



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

FRANCISCO ANDERSON SANTOS DA ROCHA

**ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE ESCOLAR RURAL NA CIDADE DE  
PARACURU**

FORTALEZA  
2013

**FRANCISCO ANDERSON SANTOS DA ROCHA**

**ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE ESCOLAR RURAL NA CIDADE DE  
PARACURU**

Monografia submetida à Coordenação do curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

**Orientador:** Prof. Dr. Rogério Teixeira Mâsih.

FORTALEZA  
2013

R672r

Rocha, Francisco Anderson Santos da  
Roteirização do transporte escolar rural na cidade de  
Paracuru / Francisco Anderson Santos da Rocha. – 2013.  
82 f., enc. ; il. ; 30 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará,  
Fortaleza, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Teixeira Mâsih.

1. Transporte escolar rural. 2. Técnicas de roteirização.  
3. Logística. I. Título.

CDD 658.78

**FRANCISCO ANDERSON SANTOS DA ROCHA**

**ROTEIRIZAÇÃO DO TRANSPORTE ESCOLAR RURAL NA CIDADE DE  
PARACURU**

Monografia submetida à Coordenação do curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

**Orientador:** Prof. Dr. Rogério Teixeira Mâsih.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Rogério Teixeira Mâsih (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. PhD. João Bosco Furtado Arruda  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Heráclito Lopes Jaguaribe Pontes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A minha tia Vanderlane, meu pai Francisco, minha avó Valderi, meu irmão Atila, meu primo Emanuel e meu tio Reinaldo por terem compartilhado comigo o sonho de me tornar um Engenheiro.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por estar sempre comigo em todas as horas difíceis da minha vida.

Aos meus tios, Vanderlane e Reinaldo pelo amor dado e pelo apoio e suporte sempre que precisei.

Aos meus pais, Francisco Carlos e Keyla pelo carinho e apoio.

Ao meu irmão, Atila, pelo companheirismo em todos os momentos.

Ao meu primo, Emanuel que sempre esteve do meu lado.

Aos meus avós, Valderi e Luiz pelo carinho e atenção.

Ao meu tio Marcos Vinicius pelo apoio.

Aos meus professores do ensino médio Anilton e Netinho.

Ao professor Rogério Mâsih pelo apoio e orientação no desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores Dr. Heráclito Lopes Jaguaribe Pontes e PhD. João Bosco Furtado Arruda, por terem participado da banca examinadora e contribuindo com o trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia de Produção pelo conhecimento transmitido.

A Prefeitura de Paracuru, pela oportunidade de realizar o trabalho.

A todos os amigos da minha turma que sempre colaboraram e incentivaram nas dificuldades.

## RESUMO

Uma básica definição de transporte escolar consiste, geralmente, em fazer com que estudantes cheguem à rede de ensino diariamente. No interior do Ceará a situação não é diferente da dos demais estados do Brasil, que têm como ponto em comum a precariedade da frota, a insegurança no transporte dos alunos, a falta de infraestrutura, dentre outros aspectos que prejudicam o acesso de alunos provenientes da área rural às unidades de ensino. Neste trabalho, busca-se melhorar o nível de serviços do transporte escolar rural no Município de Paracuru através de técnicas de roteirização. A metodologia de trabalho adotada neste estudo é do tipo descritiva em relação aos objetivos, mediante as pesquisas bibliográficas, pesquisa documental e estudo de caso. As análises realizadas mostraram que o acesso dos alunos à rede de ensino da zona rural ainda é um pouco complicado, pois mesmo com a disponibilização de veículos existem dificuldades com relação a infraestrutura de suporte aos alunos. Percebe-se no estudo que o desafio não está simplesmente em transportar alunos, mas na necessidade de melhorar o nível de serviços, oferecendo aos estudantes boas condições de transporte.

**Palavra-chave:** Infraestrutura. Transporte Escolar Rural. Técnicas de Roteirização.

## **ABSTRACT**

A basic definition of school transport is generally consists in seeing that students arrive at school daily. In Ceará the situation is no different from other states of Brazil, which have as their common point the precariousness of the fleet, lack of security in transporting students, lack of infra-structure, among other aspects which hinder the access of students who come from rural areas have to teaching units. This Paper seeks to improve the level of services to rural school transport in the city of Paracuru through routing techniques. The work methodology adopted in this study is a descriptive type in relation to the objectives, based on bibliographic research, desk research and case study. The analyses showed that students' access to education in rural network is still a bit complicated, because even with the availability of vehicles there are difficulties regarding the infra-structure supporting the students. It is noticed in the study that the challenge is not simply to transport students, but the need to improve the level of services offering students good transport conditions.

**Keywords:** Infra-structure. Rural School Transportation. Routing techniques.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Exemplo do Problema do Caixeiro Viajante.....	27
Figura 2	–	Método da Varredura e sua Evolução.....	34
Figura 3	–	Ilustração do conceito de ganho com a integração de dois clientes em roteiro compartilhado.....	35
Figura 4	–	Vista aérea do Município de Paracuru.....	37
Figura 5	–	Município de Paracuru – Ceará.....	38
Figura 6	–	Linha de transporte escolar da rota 1 do Município de Paracuru.....	42
Figura 7	–	Linha de transporte escolar da rota 2 do Município de Paracuru.....	42
Figura 8	–	Tipos de Pavimento.....	43
Figura 9	–	Tipos de vias.....	43
Figura 10	–	Pontos de embarque/desembarque de estudantes.....	44
Figura 11	–	Vista aérea da rota 1 (parte 1) – Tabuleiro Alegre/Guajiru/Sede.....	45
Figura 12	–	Vista aérea da rota 1 (parte 2) – Tabuleiro Alegre/Guajiru/Sede.....	45
Figura 13	–	Vista aérea da rota 2 – Sede.....	46
Figura 14	–	Veículos utilizados pelas rotas 1 e 2.....	46

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características dos problemas de roteirização pura.....	28
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores Demográficos no Município de Paracuru – 2000 e 2010.....	38
Tabela 2 – Indicadores Demográficos – 2000 e 2010.....	39
Tabela 3 – Número de Domicílios, Média de Moradores/Domicílios – 2000 e 2010.....	39
Tabela 4 – Cálculo dos ganhos da rota 1 (resumo).....	48
Tabela 5 – Cálculo dos ganhos da rota 2 (resumo).....	48
Tabela 6 – Ordenação dos ganhos da rota 1 e início da construção do roteiro (resumo).....	50
Tabela 7 – Ordenação dos ganhos da rota 2 e início da construção do roteiro (resumo).....	50
Tabela 8 – Ordem decrescente de ganhos das rotas 1 e 2.....	51
Tabela 9 – Sequenciamento dos pontos de embarque/desembarque, por rota.....	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	13
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	14
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	14
1.4 METODOLOGIA.....	15
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
<b>2 ROTEIRIZAÇÃO NO TRANSPORTE ESCOLAR RURAL</b> .....	17
2.1 LOGÍSTICA.....	17
2.2 DISTRIBUIÇÃO FÍSICA.....	18
<b>2.2.1 Canais de Distribuição</b> .....	19
<b>2.2.2 Zoneamento</b> .....	21
<b>2.2.3 Transporte Escolar Rural</b> .....	22
<i>2.2.3.1 Tipos de veículos utilizados no transporte escolar</i> .....	23
2.3 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS.....	24
<b>2.3.1 Problemas de Roteirização Pura</b> .....	26
<b>2.3.2 Programação de Tripulação</b> .....	29
<b>2.3.3 Problemas de Programação de Veículos</b> .....	30
2.4 MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO.....	31
<b>2.4.1 Roteirização sem Restrição</b> .....	31
<i>2.4.1.1 Método de Construção de Roteiro</i> .....	31
<i>2.4.1.2 Método de Melhoria de Roteiro</i> .....	32
<b>2.4.2 Roteirização com Restrição</b> .....	32
<i>2.4.2.1 Método da Varredura</i> .....	33
<i>2.4.2.2 Método de Clarke e Wright</i> .....	34
<b>3 ESTUDO DE CASO</b> .....	37
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PARACURU.....	37
3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	40
3.3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	41
<b>3.3.1 Etapa 1: Definição da área de estudo</b> .....	41

<b>3.3.2 Etapa 2: Georreferenciamento da rede viária, escolas e pontos de embarque e desembarque dos alunos.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.3 Etapa 3: Preparo das bases e montagem do banco de dados georreferenciados.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.4 Etapa 4: Definição das restrições de tempo de embarque e capacidade dos veículos.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.5 Etapa 5: Aplicação do Método de Roteirização de Clarke e Wright.....</b>	<b>47</b>
<i>3.3.5.1 Atividade 01: Combinação dois a dois de todos os pontos, e cálculo dos respectivos ganhos.....</i>	<i>47</i>
<i>3.3.5.2 Atividade 02: Ordenação das combinações, seguindo a ordem decrescente dos ganhos.....</i>	<i>49</i>
<i>3.3.5.3 Atividade 03: Inicia-se a construção do roteiro com a combinação dos dois pontos que apresentam o maior ganho, posteriormente vai incluindo as demais combinações de acordo com a sequência decrescente de ganhos.....</i>	<i>49</i>
<i>3.3.5.4 Atividade 4: Para um par de pontos <math>C_iC_j</math> tirado da sequência observa-se os mesmo já estão inclusos em um roteiro iniciado.....</i>	<i>51</i>
<i>3.3.5.5 Atividade 05: Verifica-se a configuração do roteiro, se as restrições do cenário são satisfeitas.....</i>	<i>52</i>
<b>3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>53</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>61</b>
<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE G.....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE H.....</b>	<b>76</b>

## INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Foram diversas as transformações que a humanidade passou ao longo de sua evolução, combinando alguns dos acontecimentos marcantes da identidade de cada povo e de toda uma civilização. O avanço dos transportes está associado a essa evolução, em suas alterações socioeconômicas e processadas em amplo espaço geográfico. Esse é o resultado da inteligência, da capacidade e do esforço do homem, orientado no sentido de um aprimoramento contínuo. Não se pode, no entanto, deixar de destacar o fato de ainda existir muitas dificuldades do passado com relação ao sistema de transporte público; nesse caso, o transporte escolar é um deles (SOUZA, 2009).

O transporte escolar surge como elemento característico importante para a garantia do direito fundamental à educação. Tal essencialidade é que o faz ser alvo de políticas públicas que permitam aos estados e municípios brasileiros a prestação desse serviço.

Vale ressaltar que não basta definir em leis a necessidade de oferta da educação e seus programas adicionais. É necessário gerar instrumentos que tornem realidade as determinações legais e viabilizem a aplicação de diretrizes, os quais possam garantir tanto a prestação apropriada do serviço de transporte escolar à comunidade, quanto o direito de acesso dos alunos às instituições de ensino.

A não aplicação de regras e instrumentos de fiscalização/controle, penalização e estímulo à qualidade, dentre outros elementos, aos prestadores de serviços como o de transporte escolar rural faz com que esses o executem de modo incorreto, ou melhor, do seu próprio interesse. Logo essa situação, aliada, em alguns casos, com uma má remuneração, implica, muitas vezes, em um serviço ineficiente, a falta de renovação da frota, a ausência ou péssimas condições dos equipamentos de segurança, e níveis de pontualidade e regularidade indesejados (LOPES, 2009).

De acordo com o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais - INEP (2005), ao fixar o itinerário para veículos que levam e trazem crianças deve-se evitar que elas percorram caminhadas superiores a 2 ou 3 quilômetros até o ponto onde o veículo passa. Os itinerários devem ser fixados em função da localização da

residência/escola do aluno. O trajeto residência/escola de cada aluno transportado deve ser de, no máximo:

- a) Crianças com até 8 anos – 30 minutos;
- b) Crianças com mais de 8 anos – 60 minutos.

É necessário também estabelecer horários adequados para buscar e levar alunos de casa para a escola e vice-versa. Alunos que são transportados por longas distâncias e/ou horários impróprios, costumam ficar sem concentração nas salas de aula (INEP, 2005).

Sendo assim, é importante que os municípios e estados formalizem a prestação do transporte escolar rural em suas unidades, ou seja, aperfeiçoem modelos que possibilitem organizar a estrutura de planejamento, gestão e controle. A promoção da melhoria no serviço prestado e garantia de que os alunos não tenham cerceados seu direito constitucional a uma educação e ao transporte escolar para conduzi-los às escolas, poderá ser atingida pelo emprego de diretrizes e instrumentos que detêm e auxiliam a implementação das regras pertencentes ao setor (LOPES, 2009).

O transporte escolar rural é um assunto ainda pouco explorado pelos governos e também pouco estudado; porém, afeta significativamente a vida de milhares de estudantes na zona rural (SOUZA, 2009).

O trabalho foi desenvolvido tendo por base a Prefeitura de Paracuru. A aquisição de dados foi facilitada em virtude do autor deste trabalho conhecer colaboradores que fazem parte da Secretaria de Educação do Município. Com a mudança de prefeito, houve a necessidade de estudar as condições das rotas utilizadas pelos transportes escolares rurais.

Os alunos encontram-se distribuídos pelos distritos e sede. Dessa forma, com o grande número de pontos de embarque e desembarque localizados nessas áreas, surgiu a oportunidade de utilizar a roteirização de frotas. E nesse sentido, o presente trabalho foi desenvolvido a fim de demonstrar as possibilidades de obter ganhos com a utilização dos métodos de roteirização.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

### 1.2.1 Objetivo geral

Melhorar o nível dos serviços de Transporte Escolar Rural no Município de Paracuru através de técnicas de roteirização.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Obter o itinerário atual através do georreferenciamento do percurso;
- b) Identificar os principais métodos e técnicas utilizadas para roteirização de frotas;
- c) Selecionar o método para a elaboração do roteiro mais viável, de acordo com as particularidades do ambiente em questão;
- d) Aplicar o método de roteirização selecionado, a fim de obter rotas mais econômicas.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

Em um ambiente de desigualdades sociais, o Brasil apresenta segmentos em sua população abaixo da linha de pobreza. Em decorrência do rápido crescimento das cidades, não acompanhado de um planejamento de expansão, este fato provoca transtornos às comunidades, principalmente no que se refere ao deslocamento dos alunos na zona rural (SOUZA, 2009).

O contexto social brasileiro é permeado pela desigualdade e ausência de oportunidades, o que dificulta o exercício de muitos dos direitos fundamentais do cidadão. Segundo o IBGE (2010) a população em idade escolar (4 a 17 anos) totaliza 45.364.276 alunos, 23,8% da população total. Logo, a simples disponibilização do ensino público e gratuito não é suficiente para assegurar o acesso e a permanência dos alunos na escola.

A carência de transporte escolar na área rural torna-se um problema mais preocupante quando não existem escolas na própria área e o aluno é obrigado a frequentar a escola na área urbana. Os alunos enfrentam grandes distâncias para chegarem às escolas e, na maioria das vezes, em veículos que não oferecem condições mínimas de transporte, colocando em risco a sua segurança (SOUZA, 2009). De acordo com a Confederação Nacional de Municípios - CNM (2009) no Brasil são transportados 4,8 milhões de alunos da educação básica, sendo 2,9 milhões

(61%) dos Municípios e 1,9 milhões (39%) do Estado. O aluno transportado no Brasil custa, em média, R\$ 4,19 ao dia, ou R\$ 838,00 ao ano (CNM, 2009).

Em 2007, o Ministério da Educação lançou o Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) cujo propósito é aumentar a qualidade da educação básica pública, enfrentando os problemas de rendimento, de frequência e de permanência do estudante na escola, com a mobilização em torno do lema “Compromisso Todos pela Educação”. Dentre os programas desenvolvidos no PDE tem-se o denominado Caminho da Escola. O Caminho da Escola é o programa de transporte escolar para estudantes da educação básica que residem na zona rural. Esse programa tem como alguns de seus objetivos a renovação da frota atualmente utilizada para o transporte de escolares no Brasil, a promoção da sua padronização e a redução dos preços desses veículos (FNDE, 2012).

A importância de todas essas ações direcionadas para o transporte escolar rural se justifica pela carente situação que vive hoje o setor. Veículos velhos, impróprios para o transporte de pessoas, má distribuição da rede física de ensino na área rural, vias precárias e sem manutenção adequada que aumenta o tempo de viagem dos alunos e, carência de instrumentos para a gestão desse serviço que é uma realidade no país (SECRETARIA DE EDUCAÇÃO MUNICIPAL DE PARACURU, 2013).

Assim, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de pesquisas voltadas para novos roteiros que visam à diminuição do tempo de permanência dos alunos no transporte escolar e diminuição do cansaço dos mesmos, que, em alguns casos, pode interferir no rendimento do aluno na escola.

#### 1.4 METODOLOGIA

Segundo Gil (2002), as pesquisas podem ser classificadas em três grupos: exploratórias, descritivas e explicativas.

A pesquisa é classificada como aplicada, em relação à sua natureza, no qual objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas, uma vez que este estudo busca solucionar especificamente problemas relacionados à roteirização.

De acordo com a abordagem do problema, pode-se considerar a pesquisa como quantitativa, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las.

De acordo com Gil (2002) a pesquisa descritiva visa à descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou ainda, o estabelecimento de relações entre variáveis. Assim, o presente trabalho caracteriza-se como descritivo em relação aos objetivos, pois expõe as características do setor estudado e seus objetivos.

Em relação aos procedimentos técnicos para coleta de informações deste estudo destacam-se:

- a) Pesquisa bibliográfica: desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos;
- b) Pesquisa documental: desenvolvida com base em materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados;
- c) Estudo de caso: consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em quatro capítulos, conforme descritos a seguir.

O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, contextualização do assunto abordado, justificativa para elaboração do trabalho, objetivos geral e específicos a serem seguidos, metodologia que será aplicada, e estrutura em que o trabalho se organiza.

O capítulo 2 disserta sobre os conceitos de Logística e Roteirização do Transporte Escolar Rural.

O capítulo 3 mostra a aplicação do método proposto para a roteirização do Transporte Escolar Rural.

O capítulo 4 traz as considerações finais do trabalho, além de recomendações para trabalhos futuros.

## 2 ROTEIRIZAÇÃO NO TRANSPORTE ESCOLAR RURAL

### 2.1 LOGÍSTICA

Durante muito tempo a Logística foi considerada como uma área a parte, isolada dos demais setores das empresas e sem uma definição formal do assunto. Para Bowersox e Closs (2001) até meados da década de 50 não existia uma definição formal de Logística integrada.

De acordo com esse contexto, Fleury, Wanke, Figueiredo (2000) dizem que o conceito de Logística é algo paradoxal, por se tratar de algo bastante antigo mas com um moderno conceito gerencial. Para estes autores, o que vem fazendo da Logística um dos conceitos gerenciais mais modernos são as constantes transformações de duas vertentes: a econômica e a tecnológica. As mudanças na economia causadas pela globalização geraram um novo ambiente de exigências competitivas e as novas tecnologias permitiram um grande avanço na gestão de operações. Com tal mudança no cenário competitivo, a Logística deixa de ser considerada uma atividade isolada e passa a fazer parte da área estratégica nas organizações.

Bowersox e Closs (2001, p. 20) comentam que a responsabilidade operacional da Logística “está diretamente relacionada com a disponibilidade de matérias-primas, produtos semiacabados e estoque de produtos acabados, no local onde são requisitados, a menores custos possíveis”.

Segundo Christopher (1997), a Logística é definida como a gestão estratégica de atividades como aquisição, movimentação e armazenagem de matéria-prima e produtos acabados, de modo eficiente, que garanta o atendimento dos clientes ao menor custo e que possa garantir a maximização do lucro.

A logística preocupa-se com o gerenciamento do fluxo físico que começa com a fonte de fornecimento e termina no ponto de consumo. Nesta abordagem, a logística é muito mais do que a distribuição física de produtos, pois também está preocupada com a fábrica e o local de estocagem, níveis de inventário e sistemas de informações, como também com transporte e armazenagem (ALVARENGA; NOVAES, 1994).

A Logística não adiciona apenas valor de lugar, tempo e qualidade, mas também adiciona valor de informação (NOVAES, 2007). Como exemplo, o autor cita que algumas empresas de entrega rastreiam e informam a movimentação das

encomendas aos seus clientes, permitindo que os clientes as monitorem pela internet, a qualquer momento.

O uso de informações na Logística atual possui foco na satisfação do cliente e em formar parcerias entre fornecedores e clientes, de modo que ambos tenham acesso mútuo às informações de seu interesse (NOVAES, 2007).

Para Bowersox e Closs (2001, p. 19) “o objetivo da logística é tornar disponíveis produtos e serviços no local onde são necessários, no momento em que são desejados”.

Para Ballou (2001, p. 21) “a missão da logística é dispor a mercadoria ou o serviço certo, no lugar certo, no tempo certo e nas condições desejadas, ao mesmo tempo em que fornece a maior contribuição à empresa”.

Acerca das afirmações acima, pode-se observar que o conceito de Logística é bastante amplo, englobando as várias atividades relacionadas aos produtos e também ao correto gerenciamento destes visando à obtenção de uma melhor eficiência em toda a cadeia compreendida neste processo.

É importante observar que há algumas diferenças entre a Logística local e a Logística internacional, começando pela estrutura física existente na Logística internacional que deve ser diferenciada com o propósito de se tornar a atividade do comércio internacional economicamente viável. Além disso, a burocracia, o número de operações, os impostos incidentes, são maiores obrigando a formação de cargas mais volumosas, para que os custos de distribuição sejam compensados.

Segundo Ballou (2001) o transporte representa cerca de dois terços dos custos logísticos totais. Sendo assim, uma das maiores preocupações do setor é a de aumentar a eficiência por meio da máxima utilização dos equipamentos e pessoal de transporte. O problema de roteirização de veículos consiste em reduzir os custos de transporte, ao mesmo tempo em que melhora o serviço aos clientes, descobrindo os melhores roteiros para os veículos ao longo de uma rede de transporte (rodovia, rota de navegação aérea, hidrovia ou ferrovia).

## 2.2 DISTRIBUIÇÃO FÍSICA

Segundo Novaes (2007, p. 123) “A distribuição física são os processos operacionais e de controle que permitem transferir os produtos desde o ponto de fabricação, até o ponto em que a mercadoria é finalmente entregue ao consumidor”.

De acordo com Chopra, Meindl (2011, p. 73) “a distribuição refere-se aos passos tomados para mover e armazenar um produto desde o estágio do fornecedor até o estágio do cliente na cadeia de suprimentos”.

Para Novaes (2007, p. 241) “O objetivo da distribuição física, como meta ideal, é o de levar os produtos certos para os lugares certos, no momento certo e com o nível de serviço desejado, pelo menor custo possível”.

Logo, deve-se conhecer detalhadamente o tipo de consumidor, com a finalidade de obter um planejamento eficiente, pois é através da distribuição que o produto vai chegar ao seu destino final e sendo analisado de forma positiva ou não.

Para Ballou (2001) o gerenciamento da distribuição física se dá em três níveis: estratégico, tático e operacional.

Estratégico, no qual estão as decisões de longo prazo, relacionadas a estruturas macros e às características gerais da distribuição como o número de fábricas, centros de distribuição e suas respectivas localizações, o perfil da frota entre outras.

No nível tático constam as decisões de curto e médio prazo, de forma a controlar as operações já decididas no nível estratégico. Já o nível operacional tem a tarefa de programar, executar e controlar as atividades correntes.

No nível operacional atividades realiza-se a roteirização dos veículos, controla-se o recebimento e expedição de produtos, movimentação interna de produtos, entre outros.

Ainda segundo Novaes (2007) a distribuição física pode ser classificada em duas formas básicas: a distribuição “um para um”, quando o veículo é carregado completamente para um único ponto de entrega, também denominado de transferência; e a “um para muitos” quando o veículo é carregado no centro de distribuição com produtos para diversos clientes distintos, tendo que efetuar uma rota para realizar todas as entregas programadas.

### **2.2.1 Canais de Distribuição**

Para Bowersox e Closs (2001, p. 89) “um canal é um grupo de entidades interessadas que assume a propriedade de produtos ou viabiliza sua troca durante o processo de comercialização, do fornecedor inicial até o comprador final.”

Os canais de distribuição, segundo Novaes (2007), são os elos que estão entre o local onde o produto é fabricado até o ponto onde o produto é disponibilizado ao consumidor final.

Para Ballou (2001, p. 22) “o canal de distribuição física refere-se ao hiato de tempo e espaço entre pontos de processamento da empresa e seus clientes.”

Conforme Novaes (2007, p. 124) a maior parte dos produtos:

comercializados no varejo chega às mãos dos consumidores através de intermediários, no caso o fabricante ou montadora, que produz o objeto, o atacadista ou distribuidor, o varejista, e eventualmente outros intermediários. Sob esse mesmo enfoque, os elementos que formam a cadeia de suprimento, na parte que vai da manufatura ao varejo, formam o canal de distribuição. (NOVAES, 2007, p. 124)

De acordo com Bowersox e Closs (2001, p. 89) o canal de distribuição “é o campo de batalha onde é determinado o sucesso ou o fracasso final da empresa.”

Outro aspecto importante a considerar, segundo Novaes (2007, p. 124) é que “os canais de distribuição quando selecionados por uma empresa são de difícil alteração, mantendo-se fixos por muito tempo, pois envolvem outras empresas, agentes, acordos comerciais etc.”

Ainda conforme Novaes (2007, p. 124):

Uma vez definidos os canais de distribuição podem-se identificar os deslocamentos físico-espaciais em que os produtos serão submetidos, então a partir desta análise, será detalhado a rede logística e o sistema de distribuição física decorrentes. Uma rede logística é composta por centros de distribuição, estoques de mercadorias, armazéns, tipos de transportes utilizados, e a estrutura de serviços complementares. (NOVAES, 2007, p. 124)

Para Bowersox e Closs (2001, p. 93) “o principal objetivo de um canal de distribuição é agregar valor, gerando conformidade aceitável em termos de forma, propriedade, tempo e local.”

Segundo Novaes (2007, p. 127) “a definição dos objetivos dos canais de distribuição depende essencialmente de cada empresa, da forma com que ela compete no mercado e de toda estrutura da cadeia de suprimentos.” Logo, é possível identificar alguns dos fatores gerais, que estão presentes na maioria dos casos, como:

- a) Garantir a rápida disponibilidade do produto nos segmentos do mercado identificados como prioritários;

- b) Intensificar ao máximo o potencial de vendas do produto em questão e buscar as parcerias entre fabricantes e varejistas que permitam a exposição adequada do produto nas lojas;
- c) Buscar a cooperação entre os participantes da cadeia de suprimento no que se refere aos fatores relevantes relacionados com a distribuição. Definir lotes mínimos dos pedidos, acondicionamento e embalagem do produto, condições de descarga, restrições de tempo nas entregas;
- d) Garantir um nível de serviço preestabelecido pelos parceiros da cadeia de suprimento;
- e) Garantir um fluxo de informações rápido e preciso entre os elementos participantes;
- f) Buscar, de forma integrada e permanente, a redução dos custos.

### 2.2.2 Zoneamento

Segundo Gonçalves (1999 *apud* GALVÃO, 2003) a distribuição física de produtos numa determinada região implica muitas vezes na subdivisão da mesma em zonas ou bolsões, às quais se alocam os veículos de coleta ou entrega. A situação mais frequente é a da alocação de um veículo a cada zona.

Para Galvão (2003) a subdivisão da região em zonas depende de uma série de fatores, destacando-se:

- a) Distância da zona ao depósito ou armazém;
- b) Densidade de pontos de parada por  $km^2$ ;
- c) Condições viárias e de tráfego;
- d) Tipo e capacidade dos veículos.

Para Valente, Passaglia, Novaes (2003) em um estudo de zoneamento, alguns princípios e critérios devem ser observados. Os princípios são basicamente dois: a procura do menor custo operacional, através da diminuição do comprimento total das rotas ou do número de veículos necessários para atender todos os pontos (clientes), e a procura do menor tempo de operação. A partir destes princípios, podem ser estabelecidos alguns critérios:

- a) *Compacidade*: É a medida de proximidade de um grupo, sendo que quanto mais próximos forem os pontos do serviço menor será o comprimento das rotas;

- b) *Morfologia*: Os fatores que podem determinar a forma dos grupos são: as características das regiões urbanas (como morros, linhas férreas, vias expressas, rios etc.), que já dividem a região em uma série de zonas, ou a finalidade dos transportes, como para o caso do transporte escolar em que uma das hipóteses sugerida possui a forma elíptica;
- c) *Balanceamento*: Situação em que o número de pontos a serem servidos é dividido igualmente entre os diversos grupos e seus respectivos veículos, de acordo com a capacidade e volume de serviço demandado nos pontos atendidos. O objetivo é conseguir um melhor aproveitamento dos veículos nas rotas;
- d) *Homogeneidade*: De acordo com as condições de tráfego, os volumes envolvidos, entre outros, as regiões podem ser mais ou menos homogêneas. Isto servirá de base nas especificações dos veículos e dos equipamentos envolvidos.

### **2.2.3 Transporte Escolar Rural**

Conforme Silva (2009), o transporte escolar rural é definido como aquele transporte gratuito e em veículo exclusivo utilizado por alunos residentes na área rural e que estudam na área rural, ou por alunos residentes na área rural e que estudam na área urbana. Ademais, o transporte também pode ser utilizado por alunos que residem na zona urbana e que estudam na zona rural. Entretanto, esses casos são raros. Está implícito nesse conceito que, devido à pobreza de grande parte das famílias que residem no meio rural, o transporte é um meio necessário para que a criança tenha acesso à escola, além de ser um direito garantido em lei independente da renda.

O Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes - Geipot (1995 *apud* ARAÚJO, 2008) definiu Transporte Escolar Rural (TER) como uma modalidade do Transporte Rural oferecido pelo poder público (terceirizado ou não) para transportar alunos entre a área rural e urbana, ou dentro da área rural, de modo a garantir o acesso do aluno à escola.

Por sua vez, Tedesco (2008) definiu o transporte escolar rural como sendo o transporte escolar que propicia o embarque e desembarque de estudantes em área rural, independentemente da distância percorrida pelo veículo.

Portanto o Transporte Escolar Rural pode ser considerado um serviço estratégico para impulsionar o desenvolvimento educacional nas áreas rurais, tendo em vista a dispersão espacial de sua clientela (os alunos) e a consequente dificuldade que ela encontra de acessar as escolas com a ausência desse elo (ARAÚJO, 2008).

Silva (2009) acrescenta que o público alvo do serviço transporte escolar rural é a população residente no meio rural em idade escolar, ou seja, entre 6 e 17 anos.

Alguns problemas como a segregação espacial, a baixa densidade demográfica e as condições econômicas da área rural, podem dificultar o serviço de transporte rural. Por outro lado, a necessidade de oferta de transporte escolar se faz ainda mais necessária, uma vez que a falta de serviços básicos como educação e as grandes distâncias a serem percorridas para o aproveitamento desses serviços tornam os moradores do campo dependentes desse transporte (CÂMARA, 2008 *apud* MARTINS, 2010).

Aliado a esses problemas ainda existe aqueles que se referem às péssimas condições das estradas, tornando o serviço ainda mais desagradável e contribuindo para a segregação física e o isolamento social da população.

Com todas essas características, o TER é um segmento com uma demanda significativa, pois o número reduzido de escolas que se localizam em zonas rurais faz com que o deslocamento para as redes educacionais urbanas sejam intensificados.

### *2.2.3.1 Tipos de veículos utilizados no transporte escolar*

Segundo Souza (2004) existe três categorias de veículos que são mais utilizados no transporte de escolares: ônibus, micro-ônibus e perua modelo Kombi.

O ônibus é um dos veículos mais utilizados para esse tipo de transporte. A principal vantagem apresentada por este tipo de veículo é operacional, pois trafega em vias nas piores condições possíveis. A desvantagem apresenta-se quando este é utilizado para transportar um grande número de alunos, chegando ou ultrapassando a capacidade máxima. Desta maneira, o tempo de viagem se torna longo, aumentando

o tempo de espera dos estudantes nos pontos de coleta. Isso ocorre por causa da falta de planejamento.

Os micro-ônibus são veículos robustos, com capacidade entre 20 e 30 passageiros, conseguem tempos de viagens bastante satisfatórios. Sua motorização a óleo diesel é bastante avançada e a carroceria resistente.

A Kombi é outro veículo muito utilizado. Possui lotação entre 12 a 15 alunos e, por causa da capacidade relativamente alta e do baixo custo, é muito utilizada no transporte escolar rural. Uma das suas principais vantagens é o acesso a áreas de difíceis localidades, onde os veículos maiores não conseguem manobrar. As desvantagens se apresentam pela vida útil curta do motor que trafegam em estradas de terra e, também, por deixarem desprotegidos os passageiros da frente e na carroceria, que é sensível às péssimas condições das vias sem pavimentação asfáltica.

### 2.3 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

A roteirização é a tarefa que tem o objetivo de encontrar as melhores rotas possíveis que um veículo deve percorrer em uma determinada região urbana ou rural. Essa tarefa tem como principais objetivos a minimização dos custos operacionais, reduzindo os tempos e as distâncias percorridas (BALLOU, 2001).

Para Wu (2007) a roteirização de veículos pode ser definida como o atendimento de nós de demanda, localizados em pontos diferentes no espaço, sendo que, para cada ligação entre um par de nós, há distâncias e custos associados. Com o intuito de atendê-los, utiliza-se uma frota de veículos disponíveis que partem e retornam a um depósito central. No mesmo contexto segundo a autora, o objetivo é determinar o conjunto de rotas de menor custo que atenda às necessidades dos nós, respeitando restrições operacionais.

Para Ballou (2001), os custos com transporte variam normalmente entre um terço e dois terços do total dos custos logísticos; sendo assim, o transporte é geralmente o elemento mais importante dentro das atividades logísticas. Melhorar o serviço ao cliente e obter uma diminuição nos custos dos transportes, através da busca dos melhores trajetos que um veículo deve fazer em uma rede viária, é um

problema frequente de decisão. As decisões de transporte se expressam em uma variedade de formas, no qual pode-se destacar a roteirização e a programação.

O problema de roteirização de veículos foi introduzido pela primeira vez por Dantzig e Ramser, em 1959, e desde então tem sido estudado. Este é um problema de otimização combinatória, que visa descobrir o uso eficiente de uma frota de veículos, no qual devem fazer um determinado número de paradas para distribuir ou coletar produtos ou passageiros. Cada cliente deve ser atribuído a exatamente um veículo, em uma ordem específica, de modo que seja respeitada a capacidade do veículo e que o custo total seja minimizado (BJARNADÓTTIR, 2004 *apud* GAMA, 2011).

O termo *roteirização* de veículos é a forma que vem sendo utilizada como equivalente ao inglês “*routing*” (ou “*routeing*”) para designar o processo para a determinação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento. Quando a definição dos roteiros envolve não só aspectos espaciais ou geográficos, mas também temporais, tais como restrições de horários de atendimento nos pontos a serem visitados, os problemas são então denominados roteirização e programação de veículos (CUNHA, 2000).

“Um problema real de roteirização é definido por três fatores fundamentais: decisões, objetivos e restrições.” (PARTY e HALL, 2000 *apud* NOVAES, 2007, p. 303). As decisões dizem respeito à alocação de um grupo de clientes, que devem ser visitados, a um conjunto de veículos e respectivos motoristas, envolvendo também a programação e o sequenciamento das visitas. Por outro lado, deve obedecer a certas restrições. Como objetivos principais, o processo de roteirização visa propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo mantendo os custos operacionais e de capital tão baixo quanto possível.

Novaes (2007, p. 303) afirma que:

Em primeiro lugar, deve completar as rotas com os recursos disponíveis, mas cumprindo totalmente os compromissos assumidos com os clientes. Em segundo lugar, deve respeitar os limites de tempo impostos pela jornada de trabalho dos motoristas e ajudantes. Finalmente, devem ser respeitadas as restrições de trânsito, no que se refere a velocidades máximas, horários de carga e descarga, tamanho máximo dos veículos nas vias públicas, entre outros. (NOVAES, 2007, p. 303).

Os problemas operacionais de distribuição física com os quais as empresas se deparam no dia a dia podem ser problemas de roteirização, de programação ou poderão ser problemas mistos, isto é, que apresentam características de programação com componentes de roteirização. Estes problemas são detalhados nos próximos tópicos.

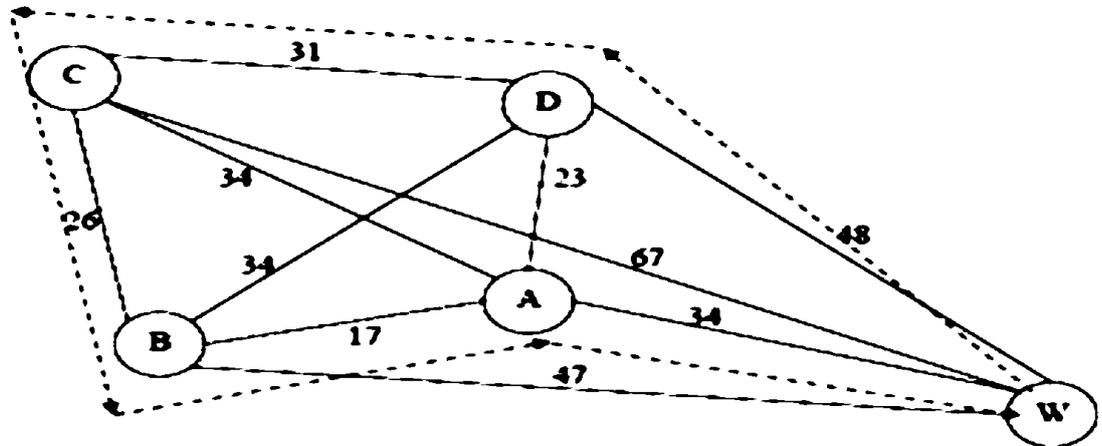
### **2.3.1 Problemas de Roteirização Pura**

Os problemas de roteirização pura de veículos são problemas espaciais que não consideram as restrições temporais. Nesse tipo de problema, existe um conjunto de nós e/ou arcos que devem ser atendidos por uma determinada frota de veículos, onde o principal objetivo é definir uma sequência de locais que cada veículo deve seguir a fim de obter o menor percurso possível (ENOMOTO, 2005). Abaixo se podem identificar os principais problemas de roteirização pura:

#### **a) Problema do caixeiro viajante**

O primeiro tipo de problema de roteirização a ser estudado foi o caixeiro viajante (*traveling salesman problem*), no qual é um dos mais tradicionais. A ideia é encontrar o menor caminho possível que um vendedor deve percorrer, a partir de sua cidade, a fim de atender um conjunto de pontos (clientes), visitando cada um deles uma única vez. Ao longo de anos de estudo, novas restrições foram e estão sendo incorporados ao caixeiro viajante, de modo a melhor representar os diferentes problemas envolvendo roteiros de pessoas, veículos e cargas (WU, 2007). Segundo Ballou (2001), o método de Clarke e Wright consiste em uma heurística que insere, em cada iteração, um cliente a uma rota de acordo com a economia que este apresenta na função de avaliação. O cliente que gera a maior economia é inserido na rota. O processo inicia-se com  $n$  rotas. Estas inserções são feitas até o momento em que não é mais possível nenhuma economia. A Figura 1 ilustra o problema do caixeiro viajante com uma única origem e vários pontos a serem atendidos:

Figura 1 – Exemplo do Problema do Caixeiro Viajante



Fonte: Ballou (2001 *apud* ENOMOTO, 2005, p. 38).

b) Problema do carteiro chinês

Este caso requer a determinação de uma rota e custo mínimo que passe por todos os arcos de uma rede, pelo menos uma vez. São exemplos deste tipo de problema: serviços de entrega de correspondências, coleta de lixo, entrega de jornais, etc. Este problema ainda pode ser não direcionado, quando não são levadas em consideração as regras de trânsito na composição da rede ou todas as ruas de mão dupla, ou direcionado, quando todos os arcos da rede seguem um único sentido (mão única).

c) Problema de múltiplos caixeiros viajantes

É uma generalização do problema do caixeiro viajante no qual é necessário se considerar mais de um caixeiro (ou veículos). Todos os caixeiros têm suas rotas iniciadas e terminadas em um único ponto comum a todos. Não há restrições sobre o número de nós que cada um pode visitar, exceto que cada veículo visite no mínimo um nó.

d) Problema de roteirização em nós com um único depósito e vários veículos

Conhecido como problema clássico de roteirização de veículos ou, apenas, problema de roteirização de veículos, é caracterizado quando há restrições de tempo ou capacidade dos veículos. É outra generalização do problema do caixeiro viajante onde a frota de veículos parte de um depósito central e serve a todos os nós exatamente uma vez e a demanda total em cada rota não pode exceder a capacidade do veículo designado para cada rota. A escolha das rotas dos veículos é realizada com o objetivo de reduzir a distância total percorrida.

e) Problema de roteirização em nós com vários depósitos e vários veículos

É uma generalização do problema anterior e do problema de múltiplos caixeiros viajantes, com vários depósitos, ao invés de um, onde cada veículo é alocado a um único depósito, originando e terminando a viagem em um mesmo depósito.

Desta forma, no quadro 1 estão dispostos casos de roteirização pura de forma a facilitar a visualização e a comparação entre os diferentes casos.

**Quadro 1** – Características dos Problemas de roteirização pura

(continua)

Denominação	Nº de Roteiros	Localização dos clientes	Limite de capacidade nos veículos	Nº de bases	Demanda
Problema do Caixeiro Viajante	Um	Nós	Não	Uma	Determinística
Problema do Carteiro Chinês	Um	Arcos	Não	Uma	Determinística
Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes	múltiplos	Nós	Não	Uma	Determinística

(conclusão)

Denominação	Nº de Roteiros	Localização dos clientes	Limite de capacidade nos veículos	Nº de bases	Demanda
Problema de roteirização em nós com uma única base	múltiplos	Nós	Sim	Uma	Determinística
Problema de roteirização em nós com múltiplas bases	múltiplos	Nós	Sim	Múltiplas	Determinística
Problema de roteirização em nós com demandas incertas	múltiplos	Nós	Sim	Uma	Estocásticas
Problema do carteiro chinês com limite de capacidade	múltiplos	Arcos	Sim	Uma	Determinística

Fonte: Adaptado de Bodin *et al.* (1983 *apud* ENOMOTO, 2005, p. 39).

### 2.3.2 Programação de Tripulação

Preocupa-se primeiramente em criar a sequência para o movimento da tripulação no espaço e no tempo, ou seja, prover de pessoal o movimento do veículo desejado (BODIN *et al.*, 1983 *apud* NARUO, 2003, p. 68). Ainda segundo o autor, os principais problemas para essa categoria são:

- a) Problema de programação de pessoal em um local fixo: procura-se determinar um conjunto de trabalho preparado para atender todas as necessidades de tarefas em todos os períodos de tempo. Assume-se que os trabalhadores são intercambiáveis e que um determinado trabalhador possa ser deslocado ao final de cada período de tempo e que outro possa ser alocado no início de cada período;

- b) Problema de programação de pessoal em turnos de revezamento: consiste na programação diária de um dia para outro, havendo um rodízio de turno de pessoal, em função de restrições trabalhistas, sindicais, dentre outras. Há necessidade de uma equalização das cargas e das condições de trabalho para as atividades que percebem a mesma remuneração;
- c) Problema de programação de veículos e tripulações no transporte público: determina a alocação ótima de veículos a um conjunto de viagens programadas de linha, e determina também as jornadas das tripulações, considerando que as trocas de serviço e de turno só podem ser realizadas em pontos específicos dos trajetos das linhas;
- d) Problema de programação de tripulações no transporte aéreo: é semelhante ao problema de programação de veículos e tripulações do transporte público, uma vez que as tabelas de partidas e chegadas são previamente definidas.

### **2.3.3 Problemas de Programação de Veículos**

Segundo Bodin *et al.* (1983 *apud* ENOMOTO, 2005, p. 42) esse tipo de problema de programação é caracterizado quando há algum tipo de relação de precedência entre as atividades envolvidas. Outro elemento clássico na programação são as janelas de tempo impostas pelos clientes, que se baseiam em uma determinação de intervalo de horário que o veículo deverá efetuar a entrega. Os mesmos autores ainda apontam os principais problemas para esta categoria:

- a) Problema de programação de cavalos mecânicos para carretas com carga completa: ocorre quando uma carreta possui apenas um destino e uma origem, com a capacidade de um cavalo mecânico sendo preenchida por apenas uma carreta, envolvendo relação de precedência;
- b) Problema de programação na coleta de resíduos domiciliares: consiste em programar os veículos para recolher os resíduos respeitando a capacidade máxima de cada um em horários que não atrapalhem o trânsito local e respeitando as leis de jornada de trabalho. Esse Problema é semelhante ao do Carteiro Chinês e tem como objetivo minimizar a frota e reduzir os custos;

c) Problema de programação de ônibus escolares: consiste em um número de escolas e cada uma delas possui um conjunto de paradas de ônibus com um dado número de estudantes atrelados a cada uma dessas, atendendo as restrições de horário de início e fim das aulas e de modo a minimizar os custos de transporte para os municípios.

## 2.4 MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO

Alguns dos métodos propostos para solução dos problemas de roteirização podem ser englobados em cinco grupos: meta-heurísticos, heurísticos, programação matemática, simulação e os métodos baseados em inteligência artificial. Segundo Conceição (2004 *apud* SANTIAGO, 2010) os grupos que geralmente são citados na literatura na busca da solução do problema de roteirização são: meta-heurísticos, heurísticos e os modelos exatos de programação matemática.

### 2.4.1 Roteirização sem Restrição

“Na literatura técnica, o problema de roteirização sem restrições recebe o nome de PCV – Problema do Caixeiro-Viajante.” (NOVAES, 2007, p. 304). Isso porque o autor que primeiro analisou a questão exemplificou a metodologia através de aplicação a um caso em que um caixeiro-viajante tem de visitar um determinado número de cidades localizadas numa região, devendo achar a sequência que minimize o percurso total.

Para resolver a questão do PCV os métodos heurísticos podem ser agrupados em duas categorias: método de construção de roteiro e método de melhoria de roteiro.

#### 2.4.1.1 Método de Construção de Roteiro

Para Novaes (2007) os métodos de construção partem de um ou dois pontos, e iniciam a formação do roteiro através do acréscimo paulatino de pontos adicionais. A sistematização mais simples é ir ligando cada ponto ao seu vizinho mais próximo. Elege-se um deles como ponto inicial e se procura, dentre os demais pontos, aquele que estiver mais perto do primeiro. Em seguida, Novaes (2007, p. 305) explica que se

toma o segundo ponto e faz-se o mesmo procedimento, tomando o cuidado de excluir todos os outros que já fazem parte do roteiro. Esse método não é o mais eficaz, mas é rápido e fornece uma solução, que pode ser adotado como arranjo inicial para aplicação dos métodos de melhoria.

Outro processo de construção considerado mais eficiente que o citado anteriormente é o método de inserção do ponto mais distante. Primeiramente procura-se o ponto mais distante do ponto de partida, logo em seguida o ponto mais distante do roteiro parcial montado é inserido no arco mais próximo, até passar por todos os pontos, e assim, completar todo o roteiro (NOVAES, 2007).

#### *2.4.1.2 Método de Melhoria de Roteiro*

Os métodos de melhoria de roteiro partem da solução adquirida com o auxílio de outro método qualquer e procura aperfeiçoar o resultado adquirido, utilizando, para isso, uma sistemática predefinida. Os dois métodos de melhoria são 2-opt e 3-opt, desenvolvidos por Lin e Kernigan (1973 *apud* NOVAES, 2007, p. 307). O método 2-opt, mais simples, tem a seguinte evolução computacional:

- Etapa 1: Começa-se com um roteiro qualquer, de preferência um roteiro gerado com o auxílio de um método de construção;
- Etapa 2: Remove-se dois arcos do roteiro e tentativamente reconecta-se os nós que formam esses dois arcos, alterando as ligações. Se a nova ligação produzir um resultado melhor, isto é, gerando um roteiro de extensão menor do que o anterior, substitui-se o roteiro inicial pelo novo roteiro e repete-se a etapa 2. Caso contrário, continua-se com o roteiro anterior e tenta-se outros dois arcos, repetindo a etapa 2, e assim sucessivamente;
- Etapa 3: O processo termina quando não se conseguir nenhuma melhoria, ao se fazerem todas as trocas de ligações possíveis.

O método 3-opt é conceitualmente semelhante ao 2-opt, com a diferença de que as alterações são agora realizadas tomando três pares de arcos de cada vez. Embora mais complexo do que o método 2-opt, o método 3-opt fornece resultados mais precisos.

#### **2.4.2 Roteirização com Restrição**

Na literatura, são descritos métodos diversos para resolver esse tipo de problema, muito deles envolvendo modelos matemáticos razoavelmente complexos. Neste texto, escolhem-se dois métodos relativamente simples, um deles bastante eficaz e muito utilizado (NOVAES, 2007, p. 310), são eles:

#### 2.4.2.1 Método da Varredura

Segundo Ballou (2001, p. 167) “o método da varredura para a roteirização de veículos é simples o bastante para prestar-se ao manuseio dos cálculos, mesmo para problemas de grandes tamanhos.” Para Novaes (2007, p. 310) esse método é “fácil de usar e de computação rápida. Mas é menos preciso que o método de Clarke e Wright e deve ser utilizado com certo cuidado, de forma a evitar distorções nos resultados.” Ainda conforme Ballou (2001, p. 167):

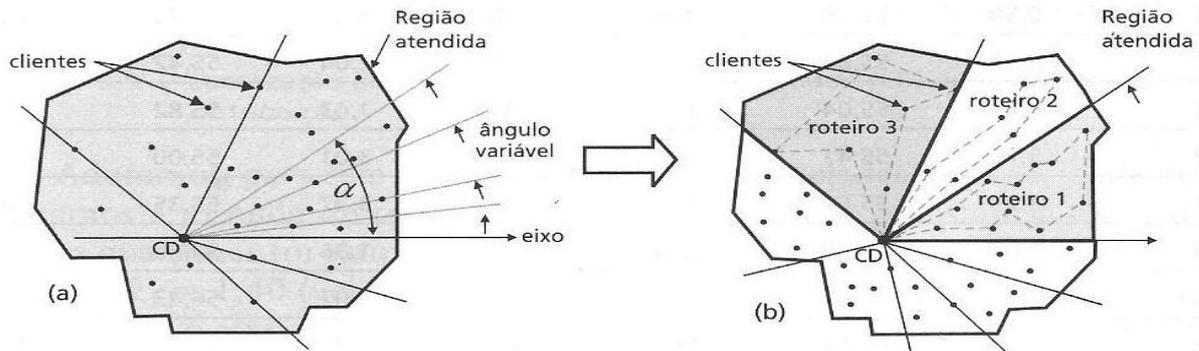
A acurácia é projetada para produzir aproximadamente um erro médio de 10%. Ainda segundo o autor, este nível de erro computacional pode ser aceitável quando os resultados devem ser obtidos em pequenos pedidos e boas soluções são necessárias em oposição às ótimas. Os expedidores frequentemente enfrentam necessidades de gerar (padrões de roteiro) dentro de uma hora a partir do recebimento dos dados finais sobre as paradas a serem feitas e seus volumes.

Segundo Novaes (2007, p. 310) o método de varredura consta da seguinte sequência de procedimentos:

- a) Etapa 1: Tomado o depósito como centro, definir um eixo passando por ele. Esse eixo geralmente coincide com a linha horizontal (eixo das abscissas Figura 2-a);
- b) Etapa 2: Vá girando o eixo em torno do CD no sentido anti-horário (ou horário, se assim o preferir) até que a linha inclua um cliente (Figura 2-a);
- c) Etapa 3: Teste o cliente em potencial, verificando se pode ser incluído no roteiro em formação: (a) o tempo de atendimento do novo cliente excede a jornada de trabalho permitida por dia? (b) a quantidade de mercadoria a transportar para o novo cliente excede o limite de capacidade do veículo? Se ambas as restrições não forem violadas, o novo cliente poderá ser incorporado ao roteiro, e o processo (etapas 2 e 3) continua;
- d) Etapa 4: Se o novo cliente não puder ser incluído no roteiro em formação, é sinal que as possibilidades desse roteiro se esgotaram. Nesse caso, fecha-se

- o roteiro e inicia-se um novo. O processo termina quando todos os clientes tiverem sido incluídos num roteiro (Figura 2-b);
- e) Etapa 5: Para cada roteiro, aplicar um método de melhoria (o 3-opt, por exemplo) de forma a minimizar os percursos.

**Figura 2 – Método da Varredura e sua Evolução**



Fonte: Novaes (2007, p. 310).

#### 2.4.2.2 Método de Clarke e Wright

Para Ballou (2001), a abordagem deste método por Clarke & Wright esteve em evidência ao longo dos anos por sua flexibilidade para aplicação computacional de uma grande gama de restrições práticas, com relativa rapidez para um número moderado de paradas, e capaz de gerar soluções que são próximas das ótimas. Ainda segundo o autor, a comparação do método com resultados ótimos de problemas pequenos, revela que o Método das Economias dá soluções 2% acima das soluções ótimas.

Conforme Novaes (2007, p. 315) à medida que o método vai construindo os “roteiros de forma inteligente, buscando reduzir ao máximo a distância percorrida, o número de veículos necessários para realizar o serviço tende também a ser minimizado, reduzindo assim os investimentos e o custo de operação.” Para este mesmo autor, o método tem sido muito utilizado, e com grande sucesso, na resolução de problemas isolados, como também aparece embutido dentro de muitos *softwares* de roteirização.

O objetivo deste método segundo Ballou (2001, p. 171) “é minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e minimizar indiretamente o número total de veículos para atender a todas as paradas.”

Novaes (2007) descreve a maneira simplificada desse método para facilitar a compreensão: primeiramente é importante salientar que o método de Clarke e Wright é baseado no conceito de ganho, em que este representa uma economia na distância percorrida em duas situações hipotéticas. A primeira delas representa a pior situação, em que um veículo sai do CD somente com a mercadoria destinada a um único cliente e, após fazer a entrega, o veículo volta ao depósito. Neste caso, supõe-se que um cliente  $j$  seja atendido logo após a um primeiro cliente  $i$ , e conseqüentemente, o veículo faria as duas viagens na seqüência mostrada (Figura 3-a). Esta configuração, inevitavelmente, vai levar a um número excessivo de veículos e a uma quilometragem elevada para a frota.

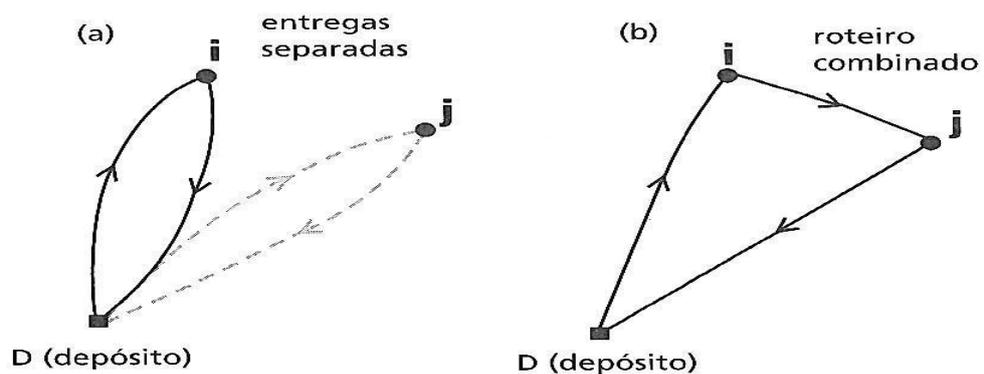
Nesta primeira situação, sendo  $d_{D,i}$  e  $d_{D,j}$  as distâncias entre o CD e os clientes  $i$  e  $j$ , o veículo faria um percurso para atendê-los igual a:

$$L = 2 \times d_{D,i} + 2 \times d_{D,j} \quad (1)$$

A segunda situação representa uma possibilidade de melhoria desse esquema, onde os dois clientes  $i$  e  $j$  seriam juntados em um mesmo roteiro. Neste caso o veículo faria um percurso (Figura 3-b) igual a:

$$L' = d_{D,i} + d_{i,j} + d_{D,j} \quad (2)$$

**Figura 3** – Ilustração do conceito de ganho com a integração de dois clientes em roteiro compartilhado



Fonte: Novaes (2007, p. 317).

Ao integrar os clientes  $i$  e  $j$  num único roteiro, existirá uma economia, de percurso (ganho) igual à diferença entre  $L$  e  $L'$ , dado por:

$$g_{i,j} = d_{D,i} + d_{D,j} - d_{i,j} \quad (3)$$

Feita as devidas considerações, pode-se então destacar as etapas do método Clarke e Wright:

- a) Etapa 1: Combinam-se todos os pontos (que representam os clientes) dois a dois e calcula-se o ganho para cada combinação através da relação (3);
- b) Etapa 2: Ordenam-se todas as combinações  $i, j$ , de forma decrescente segundo valores dos ganhos  $g_{i, j}$ ;
- c) Etapa 3: Inicia-se com a combinação de dois nós que apresentou o maior ganho. Posteriormente, na análise de outras situações, vai-se descendo na lista de combinações, sempre obedecendo a sequência decrescente de ganhos.
- d) Etapa 4: Para um par de pontos  $(i, j)$ , retirado da sequência de combinações, verificar se os dois pontos já fazem parte de um roteiro iniciado:
  - Se  $i, j$  não foram incluídos em nenhum dos roteiros já iniciados, criar então uma nova rota com esses dois pontos;
  - Se o ponto  $i$  já pertence a um roteiro iniciado, verificar se esse ponto é o primeiro ou último desses roteiros (não levando em conta o CD), caso a resposta seja positiva, acrescentar o par de pontos  $(i, j)$  na extremidade apropriada. Deve-se então fazer a mesma análise para o ponto  $j$ . Se nenhum dos dois pontos satisfizer essa condição separadamente, retornar para a etapa 3;
  - Se ambos os pontos  $i, j$  fazem parte, cada um deles, de roteiros iniciados, mas diferentes, verificar se ambos são extremos dos respectivos roteiros. Se a resposta for positiva, fundir os dois roteiros num só, juntando-os de forma a unir  $i, j$ . Caso contrário, passar para Etapa 5;
  - Se ambos os nós  $i, j$  pertencerem a um mesmo roteiro, passar para a próxima etapa, nº 5.
- e) Etapa 5: Cada vez que acrescentar um ou mais pontos num roteiro ou quando fundir dois roteiros num só, verificar se a nova configuração satisfaz as restrições de tempo e de capacidade. Se atender aos limites das restrições, a nova configuração é aceita;
- f) Etapa 6: O processo termina quando todos os pontos (clientes) tiverem sido incluídos nos roteiros.

### 3 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta o estudo de caso para a roteirização do transporte escolar rural na cidade de Paracuru, a qual atualmente não utiliza nenhuma heurística ou algoritmo para roteirizar seus veículos e se baseia apenas na experiência de seus motoristas. Este capítulo apresenta ainda as características do local em estudo, os detalhes do estudo de caso e os resultados alcançados.

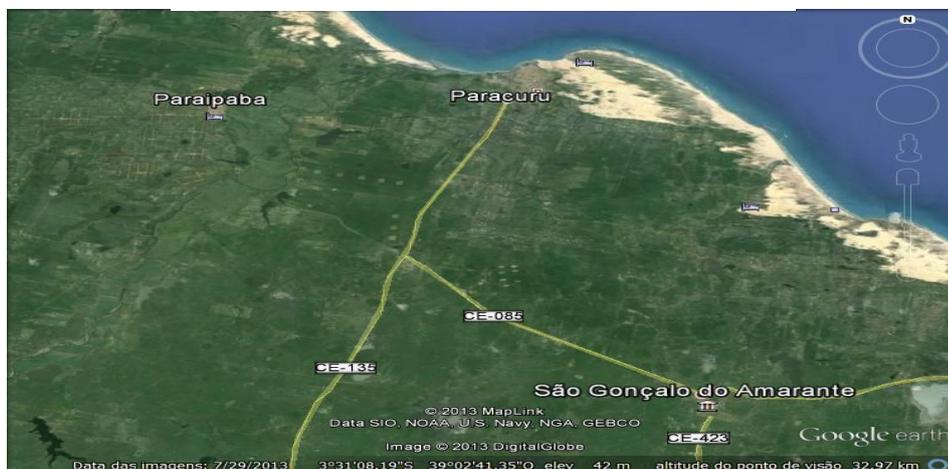
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PARACURU

O Município de Paracuru está localizado a 87 quilômetros de distância de Fortaleza (Figura 4). O principal acesso ao Município é pela Rodovia CE 085 (conhecida também como Rodovia do Sol Poente) e pela BR 220/CE 341.

O Município possui aproximadamente 303,253 quilômetros quadrados, que corresponde a 0,20% do território do Estado do Ceará, com cerca de 37 localidades e 3 distritos, incluindo a Sede.

A Sede do Município de Paracuru está localizada nas coordenadas geográficas lat 03° 24' 36" S e long 39° 01' 50" W. Limita-se ao Norte com o Oceano Atlântico e com o Município de Paraipaba, ao Sul com o Município de São Gonçalo do Amarante, ao Leste com São Gonçalo do Amarante e Oceano Atlântico e ao Oeste com Paraipaba e Oceano Atlântico (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2011).

**Figura 4 – Vista aérea do Município de Paracuru**



Fonte: Google Earth (2013).

Dentro da regionalização do IBGE (2010) o Município pertence à região Administrativa nº 2, a Macrorregião de Planejamento do Litoral Oeste, a Mesorregião do Norte Cearense e a Microrregião do Baixo Curu. A Figura 5 mostra fotos do Município.

**Figura 5** – Município de Paracuru – Ceará



Praça do Farol



Praça de Eventos



Avenida Antônio Sales



Vista Aérea da Praia

Fonte: Próprio autor.

Segundo IBGE (2010) o Município de Paracuru tem uma população de 31.636 mil habitantes. Comparando com a população do ano 2000, que era de 27.541 habitantes, percebe-se um aumento de 12,95% (Tabela 1).

**Tabela 1** – Indicadores Demográficos no Município de Paracuru – 2000 e 2010

Discriminação	População Residente	
	2000	2010
Total	27.541	31.636
Urbana	16.673	20.589
Rural	10.868	11.047
Homens	13.830	15.852
Mulheres	13.711	15.784

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2000/2010.

Pode-se ver na Tabela 2 que a taxa de urbanização cresceu de 60,54%, em 2000, para 65,08%, em 2010. A Tabela 3 mostra que, a maioria dos domicílios, no Município de Paracuru, pertence à zona urbana, com 5.753, enquanto que a zona rural o número de domicílio é de 2.982.

**Tabela 2** – Indicadores Demográficos – 2000 e 2010

Discriminação	2000	2010
Densidade demográfica (hab/Km <sup>2</sup> )	93,26	106,80
Urbana	4,58	2,13
Rural	1,16	0,16
Taxa de urbanização (%)	60,54	65,08
Razão de sexo	100,87	100,43
Participação nos grandes grupos populacionais (%)	100,00	100,00
0 a 14 anos	35,26	27,04
15 a 64 anos	58,62	65,49
65 anos e mais	6,12	7,48
Razão de dependência (1)	70,60	52,70

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2000/2010.

(1) Quociente entre “população dependente”, isto é, pessoas menores de 15 anos e com 65 anos ou mais de idade e a população potencialmente ativa, isto é, pessoas com idade entre 15 e 64 anos.

**Tabela 3** – Número de Domicílios, Média de Moradores/Domicílios – 2000 e 2010

Situação	Número de Domicílios	Média de Moradores	
		Município %	Estado %
Total	8.735	3,62	3,56
Urbana	5.753	3,56	3,49
Rural	2.982	3,70	3,79

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2000/2010.

O transporte escolar rural no Município de Paracuru é operado por 24 veículos (Kombi, Micro-ônibus e Ônibus), sendo 13 terceirizados e 11 próprios da prefeitura. Todos os distritos e localidades são beneficiados com o transporte que atende cerca de 1.528 alunos, 21,58% de todos os alunos de Paracuru entre 4 anos e 64 anos, nos turnos da manhã, da tarde e da noite (SECRETARIA DE EDUCAÇÃO MUNICIPAL DE PARACURU, 2013).

### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

- a) Etapa 1 – Definição da área de estudo: a primeira etapa é a definição da área de estudo. Esta definição compreende a identificação dos pontos a serem atendidos dentro do limite da área em questão, as garagens ou pontos de origem e as escolas para as quais os alunos devem ser transportados;
- b) Etapa 2 – Georreferenciamento da rede viária, escolas e pontos de embarque e desembarque dos alunos: o georreferenciamento da rede viária disponível para o tráfego de veículos do transporte escolar rural é a parte fundamental para a solução do problema, pois é a partir deste mapeamento que se pode ter uma visualização geral do problema, permitindo a obtenção das distâncias reais e o cálculo dos tempos de deslocamento na rede viária. Tendo em vista que dificilmente as vias da zona rural encontram-se digitalizadas, torna-se necessário realizar o georreferenciamento, que pode ser efetuado com uma tecnologia simples do tipo GPS (*Global Positioning System*) portátil. Sendo necessário percorrer as vias utilizadas pelo transporte escolar e as demais vias da zona rural portando um GPS e registrar todos os pontos de embarque e desembarque. Pode-se aproveitar nesta etapa para fazer o levantamento de outras informações, tais como a quantidade de alunos que embarca em cada ponto de parada e a localização das escolas para as quais os alunos são deslocados;
- c) Etapa 3 – Preparo das bases e montagem do banco de dados georreferenciado: utilizou-se um software SIG para leitura das informações do aparelho GPS que permite a criação do banco de dados georreferenciado. Desta forma, é possível obter as distâncias entre os pontos de parada identificados;
- d) Etapa 4 – Definição da restrição de capacidade dos veículos: no transporte escolar rural, pode-se dizer que uma das restrições importantes do problema é a capacidade dos veículos, pois muitos transportes não respeitam essa restrição enquanto outros alunos são coletados ao longo do percurso. Pode-se também atribuir à heurística de Clarke e Wright (ver p. 34) restrições adicionais como custo, atendimento preferencial de alunos ou de escolas, entre outras;

- e) Etapa 5 – Aplicação do Método de Roteirização de Clarke e Wright: utilizando o método de Clarke e Wright (ver p. 34) serão elaborados os roteiros dos respectivos setores através das 5 atividades propostas pelos autores:
- Atividades 01: Combinação dois a dois de todos os clientes, e cálculo dos respectivos ganhos;
  - Atividade 02: Ordenação das combinações, seguindo a ordem decrescente dos ganhos;
  - Atividade 03: Inicia-se a construção do roteiro com a combinação dos dois clientes que apresentaram o maior ganho, posteriormente vai incluindo as demais combinações de acordo com a sequência decrescente de ganhos;
  - Atividade 04: Para um par de clientes  $C_iC_j$  tirado da sequência observa-se, se os mesmos já estão inclusos em um roteiro iniciado;
  - Atividade 05: Verifica-se a configuração do roteiro, se as restrições do cenário são satisfeitas.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

#### 3.3.1 Etapa 1: Definição da área de estudo

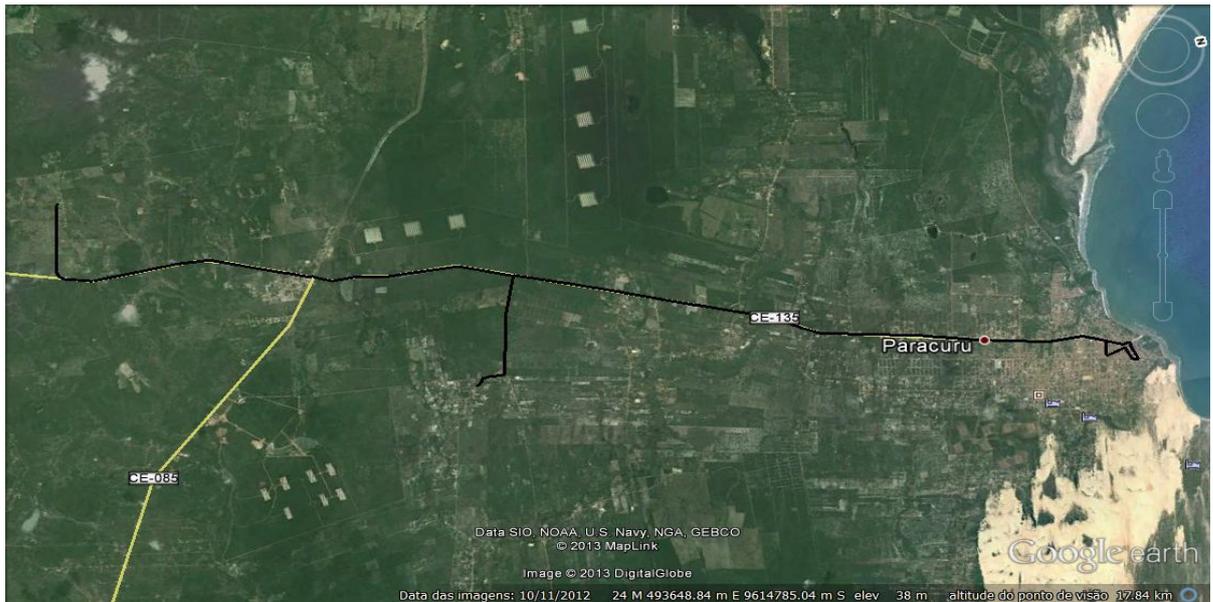
Foram selecionadas duas rotas no Município de Paracuru. A primeira rota atende a localidade de Tabuleiro Alegre/Sede, no qual, os alunos transportados por esta linha tinham como destino escolas localizadas no centro urbano. A segunda é uma rota interna que atende os alunos localizados na Sede, em pontos mais afastados. A área de estudo definida abrange, portanto, o ponto de saída do veículo (garagem e origem da rota), os pontos de embarque destes alunos na área rural e sede, as vias que os transportes percorrem e as escolas para as quais os alunos se deslocam no centro do Município.

#### 3.3.2 Etapa 2: Georreferenciamento da rede viária, escolas e pontos de embarque e desembarque dos alunos

Para o georreferenciamento foi utilizado um GPS portátil (marca: Garmin, modelo: 60CSx) percorrendo a linha desde o início até o final, ambos localizados na

garagem, marcando, por meio do sinal do GPS, o itinerário feito pelo veículo. Ao longo da viagem foram captados os pontos de embarque e desembarque, escolas e garagem. Pode-se ver nas Figuras 6 e 7 o mapeamento das linhas de transporte feito através dos pontos fornecidos pelo GPS.

**Figura 6** – Linha de transporte escolar da rota 1 do Município de Paracuru



Fonte: Google Earth (2013).

**Figura 7** – Linha de transporte escolar da rota 2 do Município de Paracuru



Fonte: Google Earth (2013).

O transporte escolar rural do Município circula por vias com diferentes tipos de pavimento: asfalto, carroçável, calçamento e misto. Foi constatado que o pavimento do tipo misto tem a maior extensão (Figura 8).

**Figura 8** – Tipos de Pavimento



Calçamento



Carroçável

Fonte: Próprio autor.

As vias, em muitos trechos, se encontram em boas condições de tráfego. Nas rotas estudadas, em que o transporte escolar é utilizado, existem trechos que tornam o tráfego ruim, em razão de buracos (Figura 9).

**Figura 9** – Tipos de vias



Via Asfáltica



Via Carroçável

Fonte: Próprio autor.

O embarque e desembarque de estudantes (Figura 10) são feitos nas residências, pontos de parada à beira da estrada, em locais preestabelecidos (esquinas e praças), e nas escolas. As distâncias entre uma parada e outra em muitos pontos da estrada são de aproximadamente 100 metros, com ausência de abrigos e assentos.

**Figura 10** – Pontos de embarque/desembarque de estudantes



Parada na Estrada



Parada na Escola

Fonte: Próprio autor.

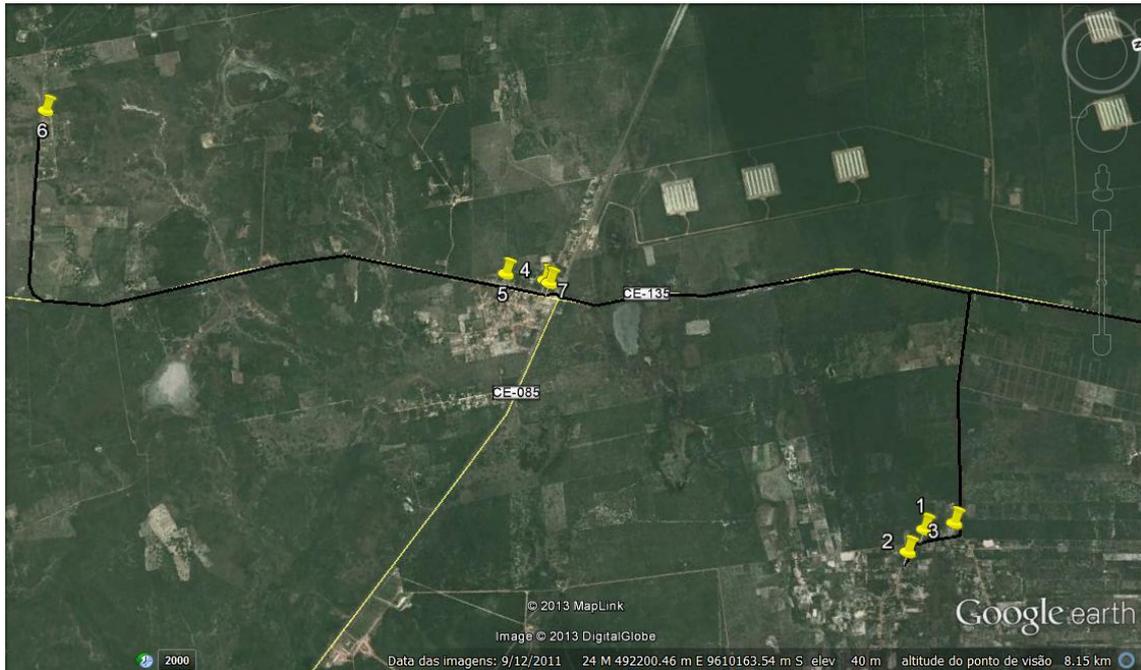
### 3.3.3 Etapa 3 – Preparo das bases e montagem do banco de dados georreferenciados

O programa computacional utilizado para leitura dos dados georreferenciados foi o Google Earth, em uma versão limitada, disponível gratuitamente na Internet, pelo site: <http://earth.google.com>. Nesse programa, as imagens são obtidas por imagens enviadas por um satélite da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e atualizadas periodicamente. Uma vez mapeadas as rotas, foram obtidas as distâncias reais entre os pontos.

Cada elemento georreferenciado possui associado a si um banco de dados que foi coletado ao longo da viagem. Para os pontos de parada são acumuladas informações em relação ao número de alunos que embarcam e desembarcam, situação da infraestrutura das paradas. Cada trecho (distância entre paradas) possui informação do tipo de pavimento.

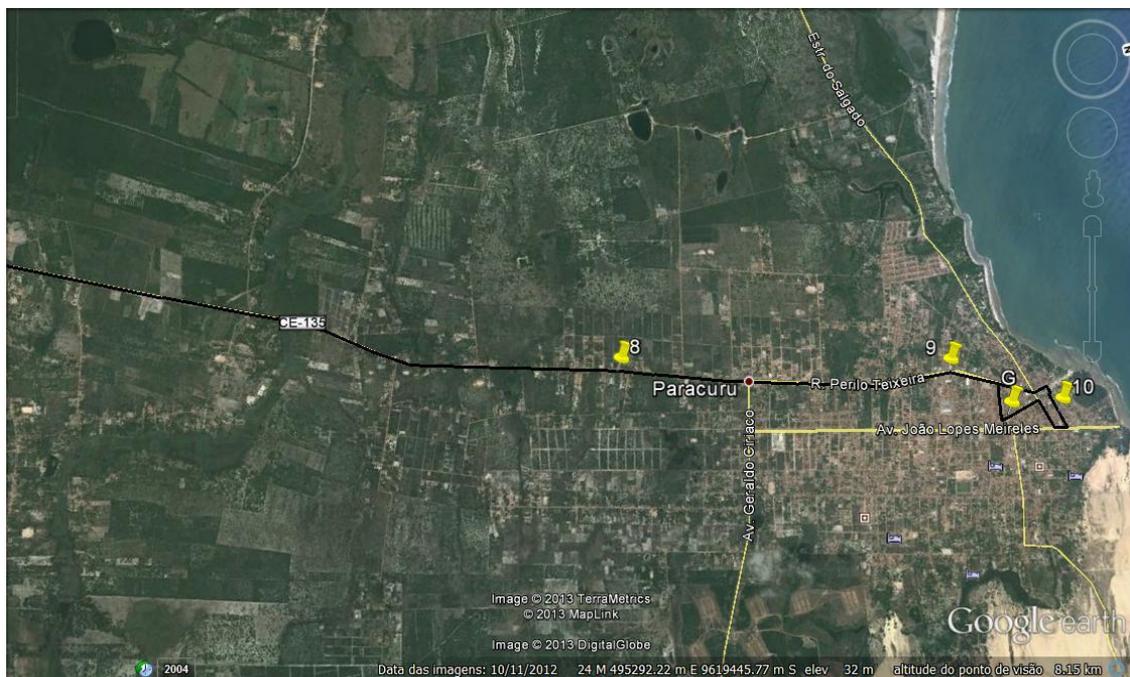
Nas Figuras 11, 12 e 13 estão representados os pontos de parada (de embarque e desembarque), as escolas e a garagem. A rota 1 possui um total de 12 pontos de parada (incluindo a garagem) e um total de 36 alunos transportados. A rota 2 possui um total de 23 pontos de parada (incluindo a garagem) e um total de 66 alunos transportados. Ambas as rotas têm início e fim na garagem no centro do Município, onde ficam localizadas também as escolas.

**Figura 11 – Vista aérea da rota 1 (parte 1) – Tabuleiro Alegre/Guajiru/Sede**



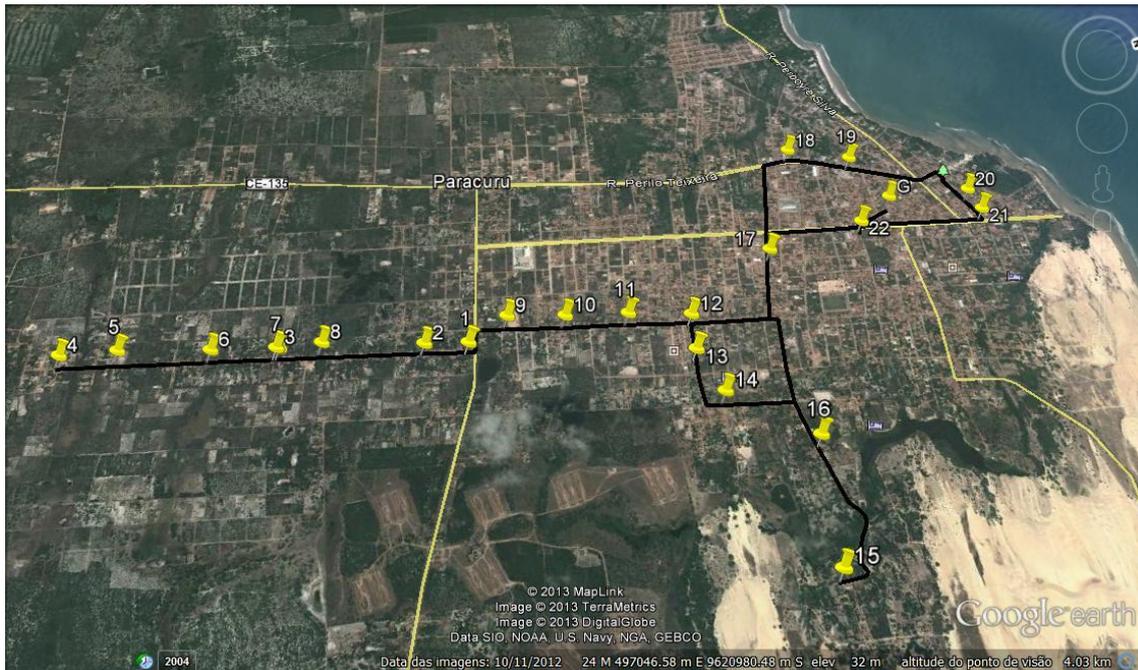
Fonte: Google Earth (2013).

**Figura 12 – Vista aérea da rota 1 (parte 2) – Tabuleiro Alegre/Guajiru/Sede**



Fonte: Google Earth (2013).

**Figura 13 – Vista aérea da rota 2 – sede**



Fonte: Google Earth (2013).

Em virtude da extensão das tabelas montadas para as características das rotas 1 e 2 optou-se por colocá-las para os apêndices A e B do trabalho.

A prefeitura da cidade disponibiliza um ônibus para cada uma das rotas para o transporte dos alunos em uma só viagem. O veículo utilizado na rota 1 possui 44 assentos. Para a rota 2, o veículo disponibilizado possui 60 assentos (Figura 14).

**Figura 14 – Veículos utilizados pelas rotas 1 e 2**



Ônibus da Rota 1



Assentos do Ônibus da Rota 1



Ônibus da Rota 2



Assentos do Ônibus da Rota 2

Fonte: Próprio autor.

### 3.3.4 Etapa 4: Definição das restrições de tempo de embarque e capacidade dos veículos

Foi utilizada como restrição a capacidade dos veículos (CV) e o tempo de embarque do aluno. Para a rota 1 o veículo utilizado possui capacidade de transportar 44 alunos, e para a rota 2 uma capacidade para transportar 60 alunos.

### 3.3.5 Etapa 5: Aplicação do Método de Roteirização de Clarke e Wright

#### 3.3.5.1 Atividade 1: Combinação dois a dois de todos os pontos, e cálculo dos respectivos ganhos

Foram levantadas distâncias entre o ponto de partida (garagem) até os pontos de parada. Também foram levantadas as distâncias entre os pontos de dois a dois.

Em virtude da extensão das tabelas montadas para as distâncias optou-se por colocá-las para os apêndices C e D do trabalho.

Após o registro das distâncias foi aplicada a Equação 3 do Método de Roteirização de Clarke e Wright em relação ao ponto G – ponto de saída e chegada (Figura 11, 12, 13) e construídas as tabelas de ganhos 4 e 5 para às respectivas rotas. As tabelas estão apresentadas resumidamente por conta da extensão, logo, optou-se por colocá-las nos apêndices E e F do trabalho.

**Tabela 4** – Cálculo dos ganhos da rota 1 (resumo)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C1C2	12,00	12,50	0,26	24,24
C1C3	12,00	13,50	0,27	25,23
C1C9	12,00	1,21	12,10	1,11
C1C10	12,00	0,56	13,20	-0,64
C2C3	12,50	13,5	0,49	25,51
C3C5	13,50	14,55	6,00	22,05
C3C7	13,50	14,19	5,65	22,04
C3C8	13,50	3,54	9,10	7,94
C3C9	13,50	1,21	11,89	2,82
C3C10	13,50	0,56	13,00	1,06
C4C5	14,23	14,55	0,038	28,742
C4C6	14,23	20,02	0,32	33,93
C4C10	14,23	0,56	14,52	0,27
C5C6	14,55	20,02	5,47	29,10
C5C7	14,55	14,19	0,37	28,37
C5C8	14,55	3,54	11,05	7,04
C6C7	20,02	14,19	5,83	28,38
C6C8	20,02	3,54	16,52	7,04
C7C8	14,19	3,54	10,68	7,05

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 5** – Cálculo dos ganhos da rota 2 (resumo)

(continua)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C1C2	2,80	2,99	0,20	5,59
C1C3	2,80	3,70	0,91	5,59
C2C3	2,99	3,70	0,71	5,98
C3C6	3,70	4,00	0,31	7,39
C3C7	3,70	3,67	0,02	7,35
C3C8	3,70	3,48	0,22	6,96
C4C5	4,70	4,43	0,27	8,86
C7C22	3,67	0,25	3,55	0,37
C8C9	3,50	2,50	1,00	5,00
C8C10	3,50	2,21	1,28	4,43
C8C11	3,50	1,92	1,58	3,84

(conclusão)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C9C12	2,50	1,62	0,92	3,20
C10C16	2,21	1,97	1,74	2,44
C12C13	1,62	1,81	0,20	3,23
C12C14	1,62	2,12	0,51	3,23
C13C14	1,81	2,12	0,31	3,62
C14C17	2,12	0,87	0,65	2,34
C14C18	2,12	0,89	1,42	1,59
C14C22	2,12	0,25	1,37	1,00
C15C16	2,73	1,97	0,78	3,92
C17C22	0,87	0,25	0,72	0,40
C18C19	0,89	0,62	0,34	1,17
C19C22	0,62	0,25	0,51	0,36
C20C21	0,56	0,73	0,17	1,12

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.3.5.2 Atividade 02: Ordenação das combinações, seguindo a ordem decrescente dos ganhos

Após a realização de todos os cálculos as tabelas 4 e 5 foram ordenadas seguindo a partir da combinação com o maior valor de ganho calculado até o menor.

### 3.3.5.3 Atividade 03: Inicia-se a construção do roteiro com a combinação dos dois pontos que apresentam o maior ganho, posteriormente vai incluindo as demais combinações de acordo com a sequência decrescente de ganhos

As atividades 02 e 03 foram organizadas em uma única tabela para cada rota estudada a fim de simplificar o entendimento.

Com os ganhos organizados em ordem decrescente foram iniciadas a construção dos roteiros (tabelas 6 e 7). As tabelas estão apresentadas resumidamente por conta da extensão, logo, optou-se por colocá-las para os apêndices G e H do trabalho.

**Tabela 6** – Ordenação dos ganhos da rota 1 e início da construção do roteiro (resumo)

Atividade 02		Atividade 03
Ganho	CiCj	Roteiro
33,93	C4C6	1
29,10	C5C6	1
28,742	C4C5	Destino incluso no roteiro
28,38	C6C7	1
28,37	C5C7	Destino incluso no roteiro
25,51	C2C3	1
25,23	C1C3	1
24,24	C1C2	Destino incluso no roteiro
22,05	C3C5	Destino incluso no roteiro
22,04	C3C7	Destino incluso no roteiro
7,94	C3C8	1
7,05	C7C8	Destino incluso no roteiro
7,04	C5C8	Destino incluso no roteiro
7,04	C6C8	Destino incluso no roteiro
2,82	C3C9	1
1,11	C1C9	Destino incluso no roteiro
1,06	C3C10	1
0,27	C4C10	Destino incluso no roteiro
-0,64	C1C10	Destino incluso no roteiro

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 7** – Ordenação dos ganhos da rota 2 e início da construção do roteiro (resumo)

(continua)

Atividade 2		Atividade 3
Ganho	CiCj	Roteiro
8,86	C4C5	1
7,99	C4C6	1
7,39	C3C6	1
7,35	C3C7	1
6,96	C3C8	1
5,98	C2C3	1
5,59	C1C2	1
5,59	C1C3	Destino incluso no roteiro
5,00	C8C9	1
4,43	C8C10	1

(conclusão)

Atividade 2		Atividade 3
Ganho	CiCj	Roteiro
3,92	C15C16	1
3,84	C8C11	1
3,62	C13C14	1
3,23	C12C13	1
3,23	C12C14	Destino incluso no roteiro
3,20	C9C12	Destino incluso no roteiro
2,44	C10C16	Destino incluso no roteiro
2,34	C14C17	1
1,59	C14C18	1
1,17	C18C19	1
1,12	C20C21	1
1,00	C14C22	1
0,40	C17C22	Destino incluso no roteiro
0,37	C7C22	Destino incluso no roteiro
0,36	C19C22	Destino incluso no roteiro

Fonte: Elaborada pelo autor.

*3.3.5.4 Atividade 4: Para um par de pontos CiCj tirado da sequência observa-se os mesmo já estão inclusos em um roteiro iniciado*

Haja vista que as restrições para a elaboração foram determinadas os roteiros foram sendo testados logo de início para que não fosse necessário refazê-los, pois seria gasto um bom tempo de retrabalho.

Como restrição para elaboração do roteiro foi utilizado o parâmetro de capacidade do veículo. Assim, em cada rota o veículo utilizado não poderia transportar mais alunos do que é determinado pela sua capacidade. Havendo essa ultrapassagem, um novo roteiro deveria ser construído.

**Tabela 8** – Ordem decrescente de ganhos das rotas 1 e 2

(continua)

Rota 1			Rota 2		
Ganho	CiCj	Roteiro	Ganho	CiCj	Roteiro
33,93	C4C6	1	8,86	C4C5	1

(conclusão)

Rota 1			Rota 2		
Ganho	CiCj	Roteiro	Ganho	CiCj	Roteiro
29,10	C5C6	1	7,99	C4C6	1
28,38	C6C7	1	7,39	C3C6	1
25,51	C2C3	1	7,35	C3C7	1
25,23	C1C3	1	6,96	C3C8	1
7,94	C3C8	1	5,98	C2C3	1
2,82	C3C9	1	5,59	C1C2	1
1,06	C3C10	1	5,00	C8C9	1
			4,43	C8C10	1
			3,92	C15C16	1
			3,84	C8C11	1
			3,62	C13C14	1
			3,23	C12C13	1
			2,34	C14C17	1
			1,59	C14C18	1
			1,17	C18C19	1
			1,12	C20C21	1
			1,00	C14C22	1

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.3.5.5 Atividade 05: Verifica-se a configuração do roteiro, se as restrições do cenário são satisfeitas

De acordo com a restrição estabelecida, o veículo utilizado para a rota 1 não ultrapassou a sua capacidade durante o transporte dos alunos satisfazendo a demanda atendida. Já o veículo que faz o trajeto da rota 2 não atendeu a restrição de capacidade, mas como a rota apresenta uma extensão de apenas 15,1 quilômetros, e os últimos alunos que embarcam permanecem em torno de apenas 5 minutos dentro do veículo, não haverá necessidade de criar uma nova rota.

Com todos os pontos alocados em suas rotas estabelecidas, o passo final é o sequenciamento deles, ou seja, a priorização do embarque em cada rota, conforme a Tabela 9.

**Tabela 9** – Sequenciamento dos pontos de embarque/desembarque, por rota

<b>Rota</b>	<b>Sequência</b>	<b>Número de Alunos Atendidos</b>	<b>Tempo Máximo de Viagem do Primeiro Aluno Embarcado</b>
Rota 1	G-6-5-4-7-2-1-3-8-9-10-G	36 alunos	35 Minutos
Rota 2	G-4-5-6-3-7-8-2-1-9-10-11- 12-13-14-15-16-17-18-19- 20-21-22-G	66 alunos	33 Minutos

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com a aplicação do Método de Clarke e Wright pode-se obter uma diminuição no tempo de permanência do aluno no transporte escolar. Na rota 1, o primeiro aluno embarcado permanecia cerca de 47 minutos dentro do ônibus enquanto eram coletados os demais estudantes, com a definição da nova rota obteve-se uma diminuição de aproximadamente 12 minutos, e o novo tempo de permanência do primeiro aluno embarcado foi estabelecido em torno de 35 minutos (Tabela 9). Na rota 2, esse tempo era de 40 minutos, com a definição da nova rota obteve-se uma diminuição de 7 minutos, com o tempo de permanência estabelecido em torno de 33 minutos (Tabela 9).

Foi sugerido para a rota 1, a unificação dos pontos de parada 1, 2 e 3 e os pontos 5, 4 e 7, pois se distanciam em torno de 300 e 100 metros respectivamente. Para a rota 2, a unificação dos pontos 1 e 2, pontos 3, 7 e 8, pontos 4 e 5, pontos 9, 10 e 11, pois se distanciam em torno de 200, 200, 300 e 300 metros respectivamente. Para a rota 3, unificação dos pontos 12 e 13, pois se distanciam em torno de 200 metros. Logo com a unificação desses pontos, ocorrerá uma diminuição no tamanho do percurso.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O ESTUDO DE CASO

Para a rota 1 há uma ociosidade na utilização do equipamento e para a rota 2 há uma sobrecarga, logo pode-se ver que existem problemas com a adequação dos equipamentos para cada rota, logo, esse problema seria resolvido com um dimensionamento da frota.

Um dos objetivos desta pesquisa é obter o itinerário que o transporte escolar rural segue para levar os alunos até as escolas e melhorar o nível de serviços do TER.

Com a utilização do GPS e o acompanhamento da rota, pôde-se ver que a situação de muitas vias e a presença de paradas muito próximas fazem com que o transporte dos alunos leve um tempo maior para completar todo o trajeto programado. Para evitar a ocorrência de paradas muito próximas, pode-se fixar placas de ponto de ônibus, no qual, ainda não existe, e conscientizar os alunos para que esperem em suas respectivas paradas evitando assim, possíveis atrasos no itinerário. Este trabalho deu a oportunidade de estudar e pesquisar in loco um pouco do dia a dia de alguns dos estudantes da zona rural, despertando interesse na elaboração de melhorias para o sistema de transporte escolar no Município de Paracuru.

## 4 CONCLUSÃO

Esta pesquisa mostra que, no Município de Paracuru, o acesso dos alunos que vivem na zona rural à rede de ensino é um pouco complicado para as rotas 1 e 2, pois mesmo com a disponibilização de ônibus escolares, os pontos de parada não oferecem nenhuma segurança para os alunos enquanto esperam o transporte, as condições das vias de transporte utilizadas pelos veículos em muitos casos são precárias, aumentando assim, o tempo de viagem. Ocorre também uma grande dificuldade em virtude da localização dispersa dos estudantes, o que torna mais difícil conseguir que sejam adotados os mesmos critérios de coleta dos alunos.

Pode-se afirmar que todos os objetivos estabelecidos, inicialmente, foram atingidos. Os objetivos específicos foram alcançados, por meio do desenvolvimento do capítulo dois quando se identificou os principais métodos e técnicas de roteirização e a partir dessa identificação, foi possível selecionar o método mais viável para a elaboração dos roteiros.

Os objetivos de obter o itinerário atual e o de aplicar o método de roteirização foram contemplados ao longo do capítulo 3.

O objetivo geral da pesquisa, onde se quer melhorar o nível de serviço do transporte escolar rural no Município de Paracuru através de técnicas de roteirização, foi alcançado através do desenvolvimento do capítulo 3, onde se elaborou cinco etapas para realizar o roteiro do transporte escolar.

A título de ilustração, um ônibus zero quilômetro (capaz de transportar 59 alunos sentados), custa em média R\$ 250.500,00 (duzentos e cinquenta mil e quinhentos reais), enquanto um micro-ônibus (capaz de transportar 29 alunos sentados), custa em torno de R\$ 130.000,00 (cento e trinta mil reais).

O resultado obtido com este estudo é uma solução de atendimento para os alunos, considerando, portanto, a capacidade dos veículos e o tempo de embarque dos estudantes como restrição. As rotas obtidas podem ser atendidas com a utilização de apenas dois ônibus de 40 e 66 assentos respectivamente para as rotas 1 e 2 estudadas.

Como sugestões de trabalhos futuros podem-se destacar:

- a) Desenvolver uma pesquisa para levantar e analisar os dados relacionados aos custos do transporte escolar rural;

- b) Fazer uma análise crítica da infraestrutura de suporte aos alunos e do sistema de transporte escolar rural.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Antonio Carlos; NOVAES, Antonio Galvão N. **Logística aplicada: suprimento e distribuição física**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1994.

ARAÚJO, Carlos Eduardo Freire. **Análise de eficiência nos custos operacionais de rotas do transporte escolar rural**. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado em Transportes)–Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

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

CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços**. São Paulo: Pioneira, 1997.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.todospelaeducacao.org.br//arquivos/biblioteca/2c5634a8-e9d6-41db-8e93-e626622517ac.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2013.

CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. **Transportes**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 51-74, 2000.

ENOMOTO, Leonardo Minoru. **Análise da Distribuição Física e Roteirização em um Atacadista do Sul de Minas Gerais**. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

FLEURY, Paulo Fernando; WANKE, Peter; FIGUEIREDO, Kleber Fossati (Org.). **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (FNDE). **Programa Caminho da Escola - Histórico**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/programas/caminho-da-escola/caminho-da-escola-historico>>. Acesso em: 10 out. 2013.

GALVÃO, Lauro César. **Dimensionamento de Sistemas de Distribuição através do Diagrama Multiplicativo de Voronoi com Pesos**. 2003. 175 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GAMA, Mateus Brito. **Roteirização de Veículos: implementação e melhoria do Método de Clarke e Wright**. 2011. 93 f. Monografia (Graduação)–Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, 2011.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOOGLE Earth for Windows 7. Version 7.1.3.21.153. [S.l.]: Google, 2013. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>>. Acesso em: 11 out. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=231020>>. Acesso em: 11 out. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil Básico Municipal 2011**: Paracuru. Fortaleza, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). **Cartilha do Transporte Escolar**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.geperuaz.com.br/arquivos/File/nucleacao/cartilhatransporte escolar.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2013.

LOPES, Elisangela Pereira. **Modelo Organizacional para o Transporte Escolar Rural nos Estados e Municípios Brasileiros**. 2009. 172 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MARTINS, Ana Paula Antunes. **Análise dos impactos das condições do transporte escolar rural no rendimento escolar dos alunos**. 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

NARUO, Mauro Kenji. **O Estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Sistema de Informações Geográficas**. 2003. 286 f. Dissertação (Mestrado)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2007.

SANTIAGO, K. G. **Proposta de Implantação de descentralização do atendimento de manutenção utilizando a roteirização como ferramenta**: estudo de caso em uma empresa prestadora de serviços de manutenção de elevadores. 2010. 97 f. Monografia (Graduação)–Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SECRETARIA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO DE PARACURU. **Transporte escolar**. Paracuru, CE, 2013.

SILVA, Alan Ricardo da. **Metodologia para avaliação e distribuição de recursos para o transporte escolar rural**. 2009. 161 f. Tese (Doutorado)–Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SOUZA, Valquiria Melo. **Análise Crítica da Infraestrutura de Suporte aos Alunos e do Sistema de Transporte Escolar Rural**: O Caso dos Distritos de Trairi. 2009. 223 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SOUZA, W. M. **Aplicação de mineração de dados para o levantamento de critérios do Programa Nacional do Transporte Escolar**. 2004. 154 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

TEDESCO, Giovanna Megumi Ishida. **Metodologia para elaboração do diagnóstico de um sistema de transporte**. 2008. 196 f. Dissertação (Mestrado)–Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

VALENTE, Amir Mattar; PASSAGLIA, Eunice; NOVAES, Antônio Galvão. **Gerenciamento de transporte e frotas**. São Paulo: Pioneira, 2003.

WU, Luciele. **O problema de roteirização periódica de veículos**. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado)–Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

**APÊNDICE A – Características da rota 1: Tabuleiro Alegre/Guajiru/Sede**

MARCADOR	EMBARQUE (alunos)	DESEMBARQUE (alunos)	LOCAL	TIPO DE PAVIMENTO	LATITUDE (UTM) E (eixo x)	LONGITUDE (UTM) N (eixo y)	HORA
G	0	0	Garagem	Calçamento	496775	9622766	05:30:31
1	4	0	Residência	Calçamento	494533	9612407	05:41:24
2	5	0	Residência	Calçamento	494671	9612227	05:44:16
3	3	0	Residência	Calçamento	494545	9612654	05:46:04
4	9	0	Estrada	Asfalto	491770	9609978	05:55:53
5	2	0	Estrada	Asfalto	491634	9609680	05:57:35
6	4	0	Fim da rota e Retorno	Asfalto	489283	9606295	06:03:23
7	6	0	Estrada	Asfalto	491802	9610006	06:12:34
8	1	0	Estrada	Asfalto	495602	9619757	06:23:59
9	2	13	Escola	Asfalto	496306	9622385	06:28:34
10	0	23	Escola	Asfalto	496852	9623183	06:32:25
11	0	0	Garagem - fim da rota	Calçamento	496775	9622766	06:36:42
Total	36	36					01:10:20

**APÊNDICE B – Características da rota 2: Sede**

(continuação)

MARCADOR	EMBARQUE (alunos)	DESEMBARQUE (alunos)	LOCAL	TIPO DE PAVIMENTO	LATITUDE(UTM) E (eixo x)	LONGITUDE (UTM) N (eixo y)	HORA
G	0		Garagem - Início da Rota	Calçamento	496775	9622766	05:25:59
1	6		Estrada	Asfalto	496972	9620452	05:36:37
2	2		Residência	Calçamento	496983	9620229	05:37:52
3	3		Residência	Calçamento	496717	9619585	05:40:30
4	3		Residência	Carroçável	496442	9618612	05:44:12
5	4		Residência	Carroçável	496500	9618874	05:46:17
6	3		Estrada	Calçamento	496633	9619290	05:47:30
7	2		Estrada	Calçamento	496722	9619598	05:48:27
8	2		Escola	Calçamento	496755	9619794	05:49:01
9	2		Residência	Calçamento	496883	9620666	05:51:59
10	4		Estrada	Calçamento	496969	9620931	05:52:58
11	6		Residência	Calçamento	497051	9621224	05:54:10
12	3		Residência	Calçamento	497151	9621510	05:55:17
13	2		Residência	Calçamento	497343	9621460	05:55:58
14	11		Estrada	Calçamento	497598	9621501	05:57:25
15	5		Residência	Calçamento	498535	9621636	06:01:33
16	8		Estrada	Calçamento	497939	9621820	06:03:32
17		5	Escola	Calçamento	496905	9622030	06:08:17

(conclusão)

MARCADOR	EMBARQUE (alunos)	DESEMBARQUE (alunos)	LOCAL	TIPO DE PAVIMENTO	LATITUDE(UTM) E (eixo x)	LONGITUDE (UTM) N (eixo y)	HORA
18		14	Escola	Asfalto	496306	9622402	06:11:25
19		1	Estrada	Asfalto	496459	9622691	06:12:54
20		13	Escola	Asfalto	496854	9623186	06:16:06
21		15	Escola	Asfalto	496994	9623188	06:17:08
22		18	Escola	Asfalto	496883	9622550	06:19:08
G	0		Garagem - Fim da Rota	Calçamento	496775	9622766	06:21:10
Total	66	66					1:03:19





## APÊNDICE E – Cálculo dos ganhos da rota 1

(continuação)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C1C2	12	12,5	0,26	24,24
C1C3	12	13,5	0,27	25,23
C1C4	12	14,23	5,96	20,27
C1C5	12	14,55	6,3	20,25
C1C6	12	20,02	11,73	20,29
C1C7	12	14,19	5,92	20,27
C1C8	12	3,54	9,42	6,12
C1C9	12	1,21	12,1	1,11
C1C10	12	0,56	13,2	-0,64
C2C3	12,5	13,5	0,49	25,51
C2C4	12,5	14,23	6,2	20,53
C2C5	12,5	14,55	6,53	20,52
C2C6	12,5	20,02	11,94	20,58
C2C7	12,5	14,19	6,15	20,54
C2C8	12,5	3,54	9,69	6,35
C2C9	12,5	1,21	12,38	1,33
C2C10	12,5	0,56	13,49	-0,43
C3C4	13,5	14,23	5,69	22,04
C3C5	13,5	14,55	6	22,05
C3C6	13,5	20,02	11,4	22,12
C3C7	13,5	14,19	5,65	22,04
C3C8	13,5	3,54	9,1	7,94
C3C9	13,5	1,21	11,89	2,82
C3C10	13,5	0,56	13	1,06
C4C5	14,23	14,55	0,038	28,742
C4C6	14,23	20,02	0,32	33,93
C4C7	14,23	14,19	5,79	22,63
C4C8	14,23	3,54	10,72	7,05
C4C9	14,23	1,21	13,41	2,03
C4C10	14,23	0,56	14,52	0,27
C5C6	14,55	20,02	5,47	29,1
C5C7	14,55	14,19	0,37	28,37
C5C8	14,55	3,54	11,05	7,04
C5C9	14,55	1,21	13,74	2,02
C5C10	14,55	0,56	14,85	0,26

(conclusão)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C6C7	20,02	14,19	5,83	28,38
C6C8	20,02	3,54	16,52	7,04
C6C9	20,02	1,21	19,21	2,02
C6C10	20,02	0,56	20,32	0,26
C7C8	14,19	3,54	10,68	7,05
C7C9	14,19	1,21	13,37	2,03
C7C10	14,19	0,56	14,48	0,27
C8C9	3,54	1,21	2,74	2,01
C8C10	3,54	0,56	3,84	0,26
C9C10	1,21	0,56	1,1	0,67

## APÊNDICE F – Cálculo dos ganhos da rota 2

(continua)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C1C2	2,80	2,99	0,20	5,59
C1C3	2,80	3,70	0,91	5,59
C1C4	2,80	4,70	1,93	5,57
C1C5	2,80	4,43	1,66	5,57
C1C6	2,80	4,00	1,22	5,58
C1C7	2,80	3,67	0,89	5,58
C1C8	2,80	3,48	0,69	5,59
C1C9	2,80	2,50	0,31	4,99
C1C10	2,80	2,21	0,59	4,42
C1C11	2,80	1,92	0,90	3,82
C1C12	2,80	1,62	1,23	3,19
C1C13	2,80	1,81	1,43	3,18
C1C14	2,80	2,12	1,74	3,18
C1C15	2,80	2,73	3,10	2,43
C1C16	2,80	1,97	2,32	2,45
C1C17	2,80	0,87	1,94	1,73
C1C18	2,80	0,89	2,72	0,97
C1C19	2,80	0,62	3,10	0,32
C1C20	2,80	0,56	3,37	-0,01
C1C21	2,80	0,73	3,26	0,27
C1C22	2,80	0,25	2,66	0,39
C2C3	2,99	3,70	0,71	5,98
C2C4	2,99	4,70	1,73	5,96
C2C5	2,99	4,43	1,46	5,96
C2C6	2,99	4,00	1,02	5,97
C2C7	2,99	3,67	0,69	5,97
C2C8	2,99	3,48	0,49	5,98
C2C9	2,99	2,50	0,51	4,98
C2C10	2,99	2,21	0,78	4,42
C2C11	2,99	1,92	1,10	3,81
C2C12	2,99	1,62	1,43	3,18
C2C13	2,99	1,81	1,63	3,17
C2C14	2,99	2,12	1,94	3,17
C2C15	2,99	2,73	3,27	2,45
C2C16	2,99	1,97	2,53	2,43

(continuação)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C2C17	2,99	0,87	2,14	1,72
C2C18	2,99	0,89	2,92	0,96
C2C19	2,99	0,62	3,25	0,36
C2C20	2,99	0,56	3,45	0,10
C2C21	2,99	0,73	3,57	0,15
C2C22	2,99	0,25	2,86	0,38
C3C4	3,70	4,70	1,02	7,38
C3C5	3,70	4,43	0,75	7,38
C3C6	3,70	4,00	0,31	7,39
C3C7	3,70	3,67	0,02	7,35
C3C8	3,70	3,48	0,22	6,96
C3C9	3,70	2,50	1,22	4,98
C3C10	3,70	2,21	1,50	4,41
C3C11	3,70	1,92	1,80	3,82
C3C12	3,70	1,62	2,14	3,18
C3C13	3,70	1,81	2,34	3,17
C3C14	3,70	2,12	2,65	3,17
C3C15	3,70	2,73	4,02	2,41
C3C16	3,70	1,97	3,24	2,43
C3C17	3,70	0,87	2,86	1,71
C3C18	3,70	0,89	3,64	0,95
C3C19	3,70	0,62	3,96	0,36
C3C20	3,70	0,56	4,29	-0,03
C3C21	3,70	0,73	4,16	0,27
C3C22	3,70	0,25	3,57	0,38
C4C5	4,70	4,43	0,27	8,86
C4C6	4,70	4,00	0,71	7,99
C4C7	4,70	3,67	1,04	7,33
C4C8	4,70	3,48	1,24	6,94
C4C9	4,70	2,50	2,24	4,96
C4C10	4,70	2,21	2,52	4,39
C4C11	4,70	1,92	2,82	3,80
C4C12	4,70	1,62	3,16	3,16
C4C13	4,70	1,81	3,36	3,15
C4C14	4,70	2,12	3,67	3,15
C4C15	4,70	2,73	5,04	2,39
C4C16	4,70	1,97	4,26	2,41

(continuação)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C4C17	4,70	0,87	3,91	1,66
C4C18	4,70	0,89	4,68	0,91
C4C19	4,70	0,62	5,02	0,30
C4C20	4,70	0,56	5,65	-0,39
C4C21	4,70	0,73	5,16	0,27
C4C22	4,70	0,25	4,61	0,34
C5C6	4,43	4,00	0,44	7,99
C5C7	4,43	3,67	0,77	7,33
C5C8	4,43	3,48	0,97	6,94
C5C9	4,43	2,50	1,97	4,96
C5C10	4,43	2,21	2,25	4,39
C5C11	4,43	1,92	2,55	3,80
C5C12	4,43	1,62	2,89	3,16
C5C13	4,43	1,81	3,09	3,15
C5C14	4,43	2,12	3,40	3,15
C5C15	4,43	2,73	4,77	2,39
C5C16	4,43	1,97	3,99	2,41
C5C17	4,43	0,87	3,59	1,71
C5C18	4,43	0,89	4,37	0,95
C5C19	4,43	0,62	4,70	0,35
C5C20	4,43	0,56	5,00	-0,01
C5C21	4,43	0,73	4,90	0,26
C5C22	4,43	0,25	4,31	0,37
C6C7	4,00	3,67	0,33	7,34
C6C8	4,00	3,48	0,53	6,95
C6C9	4,00	2,50	1,54	4,96
C6C10	4,00	2,21	1,82	4,39
C6C11	4,00	1,92	2,12	3,80
C6C12	4,00	1,62	2,46	3,16
C6C13	4,00	1,81	2,66	3,15
C6C14	4,00	2,12	2,97	3,15
C6C15	4,00	2,73	4,34	2,39
C6C16	4,00	1,97	3,56	2,41
C6C17	4,00	0,87	3,16	1,71
C6C18	4,00	0,89	3,94	0,95
C6C19	4,00	0,62	4,27	0,35
C6C20	4,00	0,56	4,59	-0,03

(continuação)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C6C21	4,00	0,73	4,48	0,25
C6C22	4,00	0,25	3,88	0,37
C7C8	3,67	3,48	0,20	6,95
C7C9	3,67	2,50	1,20	4,97
C7C10	3,67	2,21	1,48	4,40
C7C11	3,67	1,92	1,78	3,81
C7C12	3,67	1,62	2,12	3,17
C7C13	3,67	1,81	2,32	3,16
C7C14	3,67	2,12	2,63	3,16
C7C15	3,67	2,73	4,00	2,40
C7C16	3,67	1,97	3,22	2,42
C7C17	3,67	0,87	2,82	1,72
C7C18	3,67	0,89	3,60	0,96
C7C19	3,67	0,62	3,92	0,37
C7C20	3,67	0,56	4,27	-0,04
C7C21	3,67	0,73	4,14	0,26
C7C22	3,67	0,25	3,55	0,37
C8C9	3,50	2,50	1,00	5,00
C8C10	3,50	2,21	1,28	4,43
C8C11	3,50	1,92	1,58	3,84
C8C12	3,50	1,62	1,92	3,20
C8C13	3,50	1,81	2,12	3,19
C8C14	3,50	2,12	2,43	3,19
C8C15	3,50	2,73	3,80	2,43
C8C16	3,50	1,97	3,02	2,45
C8C17	3,50	0,87	2,62	1,75
C8C18	3,50	0,89	3,41	0,98
C8C19	3,50	0,62	3,74	0,38
C8C20	3,50	0,56	4,10	-0,04
C8C21	3,50	0,73	3,94	0,29
C8C22	3,50	0,25	3,34	0,41
C9C10	2,50	2,21	0,28	4,43
C9C11	2,50	1,92	0,58	3,84
C9C12	2,50	1,62	0,92	3,20
C9C13	2,50	1,81	1,12	3,19
C9C14	2,50	2,12	1,43	3,19
C9C15	2,50	2,73	2,80	2,43

(continuação)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C9C15	2,50	2,73	2,80	2,43
C9C16	2,50	1,97	2,02	2,45
C9C17	2,50	0,87	1,64	1,73
C9C18	2,50	0,89	2,42	0,97
C9C19	2,50	0,62	2,75	0,37
C9C20	2,50	0,56	3,10	-0,04
C9C21	2,50	0,73	2,96	0,27
C9C22	2,50	0,25	2,36	0,39
C10C11	2,21	1,92	0,30	3,83
C10C12	2,21	1,62	0,64	3,19
C10C13	2,21	1,81	0,84	3,18
C10C14	2,21	2,12	1,15	3,18
C10C15	2,21	2,73	2,52	2,42
C10C16	2,21	1,97	1,74	2,44
C10C17	2,21	0,87	1,36	1,72
C10C18	2,21	0,89	2,14	0,96
C10C19	2,21	0,62	2,48	0,35
C10C20	2,21	0,56	2,80	-0,03
C10C21	2,21	0,73	2,68	0,26
C10C22	2,21	0,25	2,10	0,36
C11C12	1,92	1,62	0,34	3,20
C11C13	1,92	1,81	0,54	3,19
C11C14	1,92	2,12	0,85	3,19
C11C15	1,92	2,73	2,22	2,43
C11C16	1,92	1,97	1,44	2,45
C11C17	1,92	0,87	1,06	1,73
C11C18	1,92	0,89	1,84	0,97
C11C19	1,92	0,62	2,18	0,36
C11C20	1,92	0,56	2,50	-0,02
C11C21	1,92	0,73	2,38	0,27
C11C22	1,92	0,25	1,80	0,37
C12C13	1,62	1,81	0,20	3,23
C12C14	1,62	2,12	0,51	3,23
C12C15	1,62	2,73	1,88	2,47
C12C16	1,62	1,97	1,10	2,49
C12C17	1,62	0,87	1,00	1,49
C12C18	1,62	0,89	1,83	0,68

(continuação)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C12C19	1,62	0,62	2,16	0,08
C12C20	1,62	0,56	2,48	-0,30
C12C21	1,62	0,73	2,36	-0,01
C12C22	1,62	0,25	1,77	0,10
C13C14	1,81	2,12	0,31	3,62
C13C15	1,81	2,73	1,68	2,86
C13C16	1,81	1,97	0,90	2,88
C13C17	1,81	0,87	0,96	1,72
C13C18	1,81	0,89	1,73	0,97
C13C19	1,81	0,62	2,10	0,33
C13C20	1,81	0,56	2,39	-0,02
C13C21	1,81	0,73	2,27	0,27
C13C22	1,81	0,25	1,68	0,38
C14C15	2,12	2,73	1,37	3,48
C14C16	2,12	1,97	0,59	3,50
C14C17	2,12	0,87	0,65	2,34
C14C18	2,12	0,89	1,42	1,59
C14C19	2,12	0,62	1,79	0,95
C14C20	2,12	0,56	2,08	0,60
C14C21	2,12	0,73	1,96	0,89
C14C22	2,12	0,25	1,37	1,00
C15C16	2,73	1,97	0,78	3,92
C15C17	2,73	0,87	1,89	1,71
C15C18	2,73	0,89	2,67	0,95
C15C19	2,73	0,62	2,98	0,37
C15C20	2,73	0,56	3,32	-0,03
C15C21	2,73	0,73	3,21	0,25
C15C22	2,73	0,25	2,61	0,37
C16C17	1,97	0,87	1,11	1,73
C16C18	1,97	0,89	1,89	0,97
C16C19	1,97	0,62	2,22	0,37
C16C20	1,97	0,56	2,54	-0,01
C16C21	1,97	0,73	2,43	0,27
C16C22	1,97	0,25	1,83	0,39
C17C18	0,87	0,89	0,78	0,98
C17C19	0,87	0,62	1,12	0,37
C17C20	0,87	0,56	1,44	-0,01

(conclusão)

CiCj	Di	Dj	dij	$G_{i,j} = D_i + D_j - d_{i,j}$
C17C21	0,87	0,73	1,32	0,28
C17C22	0,87	0,25	0,72	0,40
C18C19	0,89	0,62	0,34	1,17
C18C20	0,89	0,56	1,10	0,35
C18C21	0,89	0,73	1,25	0,37
C18C22	0,89	0,25	0,75	0,39
C19C20	0,62	0,56	0,76	0,42
C19C21	0,62	0,73	0,92	0,43
C19C22	0,62	0,25	0,51	0,36
C20C21	0,56	0,73	0,17	1,12
C20C22	0,56	0,25	0,85	-0,04
C21C22	0,73	0,25	0,69	0,29

**APÊNDICE G – Ordenação dos ganhos da rota 1 e início da construção do roteiro**

(continua)

Atividade 02		Atividade 03
Ganho	CiCj	Roteiro
33,93	C4C6	1
29,1	C5C6	1
28,742	C4C5	Destino incluso no roteiro
28,38	C6C7	1
28,37	C5C7	Destino incluso no roteiro
25,51	C2C3	1
25,23	C1C3	1
24,24	C1C2	Destino incluso no roteiro
22,63	C4C7	Destino incluso no roteiro
22,12	C3C6	Destino incluso no roteiro
22,05	C3C5	Destino incluso no roteiro
22,04	C3C4	Destino incluso no roteiro
22,04	C3C7	Destino incluso no roteiro
20,58	C2C6	Destino incluso no roteiro
20,54	C2C7	Destino incluso no roteiro
20,53	C2C4	Destino incluso no roteiro
20,52	C2C5	Destino incluso no roteiro
20,29	C1C6	Destino incluso no roteiro
20,27	C1C4	Destino incluso no roteiro
20,27	C1C7	Destino incluso no roteiro
20,25	C1C5	Destino incluso no roteiro
7,94	C3C8	1
7,05	C4C8	Destino incluso no roteiro
7,05	C7C8	Destino incluso no roteiro
7,04	C5C8	Destino incluso no roteiro
7,04	C6C8	Destino incluso no roteiro
6,35	C2C8	Destino incluso no roteiro
6,12	C1C8	Destino incluso no roteiro
2,82	C3C9	1
2,03	C4C9	Destino incluso no roteiro
2,03	C7C9	Destino incluso no roteiro
2,02	C5C9	Destino incluso no roteiro
2,02	C6C9	Destino incluso no roteiro
2,01	C8C9	Destino incluso no roteiro

(conclusão)

Atividade 02		Atividade 03
Ganho	CiCj	Roteiro
1,33	C2C9	Destino incluso no roteiro
1,11	C1C9	Destino incluso no roteiro
1,06	C3C10	1
0,67	C9C10	Destino incluso no roteiro
0,27	C4C10	Destino incluso no roteiro
0,27	C7C10	Destino incluso no roteiro
0,26	C5C10	Destino incluso no roteiro
0,26	C6C10	Destino incluso no roteiro
0,26	C8C10	Destino incluso no roteiro
-0,43	C2C10	Destino incluso no roteiro
-0,64	C1C10	Destino incluso no roteiro

**APÊNDICE H – Ordenação dos ganhos da rota 2 e início da construção do roteiro**

(continua)

Atividade 2		Atividade 3
Ganho	CiCj	Roteiro
8,86	C4C5	1
7,99	C4C6	1
7,99	C5C6	Destino incluso no roteiro
7,39	C3C6	1
7,38	C3C4	Destino incluso no roteiro
7,38	C3C5	Destino incluso no roteiro
7,35	C3C7	1
7,34	C6C7	Destino incluso no roteiro
7,33	C4C7	Destino incluso no roteiro
7,33	C5C7	Destino incluso no roteiro
6,96	C3C8	1
6,95	C6C8	Destino incluso no roteiro
6,95	C7C8	Destino incluso no roteiro
6,94	C4C8	Destino incluso no roteiro
6,94	C5C8	Destino incluso no roteiro
5,98	C2C3	1
5,98	C2C8	Destino incluso no roteiro
5,97	C2C6	Destino incluso no roteiro
5,97	C2C7	Destino incluso no roteiro
5,96	C2C4	Destino incluso no roteiro
5,96	C2C5	Destino incluso no roteiro
5,59	C1C2	1
5,59	C1C3	Destino incluso no roteiro
5,59	C1C8	Destino incluso no roteiro
5,58	C1C6	Destino incluso no roteiro
5,58	C1C7	Destino incluso no roteiro
5,57	C1C4	Destino incluso no roteiro
5,57	C1C5	Destino incluso no roteiro
5,00	C8C9	1
4,99	C1C9	Destino incluso no roteiro
4,98	C2C9	Destino incluso no roteiro
4,98	C3C9	Destino incluso no roteiro
4,97	C7C9	Destino incluso no roteiro
4,96	C4C9	Destino incluso no roteiro

(continuação)

Atividade 2		Atividade 3
Ganho	CiCj	Roteiro
4,96	C5C9	Destino incluso no roteiro
4,96	C6C9	Destino incluso no roteiro
4,43	C8C10	1
4,43	C9C10	Destino incluso no roteiro
4,42	C1C10	Destino incluso no roteiro
4,42	C2C10	Destino incluso no roteiro
4,41	C3C10	Destino incluso no roteiro
4,40	C7C10	Destino incluso no roteiro
4,39	C4C10	Destino incluso no roteiro
4,39	C5C10	Destino incluso no roteiro
4,39	C6C10	Destino incluso no roteiro
3,92	C15C16	1
3,84	C8C11	1
3,84	C9C11	Destino incluso no roteiro
3,83	C10C11	Destino incluso no roteiro
3,82	C1C11	Destino incluso no roteiro
3,82	C3C11	Destino incluso no roteiro
3,81	C2C11	Destino incluso no roteiro
3,81	C7C11	Destino incluso no roteiro
3,80	C4C11	Destino incluso no roteiro
3,80	C5C11	Destino incluso no roteiro
3,80	C6C11	Destino incluso no roteiro
3,62	C13C14	1
3,50	C14C16	Destino incluso no roteiro
3,48	C14C15	Destino incluso no roteiro
3,23	C12C13	1
3,23	C12C14	Destino incluso no roteiro
3,20	C8C12	Destino incluso no roteiro
3,20	C9C12	Destino incluso no roteiro
3,20	C11C12	Destino incluso no roteiro
3,19	C1C12	Destino incluso no roteiro
3,19	C8C13	Destino incluso no roteiro
3,19	C8C14	Destino incluso no roteiro
3,19	C9C13	Destino incluso no roteiro

(continuação)

Atividade 2		Atividade 3
Ganho	CiCj	Roteiro
3,19	C9C14	Destino incluso no roteiro
3,19	C10C12	Destino incluso no roteiro
3,19	C11C13	Destino incluso no roteiro
3,19	C11C14	Destino incluso no roteiro
3,18	C1C13	Destino incluso no roteiro
3,18	C1C14	Destino incluso no roteiro
3,18	C2C12	Destino incluso no roteiro
3,18	C3C12	Destino incluso no roteiro
3,18	C10C13	Destino incluso no roteiro
3,18	C10C14	Destino incluso no roteiro
3,17	C2C13	Destino incluso no roteiro
3,17	C2C14	Destino incluso no roteiro
3,17	C3C13	Destino incluso no roteiro
3,17	C3C14	Destino incluso no roteiro
3,17	C7C12	Destino incluso no roteiro
3,16	C4C12	Destino incluso no roteiro
3,16	C5C12	Destino incluso no roteiro
3,16	C6C12	Destino incluso no roteiro
3,16	C7C13	Destino incluso no roteiro
3,16	C7C14	Destino incluso no roteiro
3,15	C4C13	Destino incluso no roteiro
3,15	C4C14	Destino incluso no roteiro
3,15	C5C13	Destino incluso no roteiro
3,15	C5C14	Destino incluso no roteiro
3,15	C6C13	Destino incluso no roteiro
3,15	C6C14	Destino incluso no roteiro
2,88	C13C16	Destino incluso no roteiro
2,86	C13C15	Destino incluso no roteiro
2,49	C12C16	Destino incluso no roteiro
2,47	C12C15	Destino incluso no roteiro
2,45	C1C16	Destino incluso no roteiro
2,45	C2C15	Destino incluso no roteiro
2,45	C8C16	Destino incluso no roteiro
2,45	C9C16	Destino incluso no roteiro
2,45	C11C16	Destino incluso no roteiro

(continuação)

Atividade 2		Atividade 3
Ganho	CiCj	Roteiro
2,44	C10C16	Destino incluso no roteiro
2,43	C1C15	Destino incluso no roteiro
2,43	C2C16	Destino incluso no roteiro
2,43	C3C16	Destino incluso no roteiro
2,43	C8C15	Destino incluso no roteiro
2,43	C9C15	Destino incluso no roteiro
2,43	C11C15	Destino incluso no roteiro
2,42	C7C16	Destino incluso no roteiro
2,42	C10C15	Destino incluso no roteiro
2,41	C3C15	Destino incluso no roteiro
2,41	C4C16	Destino incluso no roteiro
2,41	C5C16	Destino incluso no roteiro
2,41	C6C16	Destino incluso no roteiro
2,40	C7C15	Destino incluso no roteiro
2,39	C4C15	Destino incluso no roteiro
2,39	C5C15	Destino incluso no roteiro
2,39	C6C15	Destino incluso no roteiro
2,34	C14C17	1
1,75	C8C17	Destino incluso no roteiro
1,73	C1C17	Destino incluso no roteiro
1,73	C9C17	Destino incluso no roteiro
1,73	C11C17	Destino incluso no roteiro
1,73	C16C17	Destino incluso no roteiro
1,72	C2C17	Destino incluso no roteiro
1,72	C7C17	Destino incluso no roteiro
1,72	C10C17	Destino incluso no roteiro
1,72	C13C17	Destino incluso no roteiro
1,71	C3C17	Destino incluso no roteiro
1,71	C5C17	Destino incluso no roteiro
1,71	C6C17	Destino incluso no roteiro
1,71	C15C17	Destino incluso no roteiro
1,66	C4C17	Destino incluso no roteiro
1,59	C14C18	1
1,49	C12C17	Destino incluso no roteiro
1,17	C18C19	1

(continuação)

Atividade 2		Atividade 3
Ganho	CiCj	Roteiro
1,12	C20C21	1
1,00	C14C22	1
0,98	C8C18	Destino incluso no roteiro
0,98	C17C18	Destino incluso no roteiro
0,97	C1C18	Destino incluso no roteiro
0,97	C9C18	Destino incluso no roteiro
0,97	C11C18	Destino incluso no roteiro
0,97	C13C18	Destino incluso no roteiro
0,97	C16C18	Destino incluso no roteiro
0,96	C2C18	Destino incluso no roteiro
0,96	C7C18	Destino incluso no roteiro
0,96	C10C18	Destino incluso no roteiro
0,95	C3C18	Destino incluso no roteiro
0,95	C5C18	Destino incluso no roteiro
0,95	C6C18	Destino incluso no roteiro
0,95	C14C19	Destino incluso no roteiro
0,95	C15C18	Destino incluso no roteiro
0,91	C4C18	Destino incluso no roteiro
0,89	C14C21	Destino incluso no roteiro
0,68	C12C18	Destino incluso no roteiro
0,60	C14C20	Destino incluso no roteiro
0,43	C19C21	Destino incluso no roteiro
0,42	C19C20	Destino incluso no roteiro
0,41	C8C22	Destino incluso no roteiro
0,40	C17C22	Destino incluso no roteiro
0,39	C1C22	Destino incluso no roteiro
0,39	C9C22	Destino incluso no roteiro
0,39	C16C22	Destino incluso no roteiro
0,39	C18C22	Destino incluso no roteiro
0,38	C2C22	Destino incluso no roteiro
0,38	C3C22	Destino incluso no roteiro
0,38	C8C19	Destino incluso no roteiro
0,38	C13C22	Destino incluso no roteiro
0,37	C5C22	Destino incluso no roteiro
0,37	C6C22	Destino incluso no roteiro
0,37	C7C19	Destino incluso no roteiro

(continuação)

Atividade 2		Atividade 3
Ganho	CiCj	Roteiro
0,37	C7C22	Destino incluso no roteiro
0,37	C9C19	Destino incluso no roteiro
0,37	C11C22	Destino incluso no roteiro
0,37	C15C19	Destino incluso no roteiro
0,37	C15C22	Destino incluso no roteiro
0,37	C16C19	Destino incluso no roteiro
0,37	C17C19	Destino incluso no roteiro
0,37	C18C21	Destino incluso no roteiro
0,36	C2C19	Destino incluso no roteiro
0,36	C3C19	Destino incluso no roteiro
0,36	C10C22	Destino incluso no roteiro
0,36	C11C19	Destino incluso no roteiro
0,36	C19C22	Destino incluso no roteiro
0,35	C5C19	Destino incluso no roteiro
0,35	C6C19	Destino incluso no roteiro
0,35	C10C19	Destino incluso no roteiro
0,35	C18C20	Destino incluso no roteiro
0,34	C4C22	Destino incluso no roteiro
0,33	C13C19	Destino incluso no roteiro
0,32	C1C19	Destino incluso no roteiro
0,30	C4C19	Destino incluso no roteiro
0,29	C8C21	Destino incluso no roteiro
0,29	C21C22	Destino incluso no roteiro
0,28	C17C21	Destino incluso no roteiro
0,27	C1C21	Destino incluso no roteiro
0,27	C3C21	Destino incluso no roteiro
0,27	C4C21	Destino incluso no roteiro
0,27	C9C21	Destino incluso no roteiro
0,27	C11C21	Destino incluso no roteiro
0,27	C13C21	Destino incluso no roteiro
0,27	C16C21	Destino incluso no roteiro
0,26	C5C21	Destino incluso no roteiro
0,26	C7C21	Destino incluso no roteiro
0,26	C10C21	Destino incluso no roteiro
0,25	C6C21	Destino incluso no roteiro
0,25	C15C21	Destino incluso no roteiro

(conclusão)

Atividade 2		Atividade 3
Ganho	CiCj	Roteiro
0,15	C2C21	Destino incluso no roteiro
0,10	C2C20	Destino incluso no roteiro
0,10	C12C22	Destino incluso no roteiro
0,08	C12C19	Destino incluso no roteiro
-0,01	C1C20	Destino incluso no roteiro
-0,01	C5C20	Destino incluso no roteiro
-0,01	C12C21	Destino incluso no roteiro
-0,01	C16C20	Destino incluso no roteiro
-0,01	C17C20	Destino incluso no roteiro
-0,02	C11C20	Destino incluso no roteiro
-0,02	C13C20	Destino incluso no roteiro
-0,03	C3C20	Destino incluso no roteiro
-0,03	C6C20	Destino incluso no roteiro
-0,03	C10C20	Destino incluso no roteiro
-0,03	C15C20	Destino incluso no roteiro
-0,04	C7C20	Destino incluso no roteiro
-0,04	C8C20	Destino incluso no roteiro
-0,04	C9C20	Destino incluso no roteiro
-0,04	C20C22	Destino incluso no roteiro
-0,30	C12C20	Destino incluso no roteiro
-0,39	C4C20	Destino incluso no roteiro