



Dissertação de Mestrado

# **Formulação Matemática para Otimização de Itinerários Turísticos: uma aplicação em Alagoas**

Cássio Aquino Rocha  
car@ic.ufal.br

Orientadores:

Dr. Bruno Costa e Silva Nogueira  
Dr. Rian Gabriel Santos Pinheiro

Maceió  
Agosto 30, 2022

Cássio Aquino Rocha

# **Formulação Matemática para Otimização de Itinerários Turísticos: uma aplicação em Alagoas**

Dissertação apresentada por Cássio Aquino Rocha em cumprimento parcial dos requisitos para o grau de Mestre em Informática da Universidade Federal de Alagoas, Instituto de computação.

Orientadores:

Dr. Bruno Costa e Silva Nogueira

Dr. Rian Gabriel Santos Pinheiro

Maceió  
Agosto 30, 2022

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 - 1767

R672f Rocha, Cássio Aquino.

Formulação matemática para otimização de itinerários turísticos :  
uma aplicação em Alagoas / Cássio Aquino Rocha. – 2022.  
59. : il.

Orientador: Bruno Costa e Silva Nogueira.

Co-orientador: Rian Gabriel Santos Pinheiro.

Dissertação (mestrado em informática) - Universidade Federal de  
Alagoas. Instituto de Computação. Maceió, 2022.

Texto em inglês.

Bibliografia: f. 36-39.

Apêndices: f. 40-59.

1. Janelas de tempo. 2. Turismo - Design. 3. Rotas turísticas. I. Título.

CDU: 519.6:379.85



**Folha de Aprovação**

CÁSSIO AQUINO ROCHA

FORMULAÇÃO MATEMÁTICA PARA OTIMIZAÇÃO DE ITINERÁRIOS TURÍSTICOS:  
UMA APLICAÇÃO EM ALAGOAS

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 30 de agosto de 2022.

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Dr. BRUNO COSTA E SILVA NOGUEIRA**  
UFAL – Instituto de Computação  
**Orientador**

---

**Prof. Dr. RIAN GABRIEL SANTOS PINHEIRO**  
UFAL – Instituto de Computação  
**Coorientador**

---

**Prof. Dr. BRUNO ALMEIDA PIMENTEL**  
UFAL – Instituto de Computação  
**Examinador Interno**

---

**Prof. Dr. EDUARDO VIEIRA QUEIROGA**  
Centre de Recherche Inria Bordeaux - Sud-Ouest  
**Examinador Externo**

# Agradecimentos

Gostaria de Agradecer,

À minha família, especialmente a minha mãe que me incentivou ir em frente nos estudos e que me permitiu conhecer a área de tecnologia da informação, onde me encontrei.

À minha esposa, Elaine, por ter dado todo apoio necessário nesse período de estudo.

Aos meus orientadores, Dr. Bruno Nogueira e Dr. Rian Pinheiro por terem me apresentado um ambiente de trabalho compenetrado. Pelos ensinamentos, dedicação, pelo apoio, pela paciência, pelos puxões de orelha merecidos, pelo o tempo em mim investido para orientação, pela experiência completa.

A todos os colegas, amigos e parceiros discentes do PPGI pelas parcerias e aprendizados coletivos e em especialmente Flávio Vasconcelos, Alfredo Lima, Flávio Hahn e João Luiz.

A todos os funcionários assistentes de serviços gerais, administrativos, técnicos e gestores da Universidade Federal de Alagoas.

A todos professores que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

A todos os servidores do Instituto Federal de Alagoas que possibilitaram meu afastamento para desenvolver as atividades em tempo Integral.

Por fim a Deus, por ter me concedido vida, saúde e sapiência, proporcionando-me alcançar conquistas e superar obstáculos.

# Resumo

Este trabalho propõe um método exato para o Problema de Orientação com Seleção de Hotéis e Janelas de Tempo (OPHS-TW). Neste problema, são dados um conjunto de hotéis e um conjunto de pontos de interesse (atrações turísticas) com suas respectivas pontuações e janelas de tempo. O objetivo do problema é determinar um número fixo de viagens conectadas que visitam alguns vértices (atrações e hotéis) e maximizar a soma das pontuações coletadas. Até onde sabemos, este é o primeiro método exato para o OPHS-TW. Nosso método exato foi desenvolvido usando Programação Linear Inteira (ILP). Experimentos computacionais realizados em instâncias do OPHS-TW encontradas na literatura mostram que o método exato consegue provar vários ótimos anteriormente desconhecidos. Em particular, o algoritmo encontrou 38 soluções desconhecidas da literatura. Dessas soluções desconhecidas, todas foram comprovadas como ótimas. No total, 361 das 373 instâncias foram provadas. Além disso, o método proposto foi aplicado para a criação de itinerário turístico no contexto de Alagoas, considerando pontos turísticos, hotéis e janela de tempo e tempo de visita. Nesses testes computacionais, o algoritmo exato obteve uma média de execução de 4,36 segundos para executar 10 instâncias com 20 vértices.

**Palavras Chave:** Problema de Orientação de Equipe com Janelas de Tempo - Problema de Design de Viagem Turística - Problema de Orientação - Rotas turísticas.

# Abstract

This work proposes an exact method for the Orientation Problem with Hotel Selection and Time Windows (OPHS-TW). In this problem, a set of hotels and a set of points of interest (tourist attractions) are given with their respective scores and time windows. The objective of the problem is to determine a fixed number of connected trips that visit some vertices (attractions and hotels) and maximize the sum of the collected scores. As far as we know, this is the first exact method for OPHS-TW. Our exact method was developed using Integer Linear Programming (ILP). Computational experiments performed on OPHS-TW instances found in the literature show that the exact method can prove several previously unknown optima. In particular, the algorithm found 38 solutions unknown to the literature. Of these unknown solutions, all have been proven to be optimal. In total, 361 of the 373 instances were proven. In addition, the proposed method was applied to create a tourist itinerary in the context of Alagoas, considering tourist spots, hotels and time window and visitation time. In these computational tests, the exact algorithm obtained an average execution of 4.36 seconds to execute 10 instances with 20 vertices.

**Palavras Chave:** Team orienteering problem with time windows - Tourist trip design problem  
- Orienteering Problem - Tourist routes.

# Sumário

Lista de figuras . . . . .	vii
Lista de Tabelas . . . . .	viii
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Definição do Problema . . . . .	3
1.2 Exemplo de instância para o OPHS-TW . . . . .	4
1.3 Objetivos . . . . .	6
1.3.1 Objetivo geral . . . . .	7
1.3.2 Objetivos específicos . . . . .	7
1.4 Estrutura do trabalho . . . . .	7
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>8</b>
2.1 Meta-heurística . . . . .	8
2.2 Métodos exatos . . . . .	10
2.3 Problema de design de viagem turística (TTDP) . . . . .	11
2.4 Turismo em Alagoas . . . . .	12
<b>3 Revisão da Literatura</b>	<b>15</b>
<b>4 Formulação proposta</b>	<b>19</b>
<b>5 Resultados</b>	<b>24</b>
5.1 Ambiente de execução . . . . .	24
5.2 Experimentos computacionais . . . . .	24
5.3 Protótipo de Aplicação do OPHSTW no contexto Alagoas . . . . .	27
<b>6 Conclusão e Trabalhos Futuros</b>	<b>35</b>
<b>Referências</b>	<b>36</b>
<b>Apêndice</b>	<b>40</b>
<b>A Resultado de 16 Conjuntos de instâncias</b>	<b>40</b>
<b>B Coordenadas</b>	<b>56</b>
<b>C Matriz de distância Google</b>	<b>58</b>

# Lista de Figuras

1.1	Solução	6
1.2	Linha do tempo do primeiro trip	6
2.1	Intensificação x diversificação.	9
2.2	Dados de entrada e roteiros recomendados no TTDP.	11
2.3	Mapa com a localização dos principais pontos turísticos em Alagoas.	12
2.4	Mapa ilustrativo com pontos turísticos em várias cidades de Alagoas.	13
2.5	Gráfico com os principais segmentos.	14
3.1	Competição de Orientação.	15
3.2	Variantes do TSP e OP.	18
4.1	Descrição da variável de decisão $x_{ij}^d$ .	20
4.2	Entrada.	22
4.3	Solução.	23
5.1	Protótipo da Aplicação.	28
5.2	Primeiro dia (Tour Maceió).	31
5.3	Segundo dia (Tour Maceió).	32
5.4	Terceiro dia (Tour Maceió).	33
5.5	Quarto dia (Tour Maceió)	34

# Lista de Tabelas

1.1	Tempo disponível para o passeio . . . . .	4
1.2	Descrição das atrações utilizadas do Sertão . . . . .	5
1.3	Descrição dos Hotéis utilizados do Sertão . . . . .	5
1.4	Solução Sertão com 2 dias (Trip) . . . . .	5
3.1	Publicação inicial do OP e variantes com seleção de hotéis . . . . .	16
5.1	Descrição do conjunto de instâncias de <a href="#">Divsalar et al. (2014b)</a> . . . . .	25
5.2	Resumo da comparação do algoritmo exato versus GA-VND. . . . .	26
5.3	Descrição das atrações utilizadas na simulação de Maceió . . . . .	28
5.4	Descrição dos hotéis utilizados na simulação de Maceió. . . . .	29
5.5	Solução Maceió com 4 dias. . . . .	29
5.6	Teste Maceió . . . . .	30
A.1	Conjunto 1 (1-2) . . . . .	40
A.2	Conjunto 2 (2-3) . . . . .	41
A.3	Conjunto 3 (5-3) . . . . .	42
A.4	Conjunto 4 (3-4) . . . . .	43
A.5	Conjunto 5 (6-4) . . . . .	44
A.6	Conjunto 6 (10-4) . . . . .	45
A.7	Conjunto 7 (10-5) . . . . .	46
A.8	Conjunto 8 (10-6) . . . . .	47
A.9	Conjunto 9 (12-4) . . . . .	48
A.10	Conjunto 10 (12-5) . . . . .	49
A.11	Conjunto 11 (12-6) . . . . .	50
A.12	Conjunto 12 (15-4) . . . . .	51
A.13	Conjunto 13 (15-5) . . . . .	52
A.14	Conjunto 14 (15-6) . . . . .	53
A.15	Conjunto 15 (15-8) . . . . .	54
A.16	Conjunto 16 (15-10) . . . . .	55
B.1	Coordenadas Sertão . . . . .	56
B.2	Coordenadas Maceió . . . . .	57
C.1	Matriz Sertão . . . . .	58
C.2	Matriz Maceió . . . . .	59

# 1

## Introdução

A atividade turística vem ganhando cada vez mais importância e é uma alternativa ao desenvolvimento econômico de várias regiões. No Brasil, em 2019, o turismo obteve um crescimento recorde, com rendimento de R\$ 136,7 bilhões, o que representou o maior rendimento registrado nos últimos quatro anos. Além disso, o setor criou mais de 25 mil vagas de julho de 2018 a julho 2019 (GOV, 2019). Conforme o secretário de turismo do estado de Alagoas, Brito (2019), o crescimento do turismo no estado impulsiona a expansão hoteleira na capital e no interior, fazendo com que a média de ocupação hoteleira anual seja superada a cada ano. Em 2018, a média anual de ocupação hoteleira do estado foi de 72%, a expectativa para o fim de 2019 era de 74%. Esses dados revelam não só o aumento da ocupação hoteleira, mas também o crescimento do número de turistas que visitam o estado.

Diversas tecnologias vêm contribuindo para o desenvolvimento do setor. Os sistemas de reserva online, como *Booking*, Trivago e Decolar facilitam o planejamento de uma viagem turística. A utilização de sistemas de reserva online facilita buscar disponibilidade de quartos vagos em hotéis ou assentos em voos. Assim, é muito mais fácil para empresas e agentes de viagens criarem um *tour* com os desejos do cliente, receber confirmações instantâneas, além de permanecer competitivo. Com o crescimento constante do setor no período referido e as contribuições das tecnologias, torna-se de grande relevância realizar um estudo que una o conceito de cidades inteligentes ao turismo em Alagoas, pois, isso pode contribuir ainda mais na satisfação do turista ao visitar o estado.

Os precursores nos estudos de criação de itinerários turísticos, unindo a ideia de cidade inteligente ao turismo, foram Vansteenwegen and Van Oudheusden (2007). Em seus estudos, eles verificaram que o problema de roteamento de 'nós' com prêmio pode contribuir na satisfação dos turistas em aplicações de geração de roteiros. Implementações desse problema foram realizadas em Singapura por Gunawan and Lau (2016) e Atenas, na Grécia, por Gunawan et al. (2017).

Os problemas de roteamento com prêmio, segundo Archetti et al. (2017), têm como decisão crucial a identificação de um subconjunto de clientes “convenientes” para servir, ao contrário do que acontece no roteamento clássico, em que todos os clientes devem ser atendidos. Esses problemas são tradicionalmente classificados em duas categorias: (i) problemas de roteamento de nó com prêmio, nos quais os clientes estão localizados nos vértices de um grafo, e (ii) problemas de roteamento de arco com prêmio, nos quais os clientes correspondem aos arcos. De acordo com Archetti et al. (2017), o problema de roteamento com prêmio é dividido em 3 classes principais:

1. Coleta de prêmios (*Prize-Collecting*): A função objetivo é a minimização do custo total da viagem. O principal problema estudado é o *Salesman Problem*, onde os clientes estão localizados nos vértices com um único veículo disponível. Nesse caso, uma restrição estabelece coletar uma quantia mínima de lucro.
2. Passeio Rentável (*Profitable Tour*): A função objetivo é a maximização da diferença entre o lucro total arrecadado e o custo de viagem.
3. Orientação (*Orienteering*): A função objetivo é a maximização da pontuação total coletada. Nesse caso, uma duração máxima com restrição é imposta nas rotas e os pontos disponíveis para visitar são localizados nos vértices do grafo. Esse problema foi inicialmente introduzido por Tsiligirides (1984), em que está relacionado a um caixeiro viajante sem tempo suficiente para visitar todos os clientes importantes.

Esta dissertação aborda a categoria Orientação (*Orienteering*) acrescentada de restrições de janela de tempo com disponibilidade de gerar mais de uma rota e seleção de hotéis. Essa variante com essas restrições impostas é conhecida na literatura como *Orienteering Problem with Hotel Selection and Time Windows* (OPHS-TW) proposto por Divsalar et al. (2014b), que é o problema de Orientação com Seleção de Hotel e Janelas de Tempo para a criação de roteiros turísticos.

Gavalas et al. (2014) afirmam que quando os turistas visitam um destino por vários dias perdem muito tempo planejando um roteiro turístico levando em consideração os POIs (pontos de interesse, do inglês *points of interest*), o tempo de visita a cada ponto turístico, o horário de funcionamento dos POIs, o horário ideal de visita e a ordem de visita a cada ponto turístico. Vansteenwegen and Van Oudheusden (2007) pensando nesses problemas de planejamento, propuseram em 2007, a utilização da variante *Team Orienteering Problem* (TOP), que permite a geração de roteiros turísticos por vários dias.

O TOP tem como função objetivo a maximização da pontuação de um conjunto de vértices, cada vértice possui um certo valor (pontuação) e a distância entre os pontos é conhecida. No entanto, nem todos os pontos precisam ser selecionados, pois o tempo é limitado. O TOP trata de determinar rotas, limitadas em tempo, entre alguns dos pontos para maximizar a pontuação

total. Uma nova variante do TOP voltada para o turismo foi proposta em 2009 por [Vansteenwegen et al. \(2009a\)](#), conhecida como *Team Orienteering Problem with Time Windows* (TOPTW). Essa variante, além de acrescentar a geração de várias rotas, adicionou a restrição de janela de tempo, onde a visita em um nó particular deve iniciar dentro de uma janela de tempo predefinida (ou seja, inicia no horário de abertura do ponto e antes do fechamento).

[Divsalar et al. \(2014b\)](#) propuseram o OPHS-TW que é similar ao TOPTW. No entanto, além das características de janela de tempo e roteiros para vários dias, essa variante também possui a seleção de hotel. O OPHS-TW pode ser formulado como um problema de planejamento de viagem turística.

Os problemas de planejamento de viagens turísticas são conhecidos na literatura como *Tourist Trip Design Problem* (TTDP), que segundo [Vansteenwegen and Van Oudheusden \(2007\)](#) consideram três conjuntos de informações: **informações sobre os atrativos** (dias de abertura e horas, momentos ideais para visitar, expectativa de tempo necessário para uma visita etc); **perfil do turista** (valorização do turista para certas categorias de interesse, como esculturas, natureza, ciência, restaurantes, etc.); **informação de viagem** (quantos dias os turistas querem passar em uma determinada região ou cidade, etc.).

Pensando na difícil tarefa de criar roteiros turísticos por vários dias e também na contribuição da aplicação para o estado de Alagoas, tendo em vista que o turismo contribui economicamente para o estado, propomos uma formulação matemática do OPHS-TW para otimização de itinerários turísticos no contexto de Alagoas. A presente formulação matemática é o primeiro método exato para OPHS-TW. Experimentos computacionais realizados em instâncias do OPHS-TW encontrados na literatura mostram que nosso método exato consegue provar vários ótimos anteriormente desconhecidos. O algoritmo encontrou 38 soluções desconhecidas da literatura. Dessas soluções desconhecidas, todas foram comprovadas como ótimas. No total, 361 soluções provaram ser ótimas.

## 1.1 Definição do Problema

O OPHS-TW pode ser formalmente definido da seguinte forma. Seja  $N$  um conjunto de POIs,  $H$  um conjunto de hotéis,  $NH$  a união de  $N$  e  $H$  ( $NH = N \cup H$ ) sendo que  $n = |N|$ ,  $h = |H|$ ,  $nh = |NH|$ , e  $m$  o número de dias do passeio. Além disso, considere que  $S_i$  é uma função da pontuação,  $O_i$  é uma função que indica o horário de abertura e  $C_i$  é uma função que indica o horário de fechamento para cada POI, onde  $i \in N$ .  $T_i$  é uma função que indica o tempo serviço para cada POI,  $T_d$  é uma função que indica um orçamento de tempo para cada dia, onde  $d \in m$ ,  $E$  é um conjunto de links ( $E \subset NH \times NH$ ),  $C_{ij}$  é uma função que indica o tempo de viagem de  $i$  a  $j$ , onde  $(i, j) \in E$ . Com base nessas definições, o objetivo do OPHS-TW é encontrar um subconjunto de  $N$ , um subconjunto de  $H$  e um passeio com  $m$  viagens conectadas, de modo que cada dia comece e termine em um hotel e a pontuação do passeio seja maximizada. Note que

como é um passeio com  $m$  viagens conectadas, a viagem seguinte deve começar no mesmo hotel que a viagem atual terminou. É possível chegar antes da abertura da janela de tempo e esperar. Para o entendimento deste trabalho é importante distinguir *trip* de *Tour*. Cada plano diário de visita é chamado de *trip* e um conjunto de *trip* conectados é chamado de *Tour*. Neste trabalho também utilizamos termos como rota e dia para indicar um *trip*.

## 1.2 Exemplo de instância para o OPHS-TW

Na Tabela 1.1 é definido o tempo de passeio por *trip*. A Tabela 1.2 apresenta as entradas dos POIs (Atrações turísticas), a coluna ‘Código’ identifica cada *Points Of Interest* (POI), a coluna ‘Atração’ é o nome da atração, a coluna ‘Visita ( $T_i$ )’ é o tempo de visitação da atração (ou tempo de serviço), a coluna ‘Pontuação’ define o tanto que um turista deseja visitar o POI e as colunas ‘Aberto’ e ‘Fechado’ são a janela de tempo, período que inicia o serviço. Note que se um serviço é iniciado, é garantido o tempo de serviço ( $T_i$ ) integral. A Tabela 1.3 possui os hotéis utilizados, a coluna ‘Código’ identifica o hotel, já a coluna ‘Hotel’ possui o nome do hotel. O Apêndice B possui as coordenadas e O Apêndice C contém a matriz de distância real entre POIs e Hotéis das Tabelas 1.2 e 1.3.

Tabela 1.1 – Tempo disponível para o passeio

<i>Tour</i>	<i>Trip</i>	T (min)
1	1º	180
	2º	210

Para uma melhor compreensão do problema é reproduzida uma simulação com esses dados apresentados, perceba que as Tabelas 1.1, 1.2 e 1.3 apresentam as entradas para o problema. Uma solução ótima para a instância é representada nas Figuras 1.1, 1.2 e na Tabela 1.4. O resultado da saída foi obtido pelo método exato do OPHSTW. A Figura 1.2 exemplifica a linha do tempo do primeiro *trip* gerado, que somados o tempo de permanência e o tempo de deslocamento no primeiro *trip* obtemos o tempo que o turista realizou o passeio (174 minutos) e possuía uma restrição de 180 minutos. Veja que o POI 1 foi programado para permanecer 90 minutos e sair às 12:37 com a janela fechada às 12:00 não tendo nenhuma restrição, já que a janela restringe somente o período em que é iniciado o serviço. Como pode ser visto na Tabela 1.4, a pontuação do tour foi 19. O tempo de execução foi de 0,9 segundos.

Tabela 1.2 – Descrição das atrações utilizadas do Sertão

Código	Atração	Cidade	Visita ( $T_i$ )	Pontuação	Aberto	Fechado
1	Hidrelétrica Xingó	Piranhas	90 min	5	09:00	12:00
2	Mirante da CHESF	Piranhas	60 min	4	10:00	14:00
3	Mirante Secular	Piranhas	120 min	5	07:00	19:00
4	Bordado S.F	Piranhas	60 min	1	8:00	17:00
5	Museu	Piranhas	60 min	5	10:00	16:00
6	Rota do Cangaço	Piranhas	90 min	3	08:00	10:00
7	Cânions do Rio SF	Olho d'água	180 min	2	10:00	16:00
8	Angiquinho	Delmiro	120 min	1	07:00	12:00
9	Cristo Redentor	Pão de Açúcar	60 min	1	07:00	18:00

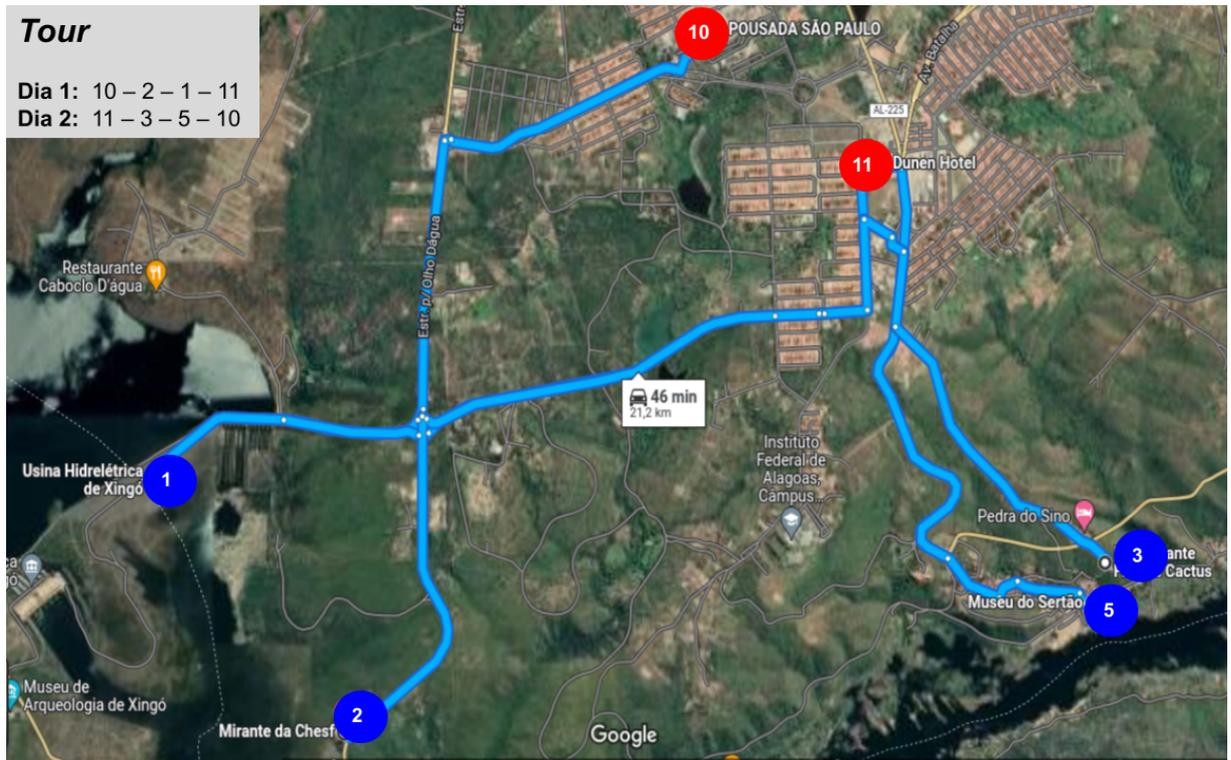
Tabela 1.3 – Descrição dos Hotéis utilizados do Sertão

Código	Hotel
10	Pousada São Paulo
11	Dunen Hotel
12	Porta do Sol Pousada
13	Bristol Aline Hotel
14	Macambira Café Pousada
15	Hotel Virgulino
16	Pousada Paraíso dos Cânions

Tabela 1.4 – Solução Sertão com 2 dias (Trip)

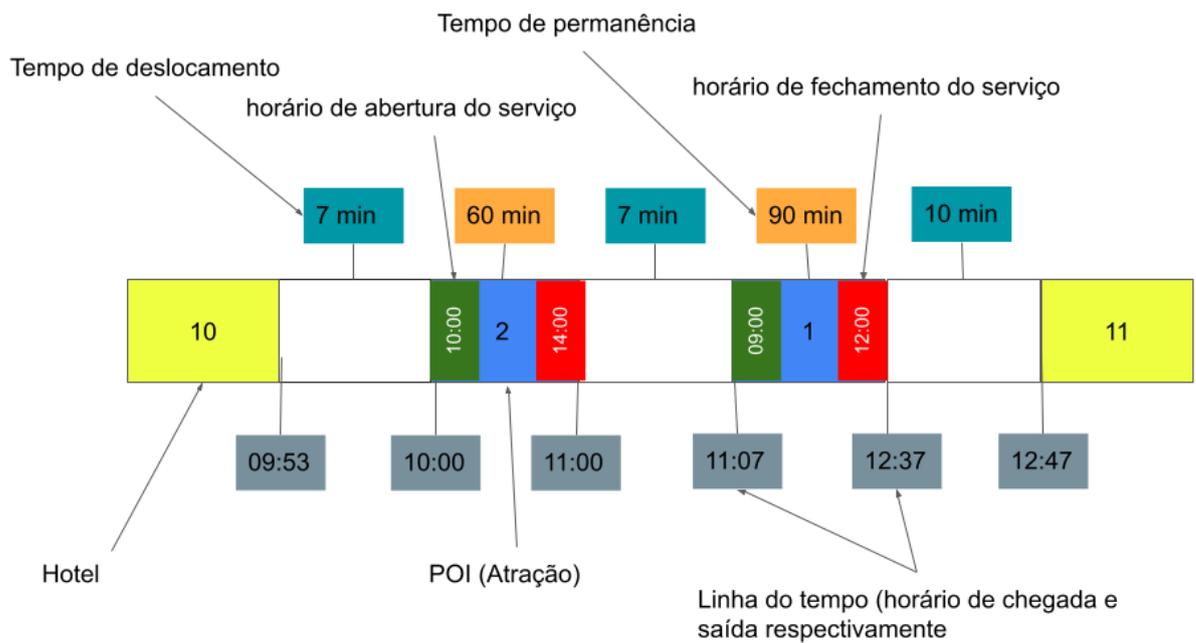
Dia	Trip	Pontuação
1 <sup>o</sup>	10 → 2 → 1 → 11	9
2 <sup>o</sup>	11 → 3 → 5 → 10	10
Total		19

Figura 1.1 – Solução



Fonte: Figura do Google Maps e editada pelo autor.

Figura 1.2 – Linha do tempo do primeiro trip



### 1.3 Objetivos

A seguir, serão descritos os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

### **1.3.1 Objetivo geral**

Propor uma nova formulação matemática baseada em ILP para o problema de otimização do OPHS-TW.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Desenvolver uma formulação do OPHS-TW;
- Testar a formulação em instâncias da literatura e no estado de Alagoas;
- Comparar o método proposto com os métodos estado da arte.

## **1.4 Estrutura do trabalho**

Este documento está dividido em 6 capítulos.

- O Capítulo 2 apresenta métodos de otimização e informações do turismo em Alagoas;
- O Capítulo 3 são apresentados os trabalhos relacionados;
- O Capítulo 4 é apresentada a formulação matemática do problema;
- O Capítulo 5 os resultados obtidos nos testes são expostos e analisados;
- O Capítulo 6 apresenta a conclusão do trabalho e trabalhos futuros.

# 2

## Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta um resumo sobre métodos de otimização começando com meta-heurística e métodos exatos, na sequência é discorrido sobre problema de design de viagem turística (TTDP) e turismo em Alagoas.

### 2.1 Meta-heurística

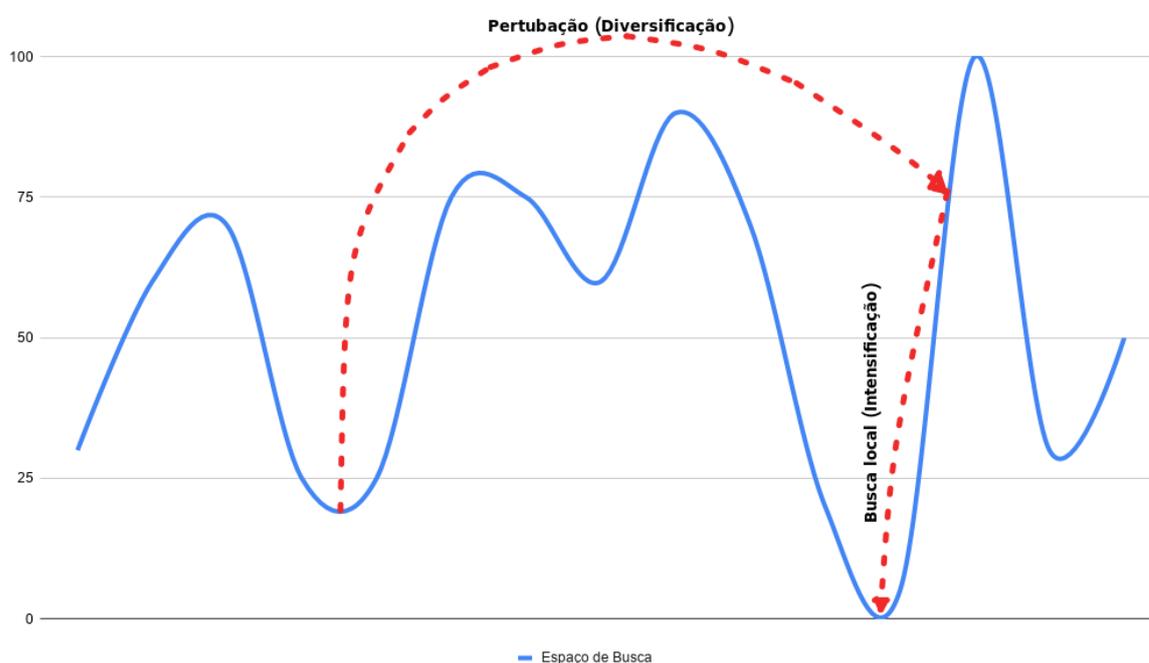
Na década de 70, surgiu um novo tipo de algoritmo de aproximação que tenta combinar métodos heurísticos básicos em *frameworks* de alto nível visando explorar eficiente e efetivamente um espaço de busca (Blum and Roli, 2008). Atualmente esses métodos são chamados de meta-heurísticas, termo difundido por Glover (1986). Essa expressão é resultado da combinação do prefixo grego *metá* (no sentido de alto nível, além) com heurística (do grego *heuriskein* ou *euriskein*, descobrir) (Sörensen and Glover, 2013).

As meta-heurísticas são desenvolvidas especificamente para encontrar uma solução que seja “boa o suficiente” no menor período computacional possível. Elas podem ser definidas como métodos de solução que orquestram uma interação entre procedimentos de melhoria local e estratégias de nível superior (Glover and Kochenberger, 2006). Esses métodos criam um processo capaz de escapar de ótimos locais. As meta-heurísticas são geralmente utilizadas para resolver vários tipos de problemas e não necessariamente um problema específico. Elas não garantem a solução exata do problema, logo são bastantes utilizadas quando os problemas são considerados  $\mathcal{NP}$ -difíceis e sua resolução não pode ser feita em um tempo viável.

Segundo Blum and Roli (2003) dois conceitos muito importantes nas meta-heurística são intensificação e diversificação. Essas são as duas forças que determinam amplamente o comportamento de uma meta-heurística. Eles são de alguma forma opostos, mas também complementares mutuamente. A intensificação tem em vista explorar o mínimo ou máximo em um local já encontrado, já a diversificação tem em vista encontrar locais ainda não explorados. Na Figura

2.1 pode ser visto um exemplo com vários vales com o objetivo de encontrar o mínimo global. Veja que utilizando somente o procedimento de intensificação o primeiro ponto (à esquerda da figura) iria ficar preso ao mínimo local, já que esse método geralmente utiliza movimentos curtos e um passo curto antes ou depois não iria sair do mínimo local. Em contrapartida, utilizando a perturbação (sendo um procedimento para diversificação), a solução pode escapar desses mínimos locais e assim encontrar o ótimo global do problema, como pode ser visto nos pontos a direita. É notável, que nesses dois precedimentos, um completa a necessidade do outro.

Figura 2.1 – Intensificação x diversificação.



Na literatura existem diversas meta-heurísticas, algumas populares são:

- *Ant Colony Optimization* (ACO) que sua construção é baseada no comportamento das formigas, que foi proposto por [Dorigo et al. \(1996\)](#);
- *Iterated Local Search* (ILS) foi introduzido por [Lourenço et al. \(2010\)](#) que se constrói iterativamente uma sequência de soluções;
- *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures* (GRASP) foi proposto inicialmente por [Feo and Resende \(1995\)](#), existem duas fases dentro de cada iteração do GRASP: a primeira constrói uma solução através de uma função gulosa aleatória adaptativa; o segundo aplica um procedimento de busca local na tentativa de encontrar uma melhoria.
- Em 1975, Holland introduziu um mecanismo que é semelhante ao Processo de evolução conhecido como *Genetic Algorithm* (GA) ([Holland, 1975](#)).

## 2.2 Métodos exatos

Muitos problemas práticos e teóricos em engenharia, ciência da computação, pesquisa operacional e outras áreas podem ser formuladas como um problema de programação matemática ou, simplesmente, um problema de otimização. Rao (2009) define otimização como o ato de encontrar a melhor solução nas circunstâncias dadas. Na resolução desse problema, deve-se maximizar ou minimizar uma determinada função. Problema de otimização utiliza uma ou mais variáveis de forma que todas as restrições se satisfaçam. Esses problemas são denominados de métodos exatos, modelados sob a forma de equações ou desigualdades. Os métodos exatos são mais utilizados em problemas de pequena ordem e os heurísticos em problemas mais complexos.

Diferentes modelos de Programação Matemática podem ser usados para modelar e resolver diferentes problemas de otimização. Eles podem ser divididos em linear e não linear, este trabalho foca no modelo linear. Na Programação Linear Inteira é um problema em que todas ou alguma(s) das suas variáveis são discretas (têm de assumir valores inteiros). Existem alguns tipos como a Programação Linear Inteira Pura e a Programação Linear Inteira Mista, a primeira é um problema em que todas as variáveis são discretas, já a segunda se apenas algumas variáveis precisarem ser inteiras. Existe um caso especial de variáveis inteiras: as variáveis binárias que apenas podem tomar os valores 0 (zero) ou 1 (um). Assim, quando todas as variáveis de um modelo são binárias é um modelo de Programação Inteira Binária. Um Problema de Programação Linear Inteira (PPLI) pode ser definido sob a seguinte forma:

$$\max \sum_{i=1}^n S_i x_i \quad (2.1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^n T_{ij} x_i \leq B_j \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (2.2)$$

$$x_i \geq 0 \quad x \in \mathbb{Z} \quad (2.3)$$

Em que  $S_i$ ,  $T_{ij}$  e  $B_j$  são dados (números reais) e  $x_i$  representam as variáveis de decisão. A função linear a ser maximizada (2.1) é denominada função objetivo. Já as Restrições (2.2) determinam o domínio do problema. E Restrições (2.3) são conhecidas como restrições de integralidade.

Para obter a solução ótima de um problema, a maioria dos métodos exatos baseiam-se em técnicas de enumeração exaustiva. Eles são denominados por métodos de pesquisa em árvore, conhecidos por *branch-and-bound* (B&B). O primeiro algoritmo B&B para Programação Inteira (PI) foi proposto por Land and Doig (1960). Esses métodos consideram uma separação do conjunto de soluções aceitáveis do problema inicial e, seguidamente, resolvem cada um dos problemas parciais obtidos. Cada nó da árvore corresponde a um atributo do problema e as ramificações correspondem a partições do conjunto de soluções aceitáveis. As folhas da

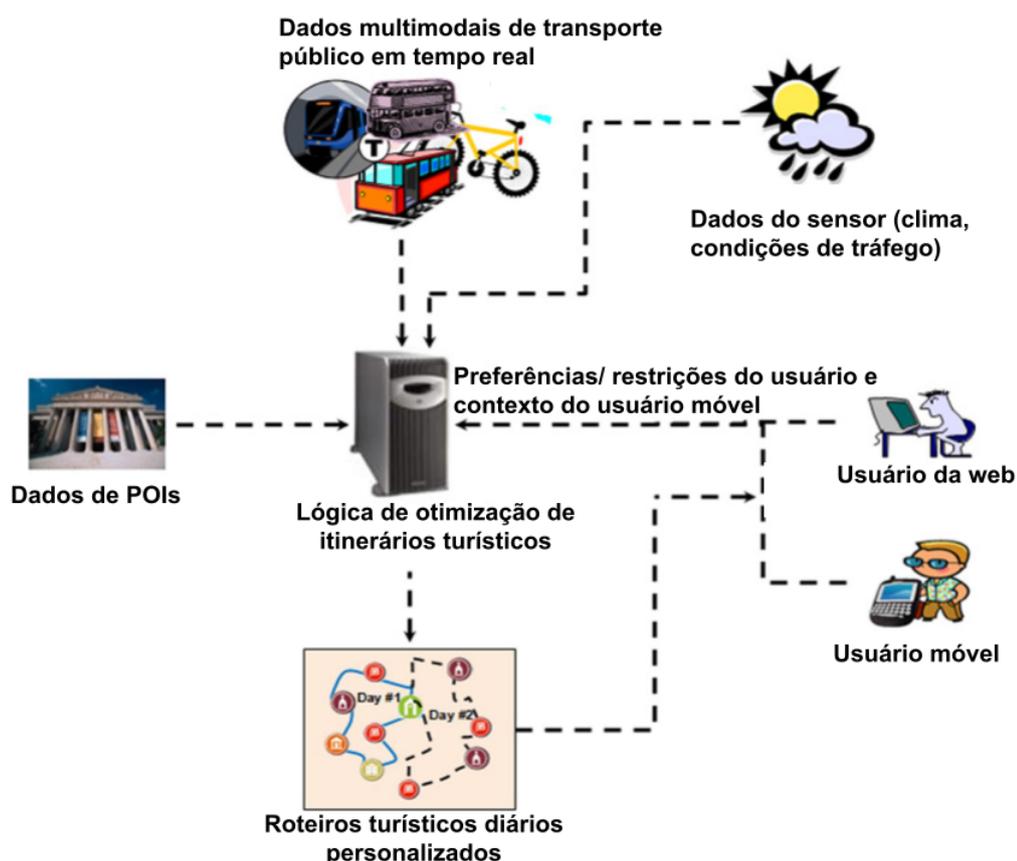
árvore, ou 'nós' terminais, irão corresponder às soluções completas.

Os algoritmos exatos garantem a solução ótima. No entanto, estão associados a um grande esforço computacional, dado o elevado número de soluções a analisar (Cavique, 2020). Algumas meta-heurísticas, às vezes, são combinadas com os algoritmos exatos com intuito de alcançarem melhores desempenhos e solução cada vez melhores. Essa combinação é definida como uma *matheristic*.

## 2.3 Problema de design de viagem turística (TTDP)

Algumas das entradas para o problema de planejamento do roteiro turístico (TTDP) foram organizadas por Gavalas et al. (2014), ilustradas na Figura 2.2. Elas podem ser utilizadas para implementar um sistema de criação de roteiros turísticos. As entradas ilustradas na Figura 2.2 são detalhadas abaixo:

Figura 2.2 – Dados de entrada e roteiros recomendados no TTDP.



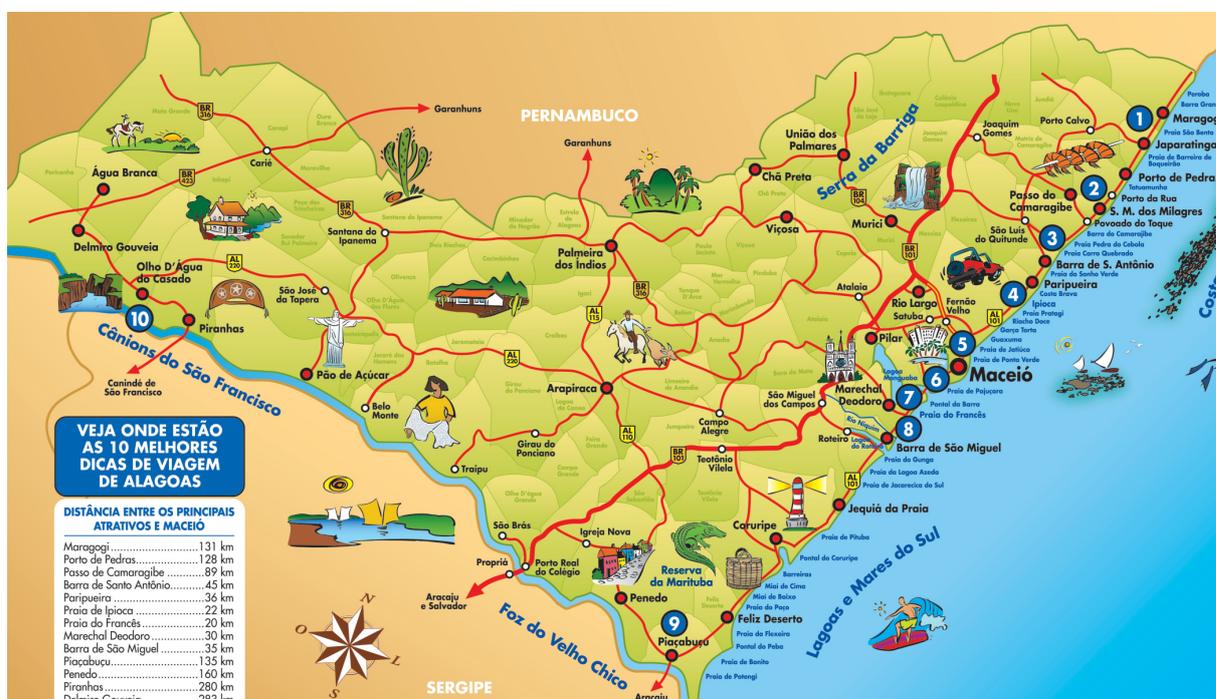
Fonte: (Gavalas et al., 2014).

- Dados de POIs (dados sobre os pontos de interesse): Algumas informações de cada POIs como tipo (praia, museu), localização, horário de funcionamento e *score* (pontuação) são importantes para geração de um roteiro turístico;



dos segmentos. Essas informações foram utilizadas para a simulação de roteiro turístico em Alagoas utilizando OPHS-TW.

Figura 2.4 – Mapa ilustrativo com pontos turísticos em várias cidades de Alagoas.

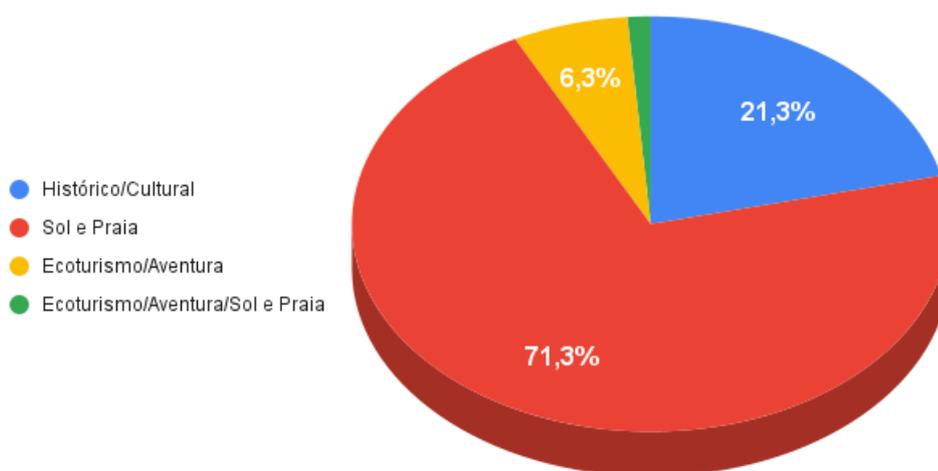


Fonte: Dados abertos de Alagoas.

Os Mapas de Alagoas apresentados nas Figuras 2.3 e 2.4 são do site Dados abertos do governo do estado de Alagoas. Esses mapas contêm os principais pontos turísticos definidos pelo governo de Alagoas, bem como a localização dos atrativos. A Figura 2.4 mostra o mapa de Alagoas com desenhos que representam características das atrações (cultural, aventuras, ecológicas) encontradas em determinados pontos do mapa. Na figura citada anteriormente também é mostrado uma tabela com as cidades que possuem os principais atrativos que também foram utilizadas na simulação do modelo proposto.

Na Figura 2.5 são apresentados os principais segmentos encontrados no estado de Alagoas disponível no site dados abertos. Como pode ser observado no gráfico citado anteriormente, O estado tem uma alta predominância de atrações de sol e praia. Essa categoria de atração muitas vezes depende de uma embarcação aquática para ir até à atração turística e o período de embarque é bastante limitado. No decorrer desse trabalho será visto o funcionamento da janela de tempo do nosso problema que pode viabilizar a criação de itinerários com período específico para iniciar o serviço.

Figura 2.5 – Gráfico com os principais segmentos.



# 3

## Revisão da Literatura

Este capítulo apresenta trabalhos relacionados ao OPHS-TW, que é o problema tratado neste trabalho, começando pelo *Orienteering Problem* (OP). OP foi publicado inicialmente por Tsiligirides (1984). A sua construção baseou-se numa orientação desportiva que mistura corrida e navegação na floresta, cada competidor utiliza um mapa e bússola. Os competidores começam

Figura 3.1 – **Competição de Orientação.**



Fonte: <https://orienteeringusa.org>.

em intervalos de tempo e procuram encontrar vários ‘pontos de controle’ que foram colocados na floresta e cujas localizações estão marcadas nos mapas dos competidores. Eles não precisam visitar todos os pontos. Cada ponto de controle tem uma pontuação, e o objetivo do competidor é maximizar sua pontuação total no limite de tempo da competição. Portanto, cada competidor deve planejar sua rota para acumular a maior pontuação com tempo suficiente para retornar à linha de chegada. Na Figura 3.1 é ilustrada uma competição de *orienteering* acessada no site americano [orienteeringusa.org](https://orienteeringusa.org), nesse site pode encontrar mais informações sobre

o esporte. De acordo com [Chao et al. \(1996b\)](#), OP pode ser modelado como um problema de otimização multinível. No primeiro nível, é preciso escolher um subconjunto de pontos de controle para visitar. No segundo nível, é resolvido um *Traveling Salesman Problem* (TSP) sobre o subconjunto selecionado de pontos de controle. A Tabela 3.1 mostra os autores precursores do OP e de algumas variantes com seleção de hotéis.

Tabela 3.1 – **Publicação inicial do OP e variantes com seleção de hotéis**

Nome	Autor	Descrição
OP	<a href="#">Tsiligirides (1984)</a>	A função objetivo é maximizar a pontuação total no período da competição.
OPHS	<a href="#">Divsalar et al. (2013a)</a>	Além da função objetivo do OP, há também restrição de seleção de hotéis por um ou vários dias.
OPHS-TW	<a href="#">Divsalar et al. (2014a)</a>	Além de ter as descrições do OPHS, há também uma restrição de janela de tempo, restringindo a visita a um POI só deve ser iniciada no horário de funcionamento e antes de ser fechado.

De acordo com [Chao et al. \(1996a\)](#), o OP é conhecido como problema de orientação de concorrente único. Eles propuseram uma variante do OP com equipe, conhecida como TOP. A orientação por equipes estende a versão de competidor único do esporte. Uma equipe composta por vários competidores (digamos, 2, 3 ou 4 membros) começa no mesmo ponto. Cada membro da equipe tenta visitar o maior número possível de pontos de controle dentro de um limite de tempo prescrito e termina no ponto de chegada. A equipe com a maior pontuação vence.

Diversas aplicações e variantes surgiram do OP após sua publicação inicial, como o problema de entrega de combustível domiciliar ([Golden et al., 1987](#)), recrutamento de atletas em escolas secundárias ([Butt and Cavalier, 1994](#)), encaminhamento de técnicos para atendimento aos clientes ([Tang and Miller-Hooks, 2005](#)), criação de roteiros turísticos ([Vansteenwegen and Van Oudheusden, 2007](#)).

[Vansteenwegen et al. \(2009b\)](#) propõem um modelo matemático e uma meta-heurística de busca local guiada para resolver o TOP. Neste modelo, os membros de cada equipe TOP são considerados como dias ou rotas. [Vansteenwegen et al. \(2009c\)](#) criarão a variante TOPTW para gerar itinerários. No TOPTW, você recebe um conjunto de locais, cada um com uma pontuação, um tempo de serviço e uma janela de tempo. O objetivo é maximizar a soma das pontuações coletadas por um número fixo de rotas. Cada rota pode ser interpretada como uma viagem de um dia com o tempo de visitação limitado.

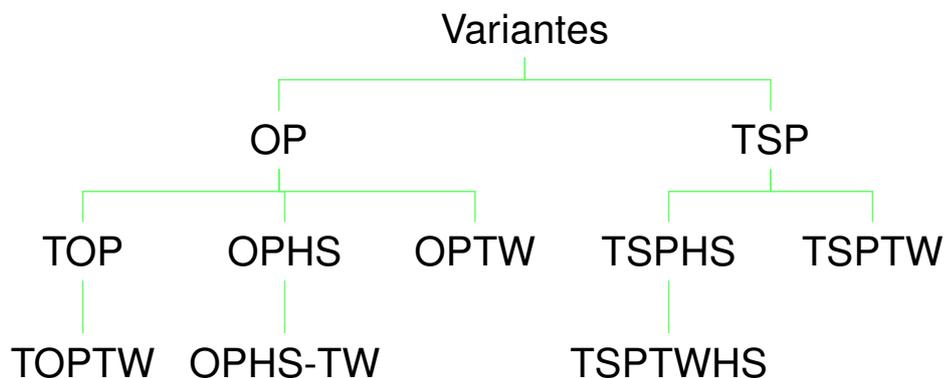
Divsalar et al. (2013a) desenvolveram o *Orienteering Problem with Hotel Selection* (OPHS) que é uma variante do problema de orientação. No OPHS, são dados um conjunto de vértices (pontos de interesse) com uma pontuação e um conjunto de hotéis. O objetivo é determinar um número fixo de viagens conectadas que visitam alguns vértices e maximizar a soma das pontuações coletadas. Cada viagem tem duração limitada e deve começar e terminar em um dos hotéis. Os hotéis não têm pontuação. O hotel inicial e final de chegada do passeio são fornecidos. Divsalar et al. (2014c) também implementaram um algoritmo *Memetic* para OPHS que consiste em dois níveis: no primeiro nível, um componente genético foca em encontrar uma boa sequência de hotéis intermediários, enquanto no segundo nível seis movimentos de busca local embutidos em uma estrutura de vizinhança variável que trata da seleção e sequenciamento de vértices entre os hotéis.

OPHS-TW foi inicialmente proposto por Divsalar et al. (2014a). Cada POI é atribuído a uma janela de tempo. Na prática, o POI tem horários de visita limitados. Portanto, eles adicionaram um horário de abertura e fechamento para cada POI. Na formulação deles não é considerado o tempo gasto (tempo de serviço) em cada POI, isso é considerado uma desvantagem para o modelo, pois um problema real deve considerar o tempo gasto em cada atrativo turístico. A meta-heurística proposta foi o *Genetic Algorithm with a Variable Neighborhood Descent* (GA-VND). Como foi uma publicação inicial do OPHS-TW não existia um método exato, então os autores criaram uma adaptação nas instâncias do OPHS para adicionar a janela de tempo. Desta forma, eles consideraram que uma solução ótima da instância OPHS permanece ótima também para a instância OPHS-TW. Isso resulta do fato de que adicionar restrições extras (tempo janelas neste caso) para um problema de otimização nunca pode resultar em uma solução melhor.

O *Problema do Caixeiro Viajante* (TSP) e o OP têm variantes semelhantes. Como pode ser visto na Figura 3.2, eles carregam siglas comuns como TW indicando que o modelo possui uma janela de tempo e HS indicando haver uma seleção de hotel no modelo. No OP, o incremento da sigla T informa que o modelo possui equipes competindo entre si. Para o TOP na criação de itinerários, cada membro de uma equipe é considerado uma rota (ou uma *TRIP*), e a equipe é considerada um conjunto de rotas (*TOUR*). Em um OP, a diferença entre um modelo com HS e um modelo com T é que o primeiro possui várias rotas e seleção de hotéis, enquanto o último indica apenas que o modelo possui várias rotas. Segundo Divsalar et al. (2013a) a principal diferença entre o TOP e o OPHS é que no TOP todas as viagens têm que começar e terminar no mesmo vértice e nenhum hotel precisa ser selecionado.

Como foi visto, os modelos TSP e OP possuem variantes semelhantes (TW e HS). No entanto, os modelos têm funções objetivo diferente. Golden et al. (1987) denominam o OP de *Generalized Traveling Salesman Problem* (GTSP). Segundo ele, o GTSP se enquadra na classe de problemas  $\mathcal{NP}$ -difíceis, pois contém o conhecido problema do caixeiro viajante como um caso especial. De acordo com Divsalar et al. (2013b), algumas diferenças óbvias do *travelling salesperson problem with hotel selection* (TSPHS) em relação ao OPHS são que no TSPHS todos os vértices devem ser visitados e a função objetivo é minimizar o número de viagens e

Figura 3.2 – Variantes do TSP e OP.



o tempo total de viagem. No entanto, no OPHS nem todos os vértices devem ser visitados e a função objetivo é maximalizar a pontuação dos vértices. Segundo [Sousa et al. \(2021\)](#), esse problema considera um vendedor que tem que atender todos os clientes, mas, em alguns casos, não consegue visitar todos eles em apenas um dia útil. Assim, é necessário dividir a rota em viagens de um dia viáveis, considerando um limite de tempo de viagem por dia. Um pernoite em um dos hotéis indicados separa viagens consecutivas.

Como pode ser observado nesse capítulo, os problemas que mais se assemelham ao problema tratado nesta dissertação, OPHS-TW, são os problemas OPHS ([Divsalar et al., 2013a](#)), TOPTW ([Vansteenwegen et al., 2009c](#)), TSPTWHS ([Baltz et al., 2015](#)). No entanto, OPHS considera que os pontos turísticos não têm janela, e o TOPTW não considera hotéis, já TSPTWHS a função objetivo não considera a seleção de vértices por pontuação. Em relação aos métodos para o OPHS-TW, existem poucas meta-heurísticas, entre elas *three-component heuristic* (I3CH) ([Cheung, 2016](#)) e GA-VND ([Divsalar et al., 2014a](#)) e o presente trabalho é o primeiro a propor um método exato.



## Formulação proposta

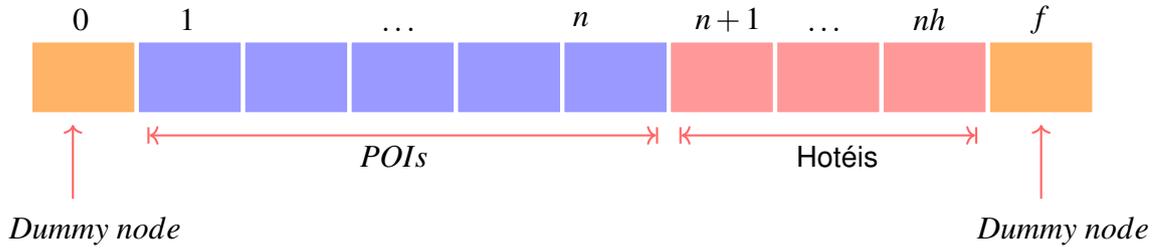
Este capítulo apresenta a formulação proposta para o OPHS-TW. Na nossa formulação, algumas restrições foram aproveitadas do modelo TOPTW desenvolvido por [Vansteenwegen et al. \(2009c\)](#). As variáveis de decisão são:

- $x_{ij}^d = 1$  se, no *trip*  $d$ , uma visita ao local  $i$  for seguida por uma visita para a localização  $j$  e 0 caso contrário.  $\forall i, j \in \{1, \dots, nh + 1\}, d \in \{1, \dots, m\}$ ;
- $y_{id} = 1$  se o local  $i$  for visitado no *trip*  $d$ , caso contrário 0.  $\forall i \in \{1, \dots, nh + 1\}, d \in \{1, \dots, m\}$ ;
- $s_{id}$  é o início do serviço no local  $i$  no *trip*  $d$ ,  $\forall i \in \{1, \dots, nh + 1\}, d \in \{1, \dots, m\}$ .

Os parâmetros utilizados são:

- $S_i \rightarrow$  pontuação do POI  $i$ ;
- $T_i \rightarrow$  tempo de visita (ou tempo de serviço) do POI  $i$ ;
- $T_d \rightarrow$  tempo do passeio do dia  $d$ .
- $C_{ij} \rightarrow$  tempo para viajar do local  $i$  para o  $j$ ;
- $O_i \rightarrow$  hora que inicia o serviço  $i$ ;
- $C_i \rightarrow$  hora que fecha o serviço  $i$ ;

A Figura 4.1 exemplifica os índices  $i, j$  usados na variável de decisão  $x_{ij}^d$ , que possui *dummy node*, POIs e hotéis. No total são utilizados dois *dummy nodes* que estão nos índices 0 e  $nh + 1$  (igual a  $f$ ). Eles são utilizados apenas para facilitar a construção da seleção do hotel.  $M$  uma grande constante. Os POIs são obtidos nos índices  $1 \dots n$ . Os hotéis estão nos índices  $n + 1 \dots nh$  (igual a  $n + h$ ).

Figura 4.1 – Descrição da variável de decisão  $x_{ij}^d$ .

As Equações (4.1 à 4.19) apresentam a formulação proposta, a Função Objetivo (4.1) maximiza a pontuação total coletada. As Restrições (4.2) garantem que um ponto turístico (ou POI) seja visitado no máximo uma vez. As Restrições (4.3) e (4.4) determinam a conectividade e a linha do tempo de cada *tour*. As Restrições (4.5) garantem que exista uma aresta do *dummy* para um hotel, e (4.6) garantem que exista uma aresta do hotel para um *dummy*. As Restrições (4.7) limitam o tempo de viagem por dia (ou rota), e as Restrições (4.8) garantem que o hotel que o turista dormir seja o mesmo hotel que acordar. Restrições (4.9) e (4.10) garantem que todos os dias um turista saia de um hotel e retorne a um hotel. A Restrição (4.11) fixa o hotel inicial como o primeiro do conjunto. Já a Restrição (4.12) fixa o hotel final como o segundo do conjunto e essas restrições podem ser removidas caso os hotéis inicial e final não sejam fixos. As Restrições (4.13) e (4.14) garantem que uma visita a uma atração só seja iniciada dentro da janela de tempo. Restrições (4.15) e (4.16) garantem que não exista uma aresta do *dummy* para uma atração.

$$\max \sum_{d=1}^m \sum_{i=1}^n S_i y_{id} \quad (4.1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{d=1}^m y_{kd} \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, n\} \quad (4.2)$$

$$s_{id} + T_i + C_{ij} - s_{jd} \leq M(1 - x_{ij}^d) \quad \forall i, j \in \{0, \dots, nh\}, d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=0}^{nh} x_{ik}^d = \sum_{j=1}^{nh} x_{kj}^d + x_{kf}^d = y_{kd} \quad \forall k \in \{1, \dots, nh\}, d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.4)$$

$$\sum_{j=n+1}^{nh} x_{0j}^d = 1 \quad \forall d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.5)$$

$$\sum_{j=n+1}^{nh} x_{jf}^d = 1 \quad \forall d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=0}^{nh} \left( T_i y_{id} + \sum_{j=1}^f C_{ij} x_{ij}^d \right) \leq T_d \quad \forall d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.7)$$

$$x_{if}^d = x_{0i}^{(d+1)} \quad \forall d \in \{1, \dots, m-1\}, i \in \{n+1, \dots, nh\} \quad (4.8)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=n+1}^{nh} x_{ij}^d = 1 \quad \forall d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=n+1}^{nh} x_{ji}^d = 1 \quad \forall d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.10)$$

$$x_{0(n+1)}^1 = 1 \quad (4.11)$$

$$x_{(n+2)f}^m = 1 \quad (4.12)$$

$$O_i \leq s_{id} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.13)$$

$$s_{id} \leq C_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.14)$$

$$x_{if}^d = 0 \quad \forall d \in \{1, \dots, m\}, i \in \{1, \dots, n\} \quad (4.15)$$

$$x_{0i}^d = 0 \quad \forall d \in \{1, \dots, m\}, i \in \{1, \dots, n\} \quad (4.16)$$

$$x_{ij}^d \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, nh+1\}, d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.17)$$

$$0 \leq y_{id} \leq 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, nh+1\}, d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.18)$$

$$s_{id} \geq 0 \quad \forall i \in \{1, \dots, nh+1\}, d \in \{1, \dots, m\} \quad (4.19)$$

Para compreender melhor o funcionamento do modelo OPHS-TW, a Figura 4.2 ilustra a entrada do modelo, onde os POIs formam um subgrafo completo e todo hotel é ligado a todos POIs, representado pelo traço de maior espessura. Os hotéis dummies são utilizados para facilitar a seleção dos hotéis.

Na Figura 4.3 é ilustrada uma solução, onde as arestas em vermelho representam a primeira rota e as arestas em azuis a segunda rota. Note que o hotel final de uma rota (ou seja, o hotel da dormida) é o mesmo que inicia a próxima rota (ou seja, o hotel de acordar). Cada POI possui uma janela de tempo que é o período que o serviço pode ser iniciado. A distância entre os POIs e hotéis é conhecida e todo POI possui uma pontuação.

Para deixar o modelo mais robusto, em cada uma das Restrições (4.3), a constante  $M$  foi definida da seguinte forma:

$$M_{ij} = \begin{cases} 1 + C_i + T_i + C_{ij} - O_j, & \text{se } i \in \{1, \dots, n\} \text{ e } j \in \{1, \dots, n\} \\ T_{max} + C_{ij}, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4.20)$$

Em que no primeiro caso, ( $i \in \{1, \dots, n\}$  e  $j \in \{1, \dots, n\}$ ),  $i$  e  $j$  correspondem a dois POIs. Já no segundo caso,  $i$  ou  $j$  é um hotel.

Por meio desta definição, é possível remover as variáveis em que  $M_{ij} < 0$  do modelo, pois isso indica que o ponto  $j$  não pode ser visitado após o ponto  $i$ . Dessa forma, quando  $M_{ij} < 0$ , é adicionada a restrição  $x_{ij}^d = 0, \forall d \in \{1, \dots, m\}$ .

Figura 4.2 – Entrada.

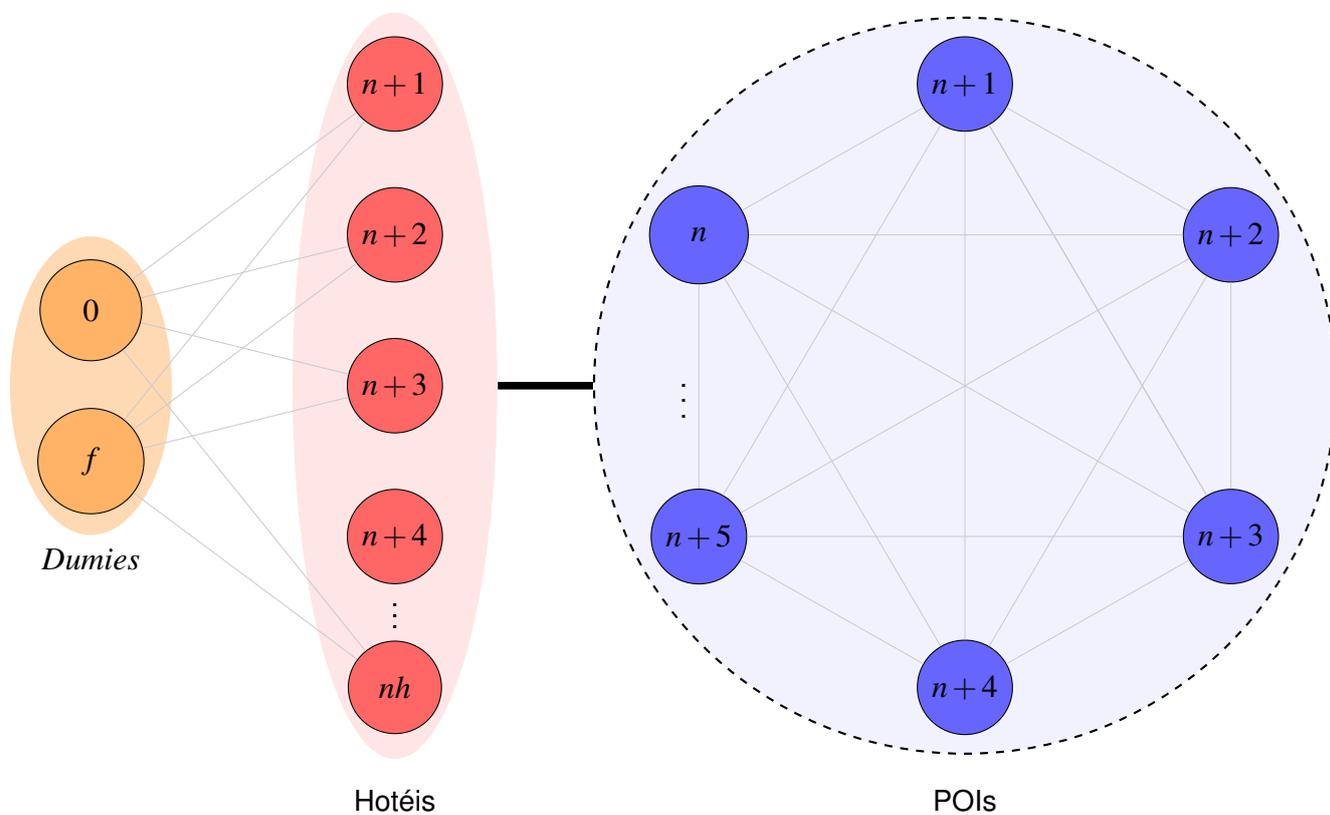
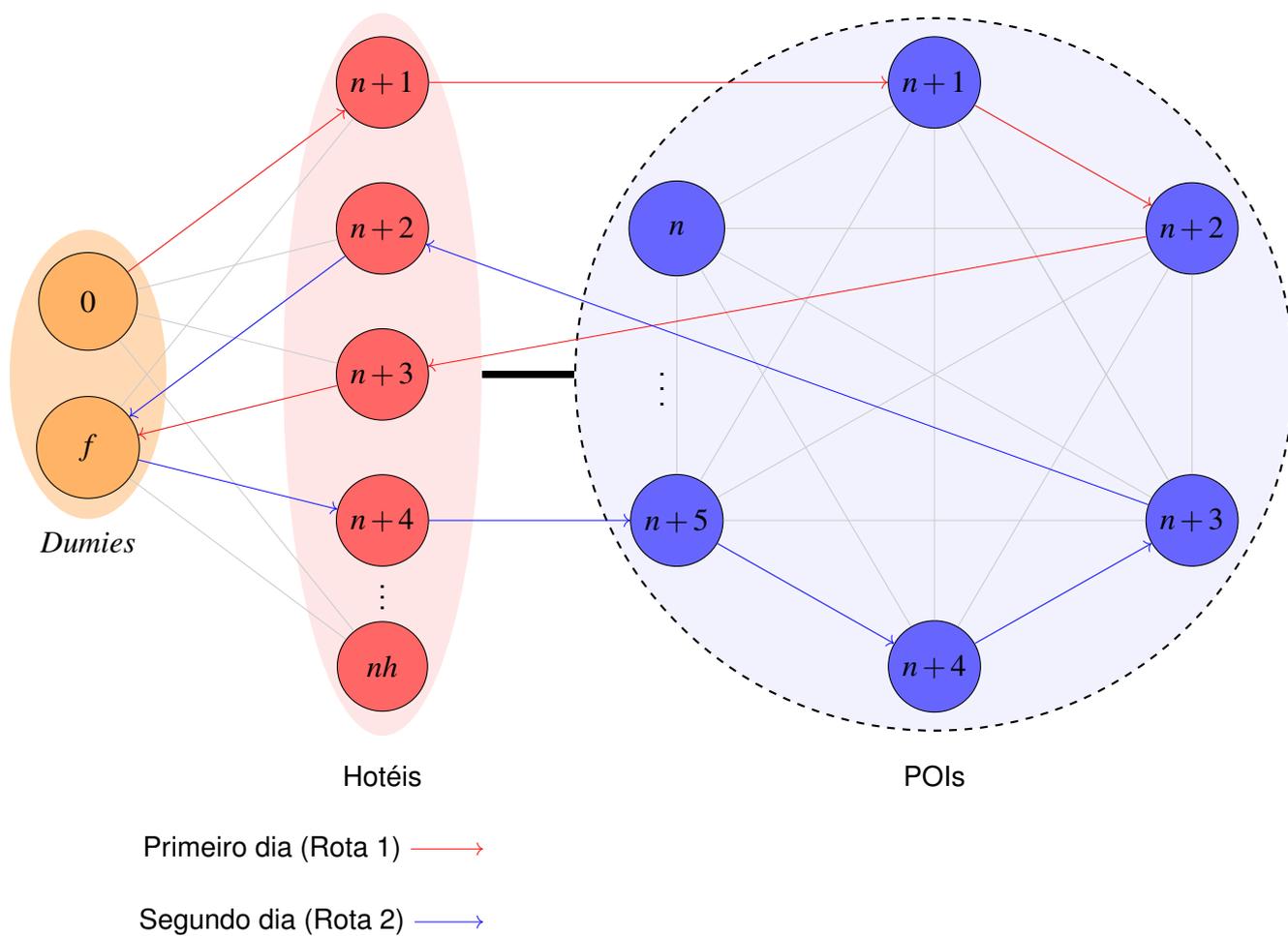


Figura 4.3 – Solução.



# 5

## Resultados

Este capítulo apresenta os resultados computacionais, que foram feitos para avaliar o método proposto.

### 5.1 Ambiente de execução

O método exato foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação C++ e executado utilizando o pacote *Cplex* (software de otimização da IBM) versão 12.9, abaixo é ilustrado uma lista com as especificações completas do ambiente de execução:

- **Processador:** *CPU Intel® Xeon(R) E5-2670 0 @ 2,60GHz × 24*
- **Sistema Operacional:** Linux Mint 20.3 Una 64-bit
- **Kernel:** *Kernel Linux 5.4.0-94-generic x86\_64*
- **Memória:** 100 GiB.

### 5.2 Experimentos computacionais

Nesta seção, avaliamos os resultados do nosso método exato e comparamos com os resultados do GA-VND proposto por [Divsalar et al. \(2014b\)](#).

Como foi visto, na formulação do OPHS-TW deste trabalho,  $T_i$  (tempo de vista em cada POI) é considerado. No entanto, nas instâncias propostas por [Divsalar et al. \(2014b\)](#) (utilizadas na comparação)  $T_i$  é definido como zero, além disso foram consideradas as restrições (4.11), (4.12) com o propósito de deixar semelhante ao estudo de [Divsalar et al. \(2014b\)](#).

Os resultados foram obtidos a partir de 16 conjuntos de instâncias do OPHS-TW com base no número de hotéis e no número de viagens no passeio. Como não foi obtido o acesso ao

código do GA-VND, reportamos os resultados como estão no artigo dos autores. As instâncias foram baixadas do site <http://www.mech.kuleuven.be/en/cib/op> sendo disponibilizadas por Divsalar et al. (2014b).

Para melhor compreensão e organização, os dados estão separados em duas tabelas: a Tabela 5.1 descreve cada conjunto de instância e a Tabela 5.2 mostra os resultados computacionais. Essas tabelas são resumidas do Apêndice A que possuem 16 conjuntos de instâncias, cada conjunto é listado em uma tabela. Nesse apêndice as soluções em negrito são soluções ótimas desconhecidas e as linhas representadas por ‘—’ são soluções que apresentaram inconsistências.

Experimentos computacionais foram realizados em 395 instâncias. No entanto, algumas dessas instâncias estavam inconsistentes. Portanto, foram excluídas da base de testes. No total, 22 instâncias estavam inconsistentes, já que na janela de tempo o tempo de abertura estava maior que o tempo de fechamento.

Tabela 5.1 – Descrição do conjunto de instâncias de Divsalar et al. (2014b).

Conjunto	POIs		Hotéis intermediários	Trip	Total de instâncias	Inconsistentes
	Menor	Maior				
1	31	101	1	2	35	2
2	31	101	2	3	35	0
3	31	101	5	3	35	1
4	31	101	3	4	35	1
5	31	101	6	4	35	0
6	63	99	10	4	22	2
7	63	99	10	5	22	2
8	63	99	10	6	22	3
9	63	99	12	4	22	2
10	63	99	12	5	22	0
11	63	99	12	6	22	1
12	63	99	15	4	22	0
13	63	99	15	5	22	0
14	63	99	15	6	22	2
15	99	99	15	8	13	5
16	99	99	15	10	9	1
Total					395	22

A Tabela 5.1 contém uma descrição detalhada de 16 conjuntos de instâncias. Os conjuntos de instâncias são separadas por características comuns, como o mesmo número de hotel intermediário e *trip*. A coluna ‘Conjunto’ lista os conjuntos de instâncias, As colunas ‘Menor’ e ‘Maior’ indicam, respectivamente, a quantidade mínima e máxima de POIs no conjunto, a coluna

‘Hotéis intermediários’ é o número de hotéis que fazem conexões entre os dias da viagem (excluindo o hotel inicial e final). A coluna ‘*Trip*’ contém o número total de viagens (ou rotas). Note que, um conjunto de ‘*Trip*’ conectados é chamado de *Tour*. A coluna ‘Total de instâncias’ descreve o número total de instâncias por conjunto. A coluna ‘inconsistentes’ descreve o número total de instâncias que tiveram alguma inconsistência por conjunto. Por fim, é apresentado um sumário com o total. Os testes foram realizados apenas nas instâncias corretas, o que equivale ao número total de instâncias menos as instâncias incorretas, igual a 373 instâncias.

A Tabela 5.2 compara o método proposto com o algoritmo GA-VND de [Divsalar et al. \(2014b\)](#). A coluna ‘Conjunto’ lista os 16 conjuntos de instâncias que também correspondem à Tabela 5.1. A coluna ‘Total’ corresponde ao número total de instâncias corretas usadas nos testes por cada conjunto. As colunas ‘T(s)’ representam o tempo médio de execução de cada conjunto de instância. As colunas ‘GAP’ representam o gap médio de execução de cada conjunto de instâncias.

Tabela 5.2 – **Resumo da comparação do algoritmo exato versus GA-VND.**

Conjunto	Total	Exato				GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	Melhor	T(s)	GAP	Ótimo
1	33	10,45	0,00	33	5	0,31	0,43	28
2	35	9,92	0,00	35	3	0,44	0,18	32
3	34	22,19	0,00	34	4	0,87	0,26	30
4	34	3443,12	0,00	34	1	0,69	0,18	33
5	35	144,51	0,00	35	4	2,16	0,80	31
6	20	3794,72	0,96	19	1	46,15	0,13	19
7	20	3975,06	0,67	19	4	115,95	0,28	16
8	19	3208,86	0,57	18	3	148,59	0,50	16
9	20	2382,84	0,00	20	2	71,04	0,06	18
10	22	5021,39	0,52	21	3	196,95	0,37	19
11	21	4911,53	1,18	19	3	265,02	0,45	18
12	22	3998,65	0,21	21	2	179,91	0,11	20
13	22	3994,75	0,18	21	0	396,36	0,00	22
14	20	1896,81	0,00	20	2	471,98	0,49	18
15	8	6238,27	1,38	7	1	975,92	0,01	7
16	8	13681,86	4,28	5	0	900,11	0,00	8
Média		3545,93	0,62			235,78	0,27	
Total	373			361	38			335

O GAP é definido na Equação 5.1, onde *best* é a melhor solução encontrada e *x* é a melhor solução obtida pelo método. Note que o GAP é o percentual que mede o quão próximo a melhor solução obtida está da melhor solução encontrada.

$$GAP = \left( \frac{best - x}{best} \right) * 100 \quad (5.1)$$

Ainda na Tabela 5.2, as colunas 'Ótimo' representam o número total de soluções ótimas para cada conjunto de instâncias. A coluna 'Melhor' representa o número total de soluções melhores que GA-VND, para cada conjunto de instâncias. Por fim, é apresentado um sumário com o total e a média em relação a todos os conjuntos apresentados na tabela.

O método exato não conseguiu resolver algumas instâncias devido à complexidade delas. Nesse caso, finalizou a execução por conta da restrição de tempo ou de memória. No entanto, algoritmo conseguiu provar o ótimo de várias instâncias. As instâncias que apresentaram maior dificuldade para resolver foram as instâncias 100-200 e 100-210 dos conjuntos 6 à 16. Abordagem exata encontrou 361 soluções ótimas de 373 instâncias utilizadas, o que corresponde ao percentual de 96.78%. Foram estabelecidas 38 novas melhores soluções, das quais todas foram comprovadas como ótimas. Os resultados são promissores e uma vez que as soluções ótimas para essas instâncias são conhecidas, elas podem ser usadas como referência para pesquisas futuras.

### 5.3 Protótipo de Aplicação do OPHSTW no contexto Alagoas

Este trabalho também simulou a criação de itinerários turísticos no contexto de Alagoas. Na simulação foi utilizado o tempo das viagens real. O tempo de viagem foi coletado por meio da *Application Programming Interface (API) distance matrix* do Google, que também é fornecida a distância. Para calcular o tempo de viagem foi preciso fornecer as coordenadas dos POIs que foram coletas no site <https://dados.al.gov.br> do governo de Alagoas e as coordenadas dos hotéis que foram coletas no Google *maps*. Nos Apêndices B e C são apresentados, respectivamente:

- Matriz de distância (sendo utilizado somente o tempo de deslocamento). Note que para saber o tempo de deslocamento de um ponto a outro na matriz é verificado o índice de origem com o de destino, onde a primeira coluna da matriz é a origem e o destino é a primeira linha da matriz. O tempo de viagem de um ponto a ele mesmo não é considerado;
- Coordenadas que foram utilizadas para gerar a matriz.

Na Figura 5.1 há um exemplo de um protótipo para uma aplicação real. Esse protótipo possui exemplo da coleta dos dados entrada para o modelo. Os dados principais que precisam do preenchimento pelo usuário são: a pontuação de cada atrativo (que define o tanto que o turista deseja visitar o POI); a data de ida e volta, na simulação de Alagoas os hotéis de

Figura 5.1 – Protótipo da Aplicação.

**Cidades** + **Categorias** +

Delmiro, Pão de Açúcar, Piranhas Histórico, Cultural, Sol e Praia

**1º**  
Histórico/Cultural  
Abre: 08:00  
Fecha: 16:00  
Tempo: 1 hora

**2º**  
Histórico/Cultural  
Abre: 09:00  
Fecha: 17:00  
Tempo: 1 hora

**Ida** 02/08/2022 **Volta** 04/08/2022

**Tempo do passeio**

1º Dia 3 h  
2º Dia 8 h  
3º Dia 5 h

**Criar itinerário**

início e fim não são definidos pelo usuário, no entanto, eles são selecionados pelo modelo de otimização, para isso as Restrições 4.11 e 4.12 do modelo não foram utilizadas na simulação; o tempo do passeio em cada dia e o tempo de visitação em cada POI também são definidos.

Tabela 5.3 – Descrição das atrações utilizadas na simulação de Maceió

Código	Atração	Cidade	Visita ( $T_i$ )	Pontuação	Aberto	Fechado
1	Pontal da Barra	Maceió	60 min	5	09:00	15:30
2	Passeio das 9 ilha	Maceió	360 min	5	08:00	09:00
3	Praia da Pajuçara	Maceió	180 min	2	08:00	12:30
4	Praia Ponta Verde	Maceió	180 min	3	10:00	15:00
5	Praia da Jatiúca	Maceió	240 min	4	10:00	13:30
6	Praia de Cruz das Almas	Maceió	180 min	3	07:00	15:00
7	Praia de Jacarecica	Maceió	180 min	2	08:00	13:00
8	Praia da Guaxuma	Maceió	180 min	2	08:00	12:30
9	Praia da Garça Torta	Maceió	360 min	4	08:00	09:00
10	Praia de Riacho Doce	Maceió	180 min	2	08:00	12:30
11	Praia Mirante da Sereia	Maceió	180 min	3	08:00	14:00
12	Praia de Ipioca	Maceió	180 min	1	10:00	13:30
13	Praia da Ponta do Mangue	Maceió	180 min	3	08:00	14:00
14	Centro Histórico de Jaraguá	Maceió	90 min	5	08:00	13:00

Na simulação foram utilizados 14 POIs e 6 hotéis. Na Tabela 5.3 são descritos os dados dos POIs, a coluna 'Código' possui a identificação de cada POI. A coluna 'Atração' possui o nome

de cada atração. A coluna 'Cidade' possui as cidades utilizadas na simulação. A coluna 'Visita ( $T_i$ )' tem o tempo estimado de visita a cada POI. A coluna 'Pontuação' é definido um valor 1 a 5 que mede o tanto que um turista deseja visitar o POI. As colunas 'Aberto' e 'Fechado' são definidos o período para iniciar o serviço. Note que se o serviço é iniciado na janela é garantido o tempo de visita ( $T_i$ ) integral sem depender do tempo de fechamento da janela.

Na Tabela 5.4 apresenta a lista de hotéis utilizados, para que a simulação do problema ficasse mais realista foram realizadas as consultas dos hotéis (nomes e coordenadas) utilizando os sites *Booking* (é um site que possibilita a busca de hotéis e reserva de hospedagem) e *Google maps*. Assim como os POIs da Tabela 5.3, cada hotel também possui um índice, ilustrado na coluna 'Código'. A coluna 'Hotel' possui o nome de cada hotel.

Tabela 5.4 – Descrição dos hotéis utilizados na simulação de Maceió.

Código	Hotel
15	Hotel Bomfim
16	Sun Paradise - JTR
17	Pousada das Araras
18	Poutur Pousada
19	Hotel Ponta Verde Maceió
20	Brisa do Mar

Na Tabela 5.5 é disponibilizada a solução para Maceió utilizando o método exato. Nessa solução foi definido que o tempo do passeio é 1º dia: 9h30min; 2º dia: 9h00min; 3º dia: 5h30min; 4º dia: 8h30min. Na coluna 'Dia' numera os passeios utilizados. Na coluna *Trip* descreve a conexão dos passeios. A coluna 'Pontuação' informa a pontuação obtida por dia de viagem. Nas Figuras 5.2 à 5.5 representam a solução gráfica da simulação do estado de Maceió.

Tabela 5.5 – Solução Maceió com 4 dias.

Dia	<i>Trip</i>	Pontuação
1º	18 → 2 → 4 → 19	8
2º	19 → 14 → 8 → 11 → 17	10
3º	17 → 10 → 1 → 19	7
4º	19 → 5 → 6 → 17	7
Total		32

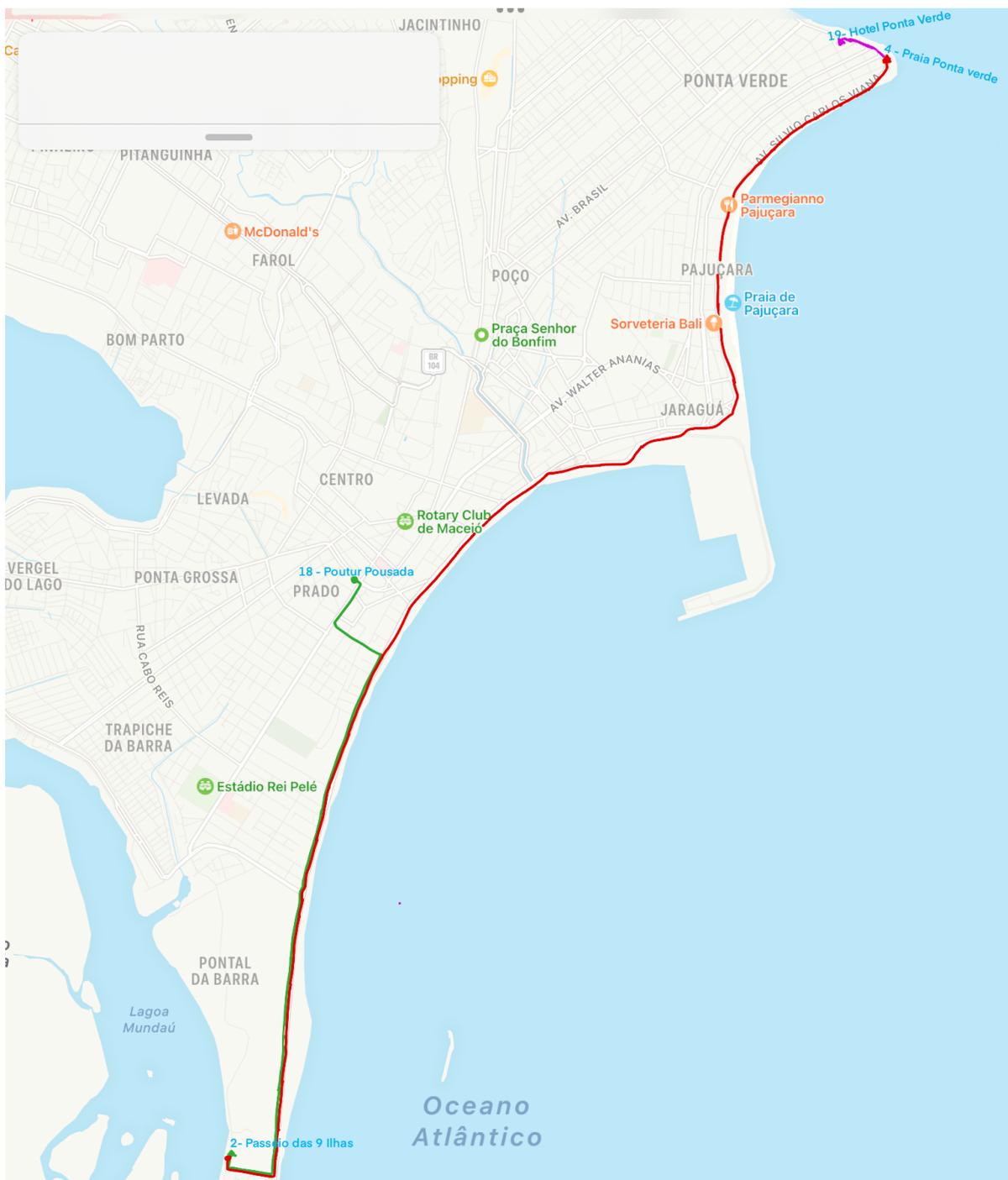
A Tabela 5.6 possui 11 colunas, onde a primeira é o código correspondente aos dados da Tabela 5.3 (com exceção a pontuação) e os dados dos hotéis da Tabela 5.4. As colunas S(1) a S(10) são as pontuações das instâncias geradas aleatórias de 1 a 5. As soluções exatas são obtidas no sumário 'FO' que é a função objetivo e 'T(s)' é o tempo de execução por cada solução. O algoritmo exato obteve uma média de execução de 4,36 segundos para executar 10 instâncias com 20 vértices.

Tabela 5.6 – Teste Maceió

Código	S(1)	S(2)	S(3)	S(4)	S(5)	S(6)	S(7)	S(8)	S(9)	S(10)
1	5	3	5	3	1	5	2	3	3	2
2	4	1	4	3	3	2	4	5	4	4
3	5	1	1	3	3	2	1	1	5	5
4	5	3	4	4	4	1	5	5	2	4
5	2	4	1	1	3	1	5	3	1	2
6	1	3	2	5	4	5	1	2	2	1
7	2	2	2	1	4	5	3	2	5	1
8	2	3	5	1	4	4	5	4	2	5
9	2	2	5	2	3	3	3	4	3	1
10	2	4	5	5	2	5	1	2	5	1
11	3	2	4	4	3	5	3	1	3	1
12	2	4	2	3	2	5	5	1	1	1
13	4	3	3	3	5	5	3	2	1	2
14	2	2	5	3	3	4	4	1	1	2
FO	30	30	37	33	31	41	36	27	30	26
T(s)	2,64	8,24	4,45	1,67	8,38	8,82	2,44	2,59	2,44	1,88

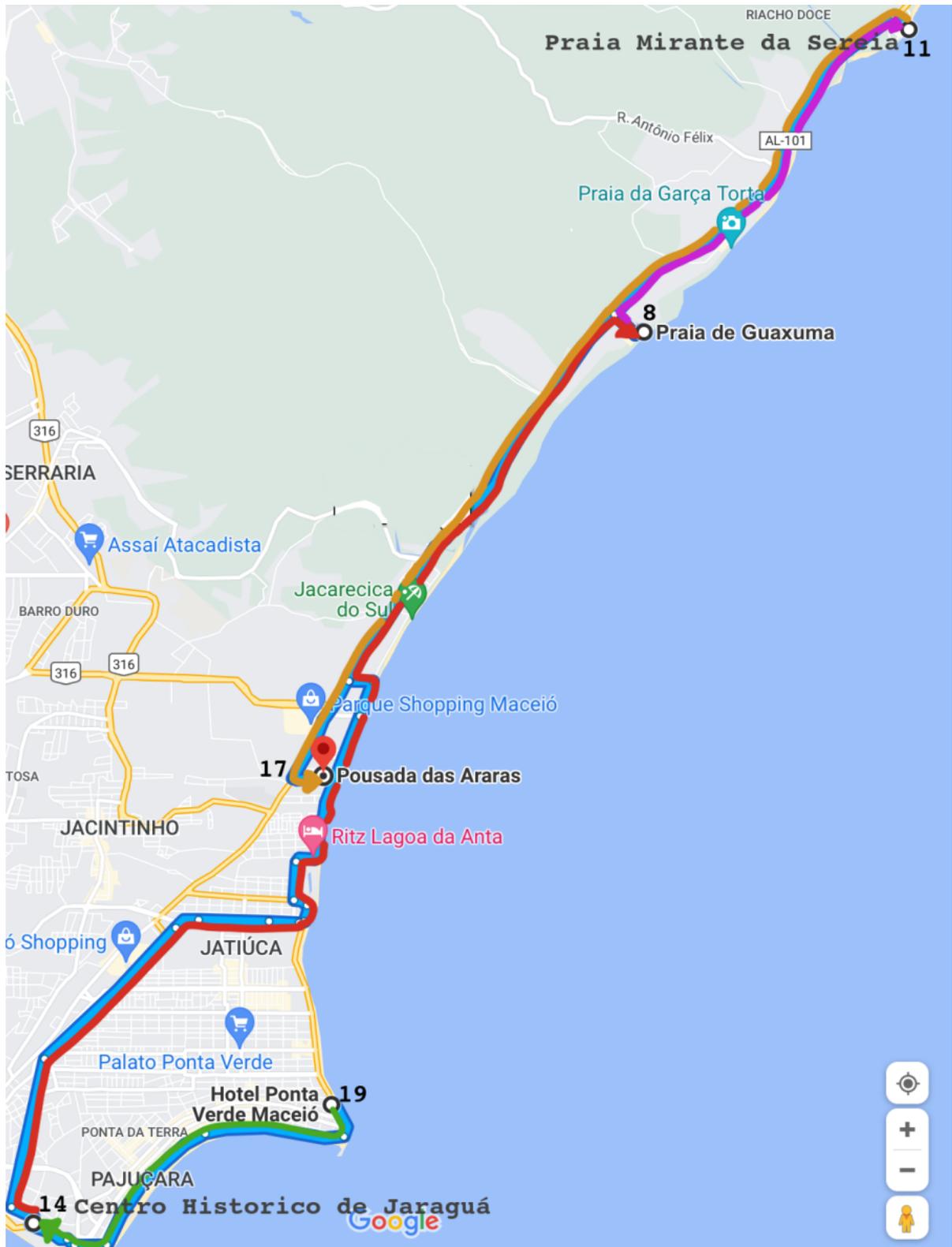
Percebe-se que na elaboração de um roteiro é considerada: a preferência do atrativo; o tempo de visita por dia, por atração; total de dias; seleção de hotéis; tempo deslocamento de um ponto ao outro; horário de início da visita. Então nota-se que a elaboração de roteiros turísticos não é uma tarefa fácil. No entanto, a utilização de métodos de otimização como o OPHSTW pode facilitar a criação itinerário turístico de forma satisfatório. A preferência do usuário (pontuação) foi definida por cada atrativo, no entanto, dificilmente um turista conseguiria avaliar um atrativo que nunca visitou, mas essa preferência poderia se dar pelo segmento (cultural, praia, histórico). Após pontuar a preferência do segmento, o algoritmo poderia escolher o POI mais bem avaliado por turistas que já visitaram o atrativo.

Figura 5.2 – Primeiro dia (Tour Maceió).



Fonte: Figura do *Apple Maps* e editada pelo autor.

Figura 5.3 – Segundo dia (Tour Maceió).



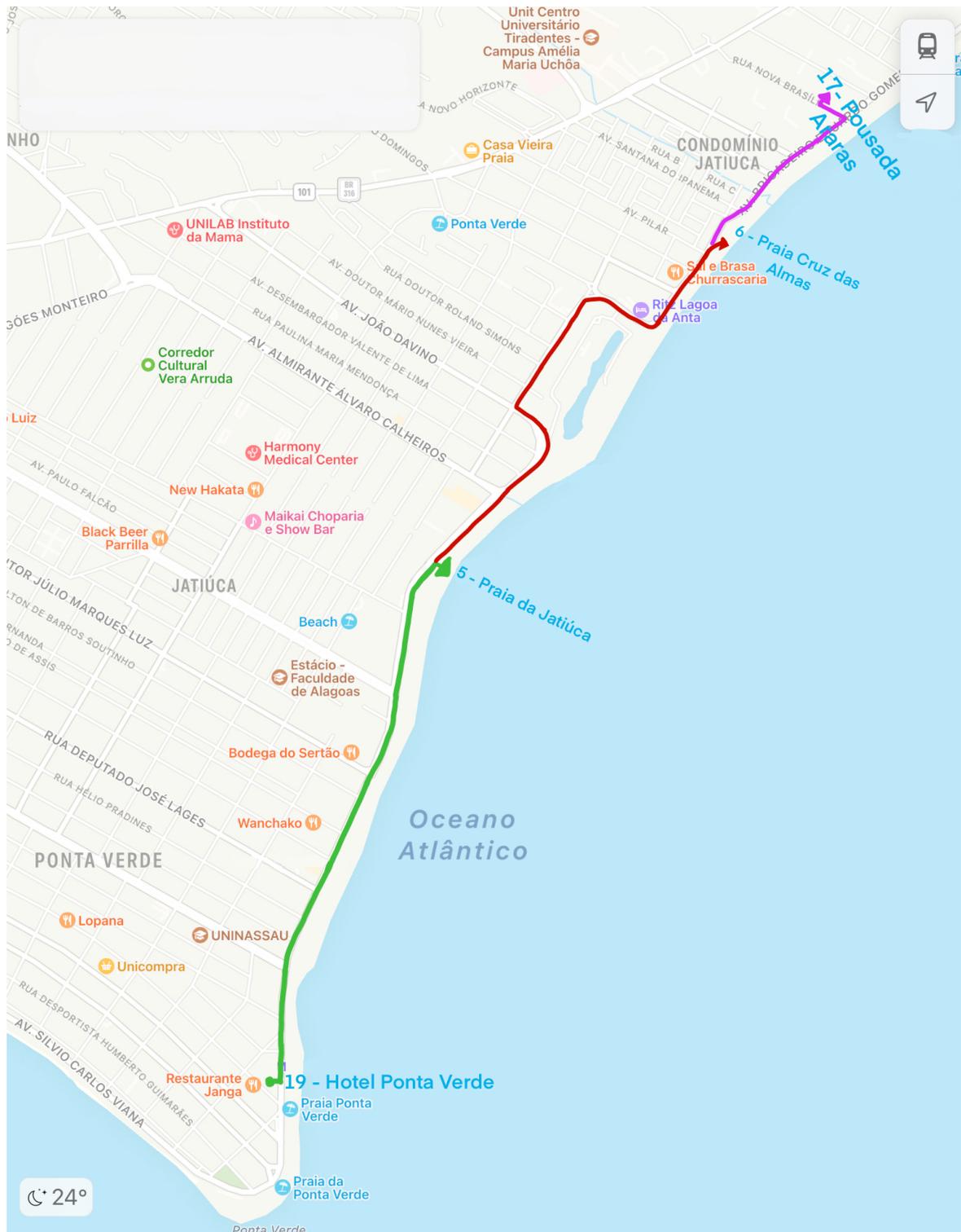
Fonte: Figura do Google Maps e editada pelo autor.

Figura 5.4 – Terceiro dia (Tour Maceió).



Fonte: Figura do *Apple Maps* e editada pelo autor.

Figura 5.5 – Quarto dia (Tour Maceió)



Fonte: Figura do *Apple Maps* e editada pelo autor.

# 6

## Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foi proposto o primeiro método exato para o proeminente problema de geração de rotas turísticas OPHS-TW. Experimentos computacionais realizados em instâncias do OPHS-TW encontrados na literatura mostram que nosso método exato para o OPHS-TW consegue provar vários ótimos anteriormente desconhecidos. Uma vez que as soluções ótimas para essas instâncias são conhecidas, elas podem ser usadas como referência para pesquisas futuras. Das 373 instâncias usadas, apenas 12 não puderam ser resolvidas devido à exceção do limite de memória de 80 GB ou a exceção do tempo de 10 horas de execução. O algoritmo encontrou 38 soluções desconhecidas da literatura. Dessas soluções desconhecidas, todas foram comprovadas como ótimas. No total, 361 das 373 instâncias foram comprovadas, o que corresponde ao percentual de 96.78% do total de instâncias utilizadas.

A criação de itinerário turístico no contexto de Alagoas também foi simulado, utilizando pontos turísticos, hotéis e matriz de distância real. Nesses testes computacionais, o algoritmo exato obteve uma média de execução de 4,36 segundos para executar 10 instâncias com 20 vértices.

Para trabalhos futuros, serão desenvolvidos uma meta-heurística para OPHS-TW com restrições de custos e a implementação do tempo de serviço (que define o tempo de visitação a um POI). Essas contribuições podem cooperar ainda mais para a satisfação dos turistas na geração de roteiros turísticos, uma vez que um roteiro gerado nem sempre é acessível ao orçamento do turista, e o tempo de visitação em cada POI é fundamental para que o turista planeje o tempo ideal de visitação em cada POI. Para que o problema seja mais realista, também é planejado desenvolver um modelo com múltiplas janelas de tempo, já que alguns POIs possuem vários horários de abertura e fechamento.

## Referências

- Claudia Archetti, Luca Bertazzi, Demetrio Laganà, and Francesca Vocaturo. The undirected capacitated general routing problem with profits. *European Journal of Operational Research*, 257(3):822–833, 2017.
- Andreas Baltz, Mourad El Ouali, Gerold Jäger, Volkmar Sauerland, and Anand Srivastav. Exact and heuristic algorithms for the travelling salesman problem with multiple time windows and hotel selection. *Journal of the Operational Research Society*, 66(4):615–626, 2015.
- Christian Blum and Andrea Roli. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM computing surveys (CSUR)*, 35(3):268–308, 2003.
- Christian Blum and Andrea Roli. Hybrid metaheuristics: an introduction. In *Hybrid Metaheuristics*, pages 1–30. Springer, 2008.
- Rafael Brito. Crescimento do turismo em alagoas impulsiona expansão hoteleira na capital e interior, Disponível em: <http://www.sedetur.al.gov.br/noticia/item/2552-crescimento-do-turismo-em-alagoas-impulsiona-expansao-hoteleira-na-capital-e-interior>, 2019. acesso em 20 de maio 2021.
- Steven E Butt and Tom M Cavalier. A heuristic for the multiple tour maximum collection problem. *Computers & Operations Research*, 21(1):101–111, 1994.
- Luís Cavique. Otimização inteira: taxonomia das meta-heurísticas. 2020.
- I-Ming Chao, Bruce L. Golden, and Edward A. Wasil. The team orienteering problem. *European Journal of Operational Research*, 88(3):464–474, 1996a. ISSN 0377-2217. DOI [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00289-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00289-4). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221794002894>.
- I-Ming Chao, Bruce L. Golden, and Edward A. Wasil. A fast and effective heuristic for the orienteering problem. *European Journal of Operational Research*, 88(3):475 – 489, 1996b. ISSN 0377-2217. DOI [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00035-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00035-6). URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221795000356>.

- YK Cheung. Implementation of the iterative three-component heuristic for the team orienteering problem with time windows. 2016.
- A. Divsalar, P. Vansteenwegen, and D. Cattrysse. A variable neighborhood search method for the orienteering problem with hotel selection. *International Journal of Production Economics*, 145(1):150–160, 2013a. ISSN 0925-5273. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.010>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527313000285>.
- Ali Divsalar, Pieter Vansteenwegen, and Dirk Cattrysse. A variable neighborhood search method for the orienteering problem with hotel selection. *International Journal of Production Economics*, 145(1):150–160, 2013b.
- Ali Divsalar, Pieter Vansteenwegen, Masoud Chitsaz, Kenneth Sörensen, and Dirk Cattrysse. Personalized multi-day trips to touristic regions: A hybrid ga-vnd approach. In Christian Blum and Gabriela Ochoa, editors, *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimisation*, pages 194–205, Berlin, Heidelberg, 2014a. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-662-44320-0.
- Ali Divsalar, Pieter Vansteenwegen, Masoud Chitsaz, Kenneth Sörensen, and Dirk Cattrysse. Personalized multi-day trips to touristic regions: A hybrid ga-vnd approach. In *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*, pages 194–205. Springer, 2014b.
- Ali Divsalar, Pieter Vansteenwegen, Kenneth Sörensen, and Dirk Cattrysse. A memetic algorithm for the orienteering problem with hotel selection. *European Journal of Operational Research*, 237(1):29–49, 2014c.
- M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 26(1): 29–41, 1996. DOI [10.1109/3477.484436](https://doi.org/10.1109/3477.484436).
- Thomas A Feo and Mauricio GC Resende. Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of global optimization*, 6(2):109–133, 1995.
- Damianos Gavalas, Charalampos Konstantopoulos, Konstantinos Mastakas, and Grammati Pantziou. A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems. *Journal of Heuristics*, 20(3):291–328, 2014.
- Fred Glover. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & operations research*, 13(5):533–549, 1986.
- Fred W Glover and Gary A Kochenberger. *Handbook of metaheuristics*, volume 57. Springer Science & Business Media, 2006.

- Bruce L Golden, Larry Levy, and Rakesh Vohra. The orienteering problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 34(3):307–318, 1987.
- GOV. Turismo tem faturamento recorde de R\$ 136,7 bilhões em 2019, Disponível em. <https://www.gov.br/pt-br/noticias/viagens-e-turismo/2019/10/turismo-tem-faturamento-recorde-de-r-136-7-bilhoes-em-2019>, 2019. acesso em 11 de fevereiro 2021.
- Aldy Gunawan and Hoong Chuin Lau. A fast algorithm for personalized travel planning recommendation. PATAT, 2016.
- Aldy Gunawan, Hoong Chuin Lau, Pieter Vansteenwegen, and Kun Lu. Well-tuned algorithms for the team orienteering problem with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 68(8):861–876, 2017.
- John H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975.
- AH Land and AG Doig. An automatic method of solving discrete programming problems. *econometrica*. v28. 1960.
- Helena R. Lourenço, Olivier C. Martin, and Thomas Stützle. *Iterated Local Search: Framework and Applications*, pages 363–397. Springer US, Boston, MA, 2010. ISBN 978-1-4419-1665-5. DOI [10.1007/978-1-4419-1665-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1665-5_12). URL [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1665-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1665-5_12).
- Patrícia Mourão. Prefeitura inicia construção do primeiro Plano Municipal de Turismo de Maceió, Disponível em. <https://maceio.al.gov.br/noticias/semtel/prefeitura-inicia-construcao-do-primeiro-plano-municipal-de-turismo-de-maceio>, 2021. acesso em 01 de agosto 2022.
- Singiresu S Rao. Engineering optimization: Theory and practice, by john wiley & sons. *Inc.*, New Jersey, 2009.
- Kenneth Sörensen and Fred Glover. Metaheuristics. *Encyclopedia of operations research and management science*, 62:960–970, 2013.
- Marques Moreira Sousa, Pedro Henrique González, Luiz Satoru Ochi, and Simone de Lima Martins. A hybrid iterated local search heuristic for the traveling salesperson problem with hotel selection. *Computers Operations Research*, 129:105229, 2021. ISSN 0305-0548. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105229>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054821000216>.

- Hao Tang and Elise Miller-Hooks. A tabu search heuristic for the team orienteering problem. *Computers & Operations Research*, 32(6):1379–1407, 2005.
- Theodore Tsiligirides. Heuristic methods applied to orienteering. *Journal of the Operational Research Society*, 35(9):797–809, 1984.
- Pieter Vansteenwegen and Dirk Van Oudheusden. The mobile tourist guide: an or opportunity. *OR insight*, 20(3):21–27, 2007.
- Pieter Vansteenwegen, Wouter Souffriau, Greet Vanden Berghe, and Dirk Van Oudheusden. *Metaheuristics for Tourist Trip Planning*, pages 15–31. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009a. ISBN 978-3-642-00939-6. DOI 10.1007/978-3-642-00939-6<sub>2</sub>. URL [https://doi.org/10.1007/978-3-642-00939-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-00939-6_2).
- Pieter Vansteenwegen, Wouter Souffriau, Greet Vanden Berghe, and Dirk Van Oudheusden. A guided local search metaheuristic for the team orienteering problem. *European journal of operational research*, 196(1):118–127, 2009b.
- Pieter Vansteenwegen, Wouter Souffriau, Greet Vanden Berghe, and Dirk Van Oudheusden. Iterated local search for the team orienteering problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 36(12):3281 – 3290, 2009c. ISSN 0305-0548. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.03.008>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030505480900080X>. New developments on hub location.

# Apêndice A

## Resultado de 16 Conjuntos de instâncias

Tabela A.1 – Conjunto 1 (1-2)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
32-65	31	0,82	0	240	0,13	0,00	240
32-70	31	0,77	0	260	0,12	0,00	260
32-73	31	0,67	0	265	0,1	0,00	265
32-75	31	0,82	0	270	0,12	0,00	270
32-80	31	0,57	0	280	0,09	0,00	280
32-85	31	1,87	0	285	0,12	0,00	285
33-65	32	0,64	0	610	0,1	0,00	610
33-75	32	1,13	0	670	0,13	0,00	670
33-80	---	---	---	---	---	---	---
33-85	32	0,89	0	740	0,14	0,00	740
33-90	32	0,85	0	770	0,14	0,00	770
33-95	32	0,55	0	790	0,15	0,00	790
33-100	32	0,93	0	800	0,11	0,00	800
33-105	32	1,21	0	800	0,11	0,00	800
64-45	63	1,02	0	816	0,34	0,00	816
64-50	63	22,16	0	876	0,57	0,00	876
64-55	63	8,86	0	960	0,49	0,00	960
64-60	63	25,36	0	1062	0,58	0,00	1062
64-65	63	4,47	0	<b>1116</b>	0,68	2,15	1092
64-70	63	22,13	0	1170	0,79	0,00	1170
64-75	63	39,53	0	<b>1224</b>	0,74	8,33	1122
64-80	63	38,24	0	<b>1284</b>	0,76	1,87	1260
66-40	65	1,9	0	570	0,28	0,00	570
66-45	65	1,63	0	645	0,29	0,00	645
66-50	65	2,75	0	715	0,32	0,00	715
66-55	65	1,67	0	825	0,34	0,00	825
66-60	65	2,2	0	910	0,37	0,00	910
66-125	65	44,86	0	<b>1665</b>	0,74	0,60	1655
66-130	65	109,46	0	<b>1675</b>	0,9	1,19	1655
100-30	---	---	---	---	---	---	---
100-35	99	1,04	0	241	0,11	0,00	241
100-40	99	1,65	0	299	0,14	0,00	299
100-45	99	2,8	0	367	0,1	0,00	367
102-50	101	0,57	0	181	0,07	0,00	181
102-60	101	0,87	0	243	0,08	0,00	243

Tabela A.2 – Conjunto 2 (2-3)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	ótimo	T(s)	GAP	Solução
32-65	31	0,61	0	240	0,18	0,00	240
32-70	31	1,08	0	260	0,21	0,00	260
32-73	31	1,28	0	265	0,19	0,00	265
32-75	31	1,5	0	270	0,2	0,00	270
32-80	31	0,86	0	280	0,22	0,00	280
32-85	31	1,53	0	285	0,18	0,00	285
33-65	32	0,82	0	610	0,2	0,00	610
33-75	32	1,24	0	670	0,18	0,00	670
33-80	32	2,84	0	710	0,19	0,00	710
33-85	32	0,95	0	740	0,21	0,00	740
33-90	32	0,77	0	770	0,2	0,00	770
33-95	32	0,84	0	790	0,22	0,00	790
33-100	32	2,74	0	800	0,19	0,00	800
33-105	32	1,07	0	800	0,23	0,00	800
64-45	63	2,46	0	816	0,35	0,00	816
64-50	63	4,9	0	870	0,4	0,00	870
64-55	63	8,25	0	<b>960</b>	0,69	2,50	936
64-60	63	4,6	0	<b>1062</b>	0,67	1,69	1044
64-65	63	9,05	0	<b>1116</b>	1,12	2,15	1092
64-70	63	66,42	0	1170	1,24	0,00	1170
64-75	63	11,91	0	1218	1,09	0,00	1218
64-80	63	58,03	0	1284	1,3	0,00	1284
66-40	65	1,19	0	570	0,23	0,00	570
66-45	65	1,49	0	645	0,31	0,00	645
66-50	65	1,57	0	715	0,36	0,00	715
66-55	65	1,73	0	825	0,49	0,00	825
66-60	65	3,08	0	910	0,58	0,00	910
66-125	65	82,02	0	1665	1,34	0,00	1665
66-130	65	68,03	0	1675	1,36	0,00	1675
100-30	99	0,6	0	173	0,21	0,00	173
100-35	99	0,86	0	241	0,22	0,00	241
100-40	99	0,8	0	299	0,22	0,00	299
100-45	99	1,26	0	367	0,25	0,00	367
102-50	101	0,37	0	181	0,16	0,00	181
102-60	101	0,47	0	243	0,18	0,00	243

Tabela A.3 – Conjunto 3 (5-3)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	ótimo	T(s)	GAP	Solução
32-65	31	1,3	0	240	0,33	0,00	240
32-70	31	1,66	0	260	0,33	0,00	260
32-73	31	1,3	0	265	0,36	0,00	265
32-75	31	0,89	0	270	0,37	0,00	270
32-80	31	1,47	0	280	0,37	0,00	280
32-85	31	1,74	0	285	0,44	0,00	285
33-65	32	2,11	0	610	0,37	0,00	610
33-75	32	1,36	0	670	0,39	0,00	670
33-80	---	---	---	---	---	---	---
33-85	32	0,88	0	740	0,41	0,00	740
33-90	32	2,17	0	770	0,46	0,00	770
33-95	32	2,35	0	790	0,44	0,00	790
33-100	32	4,71	0	800	0,45	0,00	800
33-105	32	1,18	0	800	0,47	0,00	800
64-45	63	2,39	0	816	0,66	0,00	816
64-50	63	7,56	0	870	0,8	0,00	870
64-55	63	21,82	0	960	1,25	0,00	960
64-60	63	3,98	0	1062	1,73	0,00	1062
64-65	63	11,75	0	<b>1116</b>	1,85	2,15	1092
64-70	63	183,81	0	1170	1,89	0,00	1170
64-75	63	7,16	0	1218	2,06	0,00	1218
64-80	63	161,62	0	<b>1284</b>	2,4	3,27	1242
66-40	65	2,06	0	570	0,45	0,00	570
66-45	65	3,16	0	645	0,56	0,00	645
66-50	65	3,92	0	715	0,78	0,00	715
66-55	65	5,83	0	825	1,04	0,00	825
66-60	65	3,98	0	910	1,04	0,00	910
66-125	65	144,12	0	<b>1665</b>	2,83	0,60	1655
66-130	65	163,06	0	<b>1675</b>	2,81	2,99	1625
100-30	99	0,56	0	173	0,35	0,00	173
100-35	99	1,14	0	241	0,4	0,00	241
100-40	99	0,95	0	299	0,38	0,00	299
100-45	99	1,45	0	367	0,47	0,00	367
102-50	101	0,35	0	181	0,27	0,00	181
102-60	101	0,61	0	243	0,29	0,00	243

Tabela A.4 – Conjunto 4 (3-4)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
32-65	31	1,05	0	240	0,24	0,00	240
32-70	31	0,52	0	260	0,29	0,00	260
32-73	31	1,32	0	265	0,31	0,00	265
32-75	31	0,98	0	270	0,3	0,00	270
32-80	31	2,23	0	280	0,36	0,00	280
32-85	31	1,61	0	285	0,35	0,00	285
33-65	32	1,18	0	610	0,31	0,00	610
33-75	32	0,92	0	670	0,33	0,00	670
33-80	32	0,75	0	710	0,29	0,00	710
33-85	32	0,92	0	740	0,36	0,00	740
33-90	32	1,11	0	770	0,42	0,00	770
33-95	32	1,2	0	790	0,39	0,00	790
33-100	32	2,05	0	800	0,46	0,00	800
33-105	32	1,43	0	800	0,42	0,00	800
64-45	63	2,65	0	816	0,5	0,00	816
64-50	63	9,48	0	858	0,68	0,00	858
64-55	63	4,57	0	954	0,65	0,00	954
64-60	63	13,03	0	1062	0,86	0,00	1062
64-65	63	9,16	0	1116	1,15	0,00	1116
64-70	63	23,57	0	1170	1,27	0,00	1170
64-75	63	15,25	0	1218	1,67	0,00	1218
64-80	63	9,25	0	1284	1,73	0,00	1284
66-40	65	1,02	0	570	0,44	0,00	570
66-45	65	1,53	0	645	0,48	0,00	645
66-50	65	2,58	0	715	0,54	0,00	715
66-55	65	3,3	0	825	0,6	0,00	825
66-60	65	4,86	0	910	0,62	0,00	910
66-125	65	200,55	0	1665	2,44	0,00	1665
66-130	65	6545,62	0	<b>1675</b>	2,82	5,97	1575
100-30	99	---	---	---	---	---	---
100-35	99	0,83	0	241	0,44	0,00	241
100-40	99	0,94	0	299	0,46	0,00	299
100-45	99	1,09	0	367	0,48	0,00	367
102-50	101	0,65	0	181	0,34	0,00	181
102-60	101	0,75	0	243	0,39	0,00	243

Tabela A.5 – Conjunto 5 (6-4)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
32-65	31	1,31	0	240	0,92	0,00	240
32-70	31	1,05	0	260	1,05	0,00	260
32-73	31	1,7	0	265	1,11	0,00	265
32-75	31	15,69	0	270	1,09	0,00	270
32-80	31	0,92	0	280	1,24	0,00	280
32-85	31	1,91	0	285	1,33	0,00	285
33-65	32	1,16	0	610	0,9	0,00	610
33-75	32	1,06	0	670	1,34	0,00	670
33-80	32	1,45	0	710	1,14	0,00	710
33-85	32	1,09	0	740	1,31	0,00	740
33-90	32	1,65	0	770	1,19	0,00	770
33-95	32	29,86	0	790	1,37	0,00	790
33-100	32	2,68	0	800	1,67	0,00	800
33-105	32	2,73	0	800	1,58	0,00	800
64-45	63	4,52	0	816	1,37	0,00	816
64-50	63	22,11	0	858	2,12	0,00	858
64-55	63	17,98	0	954	3,14	0,00	954
64-60	63	5,08	0	1062	3,29	0,00	1062
64-65	63	5,28	0	1116	4,39	0,00	1116
64-70	63	193,87	0	1170	6,15	0,00	1170
64-75	63	82,21	0	1218	5,7	0,00	1218
64-80	63	56,25	0	1284	5,43	0,00	1284
66-40	65	1,21	0	570	0,89	0,00	570
66-45	65	2,46	0	645	0,9	0,00	645
66-50	65	1,94	0	715	1,29	0,00	715
66-55	65	6,17	0	825	1,64	0,00	825
66-60	65	5,05	0	910	1,84	0,00	910
66-125	65	154,77	0	<b>1665</b>	7,38	1,50	1640
66-130	65	4429,88	0	<b>1675</b>	8,75	0,60	1665
100-30	99	0,58	0	<b>200</b>	0,71	13,50	173
100-35	99	0,73	0	241	0,70	0,00	241
100-40	99	0,87	0	299	0,75	0,00	299
100-45	99	1,25	0	367	0,72	0,00	367
102-50	101	0,59	0	<b>207</b>	0,56	12,56	181
102-60	101	0,69	0	243	0,64	0,00	243

Tabela A.6 – Conjunto 6 (10-4)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
64-75	63	179,74	0	1218	34,1	0,00	1218
64-80	63	223,81	0	1284	35,86	0,00	1284
66-125	65	212,97	0	1665	37,69	0,00	1665
66-130	65	12883,23	0	<b>1675</b>	45,89	3,69	1630
100-50	99	5,28	0	399	1,11	0,00	399
100-60	99	5,25	0	504	1,63	0,00	504
100-70	99	12,09	0	590	2,63	0,00	590
100-80	99	13,05	0	652	6,46	0,00	652
100-90	99	44,67	0	725	11,99	0,00	725
100-100	---	---	---	---	---	---	---
100-110	99	85,44	0	835	26,06	0,00	835
100-120	99	506,92	0	886	34,94	0,00	886
100-130	---	---	---	---	---	---	---
100-140	99	982,87	0	1013	36,17	0,00	1013
100-150	99	2042,93	0	1056	51,7	0,00	1056
100-160	99	3370,39	0	1114	55,98	0,00	1114
100-170	99	594,78	0	1164	66,46	0,00	1164
100-180	99	3081,12	0	1198	73,85	0,00	1198
100-190	99	2937,19	0	1229	77,66	0,00	1229
100-200	99	9137,17	0	1257	89,66	0,00	1257
100-210	99	12837,43	0,00	1281	107,05	0,00	1281
100-240	99	35780,86	19,22	1055	126,07	0,00	1306

Tabela A.7 – Conjunto 7 (10-5)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
64-75	63	1444,23	0	1218	58,59	0,00	1218
64-80	63	34,08	0	1284	65,44	0,00	1284
66-125	65	235,82	0	1665	95,45	0,00	1665
66-130	65	1066,1	0	<b>1675</b>	95,91	0,90	1660
100-50	99	3,58	0	393	1,56	0,00	393
100-60	99	5,82	0	504	1,91	0,00	504
100-70	---	---	---	---	---	---	---
100-80	99	12	0	652	6,83	0,00	652
100-90	99	15,05	0	725	13,96	0,00	725
100-100	99	65,26	0	774	33,12	0,00	774
100-110	99	25,23	0	835	34,69	0,00	835
100-120	99	635,95	0	<b>886</b>	69,78	1,02	877
100-130	---	---	---	---	---	---	---
100-140	99	592,88	0	1013	96,59	0,00	1013
100-150	99	3895,22	0	1049	136,28	0,00	1049
100-160	99	911,95	0	1114	157,63	0,00	1114
100-170	99	15902,8	0	1164	162,29	0,00	1164
100-180	99	1483,2	0	<b>1193</b>	265,13	3,52	1151
100-190	99	4855,93	0	<b>1226</b>	226,85	0,24	1223
100-200	99	3670,41	0	1253	234,8	0,00	1253
100-210	99	8613,88	0	1281	222,36	0,00	1281
100-240	99	36031,78	13,37	1121	339,73	0,00	1294

Tabela A.8 – Conjunto 8 (10-6)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
64-75	63	837,06	0	1218	80,62	0,00	1218
64-80	63	54,72	0	1284	86,49	0,00	1284
66-125	65	264,12	0	<b>1660</b>	135,71	3,01	1610
66-130	65	949,17	0	<b>1670</b>	140,18	0,90	1655
100-50	99	2,28	0	<b>436</b>	2,29	5,50	412
100-60	99	4,64	0	504	2,58	0,00	504
100-70	99	---	---	---	---	---	---
100-80	99	8,40	0	652	4,59	0,00	652
100-90	99	32,3	0	725	11,53	0,00	725
100-100	---	---	---	---	---	---	---
100-110	99	53,51	0	835	40,81	0,00	835
100-120	99	201,83	0	886	72,95	0,00	886
100-130	99	399,39	0	943	82,22	0,00	943
100-140	99	686,93	0	1013	104,39	0,00	1013
100-150	99	1588,99	0	1048	136,46	0,00	1048
100-160	99	208,54	0	1114	185,45	0,00	1114
100-170	99	2180,91	0	1164	216,62	0,00	1164
100-180	---	---	---	---	---	---	---
100-190	99	653,78	0	1226	345,18	0,00	1226
100-200	99	2479,8	0	1253	322,82	0,00	1253
100-210	99	14347,4	0	1281	322,36	0,00	1281
100-240	99	36,02	10,80	1165	529,87	0,00	1306

Tabela A.9 – Conjunto 9 (12-4)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
64-75	63	453,71	0	<b>1218</b>	59,27	0,49	1212
64-80	63	48,07	0	1284	58,06	0,00	1284
66-125	65	66,08	0	1665	74,7	0,00	1665
66-130	65	5563,48	0	1675	73,65	0,00	1675
100-50	99	5,4	0	399	1,63	0,00	399
100-60	99	6,94	0	504	2,48	0,00	504
100-70	99	22,94	0	590	4,44	0,00	590
100-80	99	51,94	0	652	10,29	0,00	652
100-90	99	158,14	0	725	19,91	0,00	725
100-100	99	159,35	0	774	25,92	0,00	774
100-110	99	683,71	0	835	54,91	0,00	835
100-120	99	688,41	0	886	58,47	0,00	886
100-130	99	336,11	0	953	72,47	0,00	953
100-140	99	371,52	0	1013	79,51	0,00	1013
100-150	99	695,24	0	1056	108,37	0,00	1056
100-160	99	4532,44	0	1114	104,44	0,00	1114
100-170	---	---	---	---	---	---	---
100-180	99	2872,87	0	1198	138,27	0,00	1198
100-190	99	11846,16	0	1229	139,36	0,00	1229
100-200	99	1402,3	0	1257	156,36	0,00	1257
100-210	99	17691,89	0	<b>1281</b>	178,29	0,70	1272
100-240	99	---	---	---	---	---	---

Tabela A.10 – Conjunto 10 (12-5)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
64-75	63	379,1	0	1218	112,68	0,00	1218
64-80	63	59,12	0	<b>1284</b>	118,43	1,87	1260
66-125	65	263,27	0	1665	180,78	0,00	1665
66-130	65	3710,06	0	1675	167,6	0,00	1675
100-50	99	7,1	0	393	1,93	0,00	393
100-60	99	5,26	0	504	2,95	0,00	504
100-70	99	7,46	0	590	5,73	0,00	590
100-80	99	15,63	0	652	13,43	0,00	652
100-90	99	20,56	0	725	25,44	0,00	725
100-100	99	90,56	0	774	55,96	0,00	774
100-110	99	338,51	0	835	65,02	0,00	835
100-120	99	1250,23	0	886	96,74	0,00	886
100-130	99	1018,44	0	943	142,04	0,00	943
100-140	99	651,86	0	1013	198,91	0,00	1013
100-150	99	3406,3	0	1049	237,33	0,00	1049
100-160	99	1785,39	0	1114	239,54	0,00	1114
100-170	99	19622,96	0	<b>1164</b>	444,81	4,98	1106
100-180	99	5926,57	0	1193	350,97	0,00	1193
100-190	99	15746,72	0	1226	388,31	0,00	1226
100-200	99	8267,36	0	<b>1253</b>	416,15	1,36	1236
100-210	99	11869,06	0	1281	472,68	0,00	1281
100-240	99	36029,03	11,41	1157	595,57	0,00	1306

Tabela A.11 – Conjunto 11 (12-6)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
64-75	63	553,27	0	1218	145,40	0,00	1218
64-80	63	132,59	0	1284	146,98	0,00	1284
66-125	65	35,12	0	<b>1665</b>	223,71	3,00	1615
66-130	65	2522,58	0	<b>1675</b>	267,16	0,30	1670
100-50	99	2,18	0	<b>439</b>	2,74	6,15	412
100-60	99	3,94	0	504	2,94	0,00	504
100-70	---	---	---	---	---	---	---
100-80	99	37,29	0	652	12,27	0,00	652
100-90	99	53,13	0	725	19,82	0,00	725
100-100	99	74,13	0	769	43,03	0,00	769
100-110	99	124,9	0	835	64,86	0,00	835
100-120	99	392,48	0	886	97,26	0,00	886
100-130	99	258,26	0	943	134,3	0,00	943
100-140	99	3439,55	0	1013	230,96	0,00	1013
100-150	99	2359,17	0	1049	239,76	0,00	1049
100-160	99	908,92	0	1114	290,62	0,00	1114
100-170	99	3564,71	0	1164	369,75	0,00	1164
100-180	99	9848,76	0	1193	435,61	0,00	1193
100-190	99	5354,33	0	1226	545,45	0,00	1226
100-200	99	1446,36	0	1253	738,76	0,00	1253
100-210	99	36018,37	5,78	1207	716,65	0,00	1281
100-240	99	36012,02	18,99	1058	837,44	0,00	1306

Tabela A.12 – Conjunto 12 (15-4)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
64-75	63	393,36	0	1218	130,66	0,00	1218
64-80	63	112,56	0	1284	147,38	0,00	1284
66-125	65	604,41	0	<b>1665</b>	166,24	1,80	1635
66-130	65	2687,39	0	1675	168,81	0,00	1675
100-50	99	3,98	0	399	1,72	0,00	399
100-60	99	6,26	0	504	1,94	0,00	504
100-70	99	15,75	0	590	3,30	0,00	590
100-80	99	17,41	0	652	9,92	0,00	652
100-90	99	133,82	0	725	39,66	0,00	725
100-100	99	68,94	0	774	30,86	0,00	774
100-110	99	185,57	0	835	108,03	0,00	835
100-120	99	967,24	0	886	134,57	0,00	886
100-130	99	896,34	0	953	155,06	0,00	953
100-140	99	1331,46	0	1013	177,92	0,00	1013
100-150	99	1761,93	0	1056	216,73	0,00	1056
100-160	99	3342,1	0	1114	222,68	0,00	1114
100-170	99	1110,76	0	<b>1164</b>	268,33	0,69	1156
100-180	99	1630,79	0	1198	299,16	0,00	1198
100-190	99	7029,65	0	1229	362,8	0,00	1229
100-200	99	3606,65	0	1257	377,75	0,00	1257
100-210	99	26045,61	0	1281	420,13	0,00	1281
100-240	99	36018,28	4,59	1246	514,43	0,00	1306

Tabela A.13 – Conjunto 13 (15-5)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
64-75	63	516,44	0	1218	246,08	0,00	1218
64-80	63	242,87	0	1284	275,67	0,00	1284
66-125	65	842,46	0	1665	331,59	0,00	1665
66-130	65	186,64	0	1675	348,04	0,00	1675
100-50	99	2,96	0	393	2,38	0,00	393
100-60	99	12,51	0	504	3,19	0,00	504
100-70	99	9,44	0	590	3,21	0,00	590
100-80	99	18,53	0	652	7,89	0,00	652
100-90	99	31,78	0	725	22,16	0,00	725
100-100	99	110,68	0	774	75,01	0,00	774
100-110	99	383,32	0	835	119,87	0,00	835
100-120	99	471,68	0	886	144,66	0,00	886
100-130	99	991,93	0	943	250,14	0,00	943
100-140	99	735,11	0	1013	369,1	0,00	1013
100-150	99	2106,06	0	1049	462,97	0,00	1049
100-160	99	1480,02	0	1114	523,83	0,00	1114
100-170	99	5486,97	0	1164	600,5	0,00	1164
100-180	99	8317,14	0	1193	1038,03	0,00	1193
100-190	99	15768,61	0	1226	978,51	0,00	1226
100-200	99	6892,62	0	1253	772,14	0,00	1253
100-210	99	7250,09	0	1281	855	0,00	1281
100-240	99	36026,57	3,91	1255	1290	0,00	1306



Tabela A.15 – Conjunto 15 (15-8)

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
100-100	99	61,1	0	750	27,56	0,00	750
100-110	---	---	---	---	---	---	---
100-120	---	---	---	---	---	---	---
100-130	---	---	---	---	---	---	---
100-140	---	---	---	---	---	---	---
100-150	99	818,68	0	1044	308,78	0,00	1044
100-160	99	1022,16	0	1114	405,03	0,00	1114
100-170	99	1001,21	0	1164	567,23	0,00	1164
100-180	99	4498,03	0	1188	915,49	0,00	1188
100-190	---	---	---	---	---	---	---
100-200	99	4783,1	0	<b>1252</b>	1282,62	0,08	1251
100-210	99	1705,98	0	1281	1585,05	0,00	1281
100-240	99	36015,91	11,017	1155	2715,62	0,00	1298

Tabela A.16 – **Conjunto 16 (15-10)**

Nome	POIs	EXATO			GA-VND		
		T(s)	GAP	Ótimo	T(s)	GAP	Solução
100-140	99	---	---	---	---	---	---
100-150	99	1379,33	0	1038	158,26	0,00	1038
100-160	99	473,13	0	1114	217,47	0,00	1114
100-170	99	411,64	0	1164	572,36	0,00	1164
100-180	99	3308,63	0	1182	691,8	0,00	1182
100-190	99	30492,63	10,29	1090	748,15	0,00	1215
100-200	99	1371,35	0,00	1251	922,21	0,00	1251
100-210	99	36016,07	9,44	1151	1636,09	0,00	1271
100-240	99	36002,1	14,55	1116	2254,52	0,00	1306

# Apêndice B

## Coordenadas

Tabela B.1 – **Coordenadas Sertão**

Código	Longitude	Latitude
1	-9.6218825445163	-37.79669725119823
2	-9.63009767944081	-37.78477457681713
3	-9.623580555555556	-37.753575
4	-9.671161111111111	-37.65946388888889
5	-9.624969444444446	-37.75410277777777
6	-9.671443446395447	-37.66044506309587
7	-9.524379113521995	-37.880862433312075
8	-9.422923814281850	-38.18364442418620
9	-9.749994444444443	-37.44783055555556
10	-9.603938545397204	-37.768763344152475
11	-9.608838761838351	-37.76265044543369
12	-9.749476094042024	-37.432415258772345
13	-9.372027243841272	-37.99420413591547
14	-9.393643391461657	-38.00307691225499
15	-9.497524579831913	-37.829204026413564
16	-9.497664679739325	-37.82988557291119

Tabela B.2 – Coordenadas Maceió

Código	Longitude	Latitude
1	-9.69605517159951	-35.78017068629510
2	-9.689629830288220	-35.7740021361158
3	-9.663804940803400	-35.70506599504110
4	-9.663231211607800	-35.69554174977270
5	-9.645197409785890	-35.69911006554310
6	-9.639008218137070	-35.69823170529150
7	-9.616385251873340	-35.6892400574223
8	-9.592104374645870	-35.6684891874493
9	-9.587708856914540	-35.66379677251350
10	-9.57586287770571	-35.65513227160370
11	-9.565450491957560	-35.64521684335300
12	-9.530799943419160	-35.60425662092510
13	-8.933294444444442	-35.165927777777775
14	-9.672125	-35.723847222222223
15	-9.661745366641126	-35.729240324268474
16	-9.652174154037438	-35.69825350608212
17	-9.630876729523333	-35.69777865579632
18	-9.667013736485316	-35.74357821503382
19	-9.66153611263287	-35.696510647792564
20	-9.670681602167221	-35.71816701723714

# Apêndice C

## Matriz de distância Google

De  $i$  (Primeira coluna), para  $j$  (primeira linha)

Tabela C.1 – Matriz Sertão

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		5	13	109	14	109	38	68	99	9	10	94	40	41	16	17
2	5		12	108	13	108	37	67	98	8	9	93	39	40	16	16
3	13	12		109	9	109	40	70	99	9	6	95	42	43	19	19
4	108	107	108		109	1	112	142	114	104	103	110	114	116	92	92
5	14	13	9	110		110	41	71	100	10	7	96	43	45	20	21
6	108	107	108	1	109		112	142	114	104	103	110	114	116	92	92
7	37	36	39	112	41	112		64	102	34	34	98	36	38	21	21
8	70	69	72	145	73	145	67		135	67	67	131	33	34	54	54
9	99	98	99	116	101	116	103	133		96	94	10	105	107	83	83
10	8	7	9	105	10	105	35	65	95		3	91	37	39	14	15
11	8	8	6	106	8	106	37	67	96	6		92	39	41	16	16
12	92	91	92	109	94	109	96	126	7	89	87		98	100	76	76
13	41	40	43	116	45	116	38	31	106	38	38	102		8	25	25
14	40	39	43	116	44	116	37	34	106	38	37	101	8		24	25
15	16	15	18	92	20	92	21	51	82	13	13	78	23	25		1
16	17	16	19	92	20	92	21	51	82	14	14	78	23	25	1	

Tabela C.2 – **Matriz Maceió**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		5	18	20	25	27	32	38	38	40	43	50	168	15	15	24	29	13	21	16
2	5		16	18	23	25	30	36	36	38	41	49	166	14	14	22	28	12	19	14
3	21	17		2	8	9	14	21	21	23	26	33	151	6	12	6	12	13	3	5
4	23	19	2		5	7	12	18	19	21	23	31	149	8	14	4	10	16	1	8
5	25	21	10	8		2	7	13	13	15	18	26	143	16	14	3	4	17	7	14
6	27	23	14	14	7		5	11	12	14	16	24	142	19	16	9	3	19	13	16
7	30	26	19	19	13	11		7	7	9	12	19	137	22	19	15	6	22	19	21
8	36	32	25	25	19	16	7		4	6	9	17	134	27	25	21	12	28	24	26
9	36	32	25	25	19	16	8	4		4	7	15	133	28	25	21	12	28	25	27
10	38	34	27	27	21	18	10	6	5		4	11	129	30	27	23	14	30	27	29
11	41	37	30	30	24	22	13	9	8	4		10	127	33	30	26	17	33	30	32
12	50	46	39	39	32	30	21	18	16	13	10		122	41	39	34	26	41	38	40
13	168	164	156	157	150	148	139	136	134	131	128	122		159	157	152	144	159	156	158
14	16	12	9	11	14	16	20	26	26	28	31	39	157		8	15	18	9	12	6
15	19	15	12	14	15	16	21	27	27	29	32	40	157	10		15	19	10	14	9
16	26	22	7	4	2	3	8	15	15	17	20	27	145	13	15		6	18	4	12
17	27	22	15	15	9	7	5	10	10	13	15	23	141	18	16	11		18	15	17
18	15	10	12	14	16	18	23	28	29	31	33	41	159	10	6	18	20		15	11
19	24	20	3	1	5	6	11	18	18	20	23	31	148	9	15	3	9	16		8
20	18	14	6	9	13	15	20	26	27	29	31	39	157	3	9	12	18	11	9	