UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E MATEMÁTICA APLICADA

MESTRADO ACADÊMICO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

Algoritmos Genéticos Aplicados ao Problema do Ridematching com Janelas de Tempo

José Arthur Souza de Macêdo

Natal-RN

Setembro de 2016

José Arthur Souza de Macêdo

Algoritmos Genéticos Aplicados ao Problema do Ridematching com Janelas de Tempo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Informática e Matemática Aplicada do Centro de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

*Linha de Pesquisa*: Algoritmos Experimentais

Orientador

Prof. Dr. Marco Cesar Goldbarg

PPGSC – Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação

DIMAp – Departamento de Informática e Matemática Aplicada

CCET – Centro de Ciências Exatas e da Terra

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal-RN

Setembro de 2016

Dissertação de Mestrado sob o título *Algoritmos Genéticos Aplicados ao Problema do Ridematching com Janelas de Tempo* apresentada por José Arthur Souza de Macêdo e aceita pelo Departamento de Informática e Matemática Aplicada do Centro de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sendo aprovada por todos os membros da banca examinadora abaixo especificada:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Titulação e nome do(a) orientador(a)

Orientador(a)

Departamento

Universidade

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Titulação e nome do membro da banca examinadora

Co-orientador(a), se houver

Departamento

Universidade

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Titulação e nome do membro da banca examinadora

Departamento

Universidade

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Titulação e nome do membro da banca examinadora

Departamento

Universidade

Setembro, 2016

Agradeço a meu orientador pelos conselhos e ajuda em todos os momentos da pesquisa.

Agradecimentos

Agradeço especialmente à minha familia por todos os momentos de suporte nessa jornada.

*Citação*

Autor

Algoritmos Genéticos Aplicados ao Problema do Ridematching com Janelas de Tempo

Autor: José Arthur Souza de Macêdo

Orientador(a): Prof. Dr. Marco Cesar Goldbarg

Resumo

Este trabalho apresenta estratégias de otimização para o problema do Ridematching com Janelas de Tempo (RMPTW). O Problema do Ridematching com Janelas de Tempo é uma extensão do Pickup and Delivery com Janelas de Tempo (PDPTW). Que é associado à área de roteamento de veículos. O interesse na área se dá pela aplicabilidade direta de soluções do modelo para problemas do mundo real. Como por exemplo em alocação de caronas em rotas de veículos previamente conhecidos. São desenvolvidos algoritmos genéticos baseados no NSGA-II. Duas variações do algoritmo são comparadas com o estado da arte. É proposto um novo método determinístico de inserção de caronas em uma rota parcial, que dispensa o uso de operador de mutação sobre a hora de atendimento dos pontos da rota. Os resultados são discutidos e são apresentadas comparações usando indicadores de qualidade multi-objetivo. Além disso são aplicados testes estatisticos para avaliar a significância dos resultados obtidos. Testes experimentais concluem que o algoritmo de inserção proposto é mais rápido e produz melhores resultados que o estado da arte.

*Palavras-chave:* Ridematching, Ridesharing, Algoritmos Genéticos, NSGA-II.

Genetic Algorithms Applied to the Ridematching Problem with Time Windows

Author: José Arthur Souza de Macêdo

Advisor: Prof. D.Sc. Marco Cesar Goldbarg

Abstract

This dissertation presents optimization strategies for Ridematching Problem with Time Windows (RMPTW). The Ridematching Problem with Time Windows is an extension of Pickup and Delivery Problem with Time Windows (PDPTW). Which is associated with vehicle routing area. The interest in the subject is by its direct application of model solutions to real world problems. For instance allocation rides in previously known vehicles routes. Genetic algorithms based on the NSGA-II are developed. Two variations of the algorithm are compared with the state of the art. A new deterministic rider insertion method is proposed in a partial route, which avoids the use of mutation operator in the service time of the route points. Results are discussed and comparisons are presented using multi-objective quality indicators. Further tests are applied to evaluate statistical significance of the results obtained. Experimental tests concludes that the proposed insertion algorithm is faster and produces better results than the state of the art algorithm.

*Keywords:* Ridematching, Ridesharing, Genetic Algorithms, NSGA-II.

Lista de figuras

[Figura 1. Teste de uma figura em formato .png. 16](#_Toc248145833)

Lista de tabelas

[Tabela 1. Tabela sem sentido. 18](#_Toc248146063)

Lista de abreviaturas e siglas

NSGA-II – *Nondominated Sorting Genetic Algorithm II,* p. 20

RMPTW – Ridematching com Janelas de Tempo, do inglês *Ridematching Problem with Time Windows.*

HCP – Hora mais cedo de Partida

HTP – Hora mais tarde de Partida

HCC – Hora mais cedo de Chegada

HTC – Hora mais tarde de Chegada

Lista de símbolos

*V*­­­­­ – Conjunto de veículos enumerado de 1 a *n*

Sumário

[1 Introdução 14](#_Toc257751268)

[1.1 Contexto e Motivação 14](#_Toc257751269)

[1.2 Objetivos da Pesquisa 14](#_Toc257751269)

[1.3 Organização do Trabalho 14](#_Toc257751269)

[2 Capítulo 2 15](#_Toc257751270)

[2.1 Seção 1 16](#_Toc257751271)

[2.2 Seção 2 16](#_Toc257751272)

[2.3 Seção 3 16](#_Toc257751273)

[2.4 Seção 4 16](#_Toc257751274)

[3 Capítulo 3 17](#_Toc257751275)

[3.1 Seção 1 18](#_Toc257751276)

[3.2 Seção 2 18](#_Toc257751277)

[3.2.1 Subseção 2.1 19](#_Toc257751278)

[3.3 Seção 3 19](#_Toc257751279)

[4 Capítulo 4 20](#_Toc257751280)

[4.1 Seção 1 20](#_Toc257751281)

[4.2 Seção 2 20](#_Toc257751282)

[5 Capítulo 5 21](#_Toc257751283)

[5.1 Seção 1 21](#_Toc257751284)

[5.2 Seção 2 21](#_Toc257751285)

[5.2 Seção 2 21](#_Toc257751286)

[5.2.1 Subseção 2.1 22](#_Toc257751287)

[5.3 Seção 3 22](#_Toc257751288)

[6 Considerações finais 23](#_Toc257751289)

[Referências 24](#_Toc257751290)

[APÊNDICE A – Primeiro apêndice 25](#_Toc257751291)

[ANEXO A – Primeiro anexo 26](#_Toc257751292)

# 

# 1 Introdução

Este capítulo apresenta uma visão geral do conteúdo desenvolvido neste trabalho. Na seção 1.1 são apresentados o contexto em em que a pesquisa está inserido, junto com uma motivação para o desenvolvimento de algoritmos na área. Na seção 1.2 é apresentado o objeto tema de estudo. Definindo de maneira informal do problema do RMPTW. Na seção 1.3 é discutido o objetivo da pesquisa. Enfatizando a descrição da metodologia adotada. A organização do trabalho é descrita na seção 1.4.

## 1.1 Contexto e Motivação

Cada vez mais pessoas e bens materiais são transportados ao redor do mundo. O crescimento dessa demanda por transporte é reflexo da evolução econômica dos países, onde existe maior concentração de serviços, empregos e distribuição de bens. Por representar um custo financeiro considerável, a capacidade de transportar cargas e passageiros de modo econômico se torna um ponto chave no crescimento das economias emergentes.

Além de ser um fator de competitividade econômica, patircularmente o transporte de passageiros é responsável por gerar custos e prejuízos como manutenção de veículos com peças e reparos, combustível, tempo disponível, congestionamento do tráfego e poluição do meio ambiente. Assim, os modelos de compartilhamento de veículos, conhecidos como *ridesharing* apresentam uma solução para otimizar o uso dos recursos humanos e naturais escassos.

Um sistema de *ridesharing* permite o compartilhamento de vagas de veículos por seus motoristas com um ou mais caronas, de forma a compartilhar os custos da viagem. O termo tem um significado amplo e pode se referir tanto ao transporte recorrente de passageiros tais como *carpool* e *vanpool* como os serviços de frete similares aos táxis (Uber e Lyft). Neste ultimo caso, sendo comumente chamados de sistemas de *real-time ridesharing*. (Agatz; Erera; Savelsbergh; Wang, 2010).

Os estudos na área são justificados pelo aumento contínuo no número de veículos em circulação. A título de exemplo, no Brasil, Em um estudo nacional realizado pelo DETRAN em 2006, foi contabilizado uma frota de 43.854.594 veículos. Em junho de 2016 um novo estudo do mesmo orgão registrou 92.281.081 veículos em circulação (Incluíndo carros, motos, veículos utilitários, entre outros). Isso representa um aumento superior a 210% num período de 10 anos. (DETRAN) 2016.

As consequências diretas do incremento da frota de veículos nas cidades são o aumento dos engarrafamentos nas grandes metrópoles, degradação da qualidade do ar, número de acidentes por ano, entre outros. Que de forma indireta pioram a saúde e qualidade de vida da população.

Na prática, um sistema de ridesharing, como o *carpool*, exige um conjunto de participantes atuando como motoristas ou caronas, o objetivo mútuo é definir qual carona será levado por qual motorista para seu destino. À partir desses requisitos básicos, inúmeros problemas podem ser modelados para se adequar a um aspecto que deseja ser atendido. Como do quanto cada motorista está disposto a desviar de seu caminho para atender um carona, e se o motorista possui ou não rota definida, janela de tempo, entre outros.

Nas últimas décadas, inúmeros modelos foram propostos nesse intuito. (SOLOMON, 1987); (Jaw, J. et al, 1986), (N. A. Agatz et al, 2011). Particularmente, o modelo adotado neste trabalho é recente e foi descrito de forma inédita no trabalho de (HERBAWI) 2012. Que por sua vez é similar aos modelos propostos por (JORGENSEN, 2002). No problema do Ridematching com Janelas de Tempo (RMPTW) caronas devem ser atribuídos às rotas de cada motorista, definindo o horário e a sequência de embarque e desembarque de cada um, sujeito à um critério de otimização multi-objetivo. O problema pode ser estendido de uma versão estática, onde todos os motoristas e caronas são conhecidos antes da execução do algoritmo, para uma versão dinâmica, onde uma porcentagem dos caronas não são conhecidos no momento da execução do algoritmo. Mais detalhes serão apresentados no capítulo 2.

## 1.2 Objeto de estudo

No problema do Ridematching com janelas de tempo (RMPTW), descrito em (Herbawi) 2012 um conjunto de motoristas e caronas desejam se deslocar entre seus pontos de origem e destino, com distância e tempo de viagem conhecidos previamente. Durante o espaço de 24 horas, os participantes desse modelo (motoristas e caronas) anunciam a intenção de viagem, definindo o ponto de partida e de destino como coordenadas geográficas (longitude e latitude).

Cada participante define uma hora de saída ou de chegada. De forma que a janela de tempo para realizar a carona é computada usando a distância a ser percorrida por cada participante e uma quantidade de tempo constante de tolerância, definido para cada instância do problema.

Motoristas definem um tempo máximo de viagem e uma distância máxima de viagem. Similarmente, os caronas definem um tempo máximo de viagem. A rota de cada motorista é formada por pontos de serviço, representando a hora e local de atendimento de um carona (partida ou chegada).

Finalmente, cada carona define a hora de anunciação da carona e o tempo de serviço da partida e da chegada, isto é, o tempo necessário para realizar a partida ou chegada do carona. Por exemplo, carga e descarga de malas. É importante não confundir esta ultima definição com o tempo de espera do motorista, que é tempo transcorrido entre a hora de chegada do motorista no ponto de serviço e a hora de serviço real do carona.

O objetivo do RMPTW é o de atribuir caronas nas rotas dos motoristas de forma a minimizar:

* O tempo total de viagem dos motoristas
* A distância total de viagem dos motoristas
* O tempo total de viagem dos caronas
* O número de caronas não atribuidos à alguma rota.

Dessa forma, não existe uma motivação econômica explícita no modelo. Mas que pode ser encaixada dado a intenção de maximização do uso dos assentos e minimização do tempo. Desde que valores de tempo e distância de sua viagem dos motoristas não ultrapassem um determinado limite.

O problema não define a otimização dos caminhos entre cada ponto de serviço das rotas dos motoristas. Isto é, Inicialmente cada rota é o menor caminho assumido entre a origem e o destino. Para efeitos de simplificação é usado a distância entre dois pontos cardeais. A distância total de uma rota é formada pela soma das distâncias em linha reta entre cada ponto de serviço de um motorista ou carona.



**Figura 1.** Exemplo de instância do problema.

Inicialmente cada rota é formada apenas pelos pontos de saída e chegada do motorista. Assim como dos caronas. A figura 1 apresenta uma instância do problema, com 4 motoristas e 6 caronas. Nessa instância, a distância é calculada utilizando a fórmula de haversine para distâncias entre dois pontos. cada rota inicia com seu valor objetivo de tempo e distância mínimos. A inserção de um carona provoca um *detour* na rota, que pode acrescentar em tempo e distância o valor objetivo. Além disso é admitido ao motorista um tempo de espera em cada ponto de carona. O tempo então é uma variável descorrelacionada à distância.



**Figura 2.** Exemplo de solução para uma instância do problema.

Na solução do problema, as rotas geradas devem respeitar as restrições das janelas de tempo. A figura 2 apresenta uma solução válida para uma instância do problema. No exemplo, o carona 6 não pôde ser combinado a nenhum motorista.

Para padronizar a nomenclatura e facilitar o entendimento, de agora em diante os locais físicos dos motoristas e caronas serão chamados de pontos de *origem* e *destino*. Os verbos associados à chegada e saída desses pontos serão respectivamente *partida* e *chegada*. Os motoristas serão denominados *veículos*. Um pedido de carona poderá ser abreviado para simplesmente *carona* quando aplicável.

## 1.3 Objetivos da Pesquisa

Este trabalho tem por objetivo fazer um estudo da aplicação de diferentes algoritmos genéticos sobre o problema do Ridematching com Janelas de Tempo (RMPTW).

Inicialmente é apresentado o algoritmo proposto pelo estado da arte em (HERBAWI) 2012. Um algoritmo genético com operadores adaptados ao problema proposto. O algoritmo apresenta o método de crossover e mutação em um gene desenvolvido à partir do modelo do problema.

O algoritmo original é analisado e sua propriedades e limitações são discutidas. São definidos as estruturas de dados em que se baseam todos os demais algoritmos e os operadores de crossover e mutação originais.

É apresentado a implementação de um novo algoritmo para o problema utilizando a arquitetura do NSGA-II. O NSGA-II foi a opção escolhida por sua capacidade de gerar um conjunto de soluções *não-dominadas*  de maneira relativamente rápida. As soluções geradas são incomparáveis entre si e não favorecem o peso de um objetivo sobre outro.

A partir do algoritmo desenvolvido com o NSGA-II, um operador de inserção melhorado é implementado. O operador aproveita aspectos do modelo do problema para atingir soluções de maior qualidade (em número de caronas combinados) em um menor tempo de execução. Esse novo algoritmo denominado NSGA-II melhorado é apresentado, com suas propriedades em relação ao original.

Por fim são realizados testes de comparação entre os 3 algoritmos utilizando os indicadores de qualidade hipervolume e épsilon binário. Testes estatisticos entre os 3 algoritmos são realizados para indicar melhoria real de desempenho.

## 1.4 Organização do trabalho

Nesta seção são apresentados a forma como o restante da dissertação está organizada:

O Capítulo 2 apresenta o problema do Ridematching com janelas de tempo e sua formulação matemática.

O Capítulo 3 apresenta o algoritmo do estado da arte com a descrição dos operadores genéticos utilizados.

O Capítulo 4 apresenta a descrição clássica do algoritmo NSGA-II, e sua adaptação ao problema desenvolvido à partir do estado da arte.

O Capítulo 5 apresenta os operadores desenvolvidos para o algoritmo aprimorado à partir do NSGA-II.

O capítulo 6 apresenta os experimentos computacionais

O capítulo 7 apresenta as conclusões finais.

# 2 O problema do Ridematching com Janelas de tempo (RMPTW)

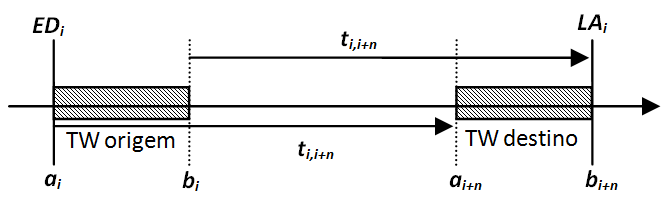
Este capítulo apresenta a especificação formal do problema do Ridematching com Janelas de Tempo. Agrupando as definições que serão usadas na descrição dos algoritmos desenvolvidos.

## 2.1 Definição Formal do Problema e Modelagem Matemática.

A seguir é apresentado a definição formal do problema, extraída de (HERBAWI) 2012. O problema do Ridematching com Janela de Tempo (RMPTW, do inglês *Ridematching Problem with Time Windows*) consiste em um conjunto *C =* {1,2,...,n} de *n* pedidos de carona, um conjunto *V =* {2n+1, 2n+2, …, 2n+v} de *v* ofertas de veículos, com *C* ∩ *V =* ∅. Pontos de origem *i* e de destino *i+n,* associados a cada pedido de carona *i* ∈ *C*, um conjunto *C'* = {1+n, 2+n,...,n+n} formado pelos pontos de destino dos caronas e um conjunto *V'* = {2n+v+1, 2n+v+2,..., 2n+2v} formado pelos pontos de destino dos veículos.

A cada ponto de carona *i* ∈ *C* estão associadas as seguintes variáveis: A demanda *dmi* denotando o número de pessoas que devem ser levadas do ponto *i* ao ponto *i+n*, a hora mais cedo de partida *ED­i* no ponto de origem, a hora mais tarde de chegada *LAi* no ponto de destino e as constantes *ATi* e *BTi* usadas para calcular o tempo máximo de viagem da carona *MTTi*.

Considerando os pontos de origem e destino *i* e *j, ti,j* é o tempo de viagem direta entre *i* e *j.* O tempo máximo de viagem de um pedido de carona é calculado na fórmula *MTTi = ATi + BTi* ***·****ti,i+n*. Uma janela de tempo é calculada para cada carona. Para os pontos *i* e *i+n* a primeira parte da janela de tempo com a hora mais cedo e mais tarde de partida é: [*ai,bi*] = [*EDi*, *LAi+n* - *ti,i+n*]. A segunda parte da janela de tempo, com a hora mais cedo e mais tarde de chegada é: [*ai+n,bi+n*] = [*EDi + ti,i+n, LAi+n*]. A figura 03 exemplifica o cálculo da janela de tempo.

****

**Figura 3.** Janela de tempo do carona *i*.

A cada ponto de veículo *k* ∈ *V* estão associadas as seguintes variáveis: Um ponto de origem k e ponto de destino *k+v*, a capacidade máxima ocupantes no veículo *Ck*, a hora mais cedo de partida *EDk* do ponto *k* para o ponto *k+v,* a hora mais tarde de chegada *LAk* para o ponto *k+v,* as constantes *ATk* e *BTk* para definir o tempo máximo de viagem do veículo *MTTk* e as constantes *ADk* e *BDk* para definir a distância máxima de viagem do veículo *MTDk*.

Considerando os pontos *k* e *k+v*, o tempo máximo de viagem de um veículo é calculado pela fórmula: *MTTk = ATk + BTk* ***·****tk,k+v*. Na rota dos veículos também é considerada a distância máxima de viagem. Seja *di,j* a distância entre os pontos *i,j*. O cálculo da distância máxima de viagem do veículo *k* é *MTDk = ADk + BDk* ***·*** *dk, k+v*. Da mesma forma do cálculo dos caronas, uma janela de tempo é calculada para cada veículo através das fórmulas [*ak,bk*] = [*EDk*, *LAk+n* – *tk,k+v*] e [*ak+v,bk+v*] = [*EDk + tk,k+v, LAk+v*].

Os conjuntos *P* = {1,..., n} e *D* = {n+1, n+2,..., 2n} denotam respectivamente os pontos de origem e de destino dos caronas. O conjunto de todos os pontos de partida e destino dos caronas é *N* = *P* ∪ *D*. O conjunto de todos os pontos incluindo as origens e destinos dos veículos é *A = N* ∪{k, k+v} ∀k ∈ *V*.

Seja *li* = *dmi* o valor de incremento da carga de um veículo ao servir o ponto *i* e *li+n* = -*dmi* o decremento do valor da carga ao servir o ponto *i+n*. A carga corrente do veículo *k* depois deservir o ponto *i* é . Seja a hora de serviço do veículo *k* no ponto *i*. determina os momentos de atendimento em cada um dos pontos da rota do veículo. Incluindo as horas de partida e chegada do próprio veículo. A variável *si* representa o custo (em horas e minutos) de atendimento do carona no ponto i ∈ N.

Uma variável binária de decisão é valorada com 1 se o veículo *k* atende o ponto *i* e se desloca para o ponto *j*. É valorada com 0 caso contrario. Deste modo, a função objetivo que minimiza a distância e tempo dos motoristas, o tempo de viagem dos caronas e o número total de caronas não combinados está descrito na equação (1).

Os pesos *α*, *β* *ɣ* e *δ* definem a importância relativa dos diferentes critérios. A minimização está sujeita às seguintes restrições:

A restrição 2 define que o número máximo de veículos que parte da origem e viajam diretamente para o destino não pode ultrapassar *v*.

A restrição 3 limita o número de veículos saindo dos pontos de destino dos caronas e chegando em pontos de destino de veículos a *v*.

A restrição 4 impede que mais de um veículo realize o mesmo trajeto entre os pontos *i,j*.

A restrição 5 exige que se um veículo atender um ponto de origem de um carona, o ponto de destino do carona será atendido pelo mesmo veículo.

A restrição 6 impede que um veículo atenda um ponto antes do tempo mínimo de viagem entre o ponto anterior e este.

A restrição 7 restringe os tempos de atendimento dos pontos às janelas de tempo de cada carona e veículo.

A restrição 8 exige que o ponto *i* seja atendido antes do ponto *i+n*.

A restrição 9 garante que a carga ao servir o ponto *j* seja a soma da carga no ponto anterior com a alteração de carga no ponto atual ().

A restrição 10 garante que o valor da carga em toda a rota do veículo *k* não ultrapassará a capacidade do veículo. Nem será inferior à mudança de carga no ponto.

A restrição 11 garante que os pontos de origem e destino dos veículos possuem carga zero.

A restrição 12 garante que a distância percorrida por cada veículo não ultrapassará o valor da distância máxima calculada *MTDk*.

A restrição 13 garante que o tempo máximo de viagem de cada veículo não ultrapassará o valor do tempo máximo calculado *MTTk*.

A restrição 14 garante que o tempo máximo de viagem de cada carona não será excedido.

Por fim, a restrição 15 limita o valor da variável de decisão ao conjunto {0,1}.

## 2.2 Conjunto de Instâncias

Para este problema, foi adotada a mesma base de dados do artigo original. Denominada RMPTW698\_L. A base é formada por informações com pontos geográficos, com latitude e longitude da origem e o destino, as janelas de tempo, o número de cada requisição, e o tempo de cada requisição. O tempo representa o momento do dia em que aquela requisição pode ser considerada (para matchs). Este tempo é utilizado na versão dinâmica do problema. Já que o problema aqui definido é estático. o tempo considerado é sempre 0 (Equivalente a dizer que todas as caronas são conhecidas às 00:00h do dia, e que todo o procedo do ridesharing ocorre dentro de um dia). Abaixo um exemplo dos dados da base:

Tabela 1. Dados de rota de cinco veículos.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | Rat | Sts | Long | Lat | [ak,] | [,bk] | Std | Long2 | Lat2 | [ak+v,] | [,bk+v] |
| 0 | 472 | 0 | 87.691 | 41.891 | 472 | 502 | 0 | 88.010 | 41.975 | 500 | 530 |
| 1 | 855 | 0 | 87.597 | 41.340 | 855 | 885 | 0 | 88.289 | 42.208 | 967.3 | 997.3 |
| 2 | 525 | 0 | 88.237 | 42.455 | 525 | 555 | 0 | 88.203 | 41.680 | 611.3 | 641.3 |
| 3 | 615 | 0 | 88.203 | 41.680 | 615 | 645 | 0 | 88.182 | 42.448 | 700.4 | 730.4 |
| 4 | 955 | 0 | 88.484 | 41.594 | 955 | 985 | 0 | 87.794 | 41.831 | 1018.1 | 1048.1 |

N - número da requisição.  
Rat-do inglês *Request Arrival Time* (desconsiderado).  
Sts - *Service time at source* (custo em minutos da operação de embarque do carona).  
Long-longitude do ponto de origem.  
Lat-latitude do ponto de origem.  
[ai,]-parte ‘a’ da janela de tempo. O momento mais cedo em que pode partir.  
[,bi]-parte ‘b’ da janela de tempo. O momento mais tarde em que pode partir.  
Std-*Service time at delivery* (custo em minutos da operação de desembarque do carona).  
Long2-longitude do ponto de destino.  
Lat2-latitude do ponto de destino.  
[ai+k,]-parte ‘a’ da janela de tempo. O minuto mais cedo em que pode chegar.  
[,bi+k]-parte ‘b’ da janela de tempo. O minuto mais tarde em que pode chegar.

À partir da latitude e longitude. As distâncias entre os pontos são calculados usando a fórmula de haversine. O tempo é medido em minutos e a distância é medida em metros.

# 3 Algoritmo Genético do estado da Arte

No algoritmo genético descrito por (HERBAWI, 2012) uma populaçao inicial de indivíduos é gerada aleatoriamente. Cada indivíduo é formado por uma lista de rotas associadas a cada motorista. As rotas por sua vez, são sequências de pontos de embarque e desembarque de tamanho variável. O primeiro e último ponto são os pontos de embarque e desembarque do motorista respectivamente. Os dois primeiros pontos são inseridos então, de forma aleatória os caronas combináveis são adicionados à rota. Isso é repetido para todas as rotas.

Após a geração da população inicial, o algoritmo repete as operações de crossover e mutação N vezes, definido parametricamente.

## 3.1 Operador de Crossover

O crossover é realizado da seguinte forma: um ponto aleatório *n* é escolhido ao longo do número de rotas. Todas as rotas anteriores a n vão pro indivíduo 2 e todas as rotas depois do ponto n vão pro indivíduo 1.

(continua)

Teste de uma tabela:

Tabela 1. Tabela sem sentido.

|  |  |
| --- | --- |
| Título Coluna 1 | Título Coluna 2 |
| X | Y |
| X | W |

## 3.2 Seção 2

Seção 2

### 3.2.1 Subseção 2.1

Seção 2.1

## 3.3 Seção 3

Seção 3

# 4 Novo operador de inserção

## 4.1 Seção 1

O método original de inserção construía a rota incrementalmente. De forma que os tempos de serviço já estabelecidos para uma rota não eram alterados ao inserir um novo carona. Esse procedimento de alteração das horas de atendimento era realizado depois, no operador de mutação (empurrão para frente ou para traz).

Esse trabalho propõe um operador de inserção que deterministicamente verifica se uma dada sequência de caronas é válida ou não para uma rota específica. O operador foi desenvolvido à partir da idéia generalizada de como verificar se um determinado carona pode fazer parte de uma rota qualquer. O operador funciona construindo uma rota com tempo de espera WT sempre minimizado a cada inserção de um novo ponto. Abaixo está descrito o funcionamento em detalhes e como o algoritmo garante encontrar a posição que posibilita combinação do carona, se essa posição válida existir:

Considerando uma rota inicialmente vazia. Ao inserir os pontos de origem e destino do motorista, estes serão colocados no tempo mais cedo. Vide figura 1.

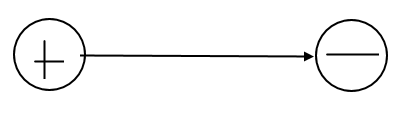


Figura 1. Rota inicial com os pontos de embarque e desembarque do motorista.

Ao inserir um único ponto *i* de saída ou chegada de um carona, este ponto será inserido na hora de serviço k = T(i-1) + d(i-1, i). Se a hora k < HMC então a hora de serviço sv = HMC, e o tempo de espera no ponto i será WT = sv – HMC. Por outro lado, se o tempo k > HMT a inserção do ponto do carona torna rota inválida e a inserção é interrompida. Pois, dado que todos os pontos estavam em seus tempos mais cedos, não é possível retroceder a hora de serviço dos pontos antes de i para acomoda-lo dentro dos limites, vide figura 2. Por fim, o processo de inserção do carona continua quando k >= HMC && k <= HMT.

A esta altura, temos 3 pontos na rota, exemplificados na figura 4. Se existe tempo de espera associado ao ponto *i,* É determinado valor mPush = menor dentre todos os HMT(x) – st(x) com x ⊂ {1,..,i-1}. Este será o valor máximo que os pontos anteriores a *i* poderão ser empurrados para reduzir o tempo de espera em i, sem invalidar a rota até então construída. Em seguinda, o valor mPush é aplicado a todos os pontos antes de i. Empurrando os tempos de serviço.

Figura 2. Demonstração dos limites extrapolados.

Ao inserir um novo ponto de saída ou chegada de um carona,

Em vez de o algoritmo se apoiar nos operadores de empurrão para frente e para traz da hora de serviço de atendimento dos caronas.

## 4.2 Seção 2

Teste de abreviaturas:

UFRN

DIMAp

# 5 Capítulo 5

## 5.1 Seção 1

Seção 1

## 5.2 Seção 2

Alguns exemplos de citação:

Na tese de Doutorado de Paquete (PAQUETE, 2005), discute-se sobre algoritmos de busca local estocásticos aplicados a problemas de Otimização Combinatória considerando múltiplos objetivos. Por sua vez, o trabalho de (KNOWLES; CORNE; FLEISCHER, 2003), publicado nos anais do IEEE CEC de 2003, mostra uma técnica de arquivamento também empregada no desenvolvimento de algoritmos evolucionários multiobjetivo, trabalho esse posteriormente estendido para um capítulo de livro dos mesmos autores (KNOWLES; CORNE, 2004). Por m, no relatório técnico de Jaszkiewicz (1998), fala-se sobre um algoritmo genético híbrido para problemas multi-critério, enquanto no artigo de jornal de Lopez *et al*. (LÓPEZ-IBÁÑEZ; PAQUETE; STÜTZLE, 2006) trata-se do trade-o entre algoritmos genéticos e metodologias de busca local, também aplicados no contexto multicritério e relacionado de alguma forma ao trabalho de Jaszkiewicz (1998).

Outros exemplos relacionados encontram-se em (SILBERSCHATZ; KORTH; SUDARSHAN, 2002) (livro), (TURAU, 2001) (referência da Web) e (AGRA, 2004) (dissertação de Mestrado).

## 5.2 Seção 2

Seção 2

### 5.2.1 Subseção 2.1

Seção 2.1

## 5.3 Seção 3

Seção 3

# 6 Considerações finais

As considerações finais formam a parte final (fechamento) do texto, sendo dito de forma resumida (1) o que foi desenvolvido no presente trabalho e quais os resultados do mesmo, (2) o que se pôde concluir após o desenvolvimento bem como as principais contribuições do trabalho, e (3) perspectivas para o desenvolvimento de trabalhos futuros. O texto referente às considerações finais do autor deve salientar a extensão e os resultados da contribuição do trabalho e os argumentos utilizados estar baseados em dados comprovados e fundamentados nos resultados e na discussão do texto, contendo deduções lógicas correspondentes aos objetivos do trabalho, propostos inicialmente.

# Referências

SOLOMON, M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research 35* (1987), 254-265.

BAKER, E. An Exact Algorithm for the Time-Constrained Traveling Salesman Problem. *Opns.Res.* 31,938-945, 1983.

Jaw, J.; Odoni, A.; Psaraftis, H.; Wilson, N. A heuristic algorithm for the multi-vehicle advance request dial-a-ride problem with time windows. *Transportation Research Part B: Methodological* 20, 3, 243-257,1986.

N. A. Agatz; A. L. Erera; M. W. Savelsbergh; X. Wang. Dynamic ride-sharing: A simulation study in metro Atlanta. *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 45, no. 9, pp. 1450 – 1464, 2011.

Nelson D. Chan; Susan A. Shaheen, Ridesharing in North America: Past, Present, and Future

Herbawi; W. Weber, M. A Genetic and Insertion Heuristic algorithm for solving the dynamic Ridematching problem with time windows. *WCCI 2012 . IEEE World Congress on Computational Intelligence*, June, 10-15, 2012 - Brisbane, Australia.

R. Jorgensen, Dial-a-ride, *Ph.D. dissertation*, Technical University of Denmark, 2002.

Agatz, N.; Erera, A.; Savelsbergh, M.; Wang, X. Sustainable passenger transportation: Dynamic ride-sharing. *Tech. rep*., Erasmus Research Inst. of Management (ERIM), Erasmus Uni., Rotterdam, 2010.

DETRAN, Departamento Nacional de Trânsito, Dados da frota de veículos por ano*.* *http://www.denatran.gov.br/frota.htm*, 2016.

# APÊNDICE A – Melhor Solução para a instância RM\_698L15

Dado o tamanho impraticável da solução completa de uma execução do algoritmo NSGA-II melhorado para a menor das intâncias (RM\_698L15). Apenas o indivíduo com o melhor número de combinações de caronas é apresentado abaixo. Cada linha contém dois grupos de inteiros. O primeiro representa a sequência de pontos de embarque e desembarque (marcados com o caractere "+" ou "-", respectivamente). Para a instância com 250 motoristas, qualquer valor x+ ou x- maior de 249 é um ponto de carona. Qualquer ponto x+ ou x- menor que 250 é um ponto do motorista e aparece apenas no início e fim de cara rota.

O segundo grupo de inteiros são os horários de serviço de cada um dos pontos do primeiro grupo. Contabilizados em minutos à partir de 00:00 hora do dia em questão.

Indivíduo 1:

0+ 425+ 425- 418+ 418- 0- 472.00; 496.00; 498.00; 498.00; 500.00; 508.00;

1+ 682+ 682- 364+ 616+ 616- 364- 411+ 411- 601+ 601- 1- 855.00; 915.00; 917.00; 930.00; 930.00; 933.00; 933.00; 954.00; 956.00; 968.00; 970.00; 997.00;

2+ 352+ 352- 2- 525.00; 599.45; 602.33; 611.30;

3+ 287+ 287- 301+ 539+ 301- 539- 3- 615.00; 637.00; 642.00; 668.00; 668.00; 673.00; 673.00; 718.00;

4+ 557+ 336+ 336- 557- 556+ 556- 4- 955.00; 985.00; 985.00; 988.94; 988.94; 992.94; 996.94; 1025.94;

5+ 279+ 279- 5- 825.00; 839.00; 844.00; 895.00;

6+ 471+ 505+ 500+ 505- 500- 471- 6- 855.00; 855.00; 904.00; 906.00; 917.00; 917.00; 929.00; 929.00;

7+ 422+ 422- 484+ 641+ 484- 641- 7- 349.00; 378.00; 380.00; 382.00; 410.00; 410.00; 412.00; 414.00;

8+ 349+ 349- 554+ 554- 8- 1035.00; 1057.00; 1060.00; 1098.53; 1102.14; 1105.35;

9+ 648+ 647+ 319+ 542+ 319- 542- 648- 647- 9- 1035.00; 1067.00; 1067.00; 1067.00; 1067.00; 1071.00; 1071.00; 1071.00; 1071.00; 1105.00;

10+ 668+ 668- 697+ 697- 649+ 649- 10- 865.00; 868.00; 871.00; 879.00; 880.00; 897.00; 901.00; 926.00;

11+ 265+ 264+ 529+ 265- 264- 529- 344+ 344- 11- 1263.00; 1268.00; 1268.00; 1268.00; 1273.00; 1273.00; 1273.00; 1284.00; 1287.00; 1322.00;

12+ 304+ 304- 467+ 467- 609+ 609- 463+ 463- 12- 1035.00; 1075.00; 1079.00; 1083.00; 1084.00; 1085.00; 1086.00; 1086.00; 1087.00; 1102.00;

13+ 412+ 412- 656+ 656- 13- 415.00; 439.00; 441.00; 456.00; 475.00; 476.00;

14+ 406+ 406- 653+ 653- 14- 845.00; 873.00; 875.00; 886.00; 888.00; 901.00;

15+ 477+ 311+ 312+ 311- 312- 477- 15- 772.00; 772.00; 815.00; 819.00; 819.00; 823.00; 834.00; 822.00;

16+ 420+ 420- 16- 355.00; 379.00; 381.00; 412.00;

17+ 686+ 686- 338+ 338- 455+ 455- 560+ 560- 261+ 261- 17- 900.00; 932.00; 934.00; 936.00; 939.00; 948.00; 950.00; 952.00; 955.00; 959.00; 964.00; 961.00;

18+ 565+ 565- 384+ 384- 442+ 442- 18- 908.00; 925.00; 928.00; 945.00; 948.00; 972.00; 974.00; 969.00;

19+ 378+ 378- 19- 423.00; 435.00; 438.00; 468.00;

20+ 569+ 362+ 362- 569- 567+ 567- 20- 888.00; 917.00; 917.00; 899.55; 899.42; 902.42; 905.42; 930.90;

21+ 21- 930.00; 971.40;

22+ 396+ 396- 448+ 448- 401+ 401- 22- 985.00; 1012.00; 1014.00; 1014.00; 1016.00; 1019.00; 1021.00; 1032.00;

23+ 363+ 363- 441+ 441- 23- 1035.00; 1055.00; 1058.00; 1060.00; 1062.00; 1082.00;

24+ 410+ 410- 590+ 590- 24- 920.00; 923.00; 925.00; 925.00; 927.00; 967.00;

25+ 596+ 419+ 596- 419- 595+ 595- 25- 880.00; 915.00; 915.00; 917.00; 917.00; 919.00; 921.00; 929.00;

26+ 283+ 283- 26- 706.00; 726.00; 731.00; 756.00;

27+ 27- 1025.00; 1062.30;

28+ 28- 1095.00; 1130.40;

29+ 394+ 394- 29- 995.00; 1005.00; 1007.00; 1039.00;

30+ 325+ 325- 30- 575.00; 592.00; 596.00; 614.00;

31+ 31- 471.00; 504.70;

32+ 32- 397.00; 430.70;

33+ 440+ 440- 599+ 599- 33- 825.00; 843.00; 845.00; 847.00; 849.00; 865.00;

34+ 391+ 391- 370+ 570+ 570- 370- 34- 1035.00; 1035.00; 1037.00; 1050.00; 1050.00; 1053.00; 1053.00; 1074.00;

35+ 35- 1305.00; 1337.80;

36+ 319+ 319- 36- 1055.00; 1075.00; 1079.00; 1097.00;

37+ 37- 1020.00; 1051.70;

38+ 591+ 594+ 591- 594- 414+ 592+ 592- 414- 38- 805.00; 830.00; 830.00; 832.00; 832.00; 832.00; 832.00; 834.00; 834.00; 846.00;

39+ 39- 900.00; 931.00;

40+ 427+ 427- 423+ 423- 483+ 483- 40- 713.00; 730.00; 732.00; 732.00; 734.00; 743.00; 773.80; 748.00;

41+ 389+ 389- 409+ 409- 41- 833.00; 854.00; 856.00; 858.00; 860.00; 873.00;

42+ 302+ 302- 42- 1005.00; 1022.00; 1027.00; 1044.00;

43+ 674+ 674- 675+ 380+ 380- 675- 43- 930.00; 958.00; 961.00; 961.00; 961.00; 964.00; 964.00; 967.00;

44+ 640+ 640- 44- 1085.00; 1099.00; 1101.00; 1118.00;

45+ 663+ 663- 670+ 670- 45- 550.00; 569.00; 574.00; 574.00; 577.00; 584.00;

46+ 655+ 388+ 388- 655- 46- 975.00; 977.00; 982.00; 984.00; 1002.00; 1008.00;

47+ 47- 800.00; 828.20;

48+ 48- 403.00; 431.10;

49+ 400+ 400- 49- 1005.00; 1035.00; 1037.00; 1039.00;

50+ 460+ 460- 681+ 681- 50- 825.00; 827.00; 828.00; 833.00; 835.00; 859.00;

51+ 51- 1230.00; 1257.10;

52+ 571+ 570+ 570- 571- 52- 1035.00; 1054.79; 1054.79; 1057.79; 1057.79; 1061.90;

53+ 430+ 430- 443+ 443- 53- 745.00; 753.00; 755.00; 755.00; 756.64; 775.64;

54+ 54- 1020.00; 1046.20;

55+ 684+ 684- 694+ 694- 55- 665.00; 679.00; 681.00; 681.00; 682.00; 696.00;

56+ 56- 405.00; 429.50;

57+ 57- 1215.00; 1239.40;

58+ 602+ 602- 58- 962.00; 966.00; 968.00; 990.00;

59+ 404+ 404- 59- 1040.00; 1064.00; 1066.00; 1068.00;

60+ 623+ 623- 60- 580.00; 605.00; 606.00; 608.00;

61+ 61- 1185.00; 1208.10;

62+ 254+ 254- 62- 785.00; 803.00; 809.00; 809.00;

63+ 63- 740.00; 762.60;

64+ 64- 598.00; 620.40;

65+ 65- 975.00; 997.30;

66+ 457+ 457- 66- 514.00; 532.00; 534.00; 543.00;

67+ 691+ 691- 666+ 666- 67- 945.00; 947.00; 948.00; 960.00; 963.00; 970.00;

68+ 68- 795.00; 816.80;

69+ 69- 997.00; 1018.40;

70+ 70- 752.00; 773.00;

71+ 642+ 642- 71- 1085.00; 1093.00; 1095.00; 1111.00;

72+ 72- 563.00; 583.80;

73+ 73- 972.00; 992.70;

74+ 74- 1068.20; 1091.63;

75+ 485+ 485- 75- 1419.00; 1419.00; 1440.00; 1440.00;

76+ 76- 626.00; 645.80;

77+ 559+ 339+ 558+ 558- 339- 559- 77- 1000.00; 1019.00; 1019.00; 1019.00; 1022.00; 1022.00; 1022.00; 1024.00;

78+ 692+ 692- 78- 430.00; 433.00; 431.24; 453.24;

79+ 79- 635.00; 654.40;

80+ 80- 975.00; 993.90;

81+ 81- 795.00; 813.50;

82+ 82- 725.00; 743.30;

83+ 83- 467.00; 485.20;

84+ 84- 860.00; 878.10;

85+ 85- 945.00; 963.10;

86+ 689+ 689- 610+ 610- 86- 925.00; 926.00; 927.00; 942.00; 943.00; 948.00;

87+ 87- 563.77; 583.00;

88+ 486+ 486- 88- 926.00; 926.00; 944.00; 944.00;

89+ 89- 855.00; 872.30;

90+ 90- 301.00; 318.30;

91+ 91- 642.00; 659.20;

92+ 639+ 639- 92- 1185.00; 1195.00; 1197.00; 1204.00;

93+ 687+ 687- 93- 870.00; 873.00; 874.00; 892.00;

94+ 94- 900.00; 916.60;

95+ 95- 698.00; 714.60;

96+ 487+ 487- 96- 660.00; 660.00; 677.00; 677.00;

97+ 97- 945.00; 961.20;

98+ 488+ 488- 98- 705.00; 705.00; 722.00; 722.00;

99+ 538+ 538- 99- 895.00; 895.00; 899.00; 912.00;

100+ 466+ 466- 100- 990.00; 1000.00; 1001.00; 1010.00;

101+ 465+ 465- 101- 584.00; 587.00; 588.00; 603.00;

102+ 102- 345.00; 360.50;

103+ 103- 407.00; 422.50;

104+ 104- 975.00; 990.40;

105+ 373+ 373- 105- 720.00; 727.00; 730.00; 740.00;

106+ 106- 795.00; 810.30;

107+ 107- 1215.00; 1229.60;

108+ 108- 1125.00; 1139.60;

109+ 109- 915.00; 929.30;

110+ 490+ 490- 110- 562.00; 562.00; 577.00; 577.00;

111+ 111- 645.00; 659.20;

112+ 491+ 491- 112- 525.00; 525.00; 540.00; 540.00;

113+ 461+ 461- 113- 960.00; 965.00; 966.00; 976.00;

114+ 114- 611.00; 625.10;

115+ 115- 1187.00; 1201.00;

116+ 573+ 573- 116- 1046.00; 1049.00; 1052.00; 1065.00;

117+ 117- 655.00; 668.70;

118+ 118- 1016.00; 1029.40;

119+ 119- 915.00; 928.40;

120+ 120- 1095.00; 1108.30;

121+ 121- 1070.00; 1083.20;

122+ 122- 865.00; 878.00;

123+ 646+ 646- 123- 1029.00; 1037.00; 1044.00; 1044.00;

124+ 124- 915.00; 927.60;

125+ 125- 950.00; 962.60;

126+ 126- 855.00; 867.30;

127+ 493+ 493- 127- 1021.00; 1021.00; 1034.00; 1034.00;

128+ 128- 940.00; 952.10;

129+ 129- 855.00; 867.00;

130+ 130- 855.00; 869.00;

131+ 496+ 495+ 496- 495- 131- 675.00; 675.00; 675.00; 687.00; 687.00; 687.00;

132+ 132- 735.00; 746.60;

133+ 133- 446.00; 460.00;

134+ 134- 1110.00; 1124.00;

135+ 135- 436.00; 447.20;

136+ 499+ 498+ 497+ 499- 497- 498- 136- 885.00; 885.00; 885.00; 885.00; 897.00; 897.00; 897.00; 897.00;

137+ 137- 1020.00; 1031.10;

138+ 138- 595.00; 606.00;

139+ 501+ 501- 139- 950.00; 950.00; 961.00; 961.00;

140+ 505+ 505- 140- 890.00; 891.75; 902.75; 902.75;

141+ 141- 975.00; 985.80;

142+ 142- 753.00; 763.70;

143+ 502+ 502- 143- 775.00; 775.00; 786.00; 786.00;

144+ 503+ 504+ 504- 503- 144- 588.00; 588.00; 588.00; 599.00; 599.00; 599.00;

145+ 145- 755.00; 765.60;

146+ 146- 895.00; 905.50;

147+ 147- 466.00; 476.50;

148+ 148- 855.00; 865.50;

149+ 149- 979.00; 989.30;

150+ 506+ 506- 150- 1216.00; 1216.00; 1227.00; 1227.00;

151+ 151- 1150.00; 1160.20;

152+ 152- 885.00; 895.20;

153+ 153- 780.00; 790.20;

154+ 154- 1129.00; 1139.20;

155+ 155- 580.00; 590.00;

156+ 507+ 507- 156- 1235.00; 1235.00; 1245.00; 1245.00;

157+ 508+ 508- 157- 1065.00; 1065.00; 1075.00; 1075.00;

158+ 158- 1325.00; 1335.00;

159+ 159- 915.00; 924.90;

160+ 416+ 416- 160- 503.00; 503.00; 505.00; 514.00;

161+ 509+ 509- 161- 1035.00; 1035.00; 1045.00; 1045.00;

162+ 162- 1305.00; 1314.80;

163+ 163- 905.00; 914.70;

164+ 164- 445.00; 454.70;

165+ 165- 763.00; 772.50;

166+ 166- 847.00; 856.50;

167+ 167- 1030.00; 1039.50;

168+ 168- 915.00; 924.40;

169+ 169- 475.00; 484.40;

170+ 510+ 510- 170- 793.00; 793.00; 803.00; 803.00;

171+ 171- 1065.00; 1074.30;

172+ 403+ 403- 172- 1055.00; 1058.00; 1060.00; 1067.00;

173+ 173- 1095.00; 1104.10;

174+ 174- 825.00; 834.10;

175+ 175- 660.00; 669.10;

176+ 637+ 637- 176- 1125.00; 1125.00; 1134.00; 1134.00;

177+ 177- 1035.00; 1044.00;

178+ 178- 915.00; 923.80;

179+ 179- 886.00; 894.80;

180+ 180- 1105.00; 1113.80;

181+ 181- 555.00; 563.70;

182+ 511+ 511- 182- 608.00; 608.00; 617.00; 617.00;

183+ 183- 690.00; 698.50;

184+ 512+ 512- 184- 1036.00; 1036.00; 1045.00; 1045.00;

185+ 185- 855.00; 863.40;

186+ 186- 765.00; 773.40;

187+ 187- 485.00; 493.30;

188+ 188- 675.00; 683.20;

189+ 189- 1035.00; 1043.20;

190+ 296+ 296- 190- 523.00; 524.00; 528.00; 533.00;

191+ 191- 1006.00; 1014.00;

192+ 192- 1230.00; 1238.00;

193+ 193- 460.00; 468.00;

194+ 194- 1183.00; 1190.90;

195+ 195- 1008.00; 1015.90;

196+ 196- 930.00; 937.90;

197+ 197- 480.00; 487.80;

198+ 198- 995.00; 1002.80;

199+ 199- 975.00; 982.70;

200+ 513+ 514+ 514- 513- 200- 690.00; 690.00; 690.00; 698.00; 698.00; 698.00;

201+ 201- 1165.00; 1172.40;

202+ 270+ 270- 202- 945.00; 950.00; 955.00; 955.00;

203+ 203- 1125.00; 1132.40;

204+ 204- 945.00; 952.30;

205+ 205- 720.00; 727.30;

206+ 206- 1155.00; 1162.20;

207+ 207- 1260.00; 1267.10;

208+ 661+ 661- 208- 1135.00; 1136.00; 1144.00; 1144.00;

209+ 209- 495.00; 502.10;

210+ 210- 495.00; 502.10;

211+ 469+ 469- 211- 615.00; 620.00; 621.00; 624.00;

212+ 515+ 515- 212- 415.00; 415.00; 422.00; 422.00;

213+ 213- 1155.00; 1161.80;

214+ 214- 865.00; 871.70;

215+ 517+ 517- 215- 1373.00; 1373.00; 1380.00; 1380.00;

216+ 216- 1350.00; 1356.60;

217+ 217- 1025.00; 1031.60;

218+ 218- 755.00; 761.60;

219+ 219- 599.00; 605.60;

220+ 220- 885.00; 891.50;

221+ 462+ 462- 221- 506.00; 507.00; 508.00; 515.00;

222+ 382+ 581+ 382- 581- 222- 1005.00; 1006.00; 1006.00; 1009.00; 1009.00; 1014.00;

223+ 223- 632.00; 638.40;

224+ 519+ 520+ 520- 519- 224- 865.00; 865.00; 865.00; 872.00; 872.00; 872.00;

225+ 225- 785.00; 791.40;

226+ 226- 945.00; 951.30;

227+ 227- 785.00; 791.20;

228+ 228- 698.00; 704.20;

229+ 229- 575.00; 581.20;

230+ 620+ 620- 230- 1235.00; 1235.00; 1242.00; 1242.00;

231+ 231- 650.00; 656.10;

232+ 232- 840.00; 846.10;

233+ 233- 975.00; 981.00;

234+ 521+ 521- 234- 425.00; 425.00; 432.00; 432.00;

235+ 235- 1155.00; 1160.90;

236+ 236- 1100.00; 1105.90;

237+ 237- 772.00; 777.80;

238+ 238- 445.00; 450.80;

239+ 239- 833.00; 838.80;

240+ 240- 670.00; 675.70;

241+ 241- 930.00; 935.70;

242+ 242- 828.00; 833.60;

243+ 243- 1140.00; 1145.50;

244+ 244- 685.00; 690.50;

245+ 245- 615.00; 620.50;

246+ 246- 700.00; 705.50;

247+ 522+ 522- 247- 1245.00; 1245.00; 1251.00; 1251.00;

248+ 248- 705.00; 710.40;

249+ 249- 505.00; 510.40;

# ANEXO A – Estruturas de dados utilizadas

Para facilitar a revisão em trabalhos futuros, abaixo é descriminado as estruturas de dados implementadas para os algoritmos dessa pesquisa. O código está escrito em ANSI C. Os comentários foram removidos para melhorar a legibilidade:

/\*Driver or Rider\*/

**typedef** **struct** Request{

bool driver;

bool matched;

**int** id\_rota\_match;

**int** id;

**double** request\_arrival\_time;

**double** service\_time\_at\_source;

**double** service\_time\_at\_delivery;

**double** pickup\_location\_longitude;

**double** pickup\_location\_latitude;

**double** delivery\_location\_longitude;

**double** delivery\_location\_latitude;

**double** pickup\_earliest\_time;

**double** pickup\_latest\_time;

**double** delivery\_earliest\_time;

**double** delivery\_latest\_time;

**int** matchable\_riders;

**struct** Request \*\* matchable\_riders\_list;

}Request;

**typedef** **struct** Service{

Request \*r;

**double** service\_time;

bool is\_source;

**int** offset;//distance between pickup and delivery spots.

}Service;

**typedef** **struct** Route{

Service \*list;

**int** capacity;

**int** length;

**int** id;

}Route;

**typedef** **struct** Individual{

Route \* cromossomo;

**int** size;

**double** objetivos[4];

**double** objective\_function;

**int** id;

}Individual;

**typedef** **struct** Population{

**int** id\_front;

Individual \*\*list;

**int** size;

**int** max\_capacity;

}Population;

**typedef** **struct** Fronts{

**int** size;

**int** max\_capacity;

Population \*\*list;

}Fronts;