

**PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DINÂMICA DE VEÍCULOS: UM ESTUDO DE  
CASO EM UMA EMPRESA PRESTADORA DE SERVIÇOS**

**JEANDERSON DA SILVA AZEREDO**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF

Campos dos Goytacazes – RJ  
Setembro/2011

**PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DINÂMICA DE VEÍCULOS: UM ESTUDO DE  
CASO EM UMA EMPRESA PRESTADORA DE SERVIÇOS**

**JEANDERSON DA SILVA AZEREDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**Orientador: Prof. Dr. Geraldo Galdino de Paula Júnior**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO - UENF

Campos dos Goytacazes – RJ  
Setembro/2011

# **PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO DINÂMICA DE VEÍCULOS: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA PRESTADORA DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO**

**JEANDERSON DA SILVA AZEREDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em:

Comissão Examinadora:

---

Prof. Geraldo Galdino de Paula Junior, D.Sc - UENF

---

Prof. Carlos Leonardo Póvoa, D.Sc - UENF

---

Prof. Rodrigo Tavares Nogueira, D.Sc – UENF

---

Prof. Euclides Vieira Neto, D.Sc - ISECENSA

Dedico esta dissertação à minha amada mãe, Luciana Valéria Araújo da Silva Azeredo (*in memoriam*), sem ela nada disso seria possível.

## **Agradecimentos**

A Minha família que se esforçou demais para que eu chegasse até aqui.

A Minha namorada Juliana dos Santos Silva, que tem sido minha inspiração e parceira.

Aos Meus irmãos, Rodrigo e Fabrício, por todos esses anos de parceria.

Aos meus queridos amigos Diego Sales, Camila Romero, Raphael de Brito que sofreram comigo nessa batalha que é o mestrado.

Ao Professor Geraldo Galdino de Paula Jr, pela orientação competente e de imenso valor.

Ao grande amigo Carlos Leonardo Póvoa cujos conselhos foram essenciais para a construção deste trabalho.

## **Resumo**

Cada vez mais as organizações buscam otimizar seus processos de modo que estes garantam a sobrevivência e o maior retorno sobre o capital investido nas diversas operações que estas estão envolvidas. Dessa forma, é notório que organizações que não se preocupam em desenhar processos de negócios robustos e eficientes estará fadada a falhar em um ou mais de um de seus objetivos.

Neste trabalho, buscamos propor melhorias nos processos de gestão de equipes em empresas que necessitam mantê-las em campo para prestar determinados serviços a seus clientes. O trabalho traz a discussão da utilização do problema de roteirização de veículos para criar rotas que minimizam as rotas de execução dos serviços por parte dessas equipes e sugere a criação de módulo de despacho dinâmico no algoritmo apresentado por Póvoa (2005) para tratar de forma mais natural às demandas dessas empresas.

A proposta abordada é relevante devido a grande dificuldade enfrentada pela maioria das empresas que mantêm equipes de serviços em campo, principalmente para designar demandas de atendimento para as equipes que se encontram em campo, a heurística proposta busca designar qual equipe deve atender a demanda recém-chegada em tempo real. Um ponto a ser destacado é que existem poucos trabalhos referentes à resolução de problemas complexos como este e que este assunto tratado na literatura como problema dinâmico de roteirização de veículos é ainda incipiente, principalmente, no Brasil.

**Palavras-Chave:** *Roteirização, Serviços, Equipes.*

## **Abstract**

More and more organizations look to optimize their processes so that they guarantee the survival and higher return on capital invested in the various operations they are involved. Thus, it is clear that organizations that do not bother to design robust business processes and efficient is doomed to fail in one or more of your goals.

In this work, we seek to propose improvements in management teams in companies that need to keep them in the field to provide certain services to its customers. The work brings the discussion of the use of the vehicle routing problem routes to create routes that minimize the performance of services by these teams and suggests the creation of dynamic dispatch module in the algorithm presented by Póvoa (2005) to deal more natural demands of these companies.

The proposal addressed is relevant because of the great difficulty faced by most companies that keeps teams in the field of services, mainly to describe service demands for teams that are in the field, the proposed heuristic search team must designate which meet the demand newly arrival in real time. A point to note is that there are few studies on complex problems like this and that this subject matter in the literature as dynamic problem of vehicle routing is still in its infancy, especially in Brazil

**Key-Words:** *Routing, Services, Teams.*

## Lista de Siglas

*PRV* – Problema de Roteirização de Veículos  
*PDRV* – Problema Dinâmico de Roteirização de Veículos  
*q* – Demanda do cliente  
*Q* – Capacidade do veículo  
*NV* – Número de veículos  
*n* – Número de clientes para os quais deve ser feita uma entrega  
*c* – Custo de viagem  
*S* – Subgrafo qualquer do problema de roteirização de veículos  
*PRVDE* – Problema de Roteirização de Veículos com divisão de entregas  
*PRVJT* – Problema de Roteirização de Veículos com Janela de Tempo  
*T* – Período de tempo a ser especificado  
*TIC* – Tecnologia da Informação e Comunicação  
*EDI* – Intercâmbio Eletrônico de Dados  
*GPS* – Sistema de Posicionamento Global  
*GIS* – Sistema de Informação Geográfica  
*IVHS* – Sistema Inteligente de Gestão de Veículos em Rodovias  
*p* – Pedido do cliente  
*t* – Tempo  
*d* – Dia  
*st* – Tempo de serviço estimado  
 $\square_i^c$  - Tempo padrão do serviço  
 $\omega^u$  - Cubagem do veículo  
*v* – Quantidade de veículos disponíveis  
*r* – Rota do veículo  
*NI* – Pedidos que não fazem parte da solução corrente  
*I* – Subconjunto de pedidos *P* planejados na execução da heurística  
*K* – Localidade do pedido  
*F* – Número de veículos da frota  
*p\** - Pedido inserido na rota  
 $g_{kij}$  – Ganho com a inclusão de pedido  
*1CAE* – Serviços que demandam equipes de apenas 1 componente  
*2CA* – Serviços que demandam equipes de 2 componentes  
*2CE* – Serviços que demandam equipes de 2 componentes  
*PIPA* – Serviços que demandam o caminhão PIPA  
*LimE* – Serviços que demandam caminhão de limpeza



## Lista de Figuras

Figura 1 - Cenário de uma roteirização dinâmica com 8 clientes prévios e 2 imediatos.....	27
Figura 2 - Esquema do fluxo de informação em um sistema de roteirização baseado em GPS. ....	28
Figura 3 - Estratégias de resolução do Problema Dinâmico de Roteirização. ....	31
Figura 4 - Fluxo para Solução do PRV Dinâmico.....	35
Figura 5 - Procedimento de Seleção de Sementes. ....	36
Figura 6 - Procedimento Construir Solução. ....	37
Figura 7 - Procedimento de Busca Local. ....	38
Figura 8 - Procedimento de Inserção de Novos Clientes. ....	41
Figura 9 - Fluxograma da solicitação do cliente na Companhia X. ....	43
Figura 10 - Macrofluxo da solicitação do cliente na Companhia X. ....	43
Figura 11 - Distribuição das Equipes pelos serviços de Água e Esgoto.....	44
Figura 12 - Rota Inicial das equipes do Tipo 2CA.....	47
Figura 13 - Rota Inicial das equipes do Tipo PIPA.....	48
Figura 14 - Procedimentos para o Tratamento do Problemas Dinâmicos de Roteirização .....	49

## Lista de Quadros

Quadro 1 - Principais diferenças entre os problemas de roteirização estático e dinâmico .....	22
Quadro 2 - Vantagens e Desvantagens da (I) Estratégia do Problema Estático e da (II) Estratégia de Inserção. .	32
Quadro 4 - Fluxo para Solução do PRV Dinâmico .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Quadro 5 - Resumo das equipes .....	46
Quadro 6 - Dados resumidos de custo, distância e capacidade das equipes do tipo 2CA. ....	47
Quadro 7 - Dados resumidos de custo, distância e capacidade das equipes do tipo PIPA. ....	48
Quadro 8 - Demandas de clientes para inserção pelo procedimento proposto para as equipes tipo 2CA .....	50
Quadro 9 - Localização dos Clientes.....	50
Quadro 10 - Demandas de clientes para inserção pelo procedimento proposto para as equipes tipo PIPA.....	50
Quadro 11 - Localização dos Clientes.....	51

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivos .....	14
1.2 Justificativas .....	14
<b>2. Problema Estático de Roteirização de Veículos e de Serviços .....</b>	<b>15</b>
2.1 Problema Estático de Roteirização de Veículos .....	15
2.2 Estratégias de Resolução dos Problemas Estáticos de Roteirização.....	19
<b>3. Problemas Dinâmicos de Roteirização .....</b>	<b>21</b>
3.1 Requisitos Técnicos.....	27
3.1.1 Equipamentos de Posicionamento e Comunicação .....	27
3.1.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	29
3.2 Roteirização Dinâmica de Veículos: Métodos de Solução .....	29
3.2.1 Características do Projeto.....	30
3.2.2 Adaptações aos Métodos de Solução do Modelo Estático .....	30
<b>4. Proposta e Formalização da Versão Dinâmica do Problema .....</b>	<b>34</b>
4.1 Contexto Geral .....	34
4.2 Proposta de Resolução do Problema e a Heurística Estática .....	34
4.2.1 Determinação do Custo .....	36
4.2.2 Condições de Viabilidade.....	37
4.2.3 Procedimento de Melhoria (Busca Local).....	38
4.6 O Procedimento de Inserção de Novos Clientes .....	39
<b>5. Estudo de Caso .....</b>	<b>42</b>
5.1 A Empresa .....	42
5.2 Descrição do Problema.....	43
5.3 O Problema.....	45
5.4 Geração de Rotas.....	46
5.4.1 - Caso I.....	50
5.4.2 - Caso II.....	50
<b>6. Conclusões e Perspectivas de Pesquisas Futuras.....</b>	<b>51</b>
<b>7. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>54</b>
<b>Anexo I: Tabela de serviços padrão.....</b>	<b>58</b>

# 1. Introdução

**N**a atual conjuntura do mercado globalizado em que se encontram as operações de diversas empresas a palavra de ordem tem sido racionalizar. Com isso, cada vez mais pressionadas pelos seus *stakeholders* as organizações necessitam encontrar um *mix* de atividades que possibilite qualidade nos serviços prestados aos seus clientes, rentabilidade na operação, redução de custos e que gere o retorno esperado para as partes interessadas.

Nesse contexto, uma série de empresas prestadoras de serviços necessitam manter suas equipes em campo para atender a crescente demanda de solicitações de seus clientes. Dentre essas empresas, destacam-se as empresas de serviços públicos, como as concessionárias dos serviços de água, energia e telefonia. Ademais, a necessidade de haver equipes diretamente envolvidas com a operação da empresa fora das fronteiras da mesma pode trazer algumas dificuldades, principalmente para o gerenciamento das equipes e por isso deve ser foco de atenção de quem gerencia estas operações.

Em geral, as equipes acima mencionadas são responsáveis por atender as solicitações advindas dos clientes internos e externos a empresa, e quando bem gerenciadas possibilitam maior qualidade nos serviços e redução de custos para as empresas. As atividades envolvidas no gerenciamento das equipes estão divididas nas seguintes fases, que podem ou não ser realizadas na sequência abaixo:

- Definição das equipes;
- Definição dos Serviços que serão atendidos, ou criação de prioridade de atendimento;
- Distribuição dos Serviços às equipes. Essa distribuição segue critérios lógicos e restrições de ordem operacional.

Os principais problemas nas atividades relacionadas ao gerenciamento advêm essencialmente da última etapa elucidada acima, mais especificamente em definir uma distribuição das ordens de serviço que assegure às equipes uma rota de execução dos trabalhos que minimize o custo de atendimento, que possibilite a execução de todas as solicitações em tempo hábil e que não viole nenhuma restrição de natureza operacional.

Diante disto pode-se traçar um paralelo entre os conceitos do Problema Dinâmico de Roteirização de Veículos (PDRV) e do Problema Estático de Roteirização de Veículos (PRV), na vertente estática dos problemas de roteirização todas as informações necessárias (localização e demanda do cliente) para que sejam traçadas rotas que buscam maximizar o atendimento ao cliente e em contrapartida minimizar o custo de atendimento dos mesmos são sabidas antes do atendimento das demandas dos clientes, no entanto quando passamos para a fronteira dos problemas dinâmicos podemos não ter todas as informações dos clientes que serão atendidos pelos veículos, dessa forma, admitimos que novos clientes sejam inseridos em rotas já planejadas fato que não é admitido no problema estático de roteirização de veículos.

O Problema Dinâmico de Roteirização de Veículos (PDRV) pode ser caracterizado como uma derivação natural do Problema de Roteirização de Veículos (PRV), no trabalho citado como Problema Estático de Roteirização de Veículos. Segundo Laporte *et al.* (2000) o PRV consiste em definir roteiros para os veículos que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base de veículos, assegurando que cada ponto seja visitado ao menos uma vez e que a demanda de forma alguma, em qualquer rota, não exceda a capacidade. Ou seja, é explícito pela definição do PRV que após iniciada a execução do processo de roteirização não é possível introduzir mudanças – inclusão de novo cliente, exclusão de cliente já previsto anteriormente, mudança de roteiro, etc - no processo.

Assim sendo, dada a incapacidade dos problemas estáticos de tratarem mudanças em tempo real, a abordagem dinâmica do problema de roteirização é a iniciativa que parece mais adequada no sentido de tornar a solução do problema de roteirização mais aderente à realidade das organizações. O Problema Dinâmico de Roteirização de Veículos (PDRV) pode ser definido como a vertente do PRV em que é admitido a inserção, exclusão de demandas sem que isso comprometa o desempenho do serviço que está sendo prestado.

Diante do exposto, o presente trabalho busca retratar o conceito do Problema de Roteirização de Veículo (PRV), serão apresentados os conceitos do Problema Dinâmico de Roteirização de Veículos (PDRV) e no decorrer do será apresentado um trabalho realizado a efeito de estudo de caso.

Dessa forma, o trabalho está estruturado da seguinte forma: a seção 2 trata da fundamentação teórica do PRV, na seção 3 é caracterizado o Problema Dinâmico de Roteirização de Veículos

(PDRV), na seção 4 é apresentado o um estudo de caso e, por fim, na seção 5 são apresentadas as considerações finais a cerca do trabalho.

## 1.1 Objetivos

Pode-se classificar os objetivos desta dissertação de acordo com os seguintes itens:

- Estender a aplicação dos conceitos apresentados em Azeredo *et al.* (2009a) e Azeredo *et al.* (2009b) para a aplicação da Roteirização Dinâmica de Serviços;
- Desenvolver estudos e propostas para o tratamento do aspecto dinâmico subjacente aos problemas enfrentados todos os dias das organizações que necessitam roteirizar as demandas dos seus clientes;
- Desenvolver um estudo de caso em uma empresa que se enquadre no perfil de prestadora de serviços que mantenha equipes em campo sujeitas a possíveis mudanças nas tarefas que lhes foram atribuídas no início do roteiro. Desta forma, espera-se validar os resultados que pretendemos obter com esse esforço de pesquisa.

## 1.2 Justificativas

Face ao intenso processo de globalização e o mercado cada vez mais competitivo se faz necessário que as corporações cada vez mais invistam em processos mais racionalizados e que garantam o máximo retorno sobre seus investimentos. Desta forma, este trabalho visa propor uma metodologia para a roteirização dinâmica de veículos. Isso se faz necessário, pois:

- A roteirização dinâmica ainda é incipiente no Brasil necessitando, assim, de avanços e estudos aprofundados;
- Os custos de transporte e o nível de serviço são variáveis importantes na definição da qualidade dos serviços prestados pelas empresas, sendo necessárias, formas de racionalizar o processo de entrega de produtos/serviços;
- Os avanços das tecnologias de comunicação e de processamento computacional possibilitam o tratamento de problemas dinâmicos de roteirização, que condiz de forma circunstancial com a realidade enfrentada pelas empresas.

## 2. Problema Estático de Roteirização de Veículos e de Serviços

### 2.1 Problema Estático de Roteirização de Veículos

Segundo Ballou (2006), 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 PRV 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).

Para Carvalho *et al.* (2003), o PRV consiste em estabelecer quais veículos vão atender a quais clientes de forma a minimizar os custos de transporte, analisando um conjunto de cidades/consumidores, cada qual com uma demanda  $q$ , um depósito, e uma frota com veículos de capacidade  $Q$ .

Goldbarg e Luna (2000) definem a ideia básica do problema de roteirização como: “com o uso de veículos, visitar uma série de clientes ao menor custo possível, atendendo todas as demais imposições do problema.”.

Uma formulação básica para o modelo clássico de roteirização de veículos foi introduzida por Fischer e Jaikumar (1981), na publicação “*A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing*” segue como abaixo:

#### **Parâmetros:**

$NV$  = número de veículos;

$n$  = número de clientes para os quais uma entrega deve ser feita. Os clientes são indexados de 1 a  $n$  e o índice 0 representa o depósito central;

$Q_v$  = capacidade do veículo  $v$ ;

$q_i$  = Demanda do cliente  $i$ ;

$c_{ij}$  = custo de viagem do cliente  $i$  para  $j$ ;

$S$  = Representa um subgrafo qualquer do problema, excluindo o depósito.

**Variáveis:**

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

$$x_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{se o veículo } v \text{ viaja diretamente do cliente } i \text{ para o } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

**Formulação:**

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_j \sum_v x_{ij}^v C_{ij} \quad (2.1.1)$$

**sujeito a:**

$$\sum_i q_i y_i^v \leq Q_v \quad v = 1, \dots, NV \quad (2.1.2)$$

$$\sum_v y_0^v = NV \quad (2.1.3)$$

$$\sum_v y_i^v = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (2.1.4)$$

$$\sum_i x_{ij}^v = y_j^v \quad i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, NV \quad (2.1.5)$$

$$\sum_j x_{ij}^v = y_i^v \quad i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, NV \quad (2.1.6)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij}^v \leq |S| - 1 \quad S \subseteq N \setminus \{0\}; 2 \leq |S| \leq n-1; v = 1, \dots, n \quad (2.1.7)$$

$$y_i^v \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, n; v = 1, \dots, NV \quad (2.1.8)$$

$$x_{ij}^v \in \{0,1\} \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; v = 1, \dots, NV \quad (2.1.9)$$



O objetivo do modelo (2.1.1) é a minimização dos custos (ou distâncias) totais de viagem, satisfazendo todas as restrições impostas pelo problema.

A restrição (2.1.2) representa a capacidade dos veículos, ou seja, limita a utilização do veículo a sua capacidade máxima ( $Q_v$ ).

A restrição (2.1.3) garante que todos os veículos iniciem e terminem suas rotas no depósito ( $i = 0$ ). A restrição (2.1.4) garante que todos os clientes serão atendidos e que cada um deles será visitado por apenas um veículo.

As restrições (2.1.5) e (2.1.6) são as restrições de conservação dos fluxos, ou seja, cada cliente terá obrigatoriamente um único arco de entrada e um único arco de saída correspondente. Esta restrição garante também que os veículos não interrompam as suas rotas em um cliente.

A restrição (2.1.7) impede a formação de subrotas, impondo para cada veículo, que os arcos de qualquer subgrafo  $S$  do grafo  $G(N, A)$  que compõem o problema, não formem circuitos isolados.

As restrições (2.1.8) e (2.1.9) garantem que as variáveis  $x_{ij}^v$  e  $y_i^v$  sejam binárias.

De acordo com o exposto acima, os problemas de roteirização de veículos podem ser classificados em várias categorias e tipos. Os diversos problemas diferem entre si de acordo com aspectos relacionados ao tipo de operação, tipo de carga, tipo de frota utilizada, à localização dos clientes, à natureza das restrições, ao tipo de função objetivo, entre outros (BELFIORE, 2006).

O trabalho de Bodin *et al.* (1983) foi a primeira iniciativa abrangente que retratou o estado-da-arte da modelagem de problemas de roteirização e programação de veículos. Segundo Póvoa (2005), embora o problema básico de roteirização de veículos apresentado por Bodin *et al.* (1983) tenha sido pioneiro na área, ele exclui diversas situações realistas, como por exemplo, a possibilidade de utilização de múltiplos veículos com capacidade limitada tanto de peso quanto de volume. Mais algumas extensões do PRV básico são definidas a seguir:

- O PRV básico não permite que um cliente seja servido por mais de um veículo. Pode-se relaxar esta restrição permitindo que o cliente seja servido por mais de um veículo, se isto beneficia o custo total (no caso a distância). Isto pode ocorrer se a demanda do

cliente estiver próxima a da capacidade do veículo e essa variação é conhecida como roteamento de veículos com divisão de entregas (PRVDE);

- Cada cliente deve ser visitado durante seu horário de funcionamento ou em um determinado período compreendido em uma janela de tempo. Esse problema é conhecido como problema de roteamento de veículos com janela de tempo (PRVJT);
- O problema pode envolver tanto entregas como coletas de clientes. Adicionalmente, é possível misturar entregas e coletas em uma única rota, ou alternativamente pode ser exigido que o veículo execute primeiro todas as entregas na rota antes das coletas. Este último caso é conhecido como *Backhauling*.
- O tempo consumido para realizar a atividade também deve ser considerado. Isto inclui: tempo de descarga (ou tempo de carregamento, no caso de coletas) em cada cliente; tempo de carregamento do veículo no depósito e por último o tempo de deslocamento entre os clientes, considerando a velocidade média em cada trecho de via.

Segundo Póvoa (2005), existem algumas considerações práticas que não se ajustam adequadamente dentro da formulação básica do PRV, mas são encontradas freqüentemente nos problemas reais, entre elas, pode-se destacar:

- **Múltiplos Depósitos:** empresas com mais de um depósito, onde estes operam de forma dependente, ou seja, o veículo pode sair de um depósito e depois de visitar os clientes retorna a outro depósito, podendo ser carregado novamente e continuar em uma viagem subsequente. Neste caso, os depósitos não podem ser considerados isoladamente. Quando o depósito é autônomo, ou seja, cada um tem sua própria frota de veículos e sua própria área de cobertura geográfica para atendimento dos clientes, o problema deve ser simplificado em vários problemas similares de roteirização de veículos com um único depósito.

- **Nível de Serviço ao Consumidor:** o nível de serviço pode ser medido pelo período de tempo durante o qual as exigências dos clientes são cumpridas. Como os clientes e seus pedidos consistem em um processo dinâmico e não periódico qualquer tentativa para definir o problema de roteirização de veículos para um dado período deve ser uma aproximação ou uma arbitrariedade imposta. Algumas destas aproximações são:

(a) *Tipicamente Periódico*: é o caso em que os clientes são fixos e os seus pedidos são esperados a cada  $t$  dias. Assim, o cliente deve ser visitado  $T/t$  vezes durante um período de  $T$  dias, e estas visitas devem acontecer de acordo com intervalo definido de dias. As rotas fixas geradas na solução do problema de roteirização de veículos para o período são executadas de forma tão freqüente que cada cliente sabe quando esperar por suas entregas.

(b) *Prazo fixo*: um modo de operação freqüentemente utilizado é fixar um prazo na data de entrega dos pedidos. Os pedidos recebidos nos primeiros  $T$  dias serão entregues nos próximos  $T$  dias (sendo  $T$  um período de tempo a ser especificado). Assim, os pedidos recebidos no período corrente serão ignorados do problema de roteirização deste mesmo período

(c) *Prioridades de clientes*: uma forma alternativa para definir um período para atender os clientes, assim como nas aproximações anteriores, é alocar uma prioridade para cada cliente, de acordo com o intervalo de tempo restante para data em que ele deve ser visitado. Quanto menor o tempo restante, maior será a prioridade. Este tipo de problema tem um objetivo complexo que envolve tanto custo de roteirização, quanto as prioridades dos clientes roteirizados, em tentativa de manter o serviço com um atraso máximo de  $T$ -dias.

- **Múltiplas Mercadorias**: em alguns problemas de roteirização, os veículos são compartimentados de forma que diferentes mercadorias são armazenadas em compartimentos segregados. Cada cliente pode requerer quantidades específicas de diferentes tipos de mercadorias. Tais problemas aparecem na distribuição de combustível, alimentos (congelados ou não), etc., e envolvem – além do problema de roteirização de veículos – aspectos do problema da mochila.

## 2.2 Estratégias de Resolução dos Problemas Estáticos de Roteirização

Segundo Bodin *et al.* (1983), as estratégias de resolução para o problema de roteirização de veículos (PRV) podem ser classificadas da seguinte forma:

**Agrupar – roteiriza**: consiste no procedimento de agrupar os nós ou arcos de demanda primeiro, e depois construir rotas econômicas para cada agrupamento. Exemplos desta idéia

são aplicadas nos trabalhos de Gillett e Miller (1974), Gillett e Johnson (1976), Chapleau *et al.*(1981) e Karp (1977) para o problema básico de roteirização de veículos.

**Roteiriza – agrupa:** primeiro, uma grande rota ou ciclo é contruída incluindo todas as entidades de demanda (nós/e ou arcos). Posteriormente esta grande rota é dividida em um número de rotas viáveis. Golden *et al.* (1982) desenvolveram um algoritmo que utiliza esse conceito para o problema de roteirização com frota heterogênea de veículos. Newton e Thomas (1969) e Bodin & Berman (1979) utilizaram esta estratégia para roteirização de ônibus escolares, considerando uma única escola. Bodin e Kush (1978), utilizaram esta estratégia para o problema de varrição de ruas.

**Economias ou Inserções:** A idéia do modelo é começar com um veículo-modelo que serve a cada ponto de entrega e que retorna ao depósito. Em seguida, duas paradas são combinadas na mesma rota de modo que um veículo possa ser eliminado e a distância de viagem possa ser reduzida. Para determinar quais paradas combinar em uma rota, a distância economizada é calculada antes e depois da combinação. O processo é iterativo e continua até que todas as paradas sejam consideradas. Exemplos de procedimentos de economia/inserção são descritas por Clark e Wright (1964), Golden *et al.* (1977) e Norback e Love (1979).

**Melhoria – Troca:** procedimento heurístico também conhecido como troca de arcos ou arestas onde em cada etapa uma solução viável é alterada, resultando em outra solução com custo menor. Este procedimento continua até que sejam não mais possíveis reduções no custo.

**Programação matemática:** inclui algoritmos que são diretamente baseados em uma formulação de programação matemática de problemas de roteirização de veículos. Maiores detalhes podem ser encontrados em Magnanti (1981).

### 3. Problemas Dinâmicos de Roteirização

**D**e acordo com Fleischmann *et al.* (2004), o crescimento do interesse por problemas dinâmicos tem duas motivações principais. A primeira motivação é o avanço ocorrido nas tecnologias de comunicação e informação (TICs), que proporcionam o controle da frota de veículos e o gerenciamento das solicitações dos clientes em tempo real. A segunda motivação são os clientes cada vez mais exigentes que querem se beneficiar ao máximo da flexibilidade e do rápido atendimento das suas solicitações.

Segundo Psaraftis (1995), os avanços nas tecnologias de informação e comunicação, particularmente nas tecnologias de comunicação e informação entre veículos em campo e as centrais, tem impulsionado os avanços de sistemas que necessitam ser atualizados continuamente. Tecnologias, como a troca eletrônica de dados (*EDI – Eletronic Data Interchange*), sistemas de posicionamento global (*GPS – Global Positioning System*), Sistemas de Informação Geográfica (*GIS – Geographic Information System*) e Sistemas de Transporte Inteligente (*IVHS – Intelligent Vehicle – Highway Systems*), permitem explorar informações conforme sua disponibilização ao longo do tempo de operação.

Ainda segundo Psaraftis (1995), uma das áreas que mais tem sido beneficiada por tais avanços tecnológicos é a de roteirização de veículos, especialmente a roteirização dinâmica, pelas razões enumeradas a seguir:

- A eficiência na roteirização de veículos se torna mais importante cada vez que os mercados tendem a ser mais globalizados;
- O cenário de distribuição em tempo real será a regra no futuro;
- O processamento de dados em tempo real será mais viável e acessível;
- Os benefícios econômicos dos sistemas logísticos eficientes serão cada vez mais significativos.

Segundo Ghiani *et al.* (2003), nos chamados problemas de roteirização estáticos, informações relativas aos clientes, tais como sua localização e demanda, são utilizadas para elaborar a solução antes dos veículos partirem de seus pontos de origem. Adicionalmente, o recente desenvolvimento de tecnologias de informação e comunicação tem levado as empresas a uma

revisão de seus modelos de distribuição, de forma a permitir seu alinhamento às novas necessidades e mudanças globais.

Nos problemas estáticos de roteirização um conjunto de veículos será roteirizado de forma que visitem um conjunto de clientes a um custo mínimo, onde todos os consumidores são conhecidos *a priori*. No entanto, quando passamos para a fronteira dos problemas dinâmicos de roteirização, novos clientes podem ser inseridos nas rotas já em execução, diferentemente da variante estática do problema que não admite essa situação. Com a inserção de novos clientes nas rotas esta é reorganizada de forma que continue a oferecer o melhor custo de atendimento.

Nos problemas dinâmicos de roteirização dados relativos a pelo menos alguns pedidos – em particular, seus próprios instantes de chegada ao sistema - não são conhecidos antes do horizonte de planejamento iniciar (PUREZA & LARAZIN, 2010). Além disso, nos problemas dinâmicos de roteirização o que pode existir é a disponibilização gradual de dados, dessa forma torna-se razoável que porções das rotas originalmente planejadas e ainda não cumpridas sejam modificadas para acomodar novos pedidos e responder a outros eventos.

Assim sendo, o problema dinâmico de roteirização está intimamente ligado ao problema estático de roteirização. A principal diferença é que novas ordens (pedidos) podem chegar e serem inseridas nas rotas após o trabalho ter sido iniciado.

Quadro 1 - Principais diferenças entre os problemas de roteirização estático e dinâmico Fonte: Autor

<b>Problema Estático de Roteirização</b>	<b>Problema Dinâmico de Roteirização</b>
Todas as Informações relevantes para o planejamento das rotas são conhecidas antes da roteirização	Nem todas as informações relevantes para o planejamento das rotas são conhecidos antes da roteirização
Informações relevantes para o processo de roteirização não podem mudar depois que as rotas foram construídas	Informações relevantes para o processo de roteirização podem mudar depois que as rotas iniciais foram construídas

Para Psaraftis (1988), no problema estático de roteirização a saída é um conjunto de rotas pré-planejadas que não são reotimizadas e são calculadas a partir de entradas que não evoluem em tempo real. Contudo, nos problemas dinâmicos de roteirização o que se tem não são um conjunto de rotas, mas sim um conjunto de políticas que determina como as rotas devem evoluir em função dos insumos que se modificam em tempo real.

Em Psaraftis (1988) e Psaraftis (1995) são relatados 12 pontos onde o problema dinâmico de roteirização difere do problema estático. Abaixo são sumarizados esses pontos:

- a. ***A dimensão tempo é essencial*** – Em um problema estático de roteirização a dimensão tempo pode ou não pode ser importante. Já no problema dinâmico a dimensão tempo é sempre essencial. O responsável pela roteirização deve, no mínimo, conhecer a posição de todos os veículos em qualquer momento e particularmente quando a solicitação de serviço ou qualquer outra informação é recebida.
- b. ***O problema pode ser aberto-fechado*** - O problema é muitas vezes temporalmente delimitado em um problema estático. As rotas se iniciam e terminam em um depósito. Em um ambiente dinâmico, o processo pode muito bem ser ilimitado. Em vez de rotas temos caminhos (políticas) que devem ser seguidos pelos veículos.
- c. ***As informações futuras podem ser imprecisas ou desconhecidas*** - No cenário dinâmico as informações futuras quase nunca são conhecidas com certeza. Deste modo, o que temos são indícios de como o modelo deve se comportar à medida que novas informações chegam.
- d. ***Eventos de curto prazo são mais importantes*** - Devido à uniformidade da qualidade da informação e da falta de atualizações na entrada de informações todos os eventos têm o mesmo peso em um problema de roteamento estático. Considerando que, em um ambiente dinâmico seria imprudente imediatamente comprometer recursos, como capacidade dos veículos, para necessidades a longo prazo. Assim sendo, o foco do roteirizador deve ser sobre os eventos de curto prazo quando se trata de um problema de roteamento dinâmico.

- e. ***Mecanismos de atualização da informação são essenciais*** - Quase todas as entradas em um problema dinâmico de roteirização estão sujeitas a alterações durante a operação.
- f. ***Decisões de resequenciamento e reatribuição podem ser justificadas*** - Na roteirização dinâmica a entrada de novas informações pode implicar que as decisões tomadas anteriormente já não sejam ótimas. Isto faz com que seja necessário uma nova roteirização e uma realocação dos veículos para responder a nova situação.
- g. ***Tempo de computação mais rápidos são necessários*** – Nos problemas estáticos podemos esperar alguns minutos ou horas para se ter uma solução. No entanto, nos problemas dinâmicos isto não é possível, porque o processamento ou o reprocessamento do problema precisa ser feito o mais rápido possível (preferencialmente dentro de minutos ou segundos).
- h. ***A função objetivo pode ser diferente*** – Tradicionalmente a função objetivo para problemas estáticos contemplam a redução da distância total percorrida ou a duração total do programa buscando sempre o roteiro com o “menor custo”. Diferentemente, dos problemas dinâmicos que podem ter funções objetivos buscando o “melhor custo” do roteiro.
- i. ***Restrições de tempo podem ser diferentes*** – As restrições de tempo tendem a ser mais suaves em problemas dinâmicos do que em problemas estáticos. Isto é devido ao fato de que negar um serviço a uma demanda imediatista, se a restrição de tempo não for cumprida, geralmente é menos atraente do que violar a restrição.
- j. ***Flexibilidade para variar o tamanho da rota é menor*** - Em ambientes estáticos, o lapso temporal entre a execução do algoritmo e para a execução das rotas normalmente permite ajustes da frota de veículos. No entanto, dentro de um ambiente dinâmico o roteirizador não pode ter acesso imediato aos veículos de *backup*. As implicações desta podem significar que alguns clientes recebem um serviço de menor qualidade.
- k. ***Considerações sobre filas podem ser importantes*** – Um sistema de roteamento dinâmico de veículos pode, por vezes, tornar-se saturado (ou congestionado). Isso acontecerá se a taxa de demanda dos cliente ultrapassa um determinado limiar além do



qual o sistema simplesmente não consegue lidar com todas as solicitações, sem criar atrasos excessivos. Neste caso, qualquer algoritmo que tente fazer atribuições e decisões de roteamento de acordo com critérios clássicos do problema estático é obrigado a produzir resultados sem sentido. De acordo, com o atual estado da arte, incluir considerações sobre filas em roteamento de veículos é limitado a modelagem empírica.

Psaraftis (1995) também propõe uma taxonomia utilizada para caracterizar os atributos da informação que formam a entrada para o problema de roteirização de veículos. A taxonomia é composta dos seguintes conceitos:

- a. ***Evolução da Informação*** – Em configurações estáticas a informação não muda, nem ao menos as informações são atualizadas. Em ambientes dinâmicos a informação geralmente será revelada com o passar do tempo;
- b. ***Qualidade da Informação*** – As informações de entrada podem ser: 1) ser conhecida com certeza (determinística); 2) ser conhecida com incerteza (previsão) ou; 3) seguirem distribuições de probabilidade. Normalmente, a qualidade da informação na roteirização dinâmica são relevantes para os eventos de curto prazo e de péssima qualidade para eventos de médio e longo prazo.
- c. ***Disponibilidade da Informação*** - Informações podem ser locais ou globais. Um exemplo de informação local é quando o motorista toma conhecimento da quantidade precisa de óleo de um determinado cliente, enquanto um sistema de informação a nível global seria capaz de disponibilizar ao roteirizador as informações da situação atual dos reservatórios de todos os clientes de óleo. Os rápidos avanços das tecnologias da informação aumentam a disponibilidade de informações. Este crescimento rápido no volume de informação disponível coloca a questão de quando revelar / fazer uso da informação. Para as instâncias, o roteirizador pode optar por revelar apenas as informações que são necessárias pelos motoristas, embora eles possam ter acesso a todas as informações.
- d. ***Processamento da Informação*** - Em um sistema centralizado todas as informações são coletadas e processadas por uma unidade central. Em um sistema descentralizado algumas das informações poderiam, por exemplo, ser processadas pelo motorista de cada caminhão.

Ainda com intuito de caracterizar a classe de problemas dinâmicos de roteirização podemos citar o trecho do trabalho de Powell *et al.* (1995) em que ele distingue o dinamismo dentro de um problema, de um modelo e uma aplicação de um modelo. Ele argumenta que:

- a. Um problema é dinâmico se um ou mais de um de seus parâmetros estão em função do tempo. Isto inclui modelos com dados dinâmicos, que mudam constantemente, bem como problemas com dados dependentes do tempo que são conhecidos com antecedência;
- b. Um modelo é dinâmico se ele incorpora explicitamente a interação das atividades ao longo do tempo. Aqui devemos fazer a distinção dos modelos dinâmicos e determinísticos e dos modelos dinâmicos e estocásticos;
- c. Uma aplicação é dinâmica, se o modelo subjacente é resolvido repetidamente como a informação é recebida. Consequentemente, a solução de modelos dentro aplicações dinâmicas requerem recursos computacionais avançados.

Na figura 1 pode-se visualizar um exemplo de como se dá o processo de roteirização dinâmica. No exemplo, dois veículos com capacidade infinita que devem oferecer serviços para clientes que possuem requisições prévias, ou seja, suas demandas são conhecidas antes de se iniciar o processo de roteirização e requisições imediatistas, no qual suas demandas não são conhecidas antes do processo de roteirização. Os clientes com requisições prévias são representados nas figuras pelo círculo hachurado de cor preta e os com requisições imediatistas são representados pelo círculo não hachurado com cor predominante branca. As linhas sólidas representam as rotas planejadas antes dos veículos deixarem o depósito de partida, os dois arcos grossos indicam a posição dos veículos no momento do recebimento das novas requisições. O grande problema que a roteirização dinâmica busca tratar é como inserir nas rotas já planejadas os novos clientes que acabaram chegar. Entretanto, na prática essa inserção não é fácil e demanda algoritmos heurísticos refinados que continuem garantido a minimização do custo total e ao mesmo tempo desempenhe todas suas etapas em um tempo aceitável.

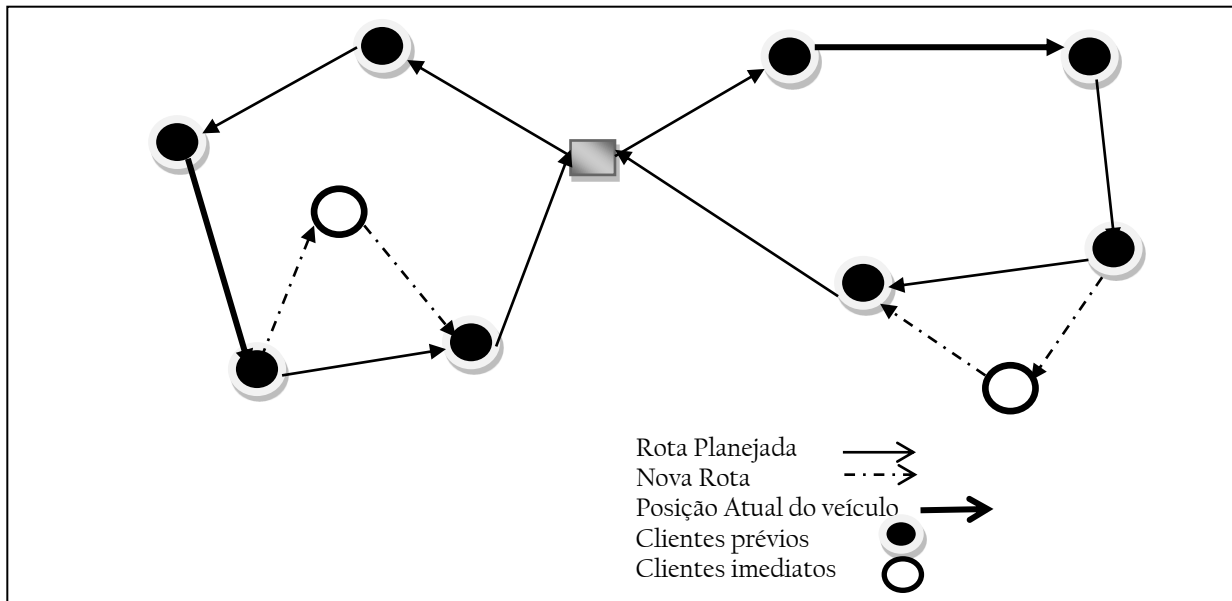


Figura 1 - Cenário de uma roteirização dinâmica com 8 clientes prévios e 2 imediatos. Fonte: Autor

### 3.1 Requisitos Técnicos

Nesta seção faremos uma breve discussão de algumas das tecnologias que são consideradas essenciais para a eficácia das aplicações utilizadas nos ambientes dinâmicos. Cabe ressaltar, que esta seção é apenas uma breve discussão das tecnologias sem que haja um detalhamento das mesmas, pois, este não é o foco do trabalho.

#### 3.1.1 Equipamentos de Posicionamento e Comunicação

A comunicação entre os condutores dos veículos e o roteirizador é essencial para alimentar as informações de posicionamento dos veículos em um sistema de roteamento. O equipamento para determinar a posição atual dos veículos e dos equipamentos de comunicação para passar informações entre o centro de expedição das rotas e os motoristas dos veículos serão detalhados seguir.

- Naturalmente, equipamentos de posicionamento, como o GPS (*Global Positioning System*) são essenciais para um sistema de roteamento dinâmico de veículos. Os equipamentos GPS se fazem importante dentro do ambiente dinâmico de roteirização, pois, providenciam para o sistema a localização instantânea dos veículos o que por sua vez torna mais fácil a tarefa de atribuir uma nova solicitação de cliente a um roteiro. O sistema GPS é formado por um conjunto de 24 satélites orbitando em volta

da Terra, que constantemente envia sinais de saída de suas posições. O processo de identificação de um ponto receptor no chão a partir de sinais de satélite é o que caracteriza o GPS. O receptor capta os sinais de quatro satélites para determinar as suas próprias coordenadas, e ainda o tempo. Depois, calcula a distância entre os quatro satélites pelo intervalo de tempo entre o instante local e o instante em que os sinais foram enviados. Decodificando as localizações dos satélites a partir dos sinais de ondas específicas e de uma base de dados interna, a partir da velocidade de propagação do sinal, o receptor pode situar-se na intersecção desses dados, permitindo identificar exatamente onde o aparelho se encontra na Terra.

A utilização em larga escala desse sistema tem sido proporcionada essencialmente pela redução do preço dos receptores GPS que caíram de alguns milhares de dólares há alguns anos para valores tão baixos como 100 dólares para os modelos mais básicos utilizados para caminhadas em áreas remotas.

- Os equipamentos de comunicação entre os veículos e os roteirizadores é essencial para a estrutura do sistema de roteamento dinâmico. Sistemas de comunicações telefônicas móveis são um exemplo de uma tecnologia capaz de fornecer esta capacidade. Outra tecnologia capaz de proporcionar esta capacidade para o ambiente dinâmico são os sistemas de comunicações via rádio. A principal diferença entre essas duas tecnologias são os custos iniciais e operacionais.

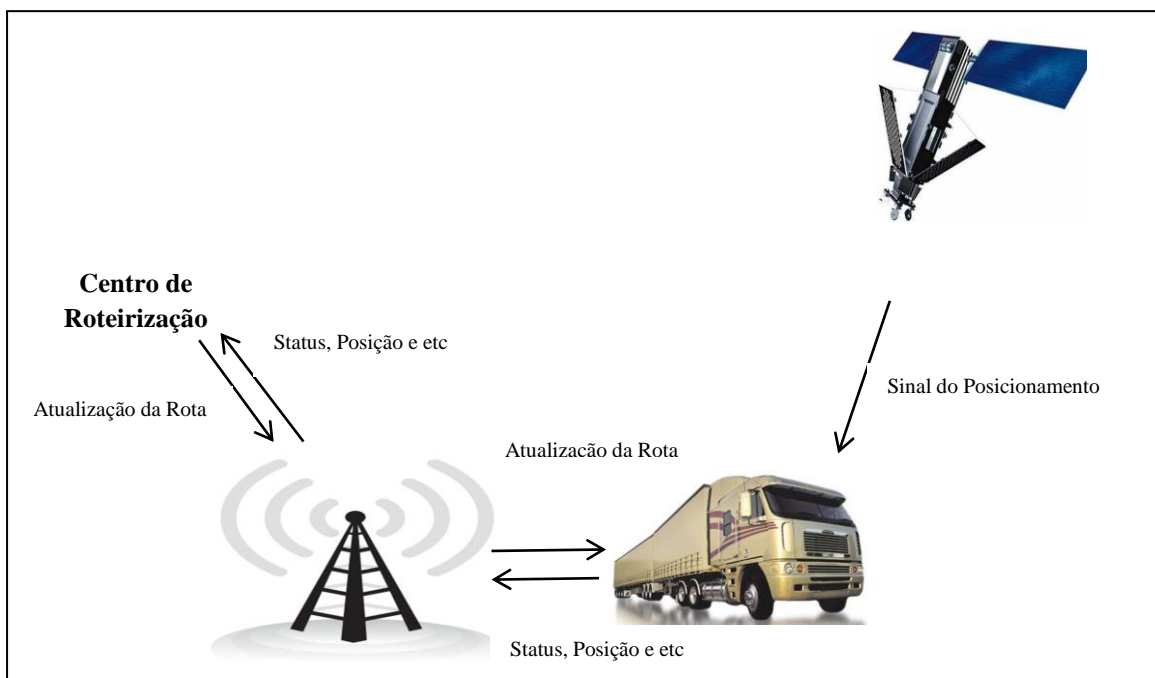


Figura 2 - Esquema do fluxo de informação em um sistema de roteirização baseado em GPS. Fonte: Autor

### **3.1.2 *Sistemas de Informação Geográfica (SIG)***

SIG (Sistema de Informação Geográfica) é um sistema informatizado para captura, armazenamento, verificação, integração, manipulação, análise e visualização de dados relacionados a posições na superfície terrestre. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são ferramentas que permitem trabalhar com informação espacial (geográfica), integrando e sobrepondo vários tipos de informação.

Existem vários modelos de dados aplicáveis em SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Por exemplo, o SIG pode funcionar como uma base de dados com informação geográfica (dados alfanuméricos) que se encontra associada por um identificador comum aos objectos gráficos de um mapa digital. Desta forma, assinalando um objecto pode-se saber o valor dos seus atributos, e inversamente, seleccionando um registo da base de dados é possível saber a sua localização e apontá-la num mapa.

O Sistema de Informação Geográfica separa a informação em diferentes camadas temáticas e armazena-as independentemente, permitindo trabalhar com elas de modo rápido e simples, permitindo ao operador ou utilizador a possibilidade de relacionar a informação existente através da posição e topologia dos objectos, com o fim de gerar nova informação.

Os modelos mais comuns em SIG são o modelo raster ou matricial e o modelo vetorial. O modelo de SIG matricial centra-se nas propriedades do espaço, compartimentando-o em células regulares (habitualmente quadradas, mas podendo ser rectangulares, triangulares ou hexagonais). Cada célula representa um único valor. Quanto maior for a dimensão de cada célula (resolução) menor é a precisão ou detalhe na representação do espaço geográfico. No caso do modelo de SIG vetorial, o foco das representações centra-se na precisão da localização dos elementos no espaço. Para modelar digitalmente as entidades do mundo real utilizam-se essencialmente três formas espaciais: o ponto, a linha e o polígono.

## **3.2 Roteirização Dinâmica de Veículos: Métodos de Solução**

De acordo com Psarifts (1988), o processo de roteirização dinâmico de veículos deve possuir, pelo projeto, as seguintes características:

### 3.2.1 *Características do Projeto*

- a. É óbvio que o procedimento deve ser totalmente interativo. Várias opções devem ser concebidas, desde uma abordagem totalmente manual, onde todas as decisões de alocação são tomadas pelo operador humano a modos mais sofisticados, onde o computador lida com os problemas de maior complexidade;
- b. O procedimento deve ter uma capacidade de reinício, isto é, deve ser capaz de atualizar as rotas de forma eficiente e eficaz, em qualquer momento da execução de uma rota, sem comprometer as principais decisões que já foram tomadas;
- c. O procedimento deve ser hierárquico, ou seja, permitir que o usuário inicie o processo decisório com uma primeira análise de viabilidade e só depois disso possa avançar com a programação mais detalhada. Tal característica é considerada importante, pois uma análise de viabilidade inicial pode estabelecer que algumas hipóteses do problema não possam ser praticáveis.
- d. Finalmente, considera-se importante que o procedimento seja de fácil utilização. Isso é muito mais importante em um ambiente dinâmico que em um estático. Em particular, os ajustes gráficos são características importantes que podem melhorar a eficiência da interação homem-máquina.

### 3.2.2 *Adaptações aos Métodos de Solução do Modelo Estático*

Basicamente, implementações bem sucedidas para o modelo dinâmico de roteirização estão baseados na abordagem estática. O primeiro caso interessante foi relatado em Bell *et al.* (1983) para a roteirização e programação de uma frota de veículos de entrega de um produto a granel que era armazenado em um depósito central. O núcleo do processo de roteirização utilizado no trabalho em questão era o algoritmo estático de Fischer *et al.* (1981), que se baseia em uma formulação da programação inteira mista do problema.

Em geral, de um algoritmo de roteamento estático de veículos, seria razoável esperar que o processo, tal como está, pudesse lidar com qualquer situação dinâmica. Em muitos casos, o

algoritmo teria que ser submetido a um grau significativo de reformulações para se adaptar à natureza do cenário dinâmico. Entretanto, a grande necessidade de atualizações de rotas pode comprometer a eficácia e eficiência dos algoritmos desenhados para problemas estáticos, tornando a sua utilização para problemas dinâmicos quase restrita, se nenhuma melhoria no processo for feita.

Segundo Pureza & Larazin (2010), os métodos de otimização em tempo real (dinâmicos) constroem rotas durante sua realização, ou seja, enquanto os veículos estão em rota. As abordagens heurísticas utilizadas para a solução de problemas dinâmicos devem se basear no consenso de que o planejamento das rotas não deve ser guiado por objetivos convencionais, como a minimização de frota, tempo ou distância, mas que as decisões devem incluir considerações acerca da viabilidade de atendimento de pedidos futuros.

De acordo com Berbeglia *et al.* (2010), para se obter soluções em problemas dinâmicos existem duas estratégias principais, a estratégia do algoritmo estático e a estratégia da heurística de inserção.

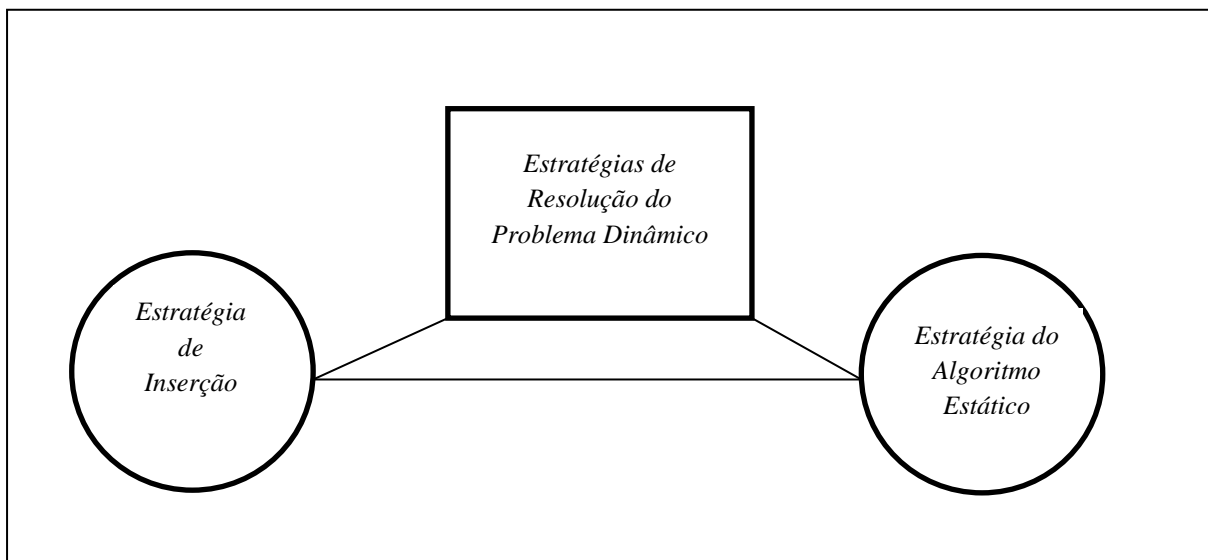


Figura 3 - Estratégias de resolução do Problema Dinâmico de Roteirização. Fonte: Berbeglia *et al.*, 2010

Diante da primeira estratégia há a repetição do procedimento praticamente do zero cada vez que uma revisão (significativa) das entradas ocorre. Isso implicaria na geração de um novo conjunto de rotas em cada atualização dos dados de entrada, garantindo que decisões já tomadas não sejam comprometidas. Ambas as etapas envolveriam o “congelamento” de muitas variáveis do problema para valores determinados em interações anteriores à execução.

Esse processo poderia apresentar vários desafios não tão triviais, um deles seria lidar com a excessiva carga computacional necessária para rodar o algoritmo estático cada vez que uma nova informação for inserida e dependendo da quantidade de atualizações poderíamos ter a impossibilidade da geração de novas rotas.

Entretanto, uma segunda estratégia, consiste em resolver o problema como estático somente uma vez e está servirá como a solução inicial para o problema. Quando novas informações são inseridas, a solução corrente é atualizada através de heurísticas que possibilitem a inserção dos novos clientes mantendo sempre o melhor custo global das rotas. Diante dessa estratégia o que se tem é a execução do algoritmo estático no início do processo e a atualização dos dados através de uma heurística de inserção local cada vez que um cliente envia uma nova solicitação. Tal adaptação proporciona uma redução drástica dos recursos computacionais e desloca a ênfase para a eficiência do método local.

Quadro 2 - Vantagens e Desvantagens da (I) Estratégia do Problema Estático e da (II) Estratégia de Inserção.

<i>Estratégia</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
(I)	- Sem a necessidade de criar heurísticas mais complexas do que as consolidadas heurísticas para a resolução do problema estático.	- Grande necessidade de recursos computacionais; - Pode necessitar de um tempo demasiadamente alto para o reprocessamento das rotas.
(II)	- Reduzido tempo de reprocessamento das rotas; - Necessidade reduzida de recursos computacionais.	- A heurística pode não garantir o menor custo global das rotas.

Heurísticas que proporcionam operações locais fornecem uma forma razoável de lidar com as atualizações constantes que são intrínsecas dos problemas dinâmicos, a sua principal vantagem reside na velocidade de reprocessamento das rotas e a consequente minimização dos recursos computacionais necessários. O método mais utilizado para o reprocessamento das rotas no contexto dinâmico são as heurísticas de *inserção*, em que um novo pedido é alocado dentro de um dos vários roteiros, sem perturbar a sequência de visitas já programadas.



Diversos trabalhos tem tido sucesso na adoção dessa abordagem através da heurística de inserção, dentre elas, podemos citar os trabalhos de Madsen *et al.*, 1995 e Jaw *et al.*, 1986.

É importante ressaltar que esses mecanismos de atualização das rotas e, por conseguinte, as heurísticas utilizadas nesses mecanismos, devem ser suficientemente rápidos para que possam ser utilizados em tempo real. Nos intervalos decorridos entre os instantes de tempo em que novas informações são reveladas e a nova solução é disponibilizada, alguns métodos de otimização adicionais podem ser utilizados, principalmente quando são utilizadas as heurísticas de inserção. Um dos métodos utilizados são os métodos de intercâmbio, que propiciam a troca sistemática de alguns clientes entre roteiros visando a obtenção de resultados melhores.

## 4. Proposta e Formalização da Versão Dinâmica do Problema

### 4.1 Contexto Geral

O planejamento dinâmico de rotas de atendimento das ordens de serviço pode ser descrito como um Problema de Roteirização de Veículos (PRV) com um único depósito e frota limitada.

Cada pedido  $p$  chega ao sistema em  $t_p \geq 0$  em um dia  $d$ , e é caracterizado pelas coordenadas geográficas da localização do cliente  $k$  e pelo tempo de serviço estimado  $st_p$ . Uma janela de tempo está associada ao depósito e corresponde a duração máxima de todas as atividades em cada dia. Cada equipe é informada de sua próxima visita assim que o serviço na localidade atual é terminado. Equipes que já saíram do atendimento a um cliente para o outro não podem ser redesignados a um destino diferente. A duração da rota contempla o somatório dos tempos de viagem e serviço ao cliente.

Devido as várias restrições impostas, o atendimento de todas as solicitações dentro do prazo pode não ser garantido. O objetivo é determinar um conjunto de rotas para as equipes que possa proporcionar as seguintes minimizações:

- O número de solicitações de serviço com prazo violado;
- O tempo médio decorrido entre a colocação do serviço e o início de seu atendimento;
- A distância total percorrida pelas equipes.

Maximizar o nível médio de serviço e minimizar o número de pedidos com prazo de atendimento violado refletem o interesse da empresa na geração e na prestação de serviços de qualidade superior. A redução das distâncias percorridas afeta de maneira positiva os custos variáveis da empresa.

### 4.2 Proposta de Resolução do Problema e a Heurística Estática

Basicamente a proposta desse trabalho para resolver problemas do tipo dinâmico começará com uma solução inicial dada pela heurística do problema estático. Dessa forma, assim que novos clientes enviam sua solicitação a heurística dinâmica tem que ser capaz de inserir essas novas demandas nos roteiros até então planejados de forma que o custo global seja minimizado.

Os relatos contidos nesta seção e na próxima são uma breve discussão de um procedimento que tem por objetivo capturar elementos gerais para a resolução do PRV dinâmico da empresa estudada. Os componentes fundamentais do procedimento consistem em um módulo de despacho dinâmico que dará respostas contundentes a eventos em tempo real e um algoritmo heurístico estático que dará as bases para o planejamento das rotas. Abaixo segue uma breve descrição das fases que os algoritmos irão tratar.

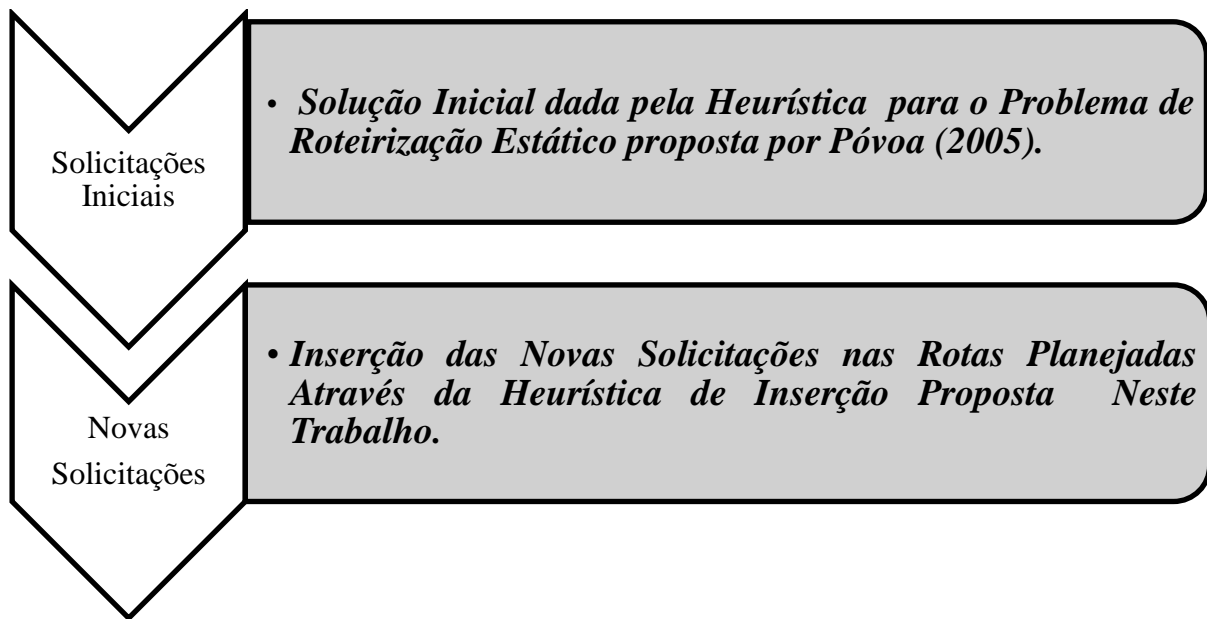


Figura 4 - Fluxo para Solução do PRV Dinâmico

Conforme mencionado anteriormente o algoritmo heurístico para solução inicial do PRV tratado neste trabalho é baseado nas discussões apresentadas em Póvoa (2005). A seguir é descrito o módulo de despacho estático para o PRV dinâmico descrito até o momento.

A heurística GRASP para o PRV estático que é tratado no trabalho de Póvoa (2005) tem a seguinte formulação: Para cada consumidor  $i$ ,  $q_i$  indica a demanda total e  $\tau_i^c$  indica o tempo padrão do serviço para o tipo de compartimento  $c$ . Para cada veículo  $v$ ,  $Q_v$  indica a capacidade total de carga do veículo e  $\omega_v^\mu$  indica a cubagem do compartimento  $\mu$  do veículo  $v$ .

A construção de soluções viáveis é iniciada pelo procedimento seleção de sementes (Figura 5), que tem como objetivo inicializar cada nova rota com um consumidor. Essa seleção é feita de modo que os consumidores mais dispersos sejam alocados primeiro e o número de rotas

inicial é igual ao número de veículos disponíveis. No início o procedimento aloca o consumidor mais distante do depósito.

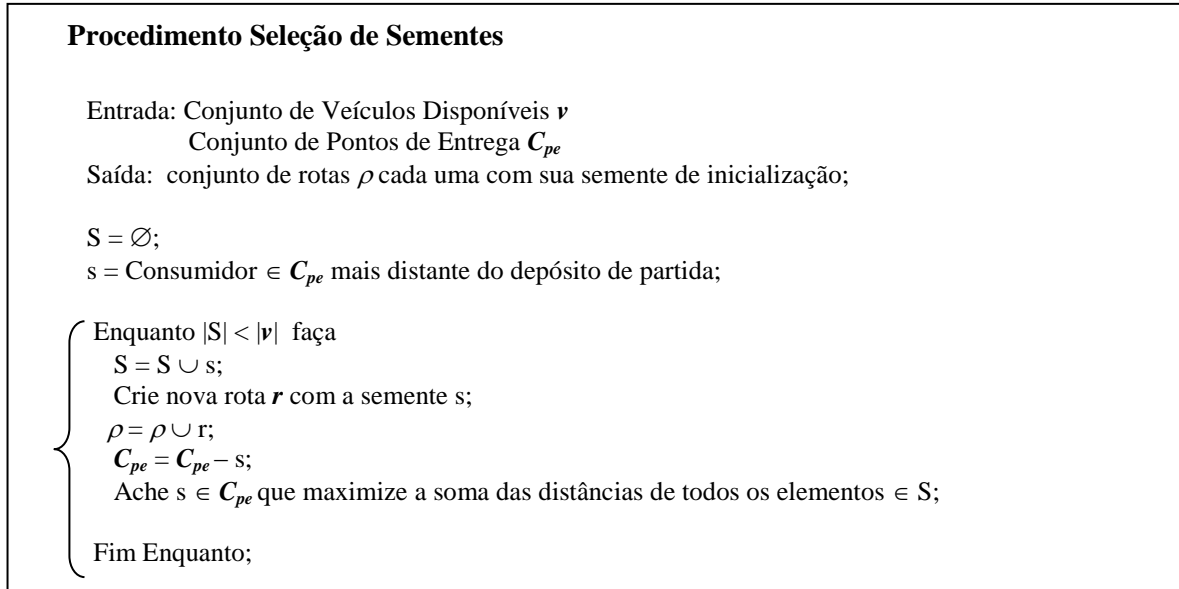


Figura 5 - Procedimento de Seleção de Sementes. Fonte: Póvoa, 2005

Durante a construção, primeiramente acha-se o menor custo de inserção viável em cada rota  $r$  para cada consumidor  $k$  não associado, utilizando o veículo de custo mínimo. Então se calcula uma penalização de oportunidade  $P_k$  que mede o custo que se deve pagar depois, se o correspondente consumidor não for associado na sua melhor posição. Consumidores com altos valores de penalização devem ser associados a uma rota primeiro, já os de menores valores podem esperar.

#### 4.2.1 Determinação do Custo

Após a inicialização o procedimento construir solução (Figura 6) é chamado. O custo de inserção do consumidor  $k$ , na rota  $r$ , utilizando o veículo  $v$ , entre os consumidores  $i, j$  é designado por  $C_{ij,k,r,v}$ . Esse custo é calculado conforme abaixo:

$$C_{ij,k,r,v} = \delta_1 c_{ij,k,r,v}^1 + \delta_2 c_{ij,k,r,v}^2 + \delta_3 c_{ij,k,r,v}^3 \quad (4.2.1)$$

onde  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  são pesos não negativos que irão ponderar os valores de cada custo e  $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$ . O primeiro componente  $c_{ij,k,r,v}^1$  é dado por  $c_{ij,k,r,v}^1 = VCL_v - q_k$ , onde  $VCL_v$  é a capacidade livre do veículo  $v$ . Essa função designa o custo associado à capacidade livre do

veículo e mapeia grandes demandas em pequenos custos, consumidores com altas demandas devem ser associados aos veículos primeiro.

A segunda componente  $c^2_{ij,k,r,v}$  é dada por  $c^2_{ij,k,r,v} = (d_{ik} + d_{jk} - d_{ij})\alpha_v$ , onde  $\alpha_v$  é o custo por Km rodado do veículo  $v$ . Esta componente tem como objetivo a mensuração do custo do aumento da distância com a inserção do consumidor  $k$ . A terceira componente mede o custo fixo do veículo  $v$  e é dada por  $c^3_{ij,k,r,v} = F_v$ .

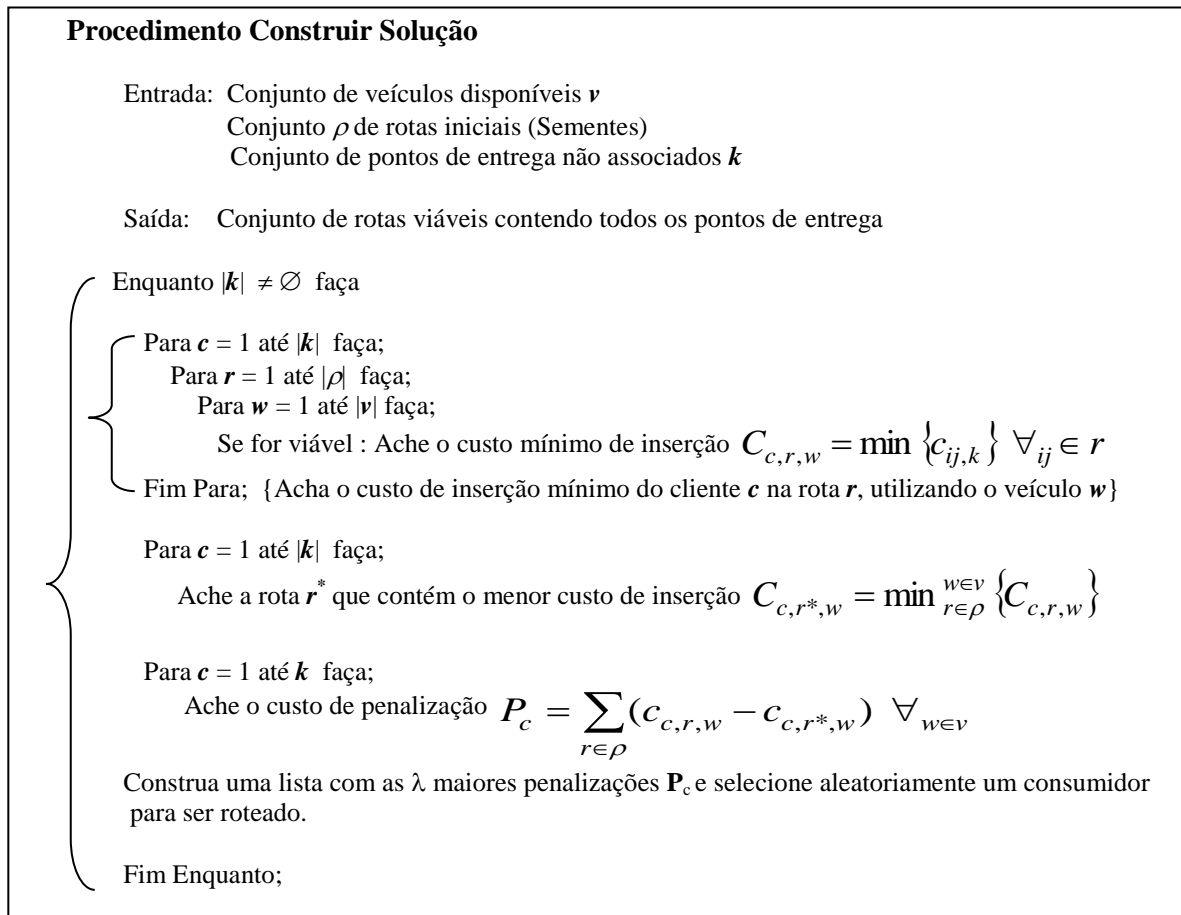


Figura 6 - Procedimento Construir Solução. Fonte: Póvoa, 2005

#### 4.2.2 Condições de Viabilidade

Duas condições de viabilidade devem ser consideradas para o problema, a primeira deve contemplar a restrição de capacidade de carga do veículo e a outra deve respeitar a cubagem dos compartimentos.

A condição necessária e suficiente, em relação à capacidade de carga do veículo, para a inserção do consumidor  $k$  na rota  $r$  utilizando o veículo  $v$  é dada por  $q_k \leq VCL_v$ . Essa condição impede que um consumidor com demanda superior a capacidade livre do veículo seja alocado.

Já a condição de cubagem (capacidade de cubagem do compartimento não pode ser excedida) é dada por  $\tau_k \leq \omega_v^\mu$ , onde  $\tau_k$  é demanda (cubagem) do consumidor  $k$ , e  $\omega_v^\mu$  é a capacidade do compartimento  $\mu$  do veículo  $v$ . Outro detalhe a ser considerado é que as demandas dos consumidores  $k$  devem ser alocadas somente nos compartimentos onde é possível o seu transporte. Por exemplo, demandas que requerem transportes refrigerados não podem ser alocadas em compartimentos sem essa capacidade.

#### 4.2.3 Procedimento de Melhoria (Busca Local)

Como descrito, a fase de construção de soluções viáveis é seguida de um procedimento de busca local, conforme abaixo:

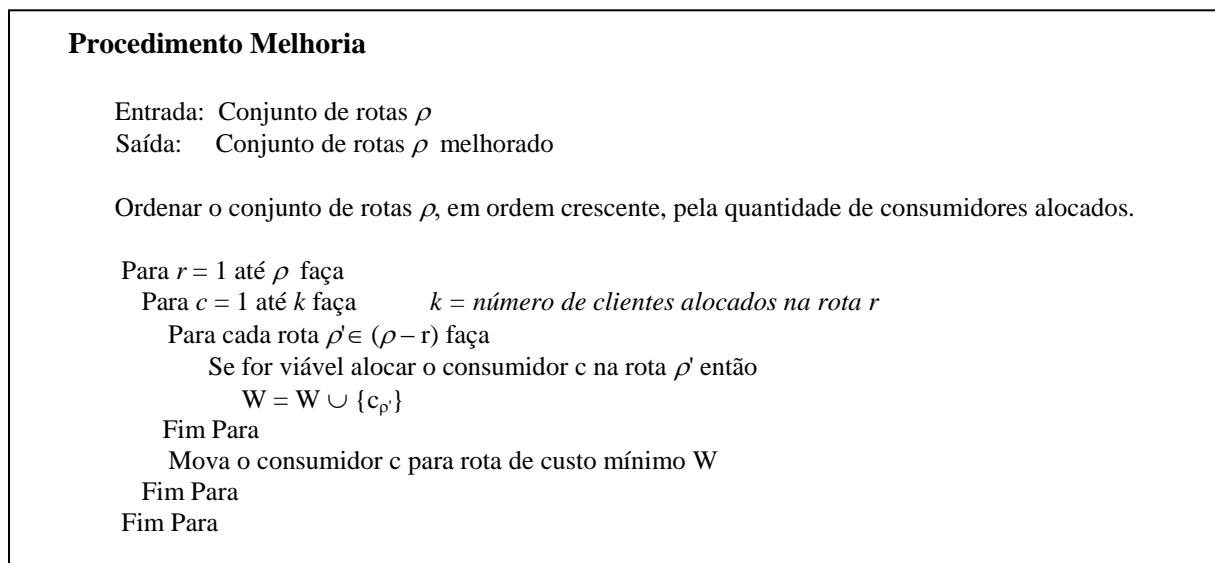


Figura 7 - Procedimento de Busca Local. Fonte: Póvoa, 2005

Durante a fase de melhoria cada rota  $r \in \rho$  é considerada para ser eliminada, devemos iniciar o procedimento com as rotas que possuem menos consumidores, conforme o algoritmo descrito na Figura 7. Como o procedimento de melhoria é totalmente determinístico, deve-se executá-lo a cada 5 ou 10 rodadas do procedimento de construção.

#### 4.6 O Procedimento de Inserção de Novos Clientes

A heurística de inserção no passo abaixo é baseado na heurística  $i$  de Solomon (1987) para o Problema de Roteirização de Veículos com Janelas de Tempo (PRVJT). As decisões fundamentais do método consistem na seleção de pedidos para inicialização de rotas, e o critério de seleção dos demais pedidos e suas posições nas rotas.

No passo 1, os conjuntos  $NI$  e  $I$  são inicializados  $NI$  contém os pedidos que não fazem parte da solução corrente  $S$  (conjunto  $\rho$  do módulo de despacho apresentados nos quadros anteriores), e  $I$  armazena o subconjunto de pedidos em  $P$  planejados na execução da heurística. No passo 2, uma nova rota é iniciada selecionando-se o pedido  $p \in NI$  cujo prazo de atendimento é mais curto (critério de inicialização). Caso nenhum pedido possa iniciar rotas, o procedimento é finalizado (passo 6). Isso ocorre quando para todo  $p \in NI$ , a viagem direta  $d-K-d$  (onde  $d$  corresponde à localidade do depósito e  $K$  à localidade de  $p$ ) viola a restrição de tempo máximo de rota. No passo 3 são investigadas as possibilidades de inserção factível de cada pedido  $p \in NI$  em  $S$ , e selecionada aquela com melhor avaliação segundo o critério de inserção, discutido mais adiante.

Nos passos 2 e 3 é também verificada a existência de caminhos mais rápidos entre localidades conhecidas. Note que eles são naturalmente computados ao se analisar as possibilidades de inserção da localidade  $K$  do pedido  $p$  entre duas localidades  $i$  e  $j$  roteadas; um caminho mais rápido entre  $i$  e  $j$  é identificado se a chegada em  $j$  for antecipada com a inclusão de  $K$ . Nesse caso, o trecho  $i-K-j$  é incorporado à rota de  $i$  e  $j$ , e os instantes de chegada e partida a partir de  $j$  são recalculados (atualização da programação). Como  $K$  tem o papel de nó intermediário, o veículo da rota de  $i$  e  $j$  não está sendo designado para servir o pedido  $p$ , mas apenas utilizando o trecho  $i-k-j$  para reduzir o tempo de rota. Portanto, o tempo de serviço em  $p$  não é incluído no cálculo do instante de chegada em  $j$ . Isso só ocorrerá se  $p$  for selecionado para ser servido naquela posição. No passo 4, caso haja pedidos em  $NI$  com posições factíveis de inserção, o pedido  $p^*$  com melhor avaliação segundo o critério de inserção é selecionado e inserido na posição associada. Caso contrário, se nenhum  $p \in NI$  apresentar posições factíveis de inserção e o número de veículos da frota ( $F$ ) não foi totalmente utilizado ( $r < F$ ), retorna-se ao passo 2 para inicialização de uma nova rota. O passo 5 verifica se ainda existem pedidos não inseridos que tenham apresentado posições factíveis de inserção; como a solução foi alterada com a inserção de  $p^*$ , retorna-se ao passo 3 para recálculo dessas posições.

O critério de inserção utilizado nos passos 3 e 4 busca maximizar ganhos com a inclusão da localidade  $K$  do pedido  $p$  não roteado entre duas localidades  $i$  e  $j$  em rotas parciais, em oposição a servir  $p$  em uma rota direta. Especificamente, as localidades  $i$  e  $j$  são selecionadas tal que (Equação 4.2.2):

$$\text{Max}_{i, j \in I} g_{kij} = d_{dk} - (0,5(d_{ik} + d_{kj} - d_{ij}) + 0,5(sl_c - sl_0)) \quad (4.2.2)$$

Onde:

$d_{dk}, d_{ik}, d_{kj}, d_{ij}$ : distância entre as localidades do depósito e  $k, i$  e  $k, k$  e  $i, i$  e  $j$ , respectivamente;

$sl_c$ : nível médio de serviço da inclusão de  $k$  entre  $i$  e  $j$ ;

$sl_0$ : nível médio de serviço da solução atual.

O 2º termo da expressão corresponde ao aumento em distância com a inserção de  $p$ , enquanto o 3º termo é a deterioração no nível médio de serviço da solução resultante, em relação à atual, igualmente ponderados. O nível médio de serviço é calculado somando-se os tempos entre a colocação de cada pedido e seu atendimento, dividido pelo número total desses pedidos; se a inserção de  $K$  entre  $i$  e  $j$  resulta na violação do prazo de atendimento de um pedido  $p_r$  na rota, o tempo de atendimento de  $p_r$  calculado é multiplicado por 2 (penalização). Caso o número de rotas atual seja igual ou superior a  $F - 2$ , e o atendimento de  $p$  em uma rota direta no início do dia subsequente provocar a violação de prazo, o cálculo de  $g_{kij}$  é dado pela Equação 4.2.3:

$$g_{kij} = M - (0,5(d_{ik} + d_{kj} - d_{ij}) + 0,5(sl_c - sl_0)) \quad (4.2.3)$$

Onde:  $M$  é  $m$  número grande

A modificação no cálculo de  $g_{kij}$  endereça uma situação crítica ao objetivo do problema, caracterizada por: (i) pedidos que mesmo atendidos em uma rota direta no início do dia subsequente teriam seus prazos violados; e (ii) folga reduzida de recursos. Nesse sentido, o algoritmo é conservador na preservação do nível de serviço; quando dois ou menos veículos da frota estão disponíveis no depósito,  $g_{kij}$  é modificado para privilegiar a escolha dos pedidos



que satisfaçam (i). Dentre estes, é dada maior prioridade à escolha que apresente menor deterioração da qualidade da solução (2º e 3º termos da expressão).

### **Procedimento Inserção Novos Clientes**

Entrada: Conjunto de rotas  $\rho$

Saída: Conjunto de rotas  $\rho^*$  com novos clientes inseridos

Faça  $NI = P$  e  $I = 0$

Se  $r = 0$  ou não houver posições factíveis para inserção dos pedidos NI na solução corrente S, inicie uma rota utilizando o critério de inicialização para seleção do pedido semente ( $p_s$ ).

Faça  $r = r + 1$ ;

Faça  $NI = NI - p_s$ ;

Para  $p \in NI$ , obtenha a melhor posição de inserção de  $p$  nas rotas correntes segundo o critério de inserção. Caso haja caminhos mais rápidos entre a localidade de  $p$  e demais localidades conhecidas, adote este caminhos e atualize a programação das rotas;

Se no passo anterior tiver sido obtido pelo menos uma posição factível de inserção para pelo menos um pedido, selecione o pedido que melhor atende o critério de inserção (pedido  $p^*$ ) e o insira na rota e posição associada. Seja S o conjunto de rotas resultantes. Faça  $I = I \cup p^*$  e  $NI = NI - p^*$ . Caso contrário, se nenhum  $p \in NI$  apresentar posições factíveis de inserção e se  $r < F$  (tamanho da frota), vá para passo 2.

Se  $N \neq 0$ , vá para passo 3

Retorne a solução S e  $P = NI$  ao programa principal

Figura 8 - Procedimento de Inserção de Novos Clientes. Fonte: Autor

## 5. Estudo de Caso

O problema de roteamento de veículos aqui tratado foi inspirado em uma situação prática de uma empresa que atua na área de distribuição de água tratada em uma cidade do interior do Rio de Janeiro-RJ. Além do tratamento e a consequente distribuição da água tratada, a empresa estudada presta diversos serviços à população atendida na sua área de atuação. Diversas equipes são mantidas pela empresa e essas equipes executam determinados tipos de serviço dentro do escopo disponibilizado pela companhia. A seguir o problema é detalhado.

### 5.1 A Empresa

A *Companhia X*<sup>1</sup> aqui estudada iniciou suas atividades em 14 de setembro de 1999 oferecendo os serviços de captação, tratamento e distribuição de água e coleta de esgoto em uma cidade do interior do Rio de Janeiro, a empresa pertence a uma *holding* de capital aberto que atua em todo Brasil na área de distribuição e tratamento de água. Além da empresa estudada no município em questão, a *holding* consolida sua atuação no estado do Rio de Janeiro com outras três empresas que atuam no mesmo segmento da empresa estudada (concessão da distribuição de água e tratamento do esgoto).

A *Companhia X* que segundo dados do anuário estatístico de 2005 da cidade em que atua, possuía até o ano da pesquisa uma extensão de 800 km de redes de distribuição de água, no qual cerca de 66,2 % dos domicílios urbanos estavam ligados e outros 1,5 % dos domicílios rurais, totalizando aproximadamente 68 % dos domicílios. Quanto à malha de escoamento sanitário, dos 112.037 domicílios construídos no município apenas 38.812 estão ligados a rede geral de esgoto representando uma taxa de 65,4 % de exclusão.

Em virtude do cenário exposto acima e com o intuito de inverter o cenário apresentado, a empresa investiu maciçamente, principalmente a partir do ano de 2003, na construção da primeira estação de tratamento de esgoto do município e na viabilização do seu programa de modernização da malha de distribuição de água, possibilitando a substituição dos tubos de amianto pelos de PVC em todo o município. Atualmente a empresa possui cerca de 200 colaboradores e a estrutura operacional está organizada em 11 sistemas de abastecimento, que atende toda a região central do município e os demais distritos.

---

<sup>1</sup> Por motivos de sigilo a empresa aqui estudada será denominada *Companhia X*

## 5.2 Descrição do Problema

Ao longo do dia, clientes ligam para o *call center* da empresa, tendo seu pedido registrado pelos atendentes. Após esse atendimento a solicitação do cliente segue por uma triagem conforme a figura abaixo:

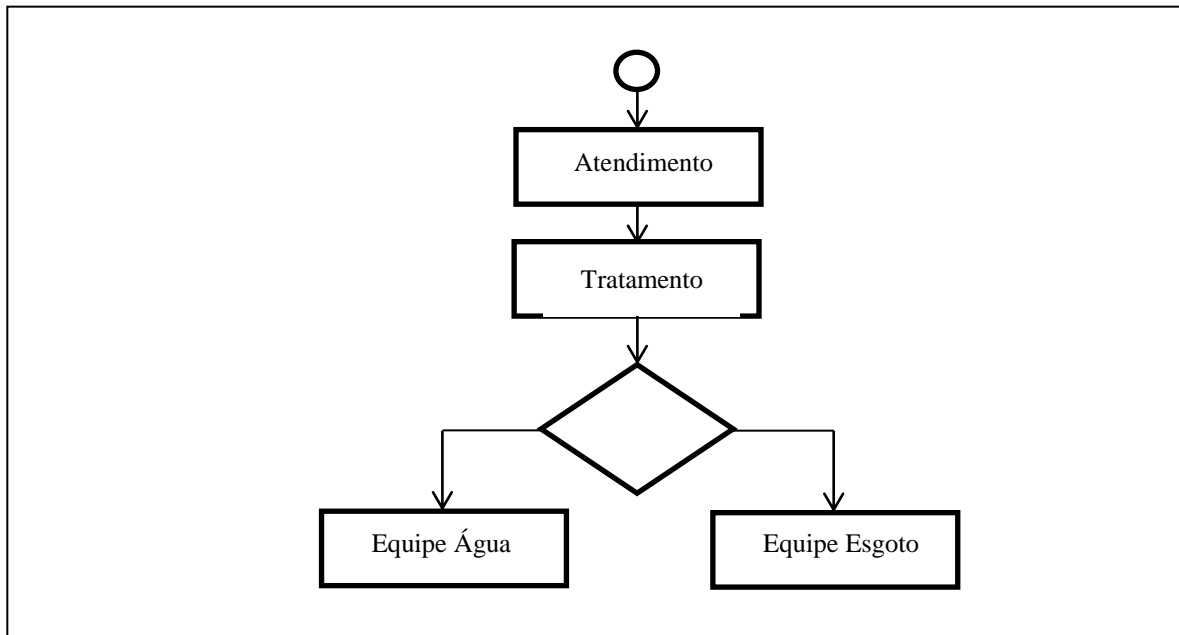


Figura 9 - Fluxograma da solicitação do cliente na Companhia X. Fonte: Autor

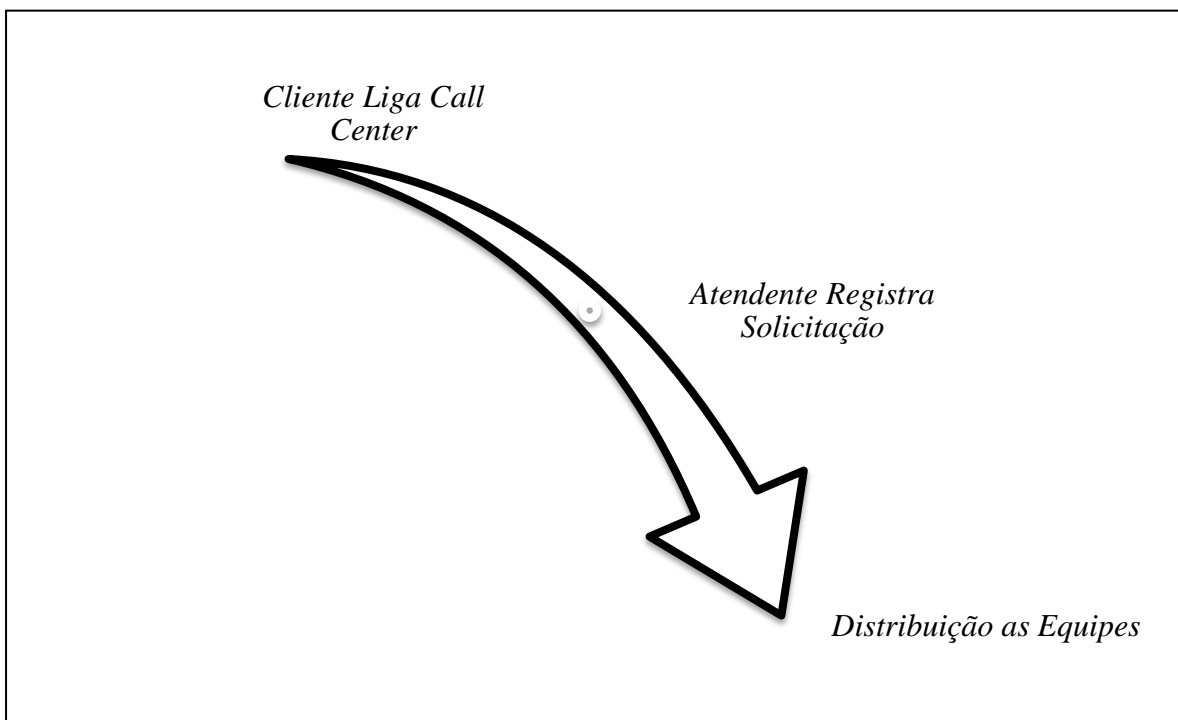


Figura 10 - Macrofluxo da solicitação do cliente na Companhia X. Fonte: Autor

Em suma, o primeiro contato do cliente com a empresa é necessariamente, por parte da empresa, uma coleta de informações para que posteriormente essa solicitação transformada em ordem de serviço seja designada a uma equipe adequada.

Essencialmente as equipes são divididas de forma que estas possam prestar os serviços em dois grandes grupos, conforme abaixo:

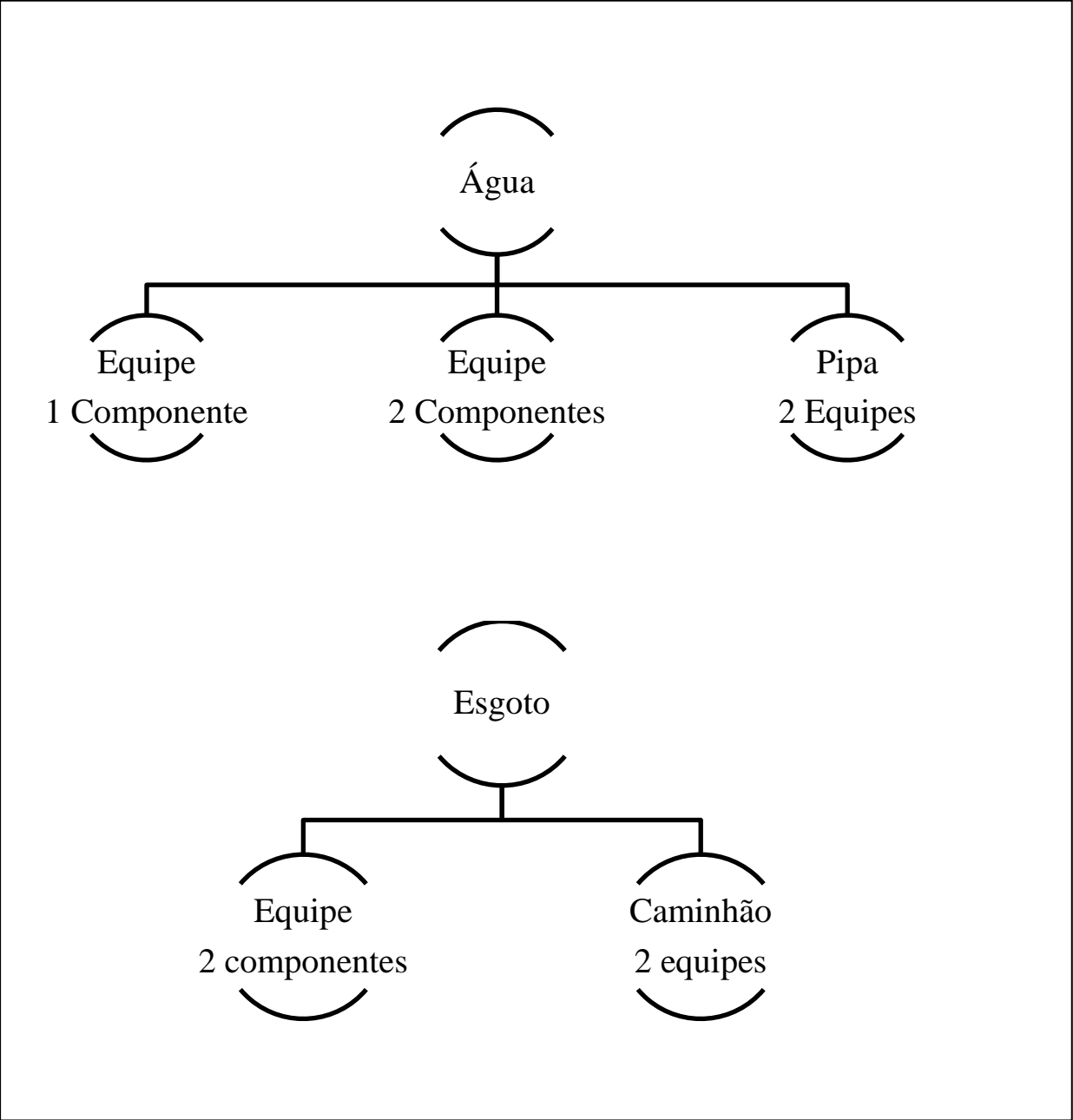


Figura 11 - Distribuição das Equipes pelos serviços de Água e Esgoto. Fonte: Autor

Desta forma, o setor estudado na *Companhia X* detém em sua área operacional, equipes que desempenham serviços em campo (no atendimento direto ao cliente) e essas equipes são divididas em equipes que desempenham suas atividades na rede de distribuição de água e na rede de coleta e tratamento de esgoto. Num total 16 equipes desempenham essas atividades.

As 16 equipes são responsáveis pelo atendimento médio diário de cerca de 150 solicitações feitas por clientes, que vão desde ligações de padrões de água a complexos serviços na rede de distribuição de água e esgoto. Todas as equipes trabalham 44 horas semanais em um sistema de banco de horas.

Na sua área administrativa o setor é apoiado por 4 funcionários, 1 coordenador de equipes e 3 assistentes administrativos que tratam a solicitação enviada pelo *callcenter* da empresa transformando a solicitação dos clientes em ordens de serviço, além das atividades de distribuição e controle das ordens de serviço. A área administrativa do setor também é responsável pelo levantamento do índice de produtividade das equipes e por diversas outras análises que possam apoiar a gerência em decisões estratégicas que envolvam o nível de serviço ao cliente.

### **5.3 O Problema**

O setor estudado na *Companhia X*, conforme já mencionado anteriormente, atende uma média de 200 solicitações de serviços por dia. Atualmente as 16 equipes tentam atender a demanda, que se encontra em grande crescimento devido aos vários investimentos da empresa na expansão da rede de abastecimento de água e coleta de esgoto e o conseqüente acesso facilitado aos serviços da empresa.

Devido à grande abrangência geográfica da cidade em que a *Companhia X* atua e da imensa malha de água e esgoto, o atendimento das ordens de serviço em um tempo adequado tem se tornado um gargalo para a empresa, no que tange à manutenção de um patamar adequado de nível de serviço ao cliente.

Outro fato que agrava fortemente a situação descrita é a falta de um sistema gerencial na empresa que possibilite a orientação da alocação das ordens de serviço às equipes e que ao mesmo tempo evidencie um custo total de cada equipe. O único sistema que funciona na empresa apenas facilita o gerenciamento da carga de trabalho de cada equipe e a distribuição das ordens de serviço fica a cargo apenas do coordenador de equipes.

Pelo conjunto de evidências descritas, é de se compreender que gravíssimos problemas gerenciais possam aparecer, como por exemplo, a sobrecarga de algumas equipes e a baixa utilização de outras, atrasos na prestação dos serviços solicitados, funcionários insatisfeitos. Isso tudo resulta na baixa qualidade dos serviços oferecidos. Além disso, esse contexto foi escolhido para a validação do presente estudo uma vez que o problema possui claras características do problema dinâmico de roteirização.

#### 5.4 Geração de Rotas

Na maioria das vezes, um novo pedido só será atendido no dia seguinte, ainda que esteja próximo de localidades onde os técnicos estão realizando os serviços. Pois, uma vez que o técnico sai com sua demanda de atendimento fica mais difícil reorganizar sua rota com vistas de atender uma nova demanda. Dessa forma, fica nítido que o tratamento estático atual dado ao planejamento das rotas coíbe oportunidades de melhorias ao nível de serviço oferecido. Ademais, todo o planejamento de rotas para o atendimento das ordens de serviço é feito quase que manualmente, o que levou a serem identificadas oportunidades de melhorias dos serviços prestados pela empresa estudada.

Quadro 3 - Resumo das equipes

<b>Equipe</b>	<b>Qtde</b>	<b>Tipo de Serviço</b>
1CAE	2	Serviços que demandam equipes de apenas 1 componente (Água e Esgoto)
2CA	6	Serviços que demandam equipes de 2 componentes e 1 componente (Água)
2CE	4	Serviços que demandam equipes de 2 componentes e 1 componente (Esgoto)
PIPA	2	Serviços que demandam o caminhão PIPA (Água)
LimE	2	Serviços que demandam caminhão de limpeza (Esgoto)

De acordo com as informações da empresa e conforme anexo I existem 343 tipos de serviços realizados pela empresa com seus respectivos tempos-padrão, e da mesma forma existe uma série de serviços que podem ser executados pelas diferentes equipes. Assim sendo, cada serviço demanda um tipo específico de equipe. O quadro acima apresenta as respectivas equipes existentes na empresa estudada.

Para simular as rotas e a inserção de novos clientes foram coletados dados de demanda de um dia da equipe 2CA e PIPA, nestas mesmas rotas serão simuladas as inserções de novos clientes. A rota da equipe 2CA tem como característica a capacidade alocada quase que totalmente utilizada pelas equipes para os clientes já roteirizados, no entanto, para a equipe PIPA tem a situação contrária onde temos capacidade alocada com folga, o que facilita o planejamento a ser feito pela heurística de inserção de novos clientes.

As rotas iniciais geradas para as 5 equipes do tipo 2CA podem ser verificadas na figura abaixo. Foram atendidas 35 ordens de serviço, distribuídas pelas 5 equipes. No quadro abaixo são resumidos o custo de cada rota, a distância percorrida pela equipe e a capacidade em minutos não alocada.

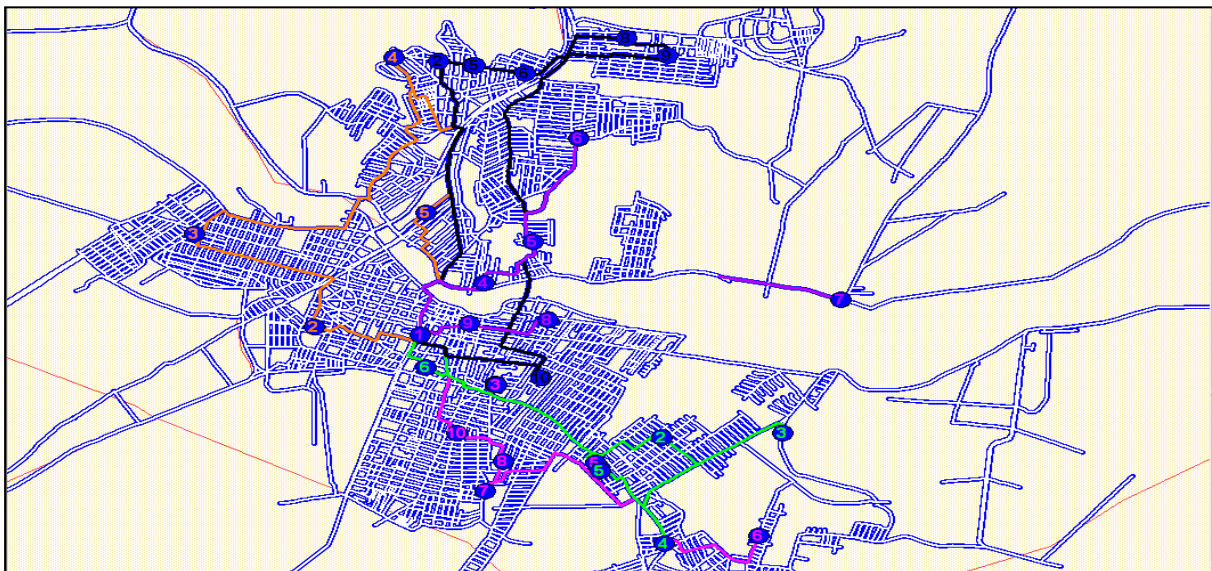


Figura 12 - Rota Inicial das equipes do Tipo 2CA

Quadro 4 - Dados resumidos de custo, distância e capacidade das equipes do tipo 2CA.

	<b>Custo Total (R\$)</b>	<b>Distância Percorrida (Km)</b>	<b>Capacidade Não Alocada (min)</b>
<b>Equipe 3</b>	39.87	15.54	13
<b>Equipe 5</b>	32.16	12.46	3
<b>Equipe 6</b>	35.60	13.84	8
<b>Equipe 7</b>	32.29	12.51	3
<b>Equipe 8</b>	31.70	12.28	13

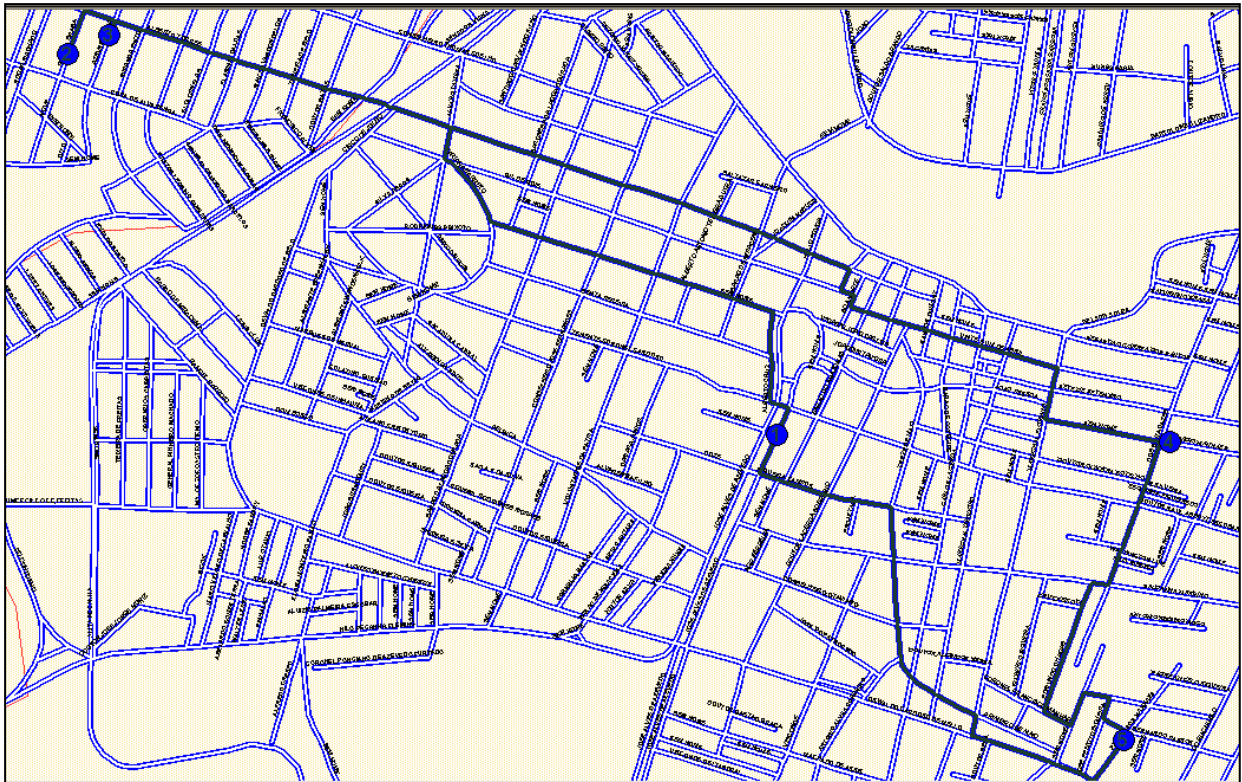


Figura 13 - Rota Inicial das equipes do Tipo PIPA

Quadro 5 - Dados resumidos de custo, distância e capacidade das equipes do tipo PIPA.

	<b>Custo Total (R\$)</b>	<b>Distância Percorrida (Km)</b>	<b>Capacidade Não Alocada (min)</b>
<b>Equipe 15</b>	20.77	7.91	268

O algoritmo estático apresentado na seção anterior foi rodado para as duas situações descritas anteriormente e os seus resultados formam as rotas geradas para as equipes conforme as figuras anteriores. Dando continuidade ao trabalho será simulado a inserção de novos clientes nessas rotas para que seja discutida a viabilidade do procedimento proposto para a inserção de novos clientes em rotas já planejadas.

Ademais, conforme discutido anteriormente para a resolução de problemas dinâmicos de roteirização se faz necessário de uma solução inicial, que normalmente, é dada pela roteirização do conjunto de demandas disponíveis no instante  $t = 0$  através do algoritmo estático. O algoritmo estático utilizado para roteirizar as demandas que geraram as rotas da figura 11 e 12 desta seção foi o algoritmo apresentado em Póvoa (2005). A figura a seguir



mostra a sequência dos procedimentos contidos no algoritmo proposto por Póvoa (2005) e adicionalmente é ilustrado o momento em que o procedimento proposto por este trabalho é inserido no algoritmo.

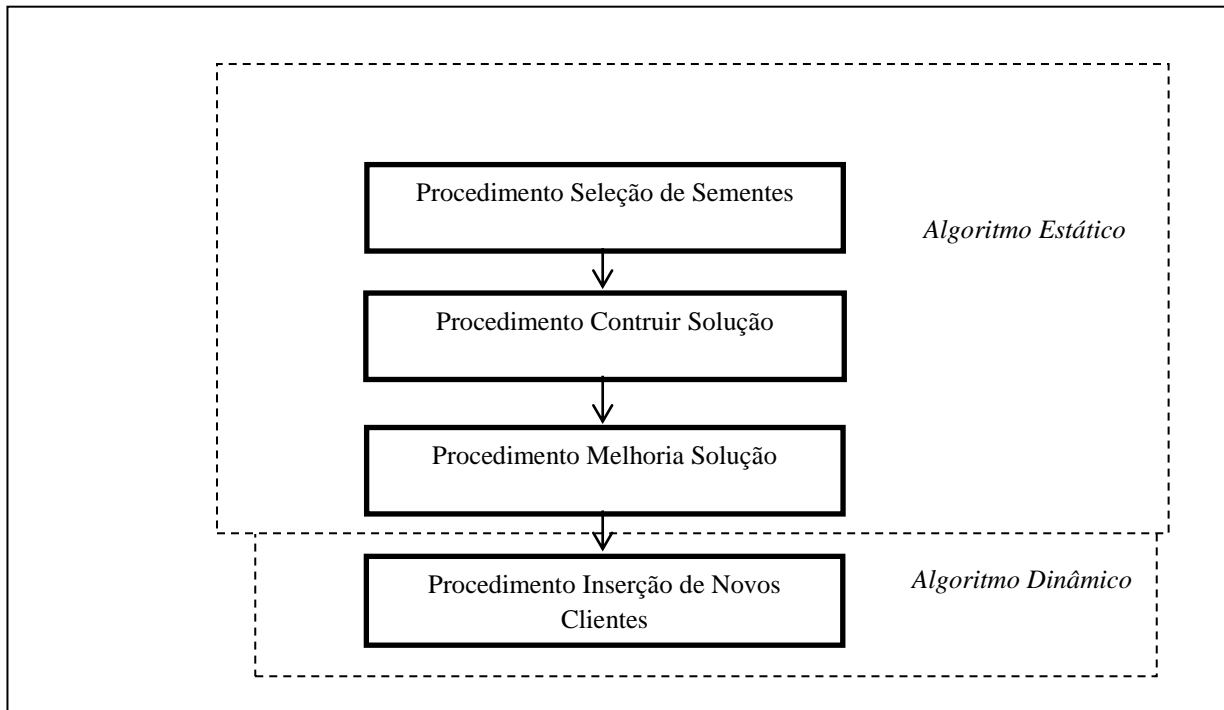


Figura 14 - Procedimentos para o Tratamento do Problemas Dinâmicos de Roteirização

Dessa forma, de posse do *procedimento inserção de novos clientes* vamos simular a inserção no caso *i*) de 3 pedidos de clientes conforme abaixo com as suas seguintes demandas e no caso *ii*) serão inseridos 2 pedidos conforme a seguir. No quadro abaixo são apresentados os dados de localização dos clientes e suas demandas por serviços. O objetivo é inserir os atendimentos dos clientes nas rotas existentes sem comprometer os níveis de serviço utilizando o procedimento proposto neste trabalho.

### 5.4.1 - Caso I

Quadro 6 - Demandas de clientes para inserção pelo procedimento proposto para as equipes tipo 2CA

Cliente	Serviço Demandado	Tempo de Serviço (minutos)
1064525	VAZAMENTO RAMAL ÁGUA DN ½	45
1064865	DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN ½	45
1061653	SUBSTITUIÇÃO DE HIDRÔMETRO DN ½	90

Quadro 7 - Localização dos Clientes

Cliente	Endereço	Latitude	Longitude
1064525	Rua Luiz Carlos de Barros Viana, 377, Pq. Imperial	- 21.8077224	- 41.3081906
1064865	Rua Dr. Artur Lontra Costa, 75, Pq. José Alves Dias	- 21.7723225	- 41.2938617
1061653	Rua Mj. Euclides Maciel, 332, Pq. Turfe Clube	- 21.7658638	-41.3051389

De acordo, com o procedimento de *Inserção de Novos Clientes* no passo 1 são inicializados o  $NI$  e  $I$  que, respectivamente, contém os pedidos que não fazem parte da solução corrente  $S$  e armazena o subconjunto de pedidos em  $P$  planejados na execução da heurística. A seguir, ainda no passo 1 são verificados se os pedidos a serem inseridos podem ser alocados nas rotas já existentes, no caso em questão os pedidos não poderão ser inseridos na solução corrente ( $S$ ) e, desta forma, deverão ser geradas novas rotas, o contador de rotas é atualizado e seguimos para o passo 2.

Segundo o algoritmo descrito no passo 2 deve-se encontrar a melhor posição de inserção do pedido  $p$  segundo os critérios de inserção descritos na seção 4.6, caso haja caminhos mais rápidos entre a localidade de  $p$  e as demais localidades conhecidas. Como será necessário a criação de uma nova rota os três pedidos são inseridos nessa rota.

Após iniciada a nova rota é feita a roteirização dos pedidos de forma que todos os pedidos sejam roteirizados.

### 5.4.2 - Caso II

Quadro 8 - Demandas de clientes para inserção pelo procedimento proposto para as equipes tipo PIPA

Cliente	Serviço Demandado	Tempo de Serviço (minutos)
1067147	SOLICITAÇÃO DE PIPA CLIENTE	30
1065847	SOLICITAÇÃO DE PIPA CLIENTE	30

Quadro 9 - Localização dos Clientes

<b>Cliente</b>	<b>Endereço</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
1067147	Avenida Presidente Kennedy, 550, Pq. Jockey Club	-20.8118585	- 49.3580982
1065847	Rua Vinte e Quatro de Novembro, 148, Pq. Santa Rosa	- 21.7260519	- 41.2976101

No passo 1, deve-se iniciar  $NI$  e  $I$  e, em seguida, ainda no passo 1, deve-se verificar se as demandas podem ou não serem inseridas nas rotas existentes.

Segundo o algoritmo descrito no passo 2 pode-se encontrar a melhor posição de inserção do pedido  $p$  segundo os critérios de inserção descritos na seção 4.6, como há caminhos mais rápidos entre as localidades de  $p$  e as demais localidades conhecidas, serão adotados estes caminhos e será feita a atualização das rotas. Dessa forma, deve-se seguir ao passo 3 onde o conjunto de rotas é atualizado ( $S$ ),  $NI$  é atualizado e se todas as condições forem satisfeitas o algoritmo é encerrado com as novas demandas roteirizadas

## 6. Conclusões e Perspectivas de Pesquisas Futuras

O acirramento da competição em um mercado cada vez mais global tem feito com que empresas adotem estratégias que possibilitem o melhor uso de seus recursos, geralmente escassos. Desta forma, neste trabalho foram investigados possíveis impactos da utilização do planejamento dinâmico de rotas em um horizonte de planejamento que pode mudar a todo o instante. Para tal, foi proposto um algoritmo que possibilita o tratamento de problemas dinâmicos de roteirização.

Ademais, destaca-se a relevância deste tema pouco estudado na literatura, sobretudo, nacional e a sua destacada importância para as empresas, pois, roteirização do tipo dinâmica nos conduz a tratar problemas próximos da realidade das empresas em questão.

Como perspectivas de futuras pesquisas, cabe ressaltar que o algoritmo proposto não considera o roteamento por área do prestador de serviço. Essa observação permite que a atual prática de zoneamento seja reavaliada pela empresa, ou que a metodologia proposta seja modificada para incluir essa restrição. Outra limitação do algoritmo proposto é que ele não endereça o balanceamento de serviço entre os veículos. De fato, a própria essência do roteamento dinâmico apresenta dificuldades para sua implementação, de forma que *trade-offs* entre o balanceamento e o nível de serviço precisará ser considerado.

Além disso, o algoritmo precisa balancear o tempo médio na fila de atendimento, isso impediria que um cliente fosse penalizado à medida que novos clientes forem inseridos nas rotas em execução.

Ademais, cabe notar que o algoritmo proposto se restringe a uma heurística de construção e, portanto, não utiliza fases de otimização de rotas nos intervalos entre chegadas de pedidos. Procedimentos de busca local ou meta-heurísticas são opções que trariam melhorias adicionais.

Dessa forma, para trabalhos futuros na área, teremos como desafios a implementação de indicadores desempenho que possibilite a medir de forma consistente a contribuição e as melhorias trazidas pela utilização do roteamento dinâmico de veículos.

Conclui-se que a melhoria no nível de serviço com a aplicação de roteamento dinâmico pode alcançar porcentagens bastante significativas. Empresas que prestam serviços em ambientes com características dinâmicas se beneficiaram dessa prática, e trariam um diferencial razoável em relação aos seus competidores.

Conclui-se também que a roteirização dinâmica de veículos ainda é incipiente no Brasil onde existem poucos estudos sobre o tema, além disso, o assunto precisa de amadurecimento e que o tema seja fruto de aplicações em mais estudos de casos reais para que possamos traçar suas limitações reais, principalmente, no que diz respeito a limitações computacionais e dos roteiros.

## 7. Referências Bibliográficas

**AZEREDO, J. S.; PAULA-JUNIOR, G. G.; PÓVOA, C. L. R.; GONCALVES, T. J. M.; COLARES, R. B.** *Caracterização e Aplicação do Problema de Roteirização de Ordens de Serviço: Um Foco na Eficiência Logística.* In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2009a, Salvador - BA. Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2009a.

**AZEREDO, J. S.; PAULA-JUNIOR, G. G.; PÓVOA, C. L. R.; SILVA, J. S.** *Caracterização do Problema de Roteirização de Ordens de Serviço e sua Aplicação em uma Empresa Concessionária dos Serviços de Água e Esgoto.* In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO, 2009b, Porto Seguro - BA. Anais do XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2009b.

**BALLOU, R. H.** *Gerenciamento da Cadeia de suprimentos/logística empresarial.* Tradução de Raul Rubenich. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 191 p.

**BELL, W. et al.** *Improving the Distribution of Industrial Gases with an On-Line Computerized Routing and Scheduling Optimizer.* Interfaces, v. 13, n. 1, p. 4-23, 1983.

**BERBEGLIA, G.; CORDEAU, J.F.; LAPORTE, G.** *Dynamic Pickup and Delivery Problems.* European Journal of Operational Research, v. 202, n. 1, p. 8-15, 2010.

**BELFIORE, P. P.** *Scatter Search para Problemas de Roteirização de Veículos com Frota Heterogênea, Janelas de Tempo e Entregas Fracionadas.* Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

**BODIN, L., BERNAM, L.** *Routing and Scheduling of school buses by computer.* Transportation Science, n.13, p.113-129, 1979.

**BODIN, L.D.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, E.M.** *Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art.* Computers and Operations Research, v.10, n.2, 1983.

**BODIN, L., KURSH, S.** *A computer-assisted system for the routing and scheduling of street sweepers.* Operational Research, v. 26, n.4, p.525-537, 1978

**CARVALHO, D.B.F; OLIVEIRA, G.A.; SOUZA, M.J.F.** *Método de Pesquisa em Vizinhaça Variável aplicado à resolução do Problema de Roteirização de Veículos.* In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional-SBPO, 2003, Natal -RN. Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2003.

**CHAPLEU, L., FERLAND, J. ROUSSEAU, J. M.** *Clustering for routing in dense area.* University of Montreal. Transportation Research Center Publication, n.206, 1981.

**CLARK & WRIGHT, J.** *Scheduling of Vehicles from a central Depot to a Number of Delivery Points.* Operation Research. 12:856-861, 1964.

**FISHER, M.; JAIKUMAR, R.** *A Generalized Assignment Heuristic for Vehicle Routing.* Networks, v.11, p.113-129, 1981

**FLEISCHMANN, B.; GNUTZMANN, S.; SANDVOB, E.** *Dynamic Vehicle Routing Based on Online Traffic Information.* Transportation Science, v. 38, n. 4, p.420-433, 2004.

**GHIANI, G. et al.** *Real-time vehicle routing: solution concepts, algorithms and parallel computing strategies.* European Journal of Operational Research, v. 151, n. 1, p. 1-11, 2003.

**GILLET, A., JOHNSON, J.** *Multi-Terminal vehicle dispatch problem.* Omega, n.4, p.711-718, 1976.

**GILLET, B. MILLER, L.** *A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem.* Operational Research, n.22, p.340-349, 1974.

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

**GOLDEN, B.; MAGNANTI, T.; NGUYEN, H.** *Implementing vehicle routing algorithms.* Networks, n.7, p. 113-148, 1977.

**GOLDEN, B., ASSAD, A., LEVY, L., GHEYSENS, F.** *The Fleet size and mix vehicle routing problem.* Management Science & Static Working Paper, n.2, p.209-224, 1982.

**JAW, J.J.; ODoni, A.R.; PSARAFTIS, H.N.; WILSON, N.H.M.** *A Heuristic Algorithm for the Multi-Vehicle Advanced Request Dial-a-Ride Problem with Time Windows.* Transportation Research. 243-257, 1986.

**KARP, R.** *Probabilistic analysis of partitioning algorithms for the traveling salesman problem.* Management Science & Statistic Working Paper, n.82, 1977.

**LAPORTE, G. M.; GENDRAU, J.Y.; POTVIN F. SEMET** *Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem.* International Transaction in Operational Research, v.7, n.4/5, p.285-300, 2000.

**MADSEN, O. B. G.; RAVN, H. F.; RYGAARD, J. M.** *A heuristic algorithm for a dial-a-ride problem with time-windows, multiple capacities, and multiple objectives.* Annals of Operations Research, v. 60, n. 1, p. 193-208, 1995.

**MAGNANTI, T.** *Combinatorial optimization and vehicle fleet planning: Perspectives and Prospects.* Networks, v.11, n.2, p.179-214, 1981.

**NEWTON, R. THOMAS, W.** *Design of school bus routes by computer.* Socio-Economic Planning Science, n.13, p.113-129, 1969.

**NORBACK, J., LOVE, R.** *Geometric approaches to solve the traveling salesman problem.* Management Science, n.23, p.1208-1223, 1979.

**PÓVOA, C.L.** *Heurística GRASP para o problema do roteamento de veículos com multi-compartimentos e sua integração com o sistema de informação geográfica Geo-Rota.* 2005. 183 p. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, 2005.

**PSARAFTIS, H.N.** *Vehicle Routing: Methods and Studies*, chapter Dynamic Vehicle Routing Problems. pages 223-248. Elsevier Science Publishers B.V. (North Holland), 1988.

**PSARAFTIS, H. N.** *Dynamic vehicle routing: status and prospects.* Annals of Operations Research, v. 61, n. 1, p. 143-164, 1995.

**PUREZA, V.; LARAZIN, D.F.** *Um estudo de impactos do roteamento dinâmico de veículos em atividades de prestação de serviços.* Revista Produção, v. 20, n. 4, 589-600, 2010.

**POWELL, W.B.; PATRICK JAILLET, P.; ODoni, A.** *Network Routing*, volume 8, chapter Stochastic and Dynamic Networks and Routing, pages 141-295. Elsevier Science, Amsterdam, 1995.



**SOLOMON, M. M.** *Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints.* Operations Research, v. 35, n. 2, p. 254-265, 1987.

## Anexo I: Tabela de serviços padrão

Descrição	Componentes / Tempo-padrão	
AVALIAÇÃO DE POSSIBILIDADE DE REDIMENSIONAMENTO DE RAMAL DE ÁGUA	1	00:30
AVALIAÇÃO DE POSSIBILIDADE DE REDIMENSIONAMENTO DE RAMAL DE ESGOTO	2	00:30
AVALIAÇÃO DE POSSIBILIDADE DE REMANEJAMENTO DE RAMAL ÁGUA	1	00:30
AVALIAÇÃO DE POSSIBILIDADE DE REMANEJAMENTO DE RAMAL ESGOTO	2	00:40
AVALIAÇÃO EXTENSÃO DE REDE DE ÁGUA	2	01:09
AVALIAÇÃO EXTENSÃO DE REDE DE ESGOTO	1	02:00
COLOCAÇÃO DE SELO DE VIROLA	1	00:10
CONFECÇÃO DE CAIXA DE INSPEÇÃO	3	08:00
CONFECÇÃO DE CAIXA DE PROTEÇÃO REGISTROS E VENTOSAS	2	04:00
CONFECÇÃO DE MURETA	2	01:00
CONFECÇÃO DE PV	2	04:10
CONERTO NO CAVALETE	1	00:50
CONERTO NO CAVALETE DN ½	1	00:15
CONERTO NO CAVALETE DN ¾	1	00:15
CONERTO NO CAVALETE DN 1	1	00:15
CONERTO NO CAVALETE DN 1 ½	1	00:15
CONERTO NO CAVALETE DN 2	2	00:15
CONERTO NO CAVALETE DN 4	2	00:23
CONERTO NO CAVALETE DN 6	2	00:23
CORTE DE PAVIMENTO	2	00:25
DESLIGAMENTO DO RAMAL DE ÁGUA A PEDIDO	2	01:00
DESLIGAMENTO DO RAMAL DE ÁGUA A PEDIDO DN ¾	2	01:00
DESLIGAMENTO DO RAMAL DE ÁGUA A PEDIDO DN 1	2	01:00
DESLIGAMENTO DO RAMAL DE ÁGUA A PEDIDO DN 1 ½	2	01:00
DESLIGAMENTO DO RAMAL DE ÁGUA A PEDIDO DN 2	2	01:00
DESLIGAMENTO DO RAMAL DE ESGOTO A PEDIDO	2	02:00
DESLIGAMENTO DO RAMAL DE ESGOTO A PEDIDO DN 100	2	02:00
DESLIGAMENTO DO RAMAL DE ESGOTO A PEDIDO DN 150	2	02:00
DESOBSTRUÇÃO DE GALERIA DE ÁGUAS PLUVIAIS	2	01:00
DESOBSTRUÇÃO DE HIDRÔMETRO	1	00:15

DESOBSTRUÇÃO DE HIDRÔMETRO DN ½	1	00:15
DESOBSTRUÇÃO DE HIDRÔMETRO DN ¾	1	00:15
DESOBSTRUÇÃO DE HIDRÔMETRO DN 1	1	00:15
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL ÁGUA	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN ½	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN ¾	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN 1	1	00:15
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN 1 ½	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL ESGOTO	2	00:30
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL MANUAL ESGOTO	2	02:00
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL MANUAL ESGOTO DN 100	2	02:00
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL MANUAL ESGOTO DN 150	2	02:00
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL MECÂNICA ESGOTO	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL MECÂNICA ESGOTO DN 100	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE RAMAL MECÂNICA ESGOTO DN 150	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE REDE ÁGUA	2	01:00
DESOBSTRUÇÃO DE REDE ESGOTO	4	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE REDE ESGOTO DN 100	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE REDE ESGOTO DN 150	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE REDE ESGOTO DN 200	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE REDE ESGOTO DN 250	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE REDE ESGOTO DN 300	2	00:45
DESOBSTRUÇÃO DE REDE ESGOTO DN 400	2	00:45
ESGOTAMENTO DE FOSSA CLIENTE	4	00:30
ESGOTAMENTO DE FOSSA NÃO CLIENTE	4	00:30
EXTENSÃO DE REDE DE ÁGUA	2	03:30
EXTENSÃO DE REDE DE ESGOTO DN 150 VINILFORT	2	04:00
FISCALIZAÇÃO DE SERVIÇOS	1	00:30
HIDRÔMETRO INVERTIDO (REGULARIZAÇÃO DE POSIÇÃO)	1	00:15
HIDRÔMETRO INVERTIDO (REGULARIZAÇÃO DE POSIÇÃO) DN ½	1	00:15
HIDRÔMETRO INVERTIDO (REGULARIZAÇÃO DE POSIÇÃO) DN ¾	1	00:15
HIDRÔMETRO INVERTIDO (REGULARIZAÇÃO DE POSIÇÃO) DN 1	1	00:00
HIDRÔMETRO INVERTIDO (REGULARIZAÇÃO DE POSIÇÃO) DN 2	1	00:30

HIDRÔMETRO INVERTIDO (REGULARIZAÇÃO DE POSIÇÃO) DN 3	2	00:45
INSTALAÇÃO DE FILTRO EM HIDRÔMETRO	1	00:15
INSTALAÇÃO DE FILTRO EM HIDRÔMETRO DN ¾	1	00:15
INSTALAÇÃO DE FILTRO EM HIDRÔMETRO DN 1	1	00:15
INSTALAÇÃO DE FILTRO EM HIDRÔMETRO DN 1 ½	1	00:30
INSTALAÇÃO DE FILTRO EM HIDRÔMETRO DN 2	1	00:45
INSTALAÇÃO DE FILTRO EM HIDRÔMETRO DN 3	1	01:00
INSTALAÇÃO DE HIDRANTE	2	02:15
INSTALAÇÃO DE MACROMEDIDOR DN 2 ELETROMAGNÉTICO	2	02:00
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO ADUTORA DN 150 DEFOFO	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO ADUTORA DN 150 FºFº	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO ADUTORA DN 200 DEFOFO	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO ADUTORA DN 200 FºFº	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO ADUTORA DN 250 DEFOFO	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO ADUTORA DN 250 FºFº	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO ADUTORA DN 300 DEFOFO	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 1 ½ Fº GALV.	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 100 FºFº	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 100 PBA	2	00:00
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 150 DEFOFO	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 150 FºFº	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 200 DEFOFO	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 250 FºFº	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 300 FºFº	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 50 FºFº	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 50 PBA	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 63 POLIETILENO	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 75 FºFº	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 75 PBA	2	01:30
INSTALAÇÃO DE PONTO DE PRESSÃO REDE DN 75 POLIETILENO	2	01:30
INSTALAÇÃO DE TAMPÃO ÁGUA	2	00:45
INSTALAÇÃO DE TAMPÃO ESGOTO	2	00:45
INSTALAÇÃO DE VÁLVULA DE RETENÇÃO DE ESGOTO DN 100	2	01:45

INSTALAÇÃO DE VÁLVULA DE RETENÇÃO DE ESGOTO DN 150	2	01:45
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 100 AMIANTO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 100 DEFOFO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 100 Fº GALV	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 100 FºFº	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 100 PBA	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 100 POLIETILENO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 150 AMIANTO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 150 DEFOFO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 150 FºFº	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 200 AMIANTO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 200 DEFOFO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 200 FºFº	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 250 AMIANTO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 250 DEFOFO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 250 FºFº	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 300 AMIANTO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 300 DEFOFO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 300 FºFº	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 300 FIBRA DE VIDRO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 32 POLIETILENO	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 350 FºFº	2	03:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 50 FºFº	2	04:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 50 PBA	2	04:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 75 FºFº	2	04:00
INTERLIGAÇÃO DE REDE DE ÁGUA DN 75 PBA	2	04:00
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CAIXA PROTETORA CALÇADA DN ¾	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CAIXA PROTETORA MURO DN ¾	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CAIXA PROTETORA (1,00 x 0,50) CALÇADA DN 1 ½	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CONFECÇÃO DE ABRIGO MURETA DN 1 ½	2	01:25
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CONFECÇÃO DE ABRIGO MURETA DN 2	2	02:25
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CONFECÇÃO DE ABRIGO MURETA DN 3	2	02:25
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CONFECÇÃO DE ABRIGO MURETA DN 4	2	02:25

LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CONFECÇÃO DE ABRIGO MURETA DN 6	2	03:25
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CONFECÇÃO DE ABRIGO MURO DN 1 ½	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CONFECÇÃO DE ABRIGO MURO DN 3	2	03:25
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CX PROTETORA CALÇADA DN ½	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CX PROTETORA CALÇADA DN 1	2	01:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CX PROTETORA MURETA DN ½	2	01:15
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CX PROTETORA MURETA DN ¾	2	01:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CX PROTETORA MURETA DN 1	2	01:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA C/ CX PROTETORA MURO DN ½	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA (DESMEMBRAMENTO) C/ CAIXA PROTETORA MURO DN ¾	2	01:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA (DESMEMBRAMENTO) C/ CX PROTETORA CALÇADA DN ½	2	01:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA (DESMEMBRAMENTO) C/ CX PROTETORA MURETA DN ½	2	01:23
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA (DESMEMBRAMENTO) C/ CX PROTETORA MURETA DN ¾	2	01:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA (DESMEMBRAMENTO) C/ CX PROTETORA MURO DN ½	2	01:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA/COMERCIALIZAÇÃO C/ CX PROTETORA CALÇADA DN ½	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA/COMERCIALIZAÇÃO C/ CX PROTETORA CALÇADA DN ¾	2	00:00
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA/COMERCIALIZAÇÃO C/ CX PROTETORA CALÇADA DN 1 ½	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA/COMERCIALIZAÇÃO C/ CX PROTETORA MURETA DN ½	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA/COMERCIALIZAÇÃO C/ CX PROTETORA MURETA DN ¾	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA/COMERCIALIZAÇÃO C/ CX PROTETORA MURETA DN 1	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA/COMERCIALIZAÇÃO C/ CX PROTETORA MURO DN ½	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA/COMERCIALIZAÇÃO C/ CX PROTETORA MURO DN ¾	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ÁGUA/COMERCIALIZAÇÃO C/ CX PROTETORA MURO DN 1	2	02:20
LIGAÇÃO NOVA DE ESGOTO DN 100	2	04:00
LIGAÇÃO NOVA DE ESGOTO DN 150	2	04:00
LIGAÇÃO NOVA DE ESGOTO/COMERCIALIZAÇÃO DN 100	2	03:00
LIGAÇÃO NOVA DE ESGOTO/COMERCIALIZAÇÃO DN 150	2	03:00
LIGAÇÃO NOVA DE ESGOTO/COMERCIALIZAÇÃO DN 200	2	03:00
LIGAÇÃO NOVA DE ESGOTO/COMERCIALIZAÇÃO DN 250	2	03:00
LIGAÇÃO NOVA DE ESGOTO/COMERCIALIZAÇÃO DN 300	2	03:00
LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ESGOTO DN 100	2	03:30
LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ESGOTO DN 150	2	03:00
LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ESGOTO DN 200	2	03:00

LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ESGOTO DN 250	2	03:00
LIGAÇÃO PROVISÓRIA DE ESGOTO DN 300	2	03:00
LIMPEZA CAIXA DE AREIA	1	00:30
LIMPEZA DE CAIXA PROTETORA CALÇADA	2	00:20
LIMPEZA DE CISTERNA/CAIXA D'ÁGUA	2	01:30
LIMPEZA DE CX DE GORDURA	2	00:30
LIMPEZA DE CX DE REGISTRO	2	00:45
LIMPEZA DE ELEVATÓRIAS DE ESGOTO	4	04:00
LIMPEZA PREVENTIVA DE REDE DE ESGOTO	4	00:35
MANUTENÇÃO DE OBRAS CIVIS	2	05:00
MEDIÇÃO DE PRESSÕES	1	00:15
NIVELAMENTO DE TAMPÃO ÁGUA	2	02:00
NIVELAMENTO DE TAMPÃO ESGOTO	2	02:00
OIH - ORDEM INTERNA DE HIDROMETRAÇÃO	1	01:00
OIH - ORDEM INTERNA DE HIDROMETRAÇÃO C/ CAIXA PROTETORA CALÇADA DN ½	2	00:30
OIH - ORDEM INTERNA DE HIDROMETRAÇÃO C/ CAIXA PROTETORA CALÇADA DN ¾	2	00:30
OIH - ORDEM INTERNA DE HIDROMETRAÇÃO C/ CAIXA PROTETORA MURO DN ½	1	00:30
OIH - ORDEM INTERNA DE HIDROMETRAÇÃO C/ CAIXA PROTETORA MURO DN ¾	1	00:30
OISH - ORDEM INTERNA DE SUBST. DE HIDRÔMETRO	1	00:20
OUTROS SERVIÇOS OPERACIONAL	2	00:30
PAD. DE LIGAÇÃO C/ INST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA MURETA DN ½	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ INST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA MURETA DN ¾	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ INST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA MURETA DN 1	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ SUBST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA CALÇAÇA DN ½	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ SUBST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA CALÇADA DN ¾	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ SUBST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA CALÇADA DN 1	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ SUBST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA MURETA DN ½	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ SUBST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA MURETA DN ¾	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ SUBST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA MURETA DN 1	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ SUBST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA MURO DN ½	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ SUBST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA MURO DN ¾	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO C/ SUBST. DE HIDRÔMETRO C/ CX PROTETORA MURO DN 1	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO DE ÁGUA C/ CX PROTETORA CALÇADA DN ½	2	02:00

PAD. DE LIGAÇÃO DE ÁGUA C/ CX PROTETORA CALÇADA DN ¾	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO DE ÁGUA C/ CX PROTETORA CALÇADA DN 1	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO DE ÁGUA C/ CX PROTETORA MURETA DN ½	2	01:00
PAD. DE LIGAÇÃO DE ÁGUA C/ CX PROTETORA MURETA DN ¾	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO DE ÁGUA C/ CX PROTETORA MURETA DN 1	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO DE ÁGUA C/ CX PROTETORA MURO DN ½	2	02:00
PAD. DE LIGAÇÃO DE ÁGUA C/ CX PROTETORA MURO DN ¾	2	02:00
PADRONIZAÇÃO DE LIGAÇÃO C/ INST. DE HIDRÔMETRO C/ CAIXA PROTETORA CALÇADA DN ½	2	02:00
PADRONIZAÇÃO DE LIGAÇÃO C/ INST. DE HIDRÔMETRO C/ CAIXA PROTETORA CALÇADA DN ¾	2	02:00
PADRONIZAÇÃO DE LIGAÇÃO C/ INST. DE HIDRÔMETRO C/ CAIXA PROTETORA MURO DN ½	2	02:00
PADRONIZAÇÃO DE LIGAÇÃO C/ INST. DE HIDRÔMETRO C/ CAIXA PROTETORA MURO DN ¾	2	02:00
PADRONIZAÇÃO DE LIGAÇÃO DE ESGOTO DN 100	2	03:00
PADRONIZAÇÃO DE LIGAÇÃO DE ESGOTO DN 150	2	03:00
PESQUISA DE VAZAMENTO ÁGUA	2	02:00
PESQUISA DE VAZAMENTO ESGOTO	2	01:20
QUEBRA DE REDE DE ESGOTO – FOJO	2	02:30
REDIMENSIONAMENTO DE RAMAL ÁGUA ½ PARA ¾	2	01:15
REDIMENSIONAMENTO DE RAMAL ÁGUA ¾ PARA 1	2	01:15
REDIMENSIONAMENTO DE RAMAL ÁGUA ¾ PARA 1 ½	2	01:15
REDIMENSIONAMENTO DE RAMAL ÁGUA ¾ PARA 2	2	01:15
REDIMENSIONAMENTO DE RAMAL ESGOTO DN 100 PARA 150	2	02:00
RELIGAÇÃO DE ÁGUA CLIENTE DESLIGADO	2	03:00
RELIGAÇÃO DE RAMAL DE ESGOTO	2	00:40
REMANEJ. DE RAMAL ÁGUA C/ CX PROTETORA MURO DN ½	2	03:20
REMANEJ. DE RAMAL ESGOTO DN 100	2	01:00
REMANEJ. DE RAMAL ESGOTO DN 150	2	01:00
REMANEJAMENTO DE REDE ÁGUA DN 100	2	04:32
REPARO DE GALERIA DE ÁGUAS PLUVIAIS	2	04:00
REPARO DE PV DIÂMETRO 0,60 M	2	01:30
REPARO DE PV DIÂMETRO 0,80 M	2	01:40
REPARO DE PV DIÂMETRO 1,10 M	2	02:00
REPARO DE REGISTRO DN 150	2	01:20



REPARO DE REGISTRO DN 200	2	01:20
RETIRADA DE ENTULHO	2	00:40
REVISÃO DE CADASTRO VISTORIA	1	00:15
REVISÃO DE CONSUMO	1	01:20
SERVIÇO INTERNO CLIENTE	1	02:30
SOLICITAÇÃO DE PIPA CLIENTE	1	00:34
SOLICITAÇÃO DE PIPA NÃO CLIENTE	1	00:30
SONDAGEM ELETRÔNICA	1	01:30
SUBSTITUIÇÃO DE CX PROTETORA - CALÇADA	2	01:45
SUBSTITUIÇÃO DE CX PROTETORA - MURO	2	01:00
SUBSTITUIÇÃO DE HIDRÔMETRO DN ½	1	00:40
SUBSTITUIÇÃO DE HIDRÔMETRO DN 1	1	00:15
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN ½	2	01:30
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN ¾	2	01:30
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN 1	2	01:30
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN 1 ½	2	01:30
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN 2	2	01:30
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN 3	2	01:30
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN 4	2	01:30
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ÁGUA DN 6	2	01:30
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ESGOTO DN 100	2	04:00
SUBSTITUIÇÃO DE RAMAL ESGOTO DN 150	3	04:00
SUBSTITUIÇÃO DE REDE ÁGUA DN 100	2	04:32
SUBSTITUIÇÃO DE REDE ÁGUA DN 150	3	04:32
SUBSTITUIÇÃO DE REGISTRO NO CAVALETE	1	00:25
SUBSTITUIÇÃO DE REGISTRO NO CAVALETE DN ½	1	00:25
SUBSTITUIÇÃO DE REGISTRO NO CAVALETE DN ¾	1	00:25
SUBSTITUIÇÃO DE REGISTRO NO CAVALETE DN 1	2	00:25
SUBSTITUIÇÃO DE TAMPA CAIXA PROTETORA CALÇADA	1	00:10
SUBSTITUIÇÃO DE TAMPA CAIXA PROTETORA MURO	2	00:25
SUBSTITUIÇÃO DE TAMPÃO ÁGUA	2	02:00
SUBSTITUIÇÃO DE TAMPÃO ESGOTO	2	02:00
SUPRESSÃO DE RAMAL DE ESGOTO	2	00:40

SUSPENSÃO DE FORNECIMENTO NO RAMAL	2	00:45
VAZAMENTO ADUTORA	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 125 AMIANTO	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 125 FºFº	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 150 AMIANTO	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 150 FºFº	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 150 PVC DEFOFO	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 150 PVC PBA	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 200 AMIANTO	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 200 FºFº	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 200 PVC DEFOFO	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 250 AMIANTO	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 250 FºFº	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 250 PVC DEFOFO	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 300 AMIANTO	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 300 FºFº	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 300 FIBRA DE VIDRO	2	05:00
VAZAMENTO ADUTORA DN 300 PVC DEFOFO	2	05:00
VAZAMENTO RAMAL ÁGUA	2	00:45
VAZAMENTO RAMAL ÁGUA DN ½	2	00:45
VAZAMENTO RAMAL ÁGUA DN ¾	2	00:45
VAZAMENTO RAMAL ÁGUA DN 1	2	00:45
VAZAMENTO RAMAL ÁGUA DN 1 ½	2	00:45
VAZAMENTO RAMAL ÁGUA DN 2	2	00:45
VAZAMENTO RAMAL ESGOTO	2	02:00
VAZAMENTO RAMAL ESGOTO DN 100	3	02:00
VAZAMENTO RAMAL ESGOTO DN 150	3	02:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO)	2	05:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 150 AMIANTO	2	05:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 150 FºFº	2	05:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 150 PVC PBA	2	05:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 200 AMIANTO	2	05:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 200 FºFº	2	05:00

VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 250 AMIANTO	2	05:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 250 FºFº	2	04:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 250 PVC DEFOFO	2	04:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 300 AMIANTO	2	04:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 300 FºFº	2	04:00
VAZAMENTO RECALQUE (ESGOTO) DN 300 PVC DEFOFO	2	04:00
VAZAMENTO REDE ÁGUA	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 100 AMIANTO (125)	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 100 Fº GALV.	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 100 FºFº	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 100 PVC DEFOFO	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 100 PVC PBA	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 100 PVC RQ	2	01:00
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 11/2 PVC	2	01:05
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 11/4 PVC	2	01:05
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 50 AMIANTO (70)	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 50 AMIANTO (75)	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 50 Fº GALV.	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 50 FºFº	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 50 PVC PBA	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 50 PVC RQ	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 75 AMIANTO (100)	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 75 Fº GALV.	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 75 FºFº	2	01:30
VAZAMENTO REDE ÁGUA DN 75 PVC PBA	2	01:30
VAZAMENTO REDE ESGOTO	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 100 AMIANTO	2	02:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 150 MANILHA	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 150 PVC CORRUGADO	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 150 PVC MACIÇO	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 200 AMIANTO	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 200 MANILHA	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 200 PVC DEFOFO	2	04:00

VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 200 PVC MACIÇO	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 250 AMIANTO	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 250 MANILHA	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 250 PVC DEFOFO	2	04:00
VAZAMENTO REDE ESGOTO DN 300 AMIANTO	2	04:00
VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA	1	01:00
VERIFICAÇÃO DE HIDRÔMETRO	1	00:30
VERIFICAÇÃO DO ABASTECIMENTO	1	00:30
VISTORIA - POSSIBILIDADE DE PAD. DE LIGAÇÃO ÁGUA	1	00:25
VISTORIA - POSSIBILIDADE DE PAD. DE LIGAÇÃO ESGOTO	1	00:30
VISTORIA - POSSIBILIDADE REMANEJ. DE RAMAL DE ÁGUA	1	00:15
VISTORIA - POSSIBILIDADE REMANEJ. DE RAMAL ESGOTO	2	00:30
VISTORIA TÉCNICA ÁGUA	1	01:00
VISTORIA TÉCNICA ESGOTO	1	01:00
VQS - VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE SERVIÇOS	1	00:25