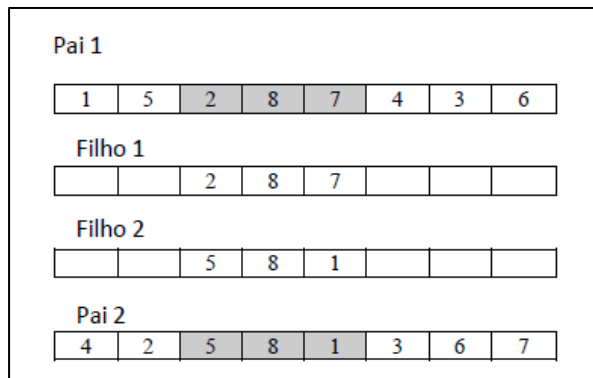
Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste exemplo o valor de $n=8$, $c1=3$ e $c2=5$, onde: $c1=[n/3]+1$ e $c2=2*[n/3]+1$.

Outras combinações de blocos no cruzamento nas (FIGURAS 11 e 12) foram usadas, mas elas não mostraram evolução na busca. Testou-se o crossover de um ponto com $c1=n/2$, e pôde-se observar que os resultados não foram melhores que o crossover de 2 pontos. Um método mais moderno de crossover denominado Partially Matched (PM) também foi implementado e analisado. Segue uma ilustração deste método nas (FIGURAS 13 e 14) a

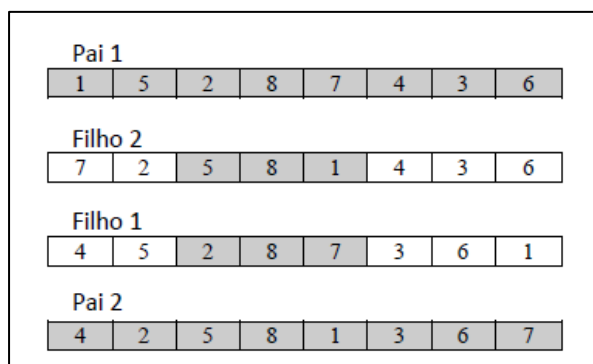
seguir. Ele também usa dois pontos de corte, que podem ser $c1$ e $c2$ dados anteriormente. O segundo bloco do Pai 1 é copiado para o Filho 1, assim como o primeiro e terceiro bloco do Pai 2. Depois serão feitos os ajustes para a geração de uma solução viável, representada pelo Filho 1, substituindo no primeiro e terceiro bloco os genes repetidos do Filho 1, pelos genes que se encontram na mesma posição daqueles repetidos que estão no segundo bloco do Pai 2. Estes genes são aqueles que não se encontram no Filho1 após as cópias dos blocos, no caso específico do exemplo dado através das (FIGURAS 11 e 12), são os genes 5 e 1. O procedimento também se aplica da mesma forma para o Pai 2 e Filho 2.

Figura 13 – Segunda etapa do *PM crossover*



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 14 – Terceira etapa do *PM crossover*



Fonte: Elaborada pelo autor.

Seguem a descrição de mutação, estratégia geracional e critério de parada:

- a) a mutação usa a heurística opt4 (diferente de 4-opt), de baixa complexidade descrita em Silva (2013), com bom desempenho, para ser aplicada na melhor solução da iteração atual, ou as k melhores soluções ($k > 1$);
- b) a estratégia geracional é responsável por controlar a substituição de indivíduos de uma geração para a outra. A estratégia geracional proposta por Holland (1975) cria um conjunto do tamanho da população de indivíduos gerados a partir da população atual, usando os operadores de seleção, crossover e mutação. No final, este conjunto substitui a população atual. Neste tipo de estratégia existe a possibilidade de que bons indivíduos desapareçam de uma geração para a outra. Por isso, surgiram outras estratégias como a elitista, a *population overlaps* e a *steady-state*. Na estratégia elitista o melhor indivíduo é preservado para a próxima população, enquanto o restante da população é substituído por novos indivíduos. Na estratégia *population overlaps* uma fração da população G (*generation gap*) é substituída por novos indivíduos, enquanto a outra fração é preservada para a próxima população. Na estratégia *steady-state* só o melhor indivíduo gerado é copiado para a próxima população. No nosso AG foi utilizada a estratégia elitista por ter tido melhor desempenho;
- c) o critério de parada usa geralmente o limite de valores propostos para três variáveis: número de iterações do algoritmo, tempo máximo de execução e o desvio das soluções. Estes valores foram determinados depois das análises feitas com os testes de execução do algoritmo com vários problemas da literatura. De início, usou-se o valor médio na função objetivo das 40 soluções da população atual e comparou-se com o valor médio da população imediatamente anterior, quando estes valores forem iguais o durante 3 iterações seguidas, o algoritmo pára e apresenta a melhor solução encontrada como solução do problema. Com isto evitaram-se de realizar avaliações de soluções que eram distintas, mas que tiveram o mesmo desempenho de soluções similares, muitas vezes estas soluções são repetidas, foi o que se constatou; e
- d) a última etapa do AG é a calibração dos valores dos seus parâmetros, como tamanho da população, taxa de crossover, entre outras. Segundo Mitchell (1998) os parâmetros de um AG interagem entre si de forma não-linear sendo de difícil calibração.

CAPÍTULO V

5 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos experimentos em um caso real, aplicado ao processo de roteirização de instaladores da empresa SS Instalação e também o desempenho do AG implantado nesse trabalho frente a instâncias do PCV. Na seção 5.1, descreve-se a comparação do AG implantado nesse trabalho e compara os seus resultados com instâncias do PCV. Na Seção 5.2, descreve-se a aplicação do AG no problema real dos instaladores. Já na Seção 5.3, realiza-se uma análise detalhada dos resultados obtidos, bem como, descreve-se a importância dos resultados para este trabalho.

As instâncias que serão testadas no AG variam desde $n = 17$ até $n = 198$, no qual serão apresentados nas próximas tabelas o desempenho de geração de soluções e o tempo computacional usado na execução do AG. Esses dados são importantes para que possamos ter uma ideia do quão eficiente e eficaz é o algoritmo a fim de validá-lo como uma ferramenta testada entre os principais problemas do estado da arte do PCV.

Os experimentos computacionais foram realizados em um computador com o Sistema Operacional Windows 7 Ultimate, processador Intel Core i5 de 2,40 Ghz e 4 GB de memória RAM. Todos os testes foram realizados utilizando código implementado em linguagem C/C++, do compilador Dev C++ na versão 4.9.9.2. O principal indicador utilizado entre os algoritmos de resolução do problema é o percentual de desvio das soluções, dado por $100 \times (z - z^*) / z^*$, onde z é o valor de g na melhor solução encontrada pelo método de resolução do problema e z^* é o valor da melhor solução do problema. Um conjunto de experimentos computacionais foi programado para ser realizado e os resultados estão apresentados nas Seções 5.1 e 5.2, dadas a seguir.

5.1 AG Aplicado nas Instâncias do PCV

Nesta etapa da pesquisa, foi utilizado o AG em instâncias com entrada de dados matriciais e depois em instâncias com entrada de dados georreferenciados. Em todas as instâncias utilizadas, foram realizados testes avaliando individualmente o desempenho do AG com cruzamento 1P, 2P e PM. Para a realização dos testes de validação do desempenho do método desenvolvido, foram utilizadas dezenove instâncias da literatura. Na (TABELA 5) são

apresentados os perfis de cada instância, onde o valor n representa o número de cidades que o caixeiro viajante precisa visitar.

Tabela 5 – Instâncias utilizadas

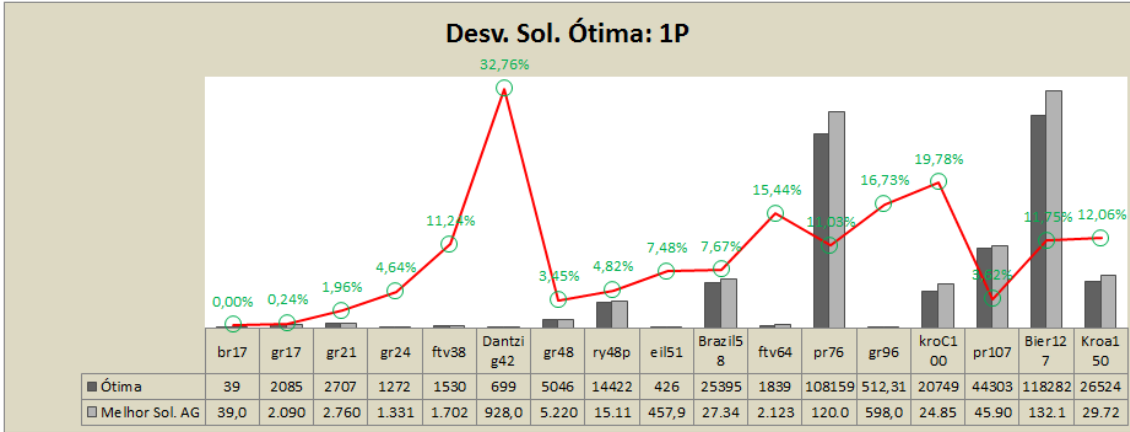
Instância	n
br17	17
gr17	17
gr21	21
gr24	24
ftv38	39
dantzig42	42
gr48	48
ry48p	48
eil51	51
brazil58	58
ftv64	65
pr76	76
gr96	96
kroc100	100
pr107	107
Bier127	127
kroa150	150
u159	159
d198	198

Fonte: Elaborada pelo autor.

O (GRÁFICO 1) apresenta o desempenho individual de cada instância, em relação ao desvio da solução ótima, utilizando a estratégia de cruzamento 1P. As instâncias br17, gr17, gr21, gr24, gr48, ry48p e pr107 apresentaram resultados de até 5% de desvio.

Através da (TABELA 6), foi possível identificar a evolução da solução encontrada nas etapas de geração da população inicial, cruzamento e mutação. A instância br17 encontrou a solução ótima desde a geração inicial. Outras instâncias tiveram boa evolução, como é o caso da instância gr17 que teve 1,82% de desvio na população inicial, 1,44% no cruzamento e 0,24% na mutação, seguida da instância gr21 que obteve 12,30% na população inicial, 6,24% no cruzamento e 1,96% na mutação. Considerando-se o valor médio dos desvios, também é possível verificar que existe uma evolução em cada etapa do AG e o desvio médio das melhores soluções encontradas foi de 9,69%.

Gráfico 1 – Desvio à solução ótima para AG com Crossover 1P



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 6 – Apresentação dos resultados de AG com cruzamento 1P

Referência	n	Ótima	Resultado Crossover 1P				Desempenho Crossover 1P			
			Pop. In.	Cruz.	Mut.	Mínimo AG	Pop. In.	Cruz.	Mut.	Mínimo AG
br17	17	39	39,0	39,0	39,0	39,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
gr17	17	2085	2.123,0	2.115,0	2.090,0	2.090,0	1,82%	1,44%	0,24%	0,24%
gr21	21	2707	3.040,0	2.876,0	2.760,0	2.760,0	12,30%	6,24%	1,96%	1,96%
gr24	24	1272	1.358,0	1.358,0	1.331,0	1.331,0	6,76%	6,76%	4,64%	4,64%
ftv38	39	1530	1.732,0	1.722,0	1.702,0	1.702,0	13,20%	12,55%	11,24%	11,24%
Dantzig42	42	699	953,0	935,0	928,0	928,0	36,34%	33,76%	32,76%	32,76%
gr48	48	5046	5.513,0	5.326,0	5.220,0	5.220,0	9,25%	5,55%	3,45%	3,45%
ry48p	48	14422	15.184,0	15.184,0	15.117,0	15.117,0	5,28%	5,28%	4,82%	4,82%
eil51	51	426	467,0	457,9	458,0	457,9	9,62%	7,48%	7,51%	7,48%
Brazil58	58	25395	28.039,0	28.039,0	27.342,0	27.342,0	10,41%	10,41%	7,67%	7,67%
ftv64	65	1839	2.130,0	2.130,0	2.123,0	2.123,0	15,82%	15,82%	15,44%	15,44%
pr76	76	108159	122.048,0	120.912,2	120.091,0	120.091,0	12,84%	11,79%	11,03%	11,03%
gr96	96	512,31	617,2	611,0	598,0	598,0	20,46%	19,26%	16,73%	16,73%
kroC100	100	20749	25.116,0	25.027,4	24.853,0	24.853,0	21,05%	20,62%	19,78%	19,78%
pr107	107	44303	46.872,1	46.105,6	45.908,0	45.908,0	5,80%	4,07%	3,62%	3,62%
Bier127	127	118282	135.496,1	133.099,2	132.175,0	132.175,0	14,55%	12,53%	11,75%	11,75%
Kroa150	150	26524	29.967,0	29.966,5	29.722,0	29.722,0	12,98%	12,98%	12,06%	12,06%
Média						Média	12,27%	10,97%	9,69%	9,69%

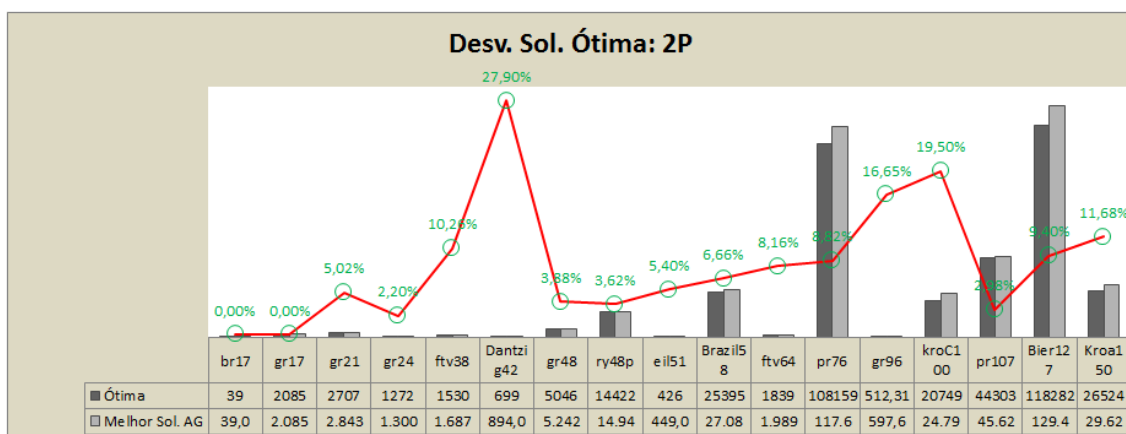
Fonte: Elaborada pelo autor.

O (GRÁFICO 2) apresenta o resultados em relação ao desvio da solução ótima, utilizando-se o AG agora com a estratégia de cruzamento 2P. Assim como nos resultados da estratégia 1P, as instâncias br17, gr17, gr21, gr24, gr48, Iry48p e pr107 apresentaram

resultados de até 5% de desvio, houve apenas o acréscimo de mais uma instância dentro desse desvio, que foi a eil51.

Com base na (TABELA 7), foi possível verificar a evolução da solução encontrada nas etapas de geração da população inicial, do cruzamento e da mutação. Em todas as instâncias com desvio abaixo de 5% o desempenho foi melhorando a cada etapa. Considerando-se o valor médio dos desvios, também é possível verificar que existe uma evolução em cada etapa do AG e o desvio médio das melhores soluções encontradas foi 8,36%.

Gráfico 2 – Desvio à solução ótima AG com Crossover 2P



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 7 – Apresentação dos resultados de AG com cruzamento 2P

(Continua)

Referência	n	Ótima	Resultado Crossover 2P				Desempenho Crossover 2P			
			Pop. In.	Cruz.	Mut.	Mínimo AG	Pop. In.	Cruz.	Mut.	Mínimo AG
br17	17	39	39,0	39,0	39,0	39,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
gr17	17	2085	2.123,0	2.090,0	2.085,0	2.085,0	1,82%	0,24%	0,00%	0,00%
gr21	21	2707	3.040,0	2.924,0	2.843,0	2.843,0	12,30%	8,02%	5,02%	5,02%
gr24	24	1272	1.358,0	1.323,0	1.300,0	1.300,0	6,76%	4,01%	2,20%	2,20%
ftv38	39	1530	1.732,0	1.711,0	1.687,0	1.687,0	13,20%	11,83%	10,26%	10,26%
Dantzig42	42	699	953,0	902,0	894,0	894,0	36,34%	29,04%	27,90%	27,90%
gr48	48	5046	5.513,0	5.273,0	5.242,0	5.242,0	9,25%	4,50%	3,88%	3,88%
ry48p	48	14422	15.184,0	14.944,0	14.944,0	14.944,0	5,28%	3,62%	3,62%	3,62%
eil51	51	426	474,0	453,0	449,0	449,0	11,27%	6,34%	5,40%	5,40%
Brazil58	58	25395	28.039,0	27.254,0	27.086,0	27.086,0	10,41%	7,32%	6,66%	6,66%
ftv64	65	1839	2.130,0	1.989,0	1.989,0	1.989,0	15,82%	8,16%	8,16%	8,16%

Tabela 7 – Apresentação dos resultados de AG com cruzamento 2P

(Continuação)

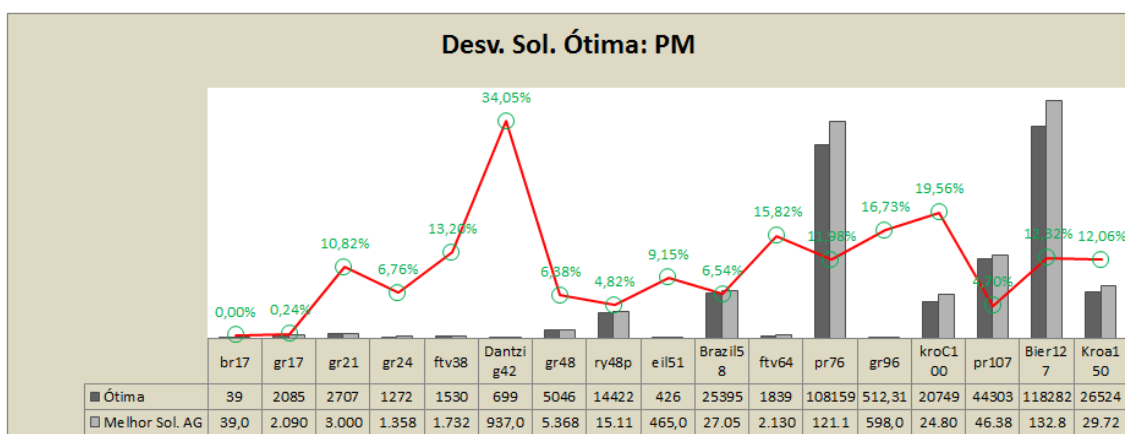
Referência	n	Ótima	Resultado Crossover 2P				Desempenho Crossover 2P			
			Pop. In.	Cruz.	Mut.	Mínimo AG	Pop. In.	Cruz.	Mut.	Mínimo AG
pr76	76	108159	122.048,0	118.540,0	117.698,0	117.698,0	12,84%	9,60%	8,82%	8,82%
gr96	96	512,31	617,2	617,2	597,6	597,6	20,46%	20,46%	16,65%	16,65%
kroC100	100	20749	25.116,1	24.993,4	24.795,0	24.795,0	21,05%	20,46%	19,50%	19,50%
pr107	107	44303	46.872,1	45.821,0	45.624,0	45.624,0	5,80%	3,43%	2,98%	2,98%
Bier127	127	118282	135.496,1	129.984,0	129.406,1	129.406,1	14,55%	9,89%	9,40%	9,40%
Kroa150	150	26524	29.966,5	29.937,1	29.621,3	29.621,3	12,98%	12,87%	11,68%	11,68%
Média						Média	12,36%	9,40%	8,36%	8,36%

Fonte: Elaborada pelo autor.

O (GRÁFICO 3) apresenta o resultado individual de cada instância em relação ao desvio da solução ótima, utilizando-se a estratégia de cruzamento PM. As instâncias br17, gr17, ry48p e pr107 apresentaram resultados de até 5% de desvio.

Com base na (TABELA 8), foi possível verificar a evolução da solução encontrada nas etapas de geração da população inicial, do cruzamento e da mutação. Em algumas instâncias com desvio abaixo de 5%, tais como gr17 e ry48p, houve melhoramento do desempenho somente na última etapa. Considerando-se o valor médio dos desvios, também é possível verificar que existe uma evolução em cada etapa do AG e o desvio médio das melhores soluções encontradas foi de 10,89%.

Gráfico 3 – Desvio à solução ótima para AG com Crossover PM



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 8 – Apresentação dos resultados de AG com cruzamento PM

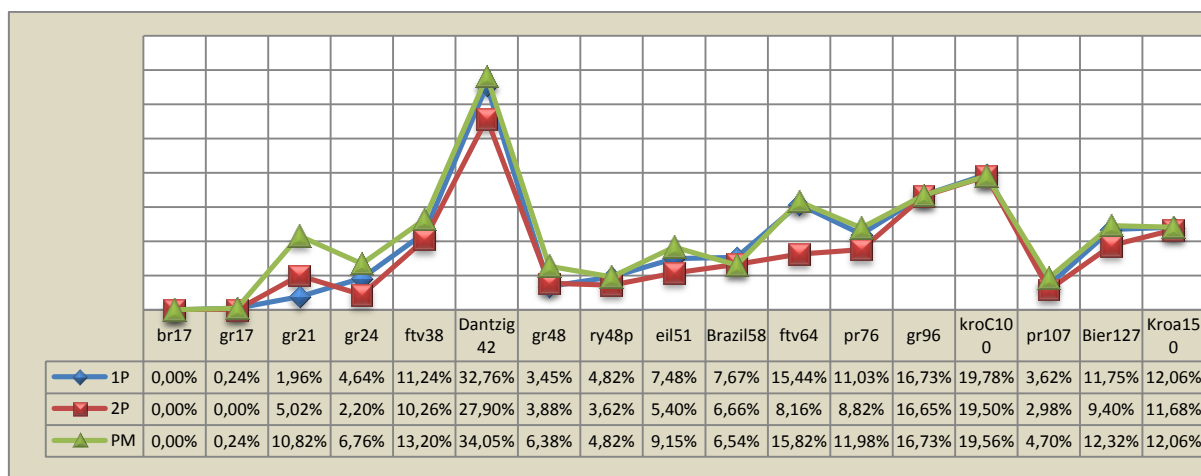
Referência	n	Ótima	Resultado Crossover PM				Desempenho Crossover PM			
			Pop. In.	Cruz.	Mut.	Mínimo AG	Pop. In.	Cruz.	Mut.	Mínimo AG
br17	17	39	39,0	39,0	39,0	39,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
gr17	17	2085	2.123,0	2.123,0	2.090,0	2.090,0	1,82%	1,82%	0,24%	0,24%
gr21	21	2707	3.040,0	3.040,0	3.000,0	3.000,0	12,30%	12,30%	10,82%	10,82%
gr24	24	1272	1.358,0	1.358,0	1.358,0	1.358,0	6,76%	6,76%	6,76%	6,76%
ftv38	39	1530	1.732,0	1.732,0	1.732,0	1.732,0	13,20%	13,20%	13,20%	13,20%
Dantzig42	42	699	953,0	966,0	937,0	937,0	36,34%	38,20%	34,05%	34,05%
gr48	48	5046	5.513,0	5.513,0	5.368,0	5.368,0	9,25%	9,25%	6,38%	6,38%
ry48p	48	14422	15.184,0	15.184,0	15.117,0	15.117,0	5,28%	5,28%	4,82%	4,82%
eil51	51	426	474,0	474,0	465,0	465,0	11,27%	11,27%	9,15%	9,15%
Brazil58	58	25395	28.039,0	28.039,0	27.056,0	27.056,0	10,41%	10,41%	6,54%	6,54%
ftv64	65	1839	2.130,0	2.130,0	2.130,0	2.130,0	15,82%	15,82%	15,82%	15,82%
pr76	76	108159	122.048,0	122.048,0	121.119,0	121.119,0	12,84%	12,84%	11,98%	11,98%
gr96	96	512,31	617,0	617,2	598,0	598,0	20,43%	20,46%	16,73%	16,73%
kroC100	100	20749	25.116,0	25.009,4	24.807,0	24.807,0	21,05%	20,53%	19,56%	19,56%
pr107	107	44303	46.872,0	46.386,8	46.387,0	46.386,8	5,80%	4,70%	4,70%	4,70%
Bier127	127	118282	135.496,1	137.483,8	132.851,0	132.851,0	14,55%	16,23%	12,32%	12,32%
Kroa150	150	26524	29.967,0	29.966,5	29.722,0	29.722,0	12,98%	12,98%	12,06%	12,06%
Média						Média	12,36%	12,48%	10,89%	10,89%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Comparando o desempenho de todos os operadores cruzamentos, em relação ao desvio do resultado à solução ótima, ilustrado no (GRÁFICO 4), observa-se que, de maneira geral, na maioria das instâncias, a estratégia de cruzamento 2P teve melhor desempenho, seguida das estratégias 1P e PM.

Apesar de haver essa diferença de desempenho, o comportamento da maioria dos resultados parece seguir uma tendência de homogeneidade por instância.

Gráfico 4 – Desvio à solução ótima de AG com todos os cruzamentos (%)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisando o desempenho do algoritmo, levando em consideração, além do desvio da solução ótima, o tempo computacional, conforme dados da (TABELA 8), foram identificados excelentes resultados com a utilização do cruzamento 1P para as instâncias gr17 e br17, com n igual a 17, que chegaram a encontrar a solução ótima com tempo de processamento de 0,06 e 0,02 segundos, respectivamente.

As instâncias gr21 obteve 1,96% de desvio e tempo de processamento de 0,01 segundos com o cruzamento 1P, enquanto a gr24 obteve desvio de 2,20% e tempo de processamento de 0,04 segundos, utilizando-se o cruzamento 2P.

A instância gr48 encontrou bom desempenho com a utilização do cruzamento 1P, chegando a 3,45% de desvio da solução ótima em 0,04 segundos. Para instâncias mais complexas, como a pr107, apesar de chegar a um desvio de 2,98% da solução ótima, utilizando-se a estratégia de cruzamento 2P, o tempo computacional foi de 22,08 segundos.

Tabela 9 – Desvios da solução ótima e tempo de processamento (Segundos)

(Continua)

Referência	n	1P	Instância / s	2P	Instância / s	PM	Instância / s
br17	17	0,02	0,00118	0,05	0,00294	0,02	0,00118
gr17	17	0,02	0,00118	0,06	0,00353	0,03	0,00176
gr21	21	0,01	0,00048	0,04	0,00190	0,01	0,00048
gr24	24	0,02	0,00083	0,04	0,00167	0,01	0,00042
ftv38	39	0,04	0,00103	0,09	0,00231	0,03	0,00077
Dantzig42	42	0,03	0,00071	0,11	0,00262	0,03	0,00071
gr48	48	0,04	0,00083	0,08	0,00167	0,04	0,00083
ry48p	48	0,04	0,00083	0,07	0,00146	0,04	0,00083
eil51	51	1,87	0,03667	2,75	0,05392	1,55	0,03039

Tabela 9 – Desvios da solução ótima e tempo de processamento (Segundos)

(Continuação)

Referência	<i>n</i>	1P	<i>Instância / s</i>	2P	<i>Instância / s</i>	PM	<i>Instância / s</i>
Brazil58	58	0,06	0,00103	0,14	0,00241	0,05	0,00086
ftv64	65	0,09	0,00138	0,22	0,00338	0,07	0,00108
pr76	76	6,93	0,09118	7,79	0,10250	6,68	0,08789
gr96	96	15,57	0,16219	16,7	0,17396	15,11	0,15740
kroC100	100	17,12	0,17120	18,26	0,18260	17,81	0,17810
pr107	107	22,08	0,20636	23,6	0,22056	21,09	0,19710
Bier127	127	43,6	0,34331	45,61	0,35913	43,62	0,34346
Kroa150	150	83,27	0,55513	83,28	0,55520	84,12	0,56080
Média		11,22	0,09268	11,7	0,09834	11,19	0,09200

Fonte: Elaborada pelo autor.

Outro ponto de destaque observado na (TABELA 9), é que de maneira geral, à medida que o valor de *n* cresce, as soluções são menos eficientes tanto em relação ao desvio da solução ótima quanto ao tempo de processamento do programa, independente da estratégia de cruzamento adotada. Analisando a média dos desvios por tipo de cruzamento, observa-se que o cruzamento 2P obteve o melhor resultado desvio de 8,36%, seguido do cruzamento 1P com 9,69%, e por fim, o cruzamento PM com 10,89%.

5.2 AG Aplicado ao problema prático

Os testes realizados possuem como propósito, auxiliar na roteirização dos instaladores da empresa SS Solução a fim de minimizar as distâncias percorridas diariamente pelos instaladores e consequentemente melhora na qualidade dos serviços e mais capacidade de atendimento, pois gastarão menos tempo com deslocamentos.

Algumas premissas devem ser consideradas para gerar a roteirização dos instaladores para que possamos dar continuidade no trabalho, que são:

- todos os instaladores saem para executar as rotas, da base e após o término o mesmo deve retornar a base; e
- os contratos devem ser executados de acordo com a sua janela de tempo, ou seja, se o contrato é do turno da manhã, o instalador deverá está na casa do cliente até às 12h e do turno tarde até às 18h.

Como forma de comparação, foram estabelecidos dois tipos de roteirização: “A” e “B”, elas servirão como um balizador que contemplará as premissas e restrições que serão

aplicadas as rotas geradas pelo AG, a roteirização “A” basicamente segue a rota proposta pelo AG de maneira linear e a “B” primeiro gera clusters e só a partir daí que se gera a rota do AG, assim poderemos mensurar qual a melhor estratégia e consequentemente menos impacte na boa rota proposta pelo AG.

5.2.1 Roteirização A

A roteirização “A” segrega os contratos de acordo com o seu turno, ou seja, o dia é dividido entre contratos da manhã e tarde, de modo que só pode ser feito os contratos da tarde após a conclusão dos contratos da manhã, garantindo dessa forma a janela de tempo do PRVJT e só após isso é que se aplica o AG para gerar a rota, aplicado em um turno por vez, gerando rotas para o turno da manhã e rotas para o turno da tarde.

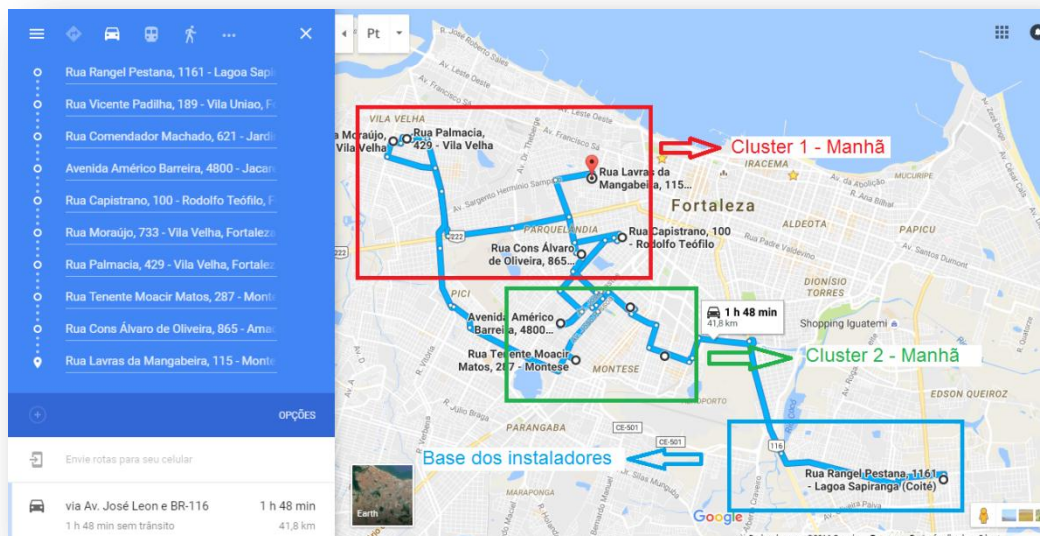
Feito as rotas, entra a última restrição, que é a capacidade de atendimento dos instaladores, pois um único instalador não consegue realizar todos os contratos e por consequente, toda a rota, necessitando assim de ir alocando os contratos da rota apresentada pelo AG aos técnicos de acordo com uma fila, no qual o instalador 1 vai recebendo os contratos até aonde a sua capacidade de instalação ser completamente preenchida, concluída a sua capacidade, é passado para o instalador 2 e assim sucessivamente até o último instalador, ou atender por completo todos os contratos da turno.

5.2.2 Roteirização B

A roteirização B também segrega os contratos de acordo com o seu turno, assim como na roteirização A e, também aplica o AG para gerar a rota. A diferença é que na roteirização B, antes de aplicar o AG, são feitos dois clusters, respectivamente 1 e 2. Esses clusters têm o intuito de compactar mais os clientes de modo a evitar que o AG gere rotas com deslocamentos demasiadamente grandes por conta das distâncias dos clientes, tendo os clusters, o AG trabalhará teoricamente evitando grandes deslocamentos.

Os clientes/contratos são classificados como cluster 1 ou 2 de acordo com aglutinação de suas posições no mapa, de modo que não existe uma região fixa para o cluster 1 ou para o 2, vai depender da localização dos contratos daquele dia. Na (FIGURA 15) segue a imagem de determinada rota gerada:

Figura 15 – Rota com Clusters



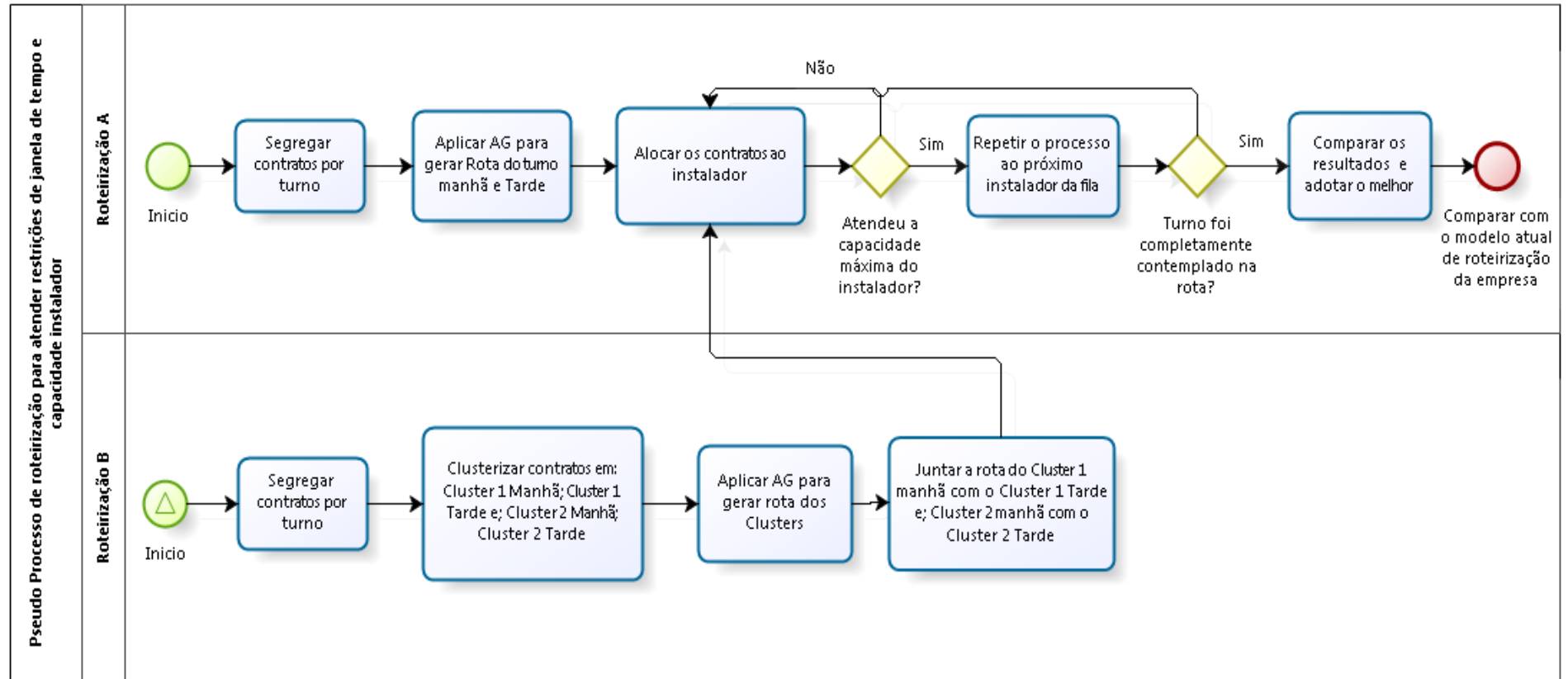
Fonte: Elaborada pelo autor

Percebam que há na imagem o *Cluster 1* manhã e o 2 manhã, ou seja, essa rota foi traçada apenas para a janela de tempo da manhã, sendo necessário criar uma outra rota de clusters para o turno da tarde.

Outro ponto importante é que o Google maps, ferramenta usada exaustivamente nesse trabalho para ter um apoio visual nas rotas e também na mensuração das distâncias das rotas, não disponibiliza mais do que 10 campos de rota por vez, ou seja, esse quadro não contempla todos os clientes dessa rota, no qual foi necessário abrir outras janelas do Google maps para traçar o restante dos clusters.

Concluída as respectivas “clusterizações” 1 e 2 dos turnos manhã e tarde, todo o processo restante desse passo a passo para auxiliar o AG a atender as restrições adicionais do problema, todo o restante dos passos são iguais ao da Roteirização A. Na (FIGURA 16), segue a ilustração desses processos:

Figura 16 – Pseudo processo para atender restrições de janela de tempo e capacidade dos instaladores



Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2.3 Capacidade dos instaladores

A ideia de se ter dois tipos de roteirização se dá pelo fato de que a rota não pode ser executada em sua plenitude como apresentada pelo AG, haja em vista que no problema real, precisam-se atender as restrições de janela de tempo e capacidade do instalador, gerando várias quebras de rotas, pois à medida que um técnico tem sua capacidade toda preenchida, é quebrada a rota e essa quebra gera uma saída de mais um instalador da base para atender essa demanda.

Essa saída da base gera um maior deslocamento do que se o primeiro instalador fosse executar a rota, afinal o mesmo estaria seguindo a rota do AG e essa rota é melhor parametrizada, ou seja, toda vez que a capacidade de um instalador é atingida, toda a rota é penalizada por conta que um novo instalador sairá da base gerando um deslocamento maior do que se tivesse feito pelo instalador anterior.

Sabendo que a capacidade dos instaladores impacta diretamente na rota do AG, é necessário ter o entendimento de como esse processo funciona de maneira que no seu pleno entendimento, possam gerar estratégias a fim de mitigar os impactos na rota do AG.

A capacidade de instalação por homem (Instalador) será medida nesse caso em minutos, ou seja, saber quantos minutos são necessários para instalar determinado serviço. A título de elucidação, segue abaixo a (TABELA 10) com os tempos médios para a instalação dos contratos por tipo de serviço:

Tabela 10 – Tempo médio de execução dos contratos

CÓD.	SERVIÇOS	TEMPO (min)
Desc	DESCONEXÃO	30
Rein	REINSTALAÇÃO	105
Mud. End	MUDANÇA DE ENDEREÇO	105
Ads	ADESÃO	105
Mud. Pac	MUDANÇA DE PACOTE	30
Ret. Cred	RETORNO DE CREDENCIADA	60
Vist. Paytv	VISTORIA PAYTV	20
Chip	ENVIO CHIP VIA TECNICO	10
Ret. Equip	RETIRAR EQUIPAMENTO	20

Fonte: Elaborada pelo autor.

Essas informações foram repassadas pelo supervisor de campo da empresa, através de mensuração que o mesmo já havia feito a fim de alocar os contratos com mais

assertividade aos instaladores e evitar que alguns desses contratos não sejam instalados por erros no dimensionamento demasiado de serviços para o instalador.

Outro fator importante para a execução dos serviços são as disponibilidades por minuto que cada instalador possui por turno. Pois isso ajuda a contemplar quantos serviços determinado instalador pode executar por turno.

Tabela 11 – Capacidade instaladores

Itens	Disponibilidade por turno em minutos (instalador)	Fórmula
A	MANHÃ	240
B	TARDE	300
C	Sub Total	540 =A+B
D	Trânsito*	41
E	Disponibilidade total	499 =C-D
F	Disponibilidade manhã	220 =E x 44%
G	Disponibilidade tarde	279 =E x 56%**

* Tempo médio gasto pelos instaladores no trânsito

** Proporção representativa do turno da manhã em função ao tempo total do dia

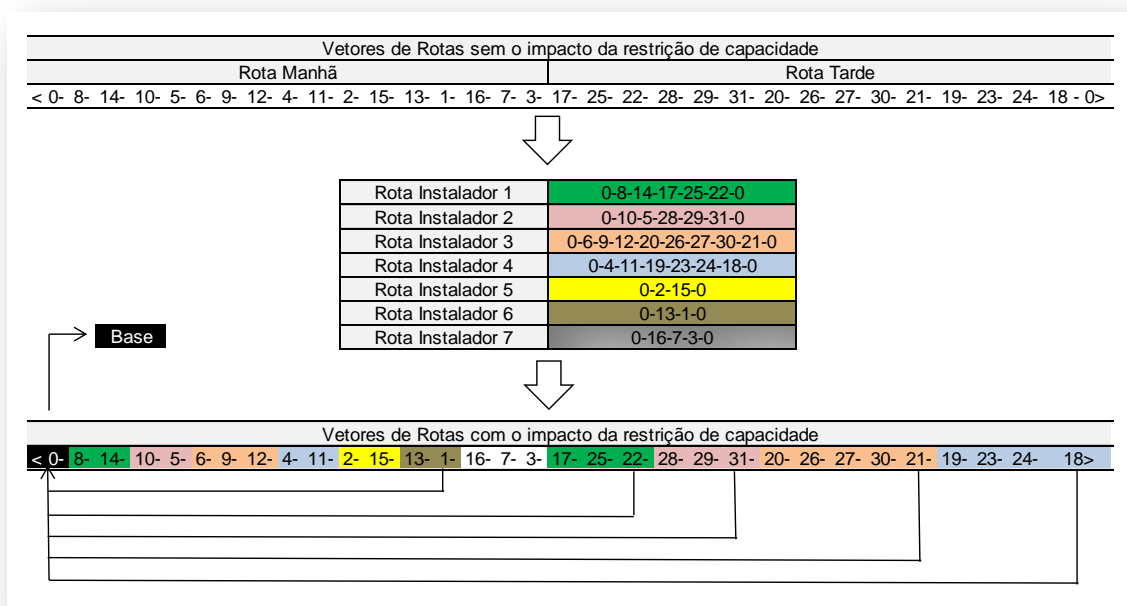
Fonte: Elaborada pelo autor

O turno da manhã é mais curto do que o da tarde, tendo em vista que o mesmo se inicia às 08h e vai às 12h, enquanto o da tarde vai de 13h às 18h, tendo cada um disponível respectivamente 240 minutos e 300 minutos. Após descontar o tempo médio de trânsito esses valores caem ainda mais, diminuindo a capacidade de instalação.

5.2.4 Impacto das restrições de janela de tempo e capacidade sobre a rota do AG

Como vimos anteriormente às restrições do problema impactam diretamente o AG na resolução de boas soluções para o problema, mas até então não sabemos o quanto isso realmente impacta de mudança da rota original. Abaixo segue a (FIGURA 17) com a rota traçada pelo AG referente ao dia 07/03 e uma visão de como ficou a rota após inserir as restrições.

Figura 17 – Impacto das restrições no AG



Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisando o quadro acima percebe-se que o instalador 1, por exemplo, realizou nesse dia 5 contrato com os seus respectivos serviços, dos quais 3 estão concentrados no período da tarde, devido a sua maior disponibilidade de capacidade produtiva nesse período, como vimos anteriormente, e isso ocorre praticamente com todos os instaladores, exceto com o instalador 5, no qual não houve a necessidade de acionar o mesmo para atender a rota.

O instalador 5 teve a sua tarde com total disponibilidade, o que mostra que o AG não só foi eficiente em gerar uma rota melhor, como será visto mais a frente, mas também garante ganhos de produtividade dos instaladores, podendo garantir que a empresa possa solicitar mais contratos junto a NET, afinal a mesma tem mais capacidade produtiva por ter uma rota otimizada.

5.2.5 AG (Roteirização A x Roteirização B) VS Rota Atual

Ainda referente ao dia 07/03 tem-se uma prévia da apuração de qual melhor método para apoiar o AG no problema dos instaladores. Ambos os modelos tiveram nesse dia desempenho melhor que a modelo de rota atual da empresa, o que já mostram os bons

resultados que o AG pode proporcionar. Seguem abaixo as (TABELAS 12, 13 e 14) das apurações das rotas:

Tabela 12 – Resultado prévio Roteirização A

Matriz de distâncias (KM) Roteirização A							Total
Rota AG	Base - C1	C1 - C2	C2 - C3	C3 - C4	...	Cn - Base	322,15
0-8-14-17-25-22-0	10	3,1	5	1,2	7,2	13,2	
0-10-5-28-29-31-0	19,8	8,2	4,3	4,4	3,7	14,3	
0-6-9-12-20-26-27-30-21-0	13	4	10,7	8	11,5	12,6	
0-4-11-19-23-24-18-0	14,7	4,3	0,95	9,3	17,1	19,7	
0-2-15-0	10,5	2				12,8	
0-13-1-0	15,8	7				11,8	
0-16-7-3-0	12,8	3,3	6,2			19,7	

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 13 – Resultado prévio Roteirização B

Matriz de distâncias (KM) Roteirização B							Total
Rota -Cluster 1	Base - C1	C1 - C2	C2 - C3	C3 - C4	...	Cn - Base	174,2
0 - 1 - 2 - 14 - 15 - 12 - 0	19,6	0,45	5,8	2,8	0,15	16,7	
0 - 4 - 5 - 11 - 13 - 0	18,3	7	4,9	3,7	21,1		
0 - 7 - 8 - 16 - 0	12,9	1,5	8,1	21,2			
0 - 10 - 6 - 9 - 3 - 0	9,4	3,6	0,9	2	14,1		Total
Rota - Cluster 2	Base - C1	C1 - C2	C2 - C3	C3 - C4	...	Cn - Base	101,75
0 - 4 - 6 - 7 - 9 - 11 - 0	11,6	1	2,6	1,4	4,7	13,2	
0 - 2 - 3 - 10 - 8 - 13 - 0	10,1	2	2,8	1,2	3,2	15,4	Total 1+ 2
0 - 5 - 1 - 12 - 15 - 14 - 0	10,5	4,2	0,55	2,2	2	13,1	275.95

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 14 – Resultado prévio do Modelo de Roteirização Atual

Matriz de distâncias (KM) Roteirização Atual							Total
Rota Atual	Base - C1	C1 - C2	C2 - C3	C3 - C4	...	Cn - Base	340,2
0 - 1 - 2 - 17 - 18 - 0	9,8	2	4,6	5,2		19,7	
0- 3 - 4 - 19 - 20 -21 -0	15,3	0,6	4,9	8,2	1,6	14	
0 - 5 - 22 - 0	13,4	1,8				13,2	
0-6-23-24-0	11,8	6	6,9			10,5	
0-7-8-25-0	10,6	3,3	3,9			15,6	
0-9-10-26-27-0	10,2	11,2	5,7	1,5		15,4	
0-11-12-28-29-0	18,9	0,3	9,5	4,2		12,8	
0-13-14-30-31-0	13,9	2,8	5,3	1,8		14,3	
0-15-16-0	11,6	3,5				14,4	

Fonte: Elaborada pelo autor.

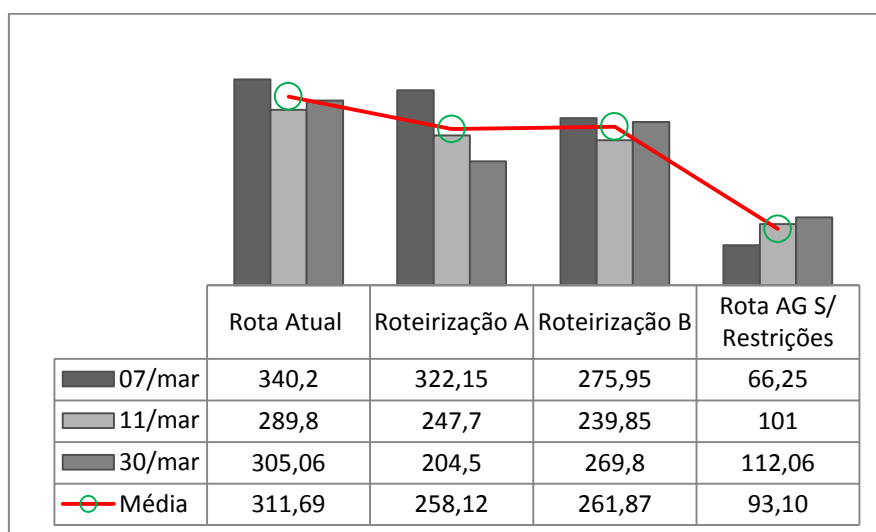
Nesse primeiro momento a Roteirização B foi mais eficiente, conseguiu realizar uma rota mais eficiente em 146 km do que a Roteirização A. Sobre o modelo de rota atual da empresa também foi significativo, conseguiu aproximadamente 65 km a menos, e como vimos anteriormente, usando menos recursos de instaladores, tendo em vista que no modelo de rota atual, foram usados 9 instaladores (Pois foram geradas 9 rotas, vide a tabela) para realizar a mesma rota e em ambos os modelos de AG foram usados 7 instaladores.

5.3 Aplicação do AG ao problema prático

Para resolução deste trabalho foram escolhidos três dias distintos do mês de março de 2016, com 2 instâncias com o mesmo tamanho (Dias 11 e 30), com $n = 24$ e, 1 instância com $n = 31$ (Dia 07) com o intuito de mensurar os resultados da atual roteirização com os resultados depois da aplicação do Algoritmo Genético.

Após toda a coleta dos dados, tratamento, organização, análise e compilação dos resultados, foi observado que ambos os métodos propostos para apoiar o Ag foi melhor que a rota atual e, a título de comparação, adicionei ao gráfico o resultado das mesmas rotas sendo executadas pelo mesmo AG, mas sem as restrições de janela de tempo e capacidade de instalação. Feito isso, percebe-se o quão menor seria a rota, mesmo passando em todos os clientes. Segue abaixo o comparativo entre os dois modelos de AG, Rota atual e AG sem restrições:

Gráfico 5 – Comparação entre o desempenho das rotas (Km)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Caso a rota não houvesse sido particionada para atender as restrições de janela de tempo e capacidade dos instaladores, teríamos resultados ainda melhores com a aplicação do AG. Sobre os dados apresentados na tabela podem-se ponderar as seguintes questões:

- a) ambos os modelos aplicados, A e B, foram superiores ao modelo atual de roteirização;
- b) a roteirização B foi melhor em 2 dias, porém a média de A é melhor; e
- c) roteirização sem restrições foi adicionada com o intuito de impactar o leitor na percepção de que apesar de termos conseguido uma melhora significativa na resolução dos problemas, o mundo real é um muito mais complicado do que podemos imaginar e, ainda temos muito caminho a trilhar.

CAPÍTULO VI

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, são apresentadas as conclusões da dissertação, onde são avaliados os resultados e as realizações alcançadas. Há também sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

Neste trabalho um dos objetivos foi pesquisar e apresentar abordagens existentes para os problemas de roteamento. No capítulo 3 destacou-se os principais problemas de roteamento assim como uma contextualização sobre a logística.

Ainda sobre o cerne de pesquisa, foi abordado um dos principais problemas da área da pesquisa operacional, o PCV, no qual foram mostradas e ilustradas as suas principais variações, modelagem matemática, várias instâncias da biblioteca TSPLIB e sua evolução no tempo.

No Capítulo 2 foi apresentado um panorama do setor de telecomunicações, a atuação da ANATEL perante os operadores de telecomunicações e os desafios futuros para esse setor que tanto cresce. Sobre o setor de telecomunicações percebe-se que há muitas possibilidades, tanto na boa prestação dos serviços como em uma atuação mais próxima do cliente por parte da ANATEL, apesar de ela já ter atualmente vários mecanismos para fiscalizar os operadores, multar e até extirpá-los do mercado se for o caso. Foram mostradas várias regulações que a ANATEL faz aos operadores e essas regulações são internalizadas e cumpridas por parte desses operadores com o intuito de se adequar a norma e evitando glosas.

Foi desenvolvido, implementado, testado e validado um Algoritmo Genético para a resolução do estudo de caso, em que este teve um bom desempenho, gerando rotas melhores que o modelo atual de roteirização, mesmo tendo vários complicadores de restrição. Sobre o AG aqui implementado, pode-se destacar que o mesmo teve um bom desempenho perante as boas heurísticas, com a resolução das instâncias avaliadas do PCV em tempo computacional aceitável, e nesse quesito, tempo, o mesmo teve até um desempenho superior em várias instâncias, mostrando assim sua eficácia.

Ainda sobre a qualidade do AG aqui trabalhado, como foi dito anteriormente o mesmo gerou rotas melhores que o atual modelo de roteirização, mas tem-se que destacar que a medida que a quantidade de visitas aumentam, melhores resultados o AG virá a alcançar

perante a roteirização atual, haja vista que no modelo atual quem realiza a roteirização é o supervisor de operação da Empresa, ou seja, quanto maior o número de rotas, as soluções geradas de forma manual tendem a ser piores por conta da alta complexidade do problema.

Sobre a comparação dos resultados, em nenhum dos dias estudados o AG foi pior que o atual modelo de roteirização e, isso se traduz com ganhos médios de mais de 50 km por dia com o modelo proposto, representando uma economia mensal de mais de 1500 km, poupando tempo, combustível, trânsito e uma melhor alocação dos recursos de instaladores. Houve também um ganho médio de 2 instaladores por dia. Quando diz-se “mais que 2”, é porque houve casos de 1 instalador só trabalhar em um turno tendo disponibilidade de receber mais demanda e outros instaladores, mesmo tendo realizado serviços nos dois turnos, ainda havia capacidade ociosa. Desta forma, os ganhos se traduzem na rota e na melhor alocação dos recursos, podendo a empresa ter um volume maior de contratos a realizar sem que seja necessário aumentar o seu quadro de colaboradores, ou mesmo que aumente o seu quadro de colaboradores por conta do aumento da demanda (caso ela solicite mais contratos a NET), ela pode vir a ter certeza que está trabalhando com uma solução muito próximo do ótimo.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

O presente trabalho teve como objetivo a implantação de um Algoritmo Genético para solucionar um problema de roteamento de veículos dos instaladores da empresa SS Telecomunicações, gerando rotas mais eficientes e por consequente utilizando os recursos de forma mais eficiente. Devido à importância deste problema, tanto para as organizações privadas, como para a sociedade, seguem abaixo, sugestões para trabalhos futuros:

- a) desenvolver AG que contemple as restrições de capacidade de instalação e janela de tempo. Na Janela de Tempo, de modo que o algoritmo possa identificar como foi executado a rota da manhã e a partir dessa informação gerar a rota da tarde de acordo com a atual localização de cada instalador e; Capacidade de instalação, na questão de permutar um determinado serviço em prol de outro, para analisar se isso deixaria a rota melhor e também preencheria por completo a capacidade produtiva do instalador.
- b) aplicar os métodos de P.O a fim de otimizar a escala de trabalho dos instaladores de acordo com a demanda de serviços e as rotas traçadas em determinados dias.

- c) desenvolver nova aplicação do operador de mutação dos AG`s, tendo em vista a importância do mesmo junto a diversificação da população e fuga dos ótimos locais.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Index of /dados/Acessos/Comunicacao_Multimidia/Total/csv**. Disponível em: <http://ftp.anatel.gov.br/dados/Acessos/Comunicacao_Multimidia/Total/csv/>. Acesso em 21/02/2015a.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Banda Larga Fixa**: Dezembro de 2015 fecha com 25,57 milhões de acessos. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/institucional/index.php/component/content/article?id=957>>. Acesso em 21/02/2015b.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Resolução nº 574, de 28 de outubro de 2011**: Regulamento de gestão da qualidade do serviço de comunicação multimídia. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2011/57-resolucao-574#art25>>. Acesso em 23/02/2016c.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Plano estratégico da ANATEL**. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=327138&pub=original&filtro=1&documentoPath=327138.pdf>>. Acesso em 23/02/2015d.
- ARENALES, Marcos *et al.* **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BENTO, E. P.; KAGAN, N. **Algoritmos genéticos e variantes na solução de problemas de configuração de redes de distribuição**. SBA. Sociedade Brasileira de Automática, v. 19, p. 302-315, 2008.
- BERBEGLIA, G. ; Cordeau, J.; Laporte, G. . **Dynamic pickup and delivery problems**. In: European Journal of Operational Research, 2009.
- BONA, A. de Andrei. **Algoritmo de Otimização Combinatorial: Uma Proposta Híbrida Utilizando Algoritmos *Simulated Annealing* e Genético em Ambiente Multiprocessado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; **Logística Empresarial: O processo de integração da cadeia de suprimentos**. São Paulo. 2001
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D.J. **Logística empresarial: O processo de integração da cadeia de suprimento**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- BOWERSOX, Donald J. **LOGÍSTICA EMPRESARIAL: O PROCESSO DE INTEGRAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTO**. Donald J. Bowersox, David J Closs. 1ª edição. São Paulo: Atlas, 2007.
- BURIAN, R. **Algoritmos Genéticos na Alocação de Dispositivos de Proteção de Distribuição de Energia Elétrica**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

CAMPELLO, R; MACULAN, N. Algoritmos e heurísticas. Rio de Janeiro. Editora da Universidade Federal Fluminense, 1994.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais**. São Paulo: Cortez, 1998.

CHRISTOPHER, M. **A Logística do Marketing: otimizando processos para aproximar fornecedores e clientes**. 4. ed. São Paulo: Futura, 1999.

COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CUNHA, C.B., *et al.* **Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante**. In: XVI Congresso da Anpet. Anais, 2002.

DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H.. **The truck dispatching problem**. Management Science. v.6, n.1, 80-91, out. 1959. ISSN 0025-1909.

FLEURY, P.F., FIGUEIREDO, K., WANKE, P. (org.). **Logística Empresarial: A Perspectivas Brasileira**. Coleção COPPEAD de Administração. São Paulo: Atlas, 2000.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.

GOLDBERG, D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Reading, MA: Addison Wesley, 1989.

GOMES, Carlos Francisco Simões; RIBEIRO, Priscila Cristina Cabral. **Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, F.R.S. **Aplicação da Metaheurística Tabu Search na Otimização de Rotas de Manutenção Preventiva em Campo**. Fortaleza. Universidade Federal do Ceará. Dissertação (Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional), 2011.

GOULART JÚNIOR, R. **Custeio e Precificação no ciclo de vida das empresas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2000.

HOLLAND, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Cambridge, MA: MIT Press. First edition, University of Michigan Press, 1975.

INFORMATION GEOGRAPHIES. **Internet Population and Penetration**. Disponível em: <<http://geography.oii.ox.ac.uk/?page=internet-population-and-penetration>>. 2011. Acesso em 21/02/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E TRIBUTAÇÃO – IBPT. **Carga tributária brasileira é quase o dobro da média dos BRICS**. Disponível em: <<http://www.ibpt.com.br/noticia/1443/Carga-tributaria-brasileira-e-quase-o-dobro-da-media-dos-BRICS>>. Acesso em 20/04/2016.

MAZZUCCO, J. **Uma Abordagem Híbrida do Problema da Programação da Produção através dos Algoritmos Simulated Annealing e Genético**, Tese de Doutorado, Florianópolis-SC: PPGE/UFSC, 1999.

MICHALEWICZ, Z.; BAECK, T.; FOGEL, D. B. **Handbook of Evolutionary Computation**. Editora Taylor & Francis. USA, 1997.

MILANO, M.; ROLI, A. **Magma: a multiagent architecture for metaheuristics**. *IEEE Transaction on Systems Man and Cybernetics*, v. 34, n. 2. 2004.

MITCHELL, M. **An Intoduction to genetic algorithms**. Cambridge: MIT Press, 1998.

MOURA, R. A. *et al.* **Atualidades na Logística**. Volume 2. São Paulo: IMAM, 2004.

PEIXOTO, A. B. G. **O Problema De Inspeções Na Rede De Distribuição De Energia Elétrica: Uma Abordagem Evolutiva**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2014.

PRESTES, A. N. **Uma Análise Experimental de Abordagens Heurísticas ao Problema do Caixeiro Viajante**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2006.

REEVES, C. R. **Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems**, McGraw-Hill, London, 1995.

REINELT, G. **TSPLIB**: biblioteca de instâncias para o PCV. Disponível em: <<http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/>> Acesso em 29/02/2016.

SANTOS, J.P.Q. **Uma Implementação Híbrida para o Problema do Caixeiro Viajante Usando Algoritmos Genéticos, GRASP e Aprendizagem por Esforço**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFRN (área de concentração: Engenharia da Computação). Natal, 2009.

SILVA, B.C.H. **Otimização de Rotas Utilizando Abordagens heurísticas em um Ambiente Georeferenciado**. Fortaleza. Universidade Estadual do Ceará. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação), 2013.

SILVA, J.L.C. **Uma heurística aplicada ao problema do caixeiro viajante**. In: *XXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)*, 2005, Gramado-RS, pp.1298-1306, 2005.

SOLOMOM, M. M. **Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints**. *Operations Research* Vol. 35, pp. 254–265. 1987.

SUBRAMANIAN, A.; Penna, P. H. V.; Uchoa, E.; Ochi, L. S.. **A Hybrid Algorithm for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem**. *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, 2011.

TANOMARU, J. **Motivação, Fundamentos e Aplicações de Algoritmos Genéticos**. II

Congresso Brasileiro de Redes Neurais, p. 373-403, Curitiba-PR, 1995.

UNIVERSIDADE WATERLOO. **Optimal 85.900 city tour**. Disponível em:
<<http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/pla85900/index.html>>. Acesso em 29/02/2016.

VIANA, Gerardo V. R. **Meta-heurísticas e Programação Paralela em Otimização combinatória**. Fortaleza: EUFC, 1998, 250 p.

ANEXO A – COORDENADAS GEOGRÁFICAS DAS ROTAS.

Coordenadas Geográficas das Rotas						
Clientes	07/mar	Turno	11/mar	Turno	30/mar	Turno
1	-3.763911, -38.537054	M	-3.754941, -38.542840	M	-3.722062, -38.571242	M
2	-3.753360, -38.544441	M	-3.732813, -38.540848	M	-3.830767, -38.488364	M
3	-3.720888, -38.564694	T	-3.744936, -38.538708	T	-3.791794, -38.462018	M
4	-3.723137, -38.561307	T	-3.752690, -38.539399	T	-3.799915, -38.472330	T
5	-3.756984, -38.559425	M	-3.844612, -38.576303	T	-3.757372, -38.551141	T
6	-3.738597, -38.546075	M	-3.756334, -38.531749	M	-3.749414, -38.555297	M
7	-3.753363, -38.538958	T	-3.737560, -38.570255	M	-3.754034, -38.563454	T
8	-3.758904, -38.557775	T	-3.746332, -38.564055	T	-3.731584, -38.555066	M
9	-3.762289, -38.538145	T	-3.776251, -38.571319	M	-3.734317, -38.542992	T
10	-3.718096, -38.595293	M	-3.763936, -38.567730	M	-3.764221, -38.560593	T
11	-3.717315, -38.589937	T	-3.776940, -38.571747	T	-3.738015, -38.564608	T
12	-3.717574, -38.592247	M	-3.726670, -38.552705	M	-3.752282, -38.549233	M
13	-3.718329, -38.550968	T	-3.806849, -38.517983	T	-3.712362, -38.601240	M
14	-3.723663, -38.560715	T	-3.761955, -38.563881	T	-3.774982, -38.570050	T
15	-3.764886, -38.556021	M	-3.722927, -38.544895	M	-3.753853, -38.547028	T
16	-3.742189, -38.554843	M	-3.750415, -38.552133	T	-3.728783, -38.501191	M
17	-3.726027, -38.552659	M	-3.739655, -38.542741	T	-3.730480, -38.500770	T
18	-3.727811, -38.591896	M	-3.745771, -38.564716	M	-3.718275, -38.549269	T
19	-3.713056, -38.594739	T	-3.771128, -38.542798	T	-3.708998, -38.591992	M
20	-3.742705, -38.546782	M	-3.760120, -38.551516	T	-3.760021, -38.563065	T
21	-3.732937, -38.545262	M	-3.740885, -38.545528	M	-3.747282, -38.490254	T
22	-3.765923, -38.560968	T	-3.753596, -38.544441	M	-3.741793, -38.591378	M
23	-3.774130, -38.564975	T	-3.729420, -38.487220	M	-3.741071, -38.568706	M
24	-3.751548, -38.526800	M	-3.741092, -38.568242	T	-3.763260, -38.554502	T
25	-3.740450, -38.564992	M				
26	-3.741081, -38.568253	T				
27	-3.750471, -38.563174	T	Base: Rua Rangel Pestana, 1161 - Lagoa Sapiiranga		-3.790298, -38.477369	
28	-3.740380, -38.533866	M				
29	-3.768608, -38.549104	M				
30	-3.757155, -38.547945	T				
31	-3.750827, -38.554728	T				

Fonte: Elaborada pelo autor.

ANEXO B – ROTA AG SEM RESTRIÇÕES.

07/mar		11/mar		30/mar	
Rota	km	Rota	km	Rota	km
0 - 1	9,9	0 - 8	14,1	0 - 1	16,8
1 - 9	0,3	8 - 16	2	1 - 18	3,3
9 - 30	1,6	16 - 14	2,6	18 - 8	2,5
30 - 2	0,8	14 - 10	0,65	8 - 9	2
2 - 7	0,85	10 - 9	1,9	9 - 16	6,2
7 - 24	2,6	9 - 11	0,15	16 - 17	0,26
24 - 28	2,5	11 - 5	11,2	17 - 21	3,4
28 - 20	2,1	5 - 13	9,9	21 - 3	8,5
20 - 6	0,65	13 - 19	8,3	3 - 4	2,2
6 - 21	0,9	19 - 20	2,3	4 - 2	5,3
21 - 17	2	20 - 22	1,5	2 - 14	15,9
17 - 13	1,3	22 - 1	0,35	14 - 10	2,4
13 - 14	2,8	1 - 4	0,55	10 - 20	0,7
14 - 4	0,15	4 - 6	1,6	20 - 7	1,1
4 - 3	0,6	6 - 23	8,3	7 - 24	2,4
3 - 11	3,7	23 - 3	8,3	24 - 5	0,85
11 - 12	0,3	3 - 21	1,2	5 - 15	0,85
12 - 19	0,8	21 - 17	0,7	15 - 12	0,4
19 - 10	0,65	17 - 2	1	12 - 6	0,9
10 - 18	1,5	2 - 15	1,7	6 - 11	2,3
18 - 26	4,5	15 - 12	1,7	11 - 23	0,7
26 - 25	0,55	12 - 7	3,7	23 - 22	4,8
25 - 16	1,5	7 - 24	0,55	22 - 13	4,7
16 - 31	1,3	24 - 18	0,75	13 - 19	1,8
31 - 27	1,3	18 - 0	16	19 - 0	21,8
27 - 5	1,1				
5 - 8	0,3				
8 - 15	0,9				
15 - 22	0,8				
22 - 23	1,2				
23 - 29	2,7				
29 - 0	14,1				
Total KM	66,25	Total KM	101	Total KM	112,06

Fonte: Elaborada pelo autor