



**UFOP**

Universidade Federal  
de Ouro Preto

**Universidade Federal de Ouro Preto  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Departamento de Computação e Sistemas**

**Desenvolvimento de um módulo  
analítico para soluções do Problema  
de Transporte Escolar**

**João Marcos Soares Ferreira Reis**

**TRABALHO DE  
CONCLUSÃO DE CURSO**

**ORIENTAÇÃO:  
Rafael Frederico Alexandre**

**Dezembro, 2019  
João Monlevade–MG**

**João Marcos Soares Ferreira Reis**

**Desenvolvimento de um módulo analítico para  
soluções do Problema de Transporte Escolar**

Orientador: Rafael Frederico Alexandre

Monografia apresentada ao curso de Engenharia da Computação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

**Universidade Federal de Ouro Preto**

**João Monlevade**

**Dezembro de 2019**

R375d

Reis, João Marcos Soares Ferreira.

Desenvolvimento de um módulo analítico para soluções do problema de transporte escolar [manuscrito] / João Marcos Soares Ferreira Reis. - 2019.

54f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Frederico Alexandre.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Computação e Sistemas de Informação.

1. Sistemas de recuperação da informação - Transportes. 2. Transporte escolar - ônibus. 3. Aplicações web. I. Alexandre, Rafael Frederico. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 004.9

Catálogo: [ficha.sisbin@ufop.edu.br](mailto:ficha.sisbin@ufop.edu.br)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO E SISTEMAS

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

João Marcos Soares Ferreira Reis

Desenvolvimento de um módulo analítico para soluções do Problema de Transporte Escolar

## Membros da banca

Rafael Frederico Alexandre (Orientador) - Doutor - Universidade Federal de Ouro Preto  
Samuel Souza Brito- Mestre - Universidade Federal de Ouro Preto  
Fernando Bernardes de Oliveira - Doutor - Universidade Federal de Ouro Preto  
George Henrique Godim da Fonseca - Doutor - Universidade Federal de Ouro Preto

## Versão final

Aprovado em 10 de dezembro de 2019

## De acordo

Rafael Frederico Alexandre



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Frederico Alexandre, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/12/2019, às 16:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0030146** e o código CRC **738341D5**.

**Referência:** Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.204248/2019-53

SEI nº 0030146

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000  
Telefone: - www.ufop.br

*Este trabalho é dedicado aos meus pais.*

# Agradecimentos

Agradeço à Deus e à todos que me apoiaram nessa jornada. Em especial aos meus pais e minha irmã pela confiança e apoio, aos meus amigos pelos momentos de descontração e conselhos. Agradeço também, ao meu orientador Rafael Frederico Alexandre, pela motivação e conhecimento passados durante o desenvolvimento desse trabalho. Sozinho não teria forças para chegar até aqui.

*“It’s fine to celebrate success but is more important to heed the lessons of failure”*

— Bill Gates (1955 –)

# Resumo

O Problema de Roteamento de Veículos Escolares atinge diversos municípios brasileiros. Isso se deve à dificuldade de se planejar rotas eficientes para o transporte dos alunos das suas casas até a escola e vice-versa, atendendo a um conjunto de restrições impostas. A análise de todas as variáveis do problema se torna uma tarefa nada trivial já que as soluções encontradas podem ser melhores que as outras em alguma das dimensões do problema. Em otimização multiobjetivo, cada uma dessas variáveis pode ser modelada como um objetivo do problema que está sendo solucionado. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta *web* para auxiliar na tomada de decisões com base na otimização multiobjetivo. Para isso, foram utilizadas as tecnologias *React*, *ChartJS*, *AdminLTE*, *Java* e o *PostgreSQL*. O resultado final foi uma aplicação que permite a análise dos dados obtidos com o Problema de Roteamento de Veículos Escolares e a avaliação da solução mais adequada para o problema.

**Palavras-chaves:** Problema de Roteamento de Veículos Escolares. Otimização Multiobjetivo. Tomada de Decisão.

# Abstract

The School Vehicle Routing Problem affects several Brazilian cities. This is due to the difficulty of planning efficient routes for the student transportation from their homes to school and vice versa, attending of a set of restrictions imposed. The analysis of all the variables of the problem becomes an nontrivial task since the found solutions may be better than the other in some of the dimensions of the problem. In multiobjective optimization, each of the variables can be modeled as an objective of the problem being solved. This project presents the development of a WEB tool to help decision making based on multiobjective optimization. For this, we used the technologies React, ChartJS, AdminLTE, Java and the PostgreSQL. The final result was an application that allows analysis of the data obtained with the School Vehicle Routing Problem and the evaluating the most appropriate solution to the problem.

**Key-words:** School Vehicle Routing Problem. Multiobjective Optimization. Decision Making.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama apresentando os módulos de todo o projeto e suas relações. Os módulos destacados foram o foco desse trabalho. . . . .	16
Figura 2 – Ilustração da Dominância de Pareto . . . . .	23
Figura 3 – Representação da Fronteira de Pareto a partir do espaço de decisão . . . . .	23
Figura 4 – Exemplo de plotagem por dispersão. . . . .	24
Figura 5 – Exemplo de gráfico de coordenadas radiais. . . . .	25
Figura 6 – Exemplo de gráfico de coordenadas paralelas. . . . .	26
Figura 7 – Popularidade dos <i>frameworks</i> e <i>bibliotecas Javascript</i> avaliada pelo uso de <i>tags</i> na página do <i>StackOverflow</i> . . . . .	28
Figura 8 – Página de demonstração do <i>AdminLTE</i> . . . . .	29
Figura 9 – Área superior da página inicial da aplicação. . . . .	34
Figura 10 – Página inicial da aplicação no contexto estado. . . . .	35
Figura 11 – Exemplos de gráficos gerados no contexto estado. . . . .	35
Figura 12 – Página inicial da aplicação no contexto município. . . . .	36
Figura 13 – Exemplos de gráficos gerados no contexto municípios relacionados às viagens. . . . .	36
Figura 14 – Exemplos de gráficos gerados no contexto municípios relacionados à quantidade de veículos e de alunos. . . . .	37
Figura 15 – Página de análise. . . . .	37
Figura 16 – Seleção de turno para o gráfico de tomada de decisão. . . . .	38
Figura 17 – Seleção de funções objetivo para o gráfico de tomada de decisão. . . . .	38
Figura 18 – Gráfico de coordenadas paralelas da aplicação, apresentando as soluções não dominadas do problema. . . . .	39
Figura 19 – Caixa de diálogo para o contexto solução. . . . .	39
Figura 20 – Página do contexto solução. . . . .	40
Figura 21 – Botão de exportação de gráficos. . . . .	40
Figura 22 – Gráfico apresentando a porcentagem de alunos por turno. . . . .	48
Figura 23 – Gráfico apresentando a porcentagem de alunos por tipo da escola. . . . .	49
Figura 24 – Gráfico apresentando a quantidade de alunos que percorrem a mesma distância. . . . .	49
Figura 25 – Gráfico apresentando a quantidade de alunos por tipo de ensino. . . . .	50
Figura 26 – Gráfico apresentando a quantidade de alunos por características especi- ais. Nesse contexto, <i>outlier</i> são alunos muito distantes de suas escolas ou que moram em áreas isoladas. . . . .	50
Figura 27 – Gráfico apresentando a porcentagem do total de viagens em relação ao turno. . . . .	51

Figura 28 – Gráfico apresentando a quantidade de veículos por tipo do carro. . . .	51
Figura 29 – Gráficos apresentando dados sobre os veículos disponíveis. . . . .	52
Figura 30 – Gráfico apresentando o número de escolas por bairro. . . . .	53

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparação entre Extensible Markup Language (XML) e Javascript Object Notation (JSON) com relação a quantidade de caracteres no arquivo. . . . .	31
---	----

# Lista de abreviaturas e siglas

**DECSI** Departamento de Computação e Sistemas

**DOM** Document Object Model

**JSON** Javascript Object Notation

**JSX** Javascript XML

**JVM** Java Virtual Machine

**NP** Tempo Polinomial não Determinístico

**PRV** Problema de Roteamento de Veículos

**PRVA** Problema de Roteamento de Veículos Aberto

**PRVC** Problema de Roteamento de Veículos Capacitados

**PRVE** Problema de Roteamento de Veículos Escolares

**PRVJT** Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo

**PRVMD** Problema de Roteamento de Veículos com Múltiplos Depósitos

**REST** Representational State Transfer

**XML** Extensible Markup Language

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	Objetivos	17
1.2	Organização do trabalho	17
1.3	Conclusões	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
2.1	Problema de roteamento de veículos	18
2.2	Problema de roteamento de veículos escolares	19
2.3	Problemas de otimização multiobjetivo	21
2.4	Tomada de Decisão	22
2.5	Conclusão	26
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>27</b>
3.1	Tecnologias utilizadas no trabalho	27
3.1.1	ReactJS	27
3.1.2	AdminLTE	28
3.1.3	ChartJS	29
3.1.4	REST	30
3.1.5	Java	30
3.1.6	PostgreSQL	31
3.2	Metodologia	32
3.3	Conclusão	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>34</b>
4.1	Página Inicial	34
4.1.1	Contexto estadual	35
4.1.2	Contexto municipal	36
4.2	Tomada de decisão	37
4.2.1	Contexto solução	39
4.3	Geração de PDF	40
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>41</b>
5.1	Trabalhos futuros	41
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>43</b>

<b>APÊNDICES</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE A – GRÁFICOS DO CONTEXTO SOLUÇÃO DESENVOLVIDOS PELO AUTOR . . . . .</b>	<b>48</b>

# 1 Introdução

Nos municípios brasileiros existem diversos estudantes que dependem de um transporte público e gratuito para irem das suas respectivas casas até as escolas e vice-versa, já que, na maioria dos casos, não possuem condições de arcar com essa despesa. Em 2014, apenas o estado de Minas Gerais possuía aproximadamente 800.000 alunos que dependiam do transporte todos os dias (FARAJ et al., 2014). Esse transporte fica a cargo da prefeitura e conseqüentemente gera um alto custo ao município. Como o transporte é essencial para a formação educacional das pessoas e é garantido pela Lei Federal nº 9.394/96 (BRASIL, 1996), os órgãos públicos devem garantir que o serviço de transporte escolar seja fornecido. Porém, na grande maioria dos casos, os recursos para realizar esse transporte são limitados (FARAJ et al., 2014), sendo necessário encontrar uma solução para que se possa utilizar esses recursos de forma mais eficiente possível, evitando despesas desnecessárias. Desse modo, o valor economizado pode ser melhor aplicado em outras áreas como a saúde e a própria educação. Devido à complexidade de se propor rotas eficientes para o transporte de todos os alunos pode haver, em alguns casos, a aplicação de recursos desnecessários para custear as despesas do transporte. Tal complexidade ocorre devido a natureza combinatória do Problema de Roteamento de Veículos Escolares (PRVE), sendo uma variação do Problema de Roteamento de Veículos (PRV), um dos mais estudados na área de otimização combinatória (Júnior, 2017).

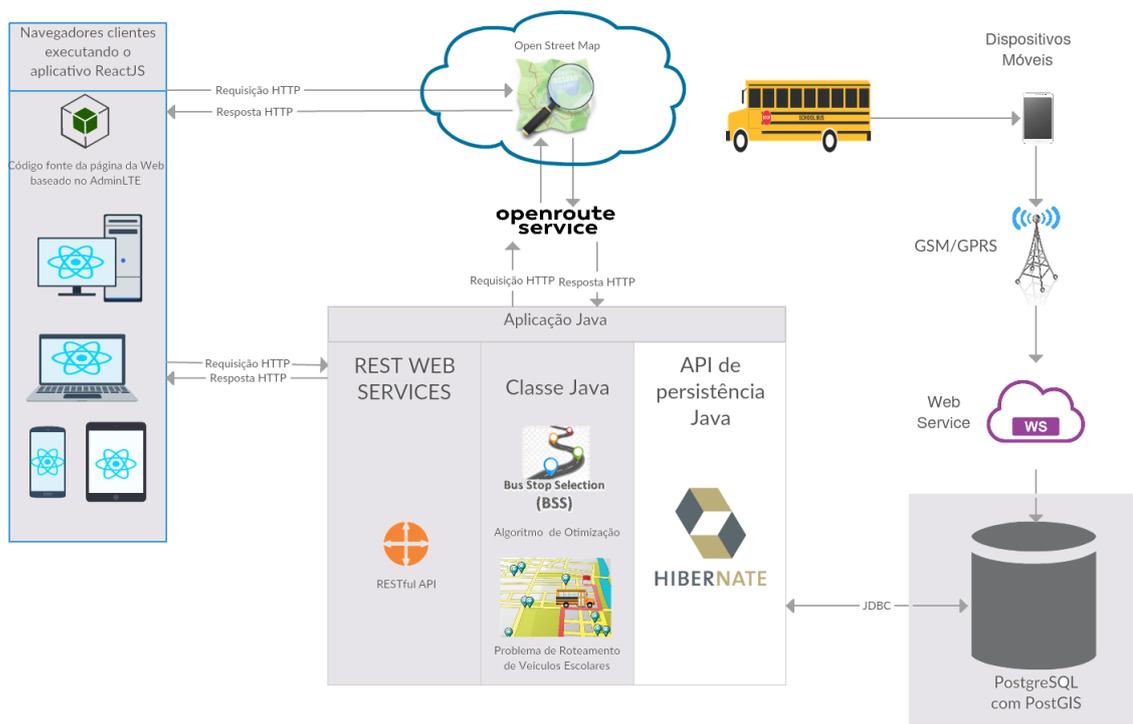
O PRVE é um clássico problema de otimização combinatória que consiste em gerar rotas de ônibus escolares, dado um conjunto de estradas, escolas, estudantes, veículos e garagens (FARAJ et al., 2014). O objetivo é transportar cada aluno de seu ponto de parada ou residência até a respectiva escola percorrendo a menor distância possível e/ou minimizando o número de veículos utilizados. Segundo Park e Kim (2010), o PRVE composto por múltiplas escolas pode ser solucionado utilizando duas abordagens básicas: i) o veículo é dedicado a uma escola de forma exclusiva ou ii) o veículo pode atender à um conjunto de escolas. Sendo a segunda uma abordagem mais complexa que a anterior, porém com possibilidade de se alcançar diversas soluções interessantes e, conseqüentemente, com um potencial maior para se alcançar o ótimo global.

Esse trabalho é um módulo de um projeto maior, desenvolvido no Departamento de Computação e Sistemas (DECSI), em paralelo com outras atividades. Na Figura 1 é possível observar um resumo ilustrado do projeto. Ele consiste em um *frontend* utilizando tecnologia *React* para interação com o cliente, esse se comunica com o *backend* através de uma *API Rest*. No *backend* ocorre a otimização do PRVE e a captura dos dados usando *Java*. Ainda na Figura 1 é possível observar que o *backend* se comunica a um banco de dados que, por sua vez, recebe os dados em tempo real dos veículos envolvidos no

transporte. Dessa maneira, é possível apresentar o deslocamento dos veículos usando a ferramenta *Open Street Map*, um projeto colaborativo que disponibiliza um banco de dados de mapas. Essas atividades, em conjunto, possuem o objetivo de englobar a maioria das necessidades dos gestores de transportes escolares. Porém, este trabalho tem como foco principal desenvolver uma parte do *frontend*, ou seja, uma *interface* na qual o usuário possa visualizar graficamente e interagir com os dados extraídos do PRVE.

Um módulo que extraia e apresente os dados coletados pelo PRVE, permitindo uma análise do usuário se faz necessário pois fornece ferramentas que permitem analisar e escolher a solução que melhor atende ao problema. Isso pode reduzir os gastos com o serviço, o número de veículos e a distância percorrida por eles. Com essa perspectiva, a partir de soluções do PRVE, esse trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta *web* que apresenta os dados de forma gráfica para que o usuário possa visualizar, compreender e analisar os resultados obtidos, facilitando a tomada de decisão.

Figura 1 – Diagrama apresentando os módulos de todo o projeto e suas relações. Os módulos destacados foram o foco desse trabalho.



Fonte: Produzido pelo autor

## 1.1 Objetivos

O presente trabalho consiste em desenvolver uma ferramenta *web* para extrair resultados da aplicação do PRVE e apresentá-los de forma gráfica, auxiliando na tomada de decisão do usuário. Este não irá propor soluções para o PRVE, mas sim, a partir de um conjunto de soluções fornecidas para o problema, fornecer uma ferramenta que permita que o analista possa visualizar, compreender e analisar os resultados obtidos, podendo escolher a solução mais adequada para a situação.

Este trabalho possui aos seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma ferramenta *web* para apresentar os dados obtidos pelo PRVE;
- Apresentar os dados citados acima de forma gráfica, clara e intuitiva para o usuário;
- Desenvolver um módulo que apresente as soluções não dominadas do problema da otimização multiobjetivo;
- Permitir que o usuário possa escolher e visualizar os dados de uma solução adequada entre as soluções não dominadas, facilitando a tomada de decisão.

## 1.2 Organização do trabalho

O restante deste trabalho é organizado como se segue. O Capítulo 2 apresenta a revisão teórica do que foi utilizado no trabalho. O Capítulo 3 demonstra as tecnologias utilizadas durante o projeto, bem como a metodologia aplicada. Já o Capítulo 4 apresenta o que foi gerado por esse trabalho. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as discussões e as conclusões obtidas do trabalho.

## 1.3 Conclusões

Neste capítulo foi apresentada uma síntese do presente trabalho, assim como os objetivos almejados. No geral, o objetivo é desenvolver uma ferramenta WEB para apresentar graficamente um conjunto de dados e tratar o problema de otimização multiobjetivo gerado pelo PRVE, facilitando que o usuário encontre uma solução que o favoreça.

## 2 Revisão bibliográfica

Este capítulo apresentará uma revisão da literatura estudada para o projeto. A [seção 2.1](#) apresenta o Problema de Roteamento de Veículos. A [seção 2.2](#) apresenta a definição e as características do Problema de Roteamento de Veículos Escolares. A [seção 2.3](#) define os Problemas de Otimização Multiobjetivo e a [seção 2.4](#) apresenta a Teoria da Tomada de Decisão.

### 2.1 Problema de roteamento de veículos

A ideia inicial do [PRV](#) foi formulada em "*Truck Dispatching Problem*" ([DANTZIG; RAMSER, 1959](#)) para modelar como uma frota de caminhões homogêneos poderia atender a demanda de petróleo de vários postos de gasolina com uma distância mínima percorrida. Com o passar do tempo essa ideia foi generalizada e consiste em achar rotas ideais para que um conjunto de veículos visite um conjunto de pontos e retorne ao ponto de partida, com o objetivo de minimizar os custos ([TOTH; VIGO, 2002](#)). O [PRV](#) é considerado um problema NP-completo, uma variação dos problemas de Tempo Polinomial não Determinístico (NP). Estes são conhecidos na comunidade por comporem grande parte dos problemas não solucionáveis da matemática, já que, até o momento, ninguém conseguiu provar que o NP-completo é solucionável em tempo polinomial ([Júnior, 2017](#)).

Atualmente, o [PRV](#) é amplamente aplicado na sociedade, porém, se apresenta como modelos imensamente diferentes do apresentado por [Dantzig e Ramser \(1959\)](#). [Júnior \(2017\)](#) apresenta alguns modelos variantes do [PRV](#) que são estudados atualmente. Entre eles, estão:

- **Problema de Roteamento de Veículos Capacitados ([PRVC](#)):** um [PRV](#) que leva em conta a capacidade dos veículos. Podendo ser homogêneo (os veículos possuem capacidades idênticas) ou heterogêneo (os veículos possuem capacidades diferentes);
- **Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo ([PRVJT](#)):** um [PRV](#) no qual cada passageiro possui uma janela de tempo específica e individual que impõe o horário de chegada ao destino;
- **Problema de Roteamento de Veículos com Múltiplos Depósitos ([PRVMD](#)):** um [PRV](#) que leva em consideração a possibilidade de haver múltiplos destinos para onde se deve transportar pessoas ou mercadorias.

Esses modelos possuem diversas variações que buscam se adaptar a algum problema específico ou melhorar a otimização do problema inicial ([KUMAR; PANNEERSELVAM,](#)

2012). Existem ainda modelos que são uma variante híbrida dos modelos citados anteriormente. Um desses modelos é o modelo discutido nesse trabalho, o **PRVE**.

## 2.2 Problema de roteamento de veículos escolares

O **PRVE** é uma variante do **PRV** que mescla os modelos **PRVC**, **PRVJT** e **PRVMD**. Introduzido por **Newton e Thomas (1969)**, se tornou um importante problema de otimização combinatória. Ele consiste em gerar rotas para que ônibus escolares transportem estudantes de suas respectivas casas até as escolas e vice-versa, levando em conta as condições das estradas, os tipos e tamanhos dos veículos, a localização das garagens e os custos do transporte (**MIRANDA et al., 2018**).

**Park e Kim (2010)** apresentam algumas classificações para o **PRVE** baseado nas características do problema. São elas:

- **Número de escolas:** o **PRVE** pode ser classificado em uma ou múltiplas escolas. Ele é comumente utilizado para múltiplas escolas, porém na literatura existem vários trabalhos que tratam o caso do **PRVE** para uma escola. Neste caso, as características das rotas dos veículos são similares às do Problema de Roteamento de Veículos Aberto (**PRVA**) (**LI; GOLDEN; WASIL, 2007**), que, diferente do **PRV**, o veículo não precisa voltar ao ponto inicial após passar por todos os pontos.

Para múltiplas escolas, **Spada, Bierlaire e Liebling (2005)** apresentam duas maneiras de se tratar o problema, a primeira consiste em trabalhar com cada escola individualmente, já a segunda permite que uma rota atenda à todas as escolas.

- **Áreas urbanas ou rurais:** as rotas do **PRVE** podem ser classificadas como áreas urbanas ou rurais. Desta forma, **Park e Kim (2010)** assumem que estudantes em áreas urbanas caminham de suas casas até o ponto de ônibus, já nas áreas rurais, por haver um menor número de estudantes, é comum buscá-los o mais próximo possível das suas casas. Outros autores, como **Chen et al. (1990)**, apresentam algumas características do **PRVE** em áreas rurais, como por exemplo a menor densidade populacional, tamanho maior das rotas e o menor número de passageiros por pontos de parada.
- **Horário escolar:** os estudantes envolvidos no **PRVE** podem ser classificados quanto ao horário de estudo. **Júnior (2017)** classifica os estudantes em três categorias: alunos de um único turno (o aluno estuda no turno da tarde ou da manhã, voltando para casa no final do seu turno), alunos de múltiplos turnos (o aluno que vai para a sua respectiva escola no início de um turno e retorna para sua casa no final de um outro turno, normalmente são alunos matriculados em duas instituições diferentes) e

alunos de horário integral (o aluno segue para escola no início da manhã e só retorna no fim da tarde).

O problema dos alunos que estudam no turno da tarde recebe menos atenção na literatura, grande parte dos estudos dedicam-se ao turno da manhã devido à alta concentração de alunos nesse turno, e apenas mencionam o turno da tarde (PARK; KIM, 2010). Segundo Bodin e Berman (1979), uma abordagem simples para resolver este problema, sem a necessidade de um processo de otimização por turno, seria o aproveitamento das rotas de um turno no outro, adicionando ou retirando pontos de parada e escolas que forem necessários.

- **Carregamento misto ou único:** o PRVE com carregamento misto consiste em alunos de diferentes escolas que podem ser atendidos por um mesmo veículo, enquanto para carregamento único cada escola possui uma frota dedicada para transportes dos seus estudantes (Júnior, 2017). Segundo Braca et al. (1997), o carregamento misto aumenta a flexibilidade das soluções, além de reduzir os custos com a redução do tamanho da frota útil.
- **Transporte de estudantes com mobilidade reduzida:** segundo Júnior (2017) estudantes com mobilidade reduzida devem ser, impreterivelmente, embarcados em suas casas, além de só poderem ser embarcados em veículos adaptados. Park e Kim (2010) ainda destaca que, os alunos com mobilidade reduzida devem ser matriculados em escolas com infraestrutura que atendam às suas necessidades, conseqüentemente tendem a percorrer longas distâncias até estas escolas.
- **Frota homogênea ou heterogênea:** o problema que uma frota heterogênea assume é que os veículos da frota possuem características diferentes, como a capacidade do veículo, custo fixo e custo variável (PARK; KIM, 2010). Em seu artigo, Newton e Thomas (1969) assumiram que todos os ônibus tinham a mesma capacidade, porém, mudaram a capacidade dos ônibus de acordo com a escola atendida, já que cada escola possuía uma quantidade máxima de alunos permitida nos veículos.
- **Objetivos:** Savas (1978) apresenta três métricas para a avaliação do serviço público: eficiência, eficácia e igualdade. A eficiência trata-se de avaliar se a relação de custo-benefício do serviço é válida. A eficácia avalia o quanto da demanda do problema é atendida pelo serviço. Já a igualdade avalia a parcialidade ou imparcialidade do serviço. Park e Kim (2010) destaca que, entre essas três métricas, a eficiência e a eficácia são as mais discutidas na literatura, poucos são os artigos que tratam do critério de igualdade.
- **Restrições:** diversas restrições podem ser consideradas no PRVE. Braca et al. (1997) e Spada, Bierlaire e Liebling (2005) destacam como restrições do problema a capacidade do veículo, o tempo máximo de condução, a distância máxima de

caminhada, a janela de tempo para embarque e desembarque de alunos nas escolas, o limite de alunos nos pontos de ônibus, o tempo de coleta por aluno e o número mínimo de alunos para criar uma rota.

Em alguns estudos, essas restrições são consideradas funções objetivos (PARK; KIM, 2010). O presente trabalho usará algumas dessas restrições para auxiliar o usuário na escolha da melhor solução do problema.

## 2.3 Problemas de otimização multiobjetivo

Os problemas do mundo real, como o PRVE, geralmente são caracterizados por diversos objetivos conflitantes (KOOCHAKSARAEI et al., 2017), alguns desses objetivos foram apresentados na seção 2.2. Esses problemas são conhecidos como problemas de otimização multiobjetivo e, na maioria dos casos, os objetivos são definidos em unidades incomparáveis e apresentam algum grau de conflito entre eles (JAIMES; MARTÍNEZ; COELLO, 2010, Capítulo 3).

No caso do PRVE, o município deseja diminuir o custo do transporte, mas também deseja reduzir o tempo médio do aluno no ônibus. Diminuindo o tempo médio dos alunos, o município precisaria de mais veículos e, conseqüentemente, aumentaria suas despesas com o transporte. Este é um exemplo de problemas de otimização multiobjetivo, no qual é possível observar que diminuir o tempo de transporte e os custos são problemas conflitantes.

O problema de otimização multiobjetivo pode ser matematicamente formulado por meio da minimização (ou maximização) de

$$F(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))^T \quad (2.1)$$

, na qual  $x \in X$ , sendo  $X$  o espaço de decisão,  $x$  é um vetor de decisão e  $f_i$ ,  $i = 1, \dots, m$  são um conjunto de funções objetivas (ZHOU et al., 2011).

Na otimização multiobjetivo dificilmente um vetor de decisões será a melhor solução para todos os objetivos. A solução ótima para cada um dos objetivos costumam ser diferentes e não satisfazem as necessidades do decisor (ARROY, 2002). Na otimização mono-objetivo, basta usar a relação de menor ou igual (JAIMES; MARTÍNEZ; COELLO, 2010), porém, para a otimização multiobjetivo, outras definições devem ser usadas para se comparar as diversas funções objetivo (COELLO, 1999). Alguns autores apresentam as seguintes definições para tratar o conjunto de soluções do problema de otimização multiobjetivo (ALEXANDRE; BARBOSA; VASCONCELOS, 2018)(JAIMES; MARTÍNEZ; COELLO, 2010)(COELLO, 1999):

- **Definição 1.** Dominância de Pareto: Um vetor  $u = \{u_1, \dots, u_m\}$ , para todo  $u \in \mathbb{R}^m$ , domina outro vetor  $v = \{v_1, \dots, v_m\}$ , para todo  $v \in \mathbb{R}^m$ , se todas as  $u_i$  forem iguais

as  $v_i$  e pelo menos uma das  $u_i$  for menor que a  $v_i$ , para os mesmos valores de  $i$ . Matematicamente representado por:

$$\forall i \in \{1, \dots, m\}, u_i \leq v_i \wedge \exists j \in \{1, \dots, m\} | u_j < v_j \quad (2.2)$$

, sendo essa relação representada como  $u \prec v$

- **Definição 2.** Solução ótima de Pareto: um vetor  $x^*$  é considerado uma solução ótima de Pareto se não houver outro vetor  $x$  tal que  $x \prec x^*$ .
- **Definição 3.** Conjunto ótimo de Pareto: o conjunto ótimo de Pareto ( $\mathcal{P}^*$ ) pode ser definido como o conjunto de soluções não dominadas. Matematicamente representado por:

$$\mathcal{P}^* = \{x \in X | \nexists y \in X : f(y) \preceq f(x)\} \quad (2.3)$$

- **Definição 4.** Fronteira de Pareto: dado o  $\mathcal{P}^*$ , a fronteira de Pareto ( $\mathcal{F}$ ) é o conjunto de soluções não dominadas e pode ser definido como:

$$\mathcal{F} = \{F(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x)) | x \in \mathcal{P}^*\} \quad (2.4)$$

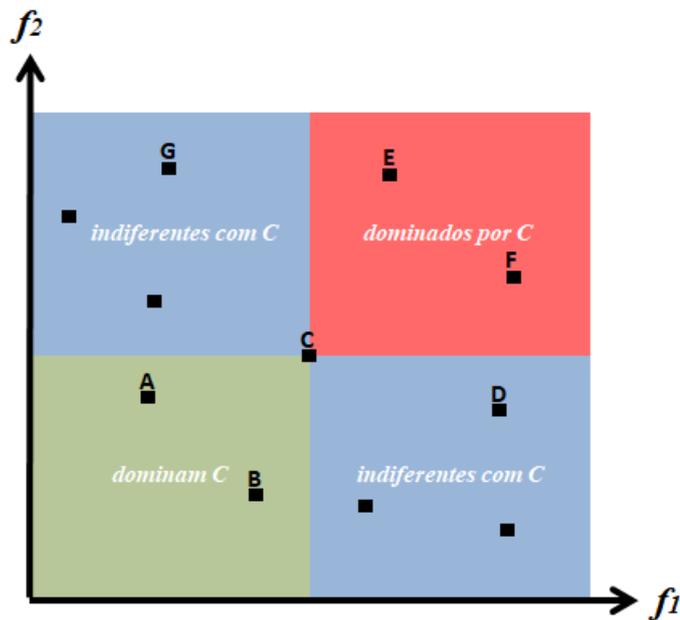
A [Figura 2](#) exemplifica a definição de Dominância de Pareto entre os objetivos  $f_1$  e  $f_2$  considerando a minimização dos objetivos. Nela, os pontos A e B dominam C, os pontos E e F são dominados por C e os pontos G e D são indiferentes de C. Já a [Figura 3](#) exemplifica o conceito de Fronteira de Pareto.

## 2.4 Tomada de Decisão

Para problemas de otimização multiobjetivo com duas ou mais soluções não dominadas, um processo muito importante para escolha da melhor opção é a tomada de decisão ([JÚNIOR, 2017](#)). A ação de tomar decisão está diretamente ligada às ações do ser humano, ela ocorre nas mais variadas circunstâncias, idades e posições sociais ([KLADIS; FREITAS, 1995](#)). No ambiente de trabalho, um modo de abordar a tomada de decisão é através do modelo racional, para isso, segundo [Bertoncini et al. \(2013\)](#), o tomador de decisão deve:

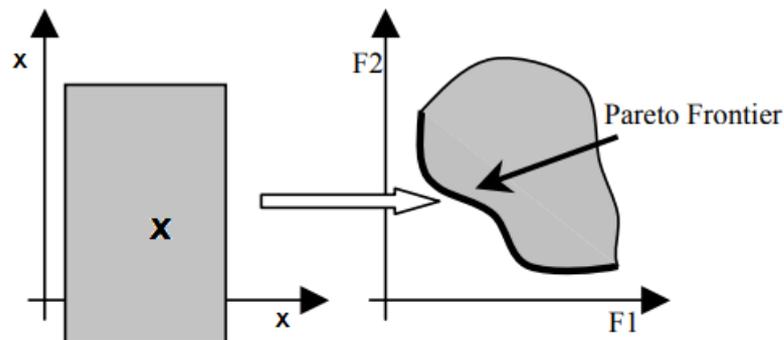
- Possuir informações perfeitas: o tomador de decisão precisa de informações relevantes e apuradas para ter clareza na decisão.
- Possuir uma lista de alternativas: o tomador de decisão precisa de um conjunto de opções para que, a partir da análise das informações, possa escolher a opção mais adequada.
- Ser racional: o tomador de decisão deve fazer a escolha através da análise crítica dos dados e não de forma emocional ou aleatória.

Figura 2 – Ilustração da Dominância de Pareto



Fonte: Hashimoto (2004, p. 32)

Figura 3 – Representação da Fronteira de Pareto a partir do espaço de decisão



Fonte: Agrawal et al. (2004)

- Buscar o interesse da organização: o tomador de decisão deve sempre ter em mente o interesse da organização e buscar a melhor opção para a mesma.

Desta forma, a tomada de decisão deve ficar sob responsabilidade de um analista que deverá ponderar entre os objetivos globais do problema e escolher uma entre as opções do conjunto de opções eficientes (PANTUZA, 2011). Porém, atualmente, as pessoas envolvidas no processo decisório necessitam de auxílio para que a decisão ocorra de forma satisfatória (KLADIS; FREITAS, 1995). Jahanshahloo, Lotfi e Izadikhah (2006) e Opricovic e Tzeng

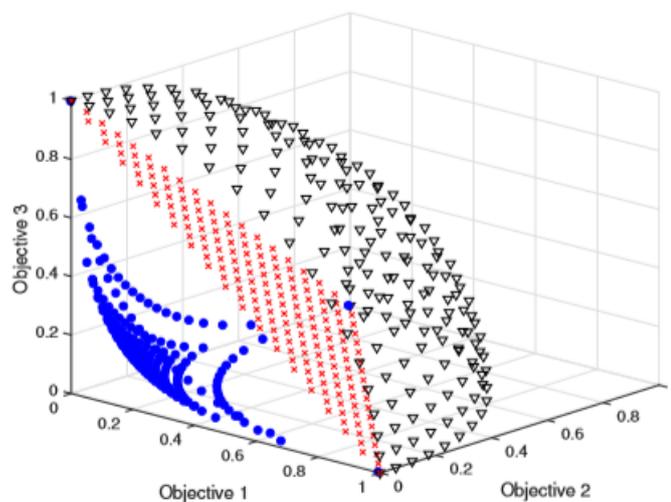
(2004) apresentaram alguns passos para a tomada de decisão multiobjetivo. São eles:

1. Estabelecer os critérios de avaliação do sistema que relacionem o recurso com as metas do problema.
2. Gerar alternativas, desenvolvendo sistemas alternativos para atingir os objetivos.
3. Avaliar as alternativas em termos dos critérios.
4. Aplicar um método de decisão multiobjetivo.
5. Aceitar uma alternativa como "ideal".
6. Caso a solução final não for aceita, voltar ao passo 1.

São encontradas na literatura algumas formas de se apresentar graficamente as soluções da fronteira Pareto. Essas maneiras buscam auxiliar o decisor a lidar com o problema de otimização multiobjetivo. Alguns exemplos são:

- **Plotagem por dispersão:** projeta todos os vetores em um espaço de menor dimensão, desconsiderando todas as dimensões do vetor que estão além daquelas que podem ser visualizadas (TUŠAR, 2014). A Figura 4 apresenta uma plotagem por dispersão de vetores de solução distribuídos em três dimensões, na qual cada dimensão faz referência à uma função objetivo.

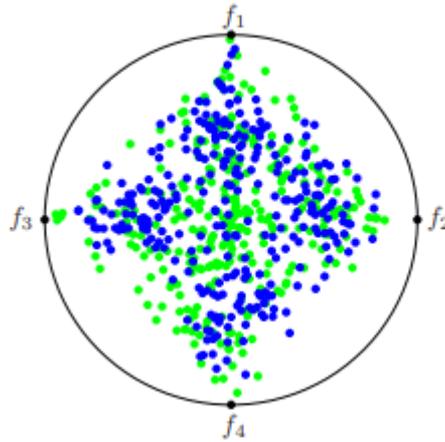
Figura 4 – Exemplo de plotagem por dispersão.



Fonte: Koochaksaraei et al. (2017)

- **Visualização em coordenadas radiais:** introduzido por Hoffman et al. (1997), distribui os objetivos uniformemente na circunferência do círculo unitário (TUŠAR, 2014). A Figura 5 apresenta um gráfico de visualização em coordenadas radiais com diversos vetores de solução para quatro funções objetivos. A distância do vetor até  $f_i$  define qual é o seu valor para o objetivo  $i$ .

Figura 5 – Exemplo de gráfico de coordenadas radiais.



Fonte: Tušar (2014)

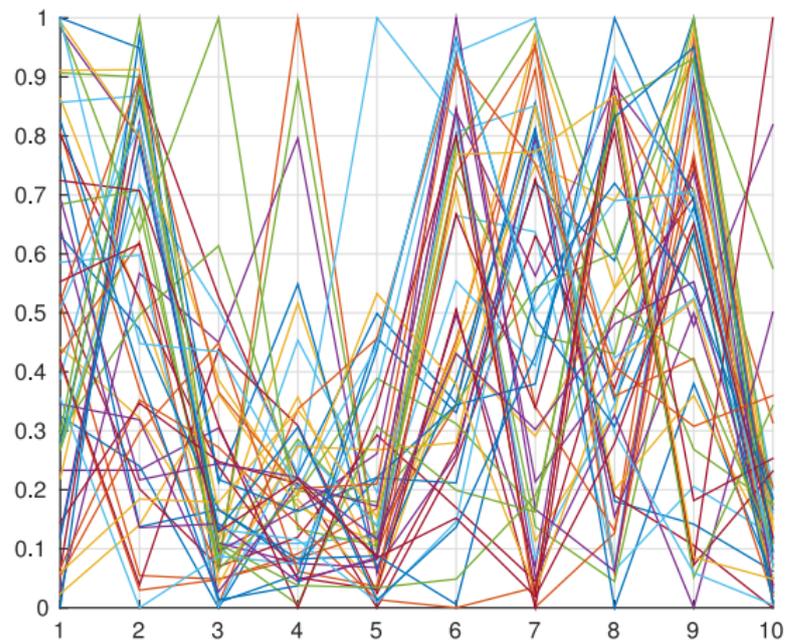
- **Gráfico de coordenadas paralelas:** apresenta dados multidimensionais em um gráfico de duas dimensões, no qual cada dimensão dos dados originais se torna um eixo vertical no gráfico e o vetor de cada solução é representado como uma polilinha com vértices nesses eixos (LI; ZHEN; YAO, 2017). A Figura 6 apresenta um gráfico de coordenadas paralelas com diversos vetores de solução e com dez funções objetivo.

Para problemas de otimização multiobjetivo com quatro ou mais objetivos se torna complicada a compreensão dos dados, isso se deve ao grande número de dimensões que devem ser apresentadas no gráfico (LI; ZHEN; YAO, 2017), já que cada uma das dimensões correspondem a um dos objetivos do problema. Levando isto em conta, para esse trabalho foi utilizado o gráfico de coordenadas paralelas pois apresenta os dados de forma mais clara e intuitiva, facilitando a visualização e a compreensão dos dados (LI; ZHEN; YAO, 2017).

Em problemas de otimização multiobjetivo os objetivos costumam possuir escalas diferentes. Desta forma, se torna necessário normalizar cada objetivo da fronteira de Pareto no intervalo  $[0, 1]$  (KOOCHAKSARAEI et al., 2017). Para a normalização dos dados nesse intervalo é utilizado a seguinte equação (GONÇALVES, 2009):

$$x' = \frac{x - Min_A}{Max_A - Min_A} \quad (2.5)$$

Figura 6 – Exemplo de gráfico de coordenadas paralelas.



Fonte: [Koochaksaraei et al. \(2017\)](#)

, na qual  $x'$  é o valor normalizado,  $x$  é o valor original,  $Min_A$  e  $Max_A$  são, respectivamente, o menor e o maior valor entre os valores das soluções para o objetivo A. Para esse trabalho, consideramos a minimização dos objetivos, desta forma, quando o objetivo era de maximização, aplicamos  $1 - x'$  para minimizá-lo.

## 2.5 Conclusão

Esse capítulo apresentou a teoria usada como base para este trabalho, bem como soluções para auxiliar o usuário na escolha da solução mais adequada. No próximo capítulo será apresentado o desenvolvimento do trabalho, bem como as tecnologias e a metodologia utilizadas para a construção do projeto. Posteriormente serão apresentados os resultados alcançados.

## 3 Desenvolvimento

Este capítulo descreve o desenvolvimento do trabalho. Em especial, foca em descrever as tecnologias aplicadas no projeto durante o desenvolvimento e a metodologia utilizada.

### 3.1 Tecnologias utilizadas no trabalho

Nesta seção serão apresentadas as tecnologias e ferramentas utilizadas neste trabalho, bem como os motivos da escolha delas. Serão apresentados também algumas tecnologias consideradas para modo de comparação.

Para o *front-end* foram utilizados *frameworks* e bibliotecas para otimizar o desenvolvimento do trabalho. Foram eles, o *React* para o desenvolvimento dos componentes da *interface*, o *AdminLTE* como modelo dos componentes da aplicação e o *Chart.js* para a representação dos dados gráficos.

Já para o *back-end* foi utilizado a linguagem de programação Java e a comunicação com o *frontend* foi feita através da arquitetura *REST*. Por fim, o sistema de gestão de base de dados utilizado foi o *PostgreSQL*.

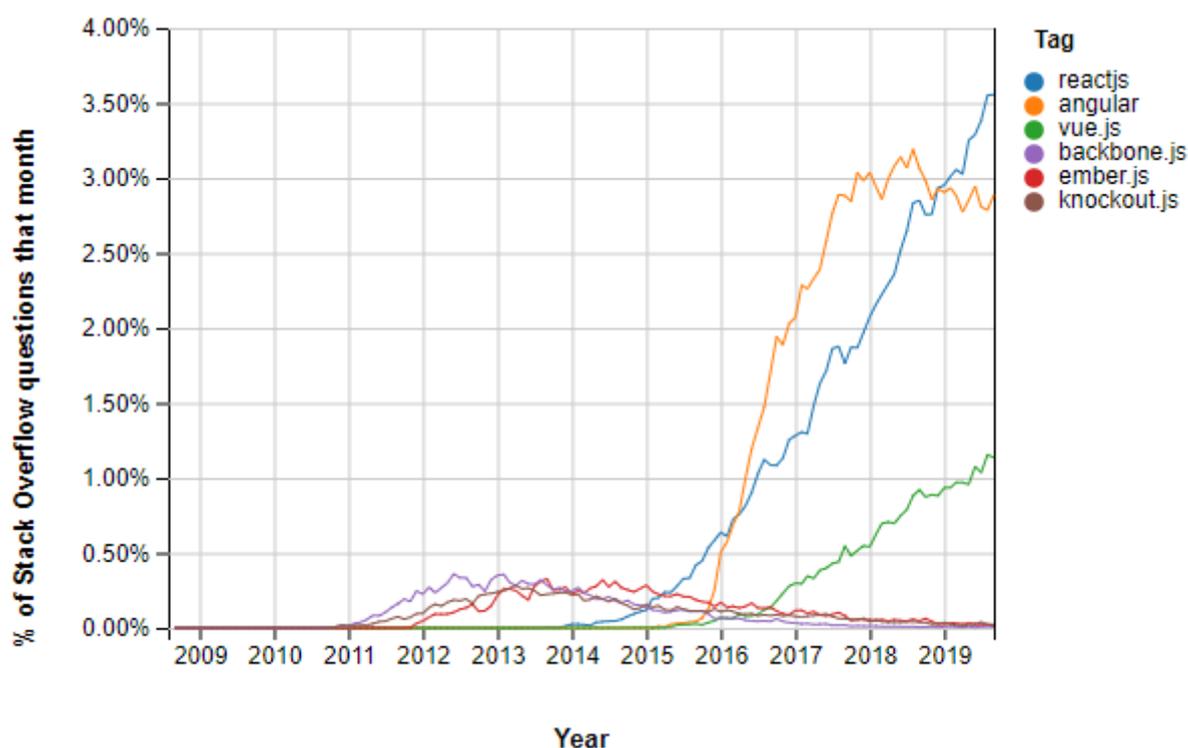
#### 3.1.1 ReactJS

Para o desenvolvimento e controle do *front-end* foi utilizado o *ReactJS*. Este é uma biblioteca *Javascript* que facilita a criação de interfaces de usuário interativas (REACT, 2019b). Criado pelos times do *Facebook* e do *Instagram* em 2013 (BANKS; PORCELLO, 2017), o *React* trabalha com a criação de componentes encapsulados que gerenciam o seu próprio estado. Esses componentes implementam um método *render()* que recebe os dados de entrada e retornam o que deve ser exibido (REACT, 2019b). A arquitetura baseada em componentes do *React* permite o uso de códigos mais simples e reutilizáveis (REACT, 2019b). Embora não seja obrigatório, estes componentes são geralmente escritos em *Javascript XML (JSX)*, uma linguagem específica do *React* que permite o uso de *tags* com o *Javascript* (REACT, 2019a).

O *ReactJS* utiliza um padrão de programação conhecido como *Virtual DOM*, na qual a representação virtual da interface do usuário é mantida em memória e sincronizada com o *Document Object Model (DOM)* real através de uma biblioteca, como o *ReactDOM* (REACT, 2019c). Essa abordagem abstrai a manipulação de atributos, manipulação de eventos e atualização manual do *DOM*.

O *ReactJS* atualmente é uma das bibliotecas mais completas do *Javascript*, sendo comparado até com *frameworks*. Kaluža e Vukelic (2018) apresentaram em seu artigo um gráfico do [StackOverflow \(2019\)](#) que apresenta a popularidade das tecnologias *Javascript* no site baseada no número de *tags* utilizadas pelos usuários. Nele o *ReactJS* em 2018 era a segunda tecnologia mais popular. A [Figura 7](#) apresenta o mesmo gráfico, porém com os dados atualizados, é possível observar o aumento da popularidade do *ReactJS* que assumiu a primeira posição.

Figura 7 – Popularidade dos *frameworks* e *bibliotecas Javascript* avaliada pelo uso de *tags* na página do *StackOverflow*



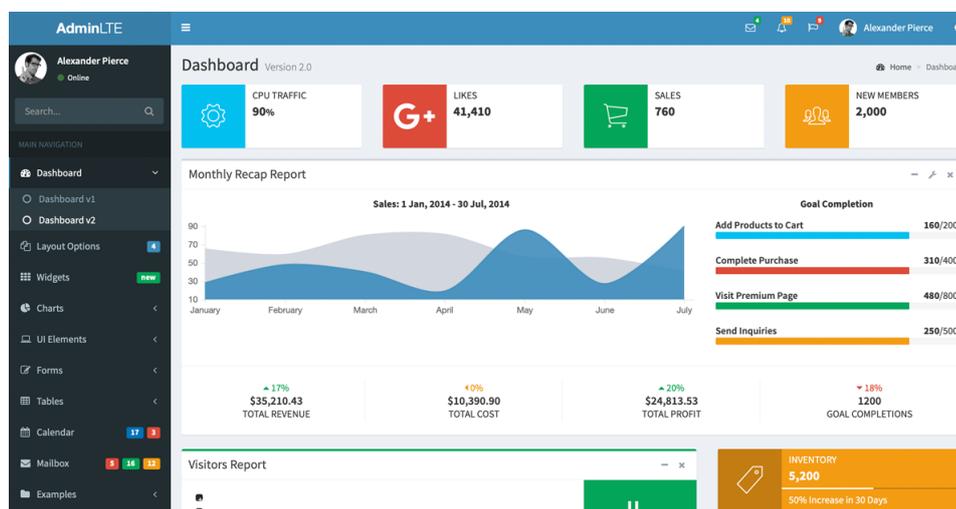
Fonte: [StackOverflow \(2019\)](#)

### 3.1.2 AdminLTE

Para auxiliar a composição do *front-end* foi escolhido o *template AdminLTE*, um tema de painel de controle com código aberto que fornece uma variedade de componentes responsivos e reutilizáveis (ALMSAEED, 2019a). O motivo da escolha por trabalhar com um *template* neste trabalho, ao invés de criar uma *interface* do zero, foi devido à praticidade e à qualidade da ferramenta, algo que não haveria tempo hábil para desenvolver já que este trabalho possui outros objetivos.

A Figura 8 apresenta o modelo para demonstração dos componentes do *AdminLTE*. Nela é possível observar alguns dos componentes presentes no *template* como gráficos, menu lateral, cabeçalho, etc.

Figura 8 – Página de demonstração do *AdminLTE*



Fonte: Almsaeed (2019a)

Outro ponto que vale a pena ressaltar é o fato de que o *AdminLTE* foi desenvolvido utilizando o *Bootstrap 3*, um famoso kit de ferramentas de código aberto desenvolvido em HTML, CSS e *Javascript* (BOOTSTRAP, 2019). Ele possui uma compilação de regras predefinidas para o estilo do HTML (VAINIKKA, 2018), ampliando ainda mais as opções de customização dos componentes.

### 3.1.3 ChartJS

Para a criação e desenvolvimento dos gráficos foi utilizado um dos *plugins* recomendados pelo próprio *AdminLTE*, o *ChartJS* (ALMSAEED, 2019b). *ChartJS* é uma ferramenta de código aberto que permite a criação de gráficos responsivos de forma simples e flexível usando *Javascript* (CHART.JS, 2018).

Além das várias funcionalidades já presentes no *ChartJS*, esta ferramenta ainda possui diversos *plugins* que aumentam ainda mais o seu potencial. Para este trabalho, utilizamos o *plugin react-chartjs-2* (AYERST, 2019) que já possui as funcionalidades para se criar os gráficos como componentes do *React*, facilitando a integração das duas tecnologias.

### 3.1.4 REST

Para a comunicação entre o *front-end* e o *back-end* foi utilizado o *Representational State Transfer (REST)*. Diferente do *React*, *AdminLTE* e do *ChartJS*, o **REST** não é uma tecnologia, mas sim uma arquitetura que, segundo [Rodriguez \(2008\)](#), define um conjunto de princípios pelos quais se pode projetar *Web services* focados em recursos de um sistema.

[Moro, Dorneles e Rebonatto \(2009\)](#) apresentam um *Web services* como sendo um sistema de *software* desenvolvido para suportar interoperabilidade entre máquinas sobre uma rede, permitindo que outros sistemas interajam com ele através de mensagens. Segundo [Rodriguez \(2008\)](#), para a implementação concreta de um *Web service REST* são necessários quatro princípios básicos:

- Usar métodos HTTP explicitamente (*GET* para recuperar dados, *POST* para salvar dados, *PUT* para atualizar os dados e *DELETE* para apagar dados).
- Os componentes do lado do servidor precisam ser sem estado, ou seja, todos os dados necessários para atender à solicitação devem estar presentes no seu cabeçalho e no corpo.
- Apresentar *URIs* intuitivas, semelhantes à estruturas dos diretórios, permitindo que o endereço necessário para executar uma ação seja facilmente criado.
- Permitir a transmissão de arquivos *XML*, *JSON* ou ambos.

Para este trabalho, foi utilizado o método HTTP *GET* para recuperar os dados do banco e assim apresentá-los ao usuário, nenhuma alteração na base de dados é feita. O tipo de arquivo de transmissão utilizado foi **JSON** que, diferente do **XML**, requer um menor número de caracteres, como pode ser constatado na [Tabela 1](#). Com menos caracteres o **JSON** possui menos volume e, conseqüentemente, possui uma taxa de transmissão mais alta que o **XML** nas mesmas condições de rede ([NIU; YANG; ZHANG, 2014](#)).

### 3.1.5 Java

O projeto do *Web service* no *backend* foi feito utilizando Java, uma famosa linguagem de programação orientada a objeto. Ela é conhecida principalmente pela *Java Virtual Machine (JVM)* que possui a filosofia de "escrever uma vez, executar em qualquer lugar". Isso significa que os desenvolvedores poderiam escrever o código uma vez e executá-lo em qualquer plataforma que possuísse a **JVM** instalada. Na prática, as diferenças entre as arquiteturas dos computadores e a **JVMs** tornam a filosofia do Java um pouco difícil de ser executada.

O Java foi criado em 1991 por James Gosling, Patrick Naughton, Chris Warth, Ed Frank e Mike Sheridan. O objetivo inicial era criar uma linguagem que seria independente

Tabela 1 – Comparação entre XML e JSON com relação a quantidade de caracteres no arquivo.

XML	JSON	Comparação com relação ao número de caracteres (XML:JSON)
<pre>&lt;person&gt; &lt;name&gt;Jim&lt;/name&gt; &lt;age&gt;24&lt;/age&gt; &lt;sex&gt;male&lt;/sex&gt; &lt;/person&gt;</pre>	<pre>{“person”:{ “name”:”Jim”, “age”:25, “sex”:”male”}}</pre>	61:47
<pre>&lt;persons&gt; &lt;person&gt;Sam&lt;/person&gt; &lt;person&gt;Bob&lt;/person&gt; &lt;person&gt;Bill&lt;/person&gt; &lt;/persons&gt;</pre>	<pre>{“persons”: [“Sam”,“Bob”, “Bill”]}</pre>	80:32

Fonte: Niu, Yang e Zhang (2014)

de plataforma, podendo ser usada não apenas por computadores, mas também em outros dispositivos eletrônicos. Durante o desenvolvimento, observaram que as características do Java seriam úteis para uma rede de computadores. Desta maneira o foco mudou para o desenvolvimento de uma linguagem de programação voltada para a *Internet* (SCHILDT, 2003).

Entre os motivos da escolha do Java no *backend* da aplicação estão a familiaridade com a linguagem, a simplicidade de uso e a comunidade ativa. Além disso, outros módulos da aplicação já vinham sendo desenvolvidos usando Java, o que impactou ainda mais na decisão.

### 3.1.6 PostgreSQL

Como gerenciador de dados foi utilizado o *PostgreSQL*. Este é um poderoso sistema de banco de dados objeto-relacional de código aberto. Com mais de trinta anos de desenvolvimento ativo, possui uma forte reputação de confiabilidade, robustez de recursos e desempenho (POSTGRESQL, 2019).

Assim com o Java, um importante fator na escolha do *PostgreSQL* foi a questão dele já estar sendo utilizado em outros módulos do projeto. Por exemplo, no módulo de cadastramento, existe uma demanda para cadastrar coordenadas geográficas. Para isso, o *PostgreSQL* possui um conjunto de tipos de dados geométricos bem documentado (POSTGRESQL, 2019).

## 3.2 Metodologia

O primeiro passo para o desenvolvimento do trabalho foi a escolha das tecnologias que iriam ser utilizadas, apresentadas na [seção 3.1](#). Como outros módulos já estavam sendo desenvolvidos, muitas das tecnologias foram reaproveitadas para uma melhor integração do projeto. Com as tecnologias pré-definidas, foi utilizado a representação gráfica dos dados através do *ChartJS*, na qual foi desenvolvido gráficos dinâmicos e atualizados com a base de dados. Como o projeto ainda não possui um banco de dados próprio, as informações utilizadas na geração dos gráficos foram provenientes de uma base de dados com alguns dados de estudantes e escolas dos estados do Espírito Santo e de Minas Gerais. Esses dados foram otimizados por outros módulos do projeto, gerando algumas possíveis soluções para o [PRVE](#).

Desta forma, após o criação de representações que seriam interessantes para a análise do cliente, surgiu a demanda de se desenvolver uma ferramenta que auxiliasse na escolha da solução mais adequada do problema. O método utilizado foi a representação de dados multiobjetivo em um gráfico de coordenadas paralelas, apresentado na [seção 2.4](#). Para isso, foram destacados funções objetivo do problema que seriam interessantes para a comparação entre as soluções. São elas:

- **Número de veículos:** quantidade de veículos disponíveis no município.
- **Custo anual:** custo anual gerado pelo transporte dos alunos.
- **Distância máxima:** soma das distâncias percorridas por todos os veículos envolvidos na solução diariamente.
- **Velocidade média:** média das velocidades dos veículos envolvidos na solução.
- **Distância total vazio:** distância total percorrida pelos veículos sem estarem transportando alunos.
- **Distância total cheio:** distância total percorrida pelos veículos transportando alunos.
- **Distância total AP:** distância total percorrida durante o aproveitamento de uma viagem.
- **Distância total AR:** distância total percorrida durante o retorno do aproveitamento de uma viagem.
- **Distância total TR:** distância total percorrida durante uma viagem na rota padrão do veículo com alunos.
- **Custo anual AP:** custo anual do aproveitamento de viagens.

- **Custo anual AR:** custo anual do retorno de aproveitamentos de uma viagem.
- **Custo anual TR:** custo anual percorrida durante uma viagem na rota padrão do veículo com alunos.

O desenvolvimento desse trabalho foi composto por quatro contextos. São eles:

- **Contexto estatual:** a página apresenta dados gráficos relacionados ao estado atendido pela aplicação, com dados sobre as cidades e regiões pertencentes aquele estado.
- **Contexto municipal:** a página apresenta dados gráficos referentes ao município relacionado ao usuário, foram desenvolvidos gráficos com dados sobre os veículos e suas viagens, assim como dados sobre a quantidade de alunos.
- **Contexto tomada de decisão:** a página permite que o usuário possa visualizar as soluções obtidas para o seu município e compará-las, escolhendo os objetivos que deseja avaliar.
- **Contexto solução:** a página apresenta dados gráficos sobre uma solução específica, escolhida pelo usuário. Foram gerados diversos gráficos referentes aos alunos, veículos e escolas.

### 3.3 Conclusão

Neste capítulo foram apresentadas as tecnologias e a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho. A escolha das tecnologias se deu buscando conciliar o que está sendo utilizado no mercado atualmente com o que foi estudado durante o curso. No próximo capítulo serão apresentadas os componentes desenvolvidos no projeto, bem como sua disposição junto a outros módulos do projeto.

## 4 Resultados

Este capítulo irá apresentar o resultado do que foi desenvolvido no trabalho. Será apresentado também como os componentes foram integrados aos outros módulos da aplicação. É importante ressaltar que parte da aplicação foi feita por outro módulo do projeto (como controle de acesso e o cadastramento de dados), desta forma, quando for necessário, será descrito o contexto do projeto.

Como apresentado na [seção 3.2](#), este trabalho possui quatro contextos. Os acessos a essas vertentes dependerão das permissões atribuídas ao usuário no momento do cadastro. Por exemplo, um usuário de permissão de acessar os dados de um município não terá acesso aos dados do estado ou de outro município. Já um usuário com permissão de acessar os dados de um estado, poderá acessar os dados de todos os municípios referentes aquele estado.

Neste capítulo os componentes serão apresentados considerando seu contexto. A [seção 4.1](#) apresentará os contextos município e estado. Já a [seção 4.2](#) apresentará os contextos de tomada de decisão e da solução, bem como as funcionalidade desenvolvidas neste contexto. Por fim, a [seção 4.3](#) irá apresentar a funcionalidade de geração de *PDF's* desse trabalho.

### 4.1 Página Inicial

Tanto o contexto estadual quanto o municipal foram desenvolvidos na página principal da aplicação, logo após o *login*. Desta forma, o usuário pode ter uma visão geral dos dados do município ou estado correspondentes. Para que o usuário possa navegar entre os contextos na página principal, foram inseridos botões. A [Figura 9](#) apresenta estes botões na página inicial, destacados pelo retângulo verde. Na mesma imagem, destacado no retângulo vermelho, estão a cidade e o estado ao qual o usuário terá acesso.

Figura 9 – Área superior da página inicial da aplicação.

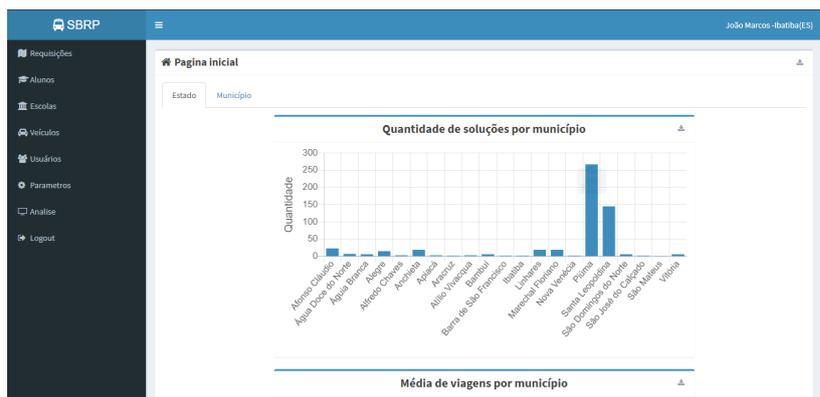


Fonte: Produzido pelo autor

### 4.1.1 Contexto estadual

O contexto estado da aplicação é o mais simples. Nele estão as representações gráficas gerais das cidades pertencentes ao estado selecionado, permitindo uma análise geral e uma comparação entre elas. A [Figura 10](#) apresenta a página inicial no contexto estado.

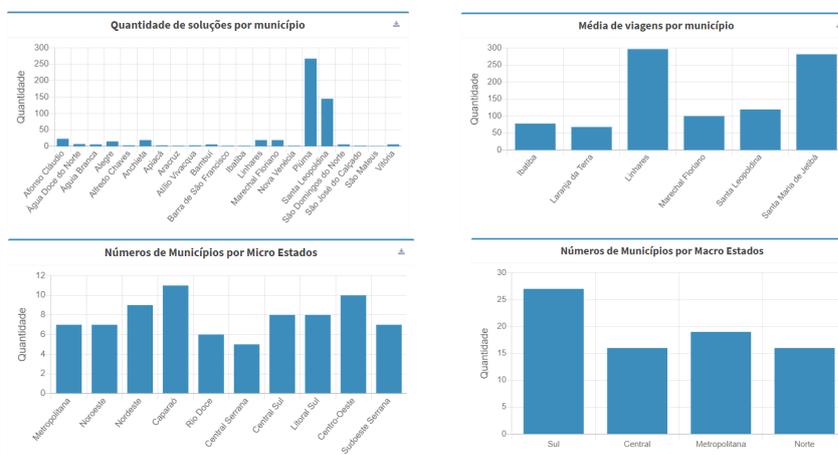
Figura 10 – Página inicial da aplicação no contexto estado.



Fonte: Produzido pelo autor

Os gráficos neste contexto apresentam informações como o número de soluções para o PRVE geradas e o número de viagens feitas em cada município do estado. Outros gráficos ainda apresentam a quantidade de municípios pertencentes a uma micro região ou macro região. A [Figura 11](#) apresenta alguns exemplos desses gráficos para os dados do estado do Espírito Santo.

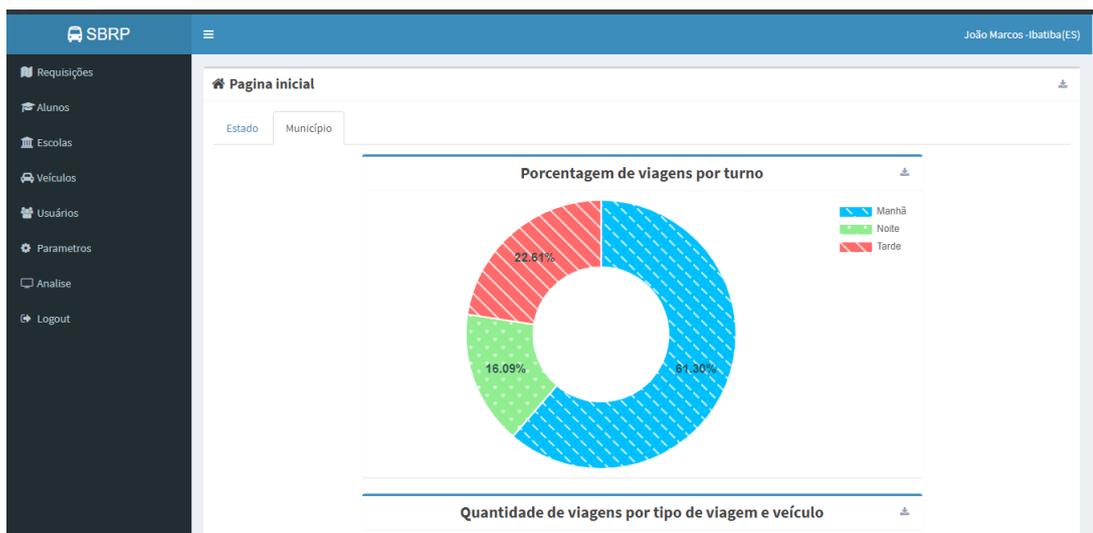
Figura 11 – Exemplos de gráficos gerados no contexto estado.



### 4.1.2 Contexto municipal

Para o contexto municípios foram criadas representações gráficas com mais detalhes sobre o município selecionado. Desta forma, o usuário pode se aprofundar mais nos dados coletados da sua cidade. A Figura 12 apresenta página inicial no contexto município.

Figura 12 – Página inicial da aplicação no contexto município.



Fonte: Produzido pelo autor

Para esse contexto os gráficos gerados apresentam dados sobre as viagens feitas pelos veículos, como a porcentagem de viagem por turno, a quantidade de viagens por tipo de veículo e a distância média por tipo de veículo. Esses gráficos são apresentados na Figura 13. Há, também, gráficos apresentando a quantidade de veículos disponíveis por tipo do veículo e a quantidade de alunos por cada escola. Esses gráficos podem ser observados na Figura 14.

Figura 13 – Exemplos de gráficos gerados no contexto municípios relacionados às viagens.

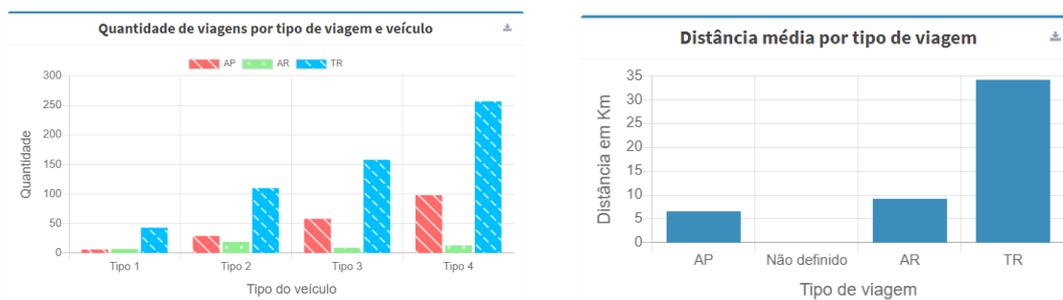
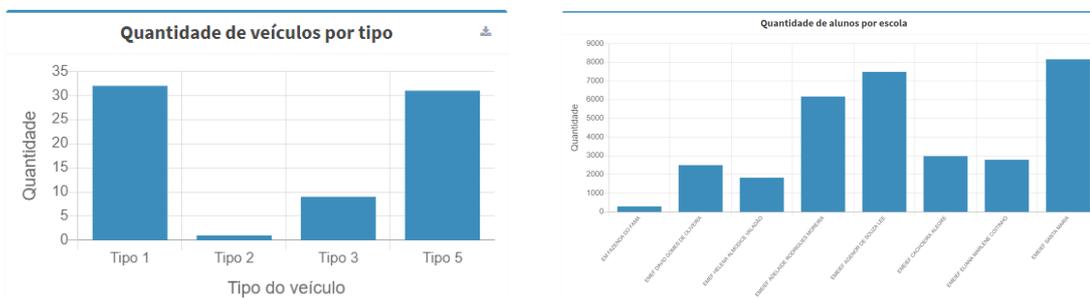


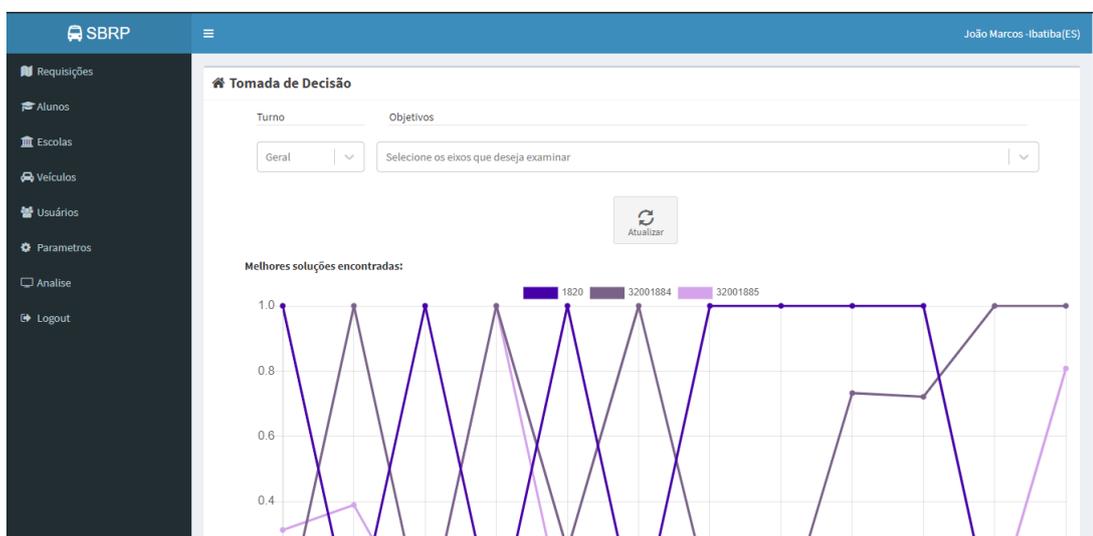
Figura 14 – Exemplos de gráficos gerados no contexto municípios relacionados à quantidade de veículos e de alunos.



## 4.2 Tomada de decisão

No menu lateral da aplicação, ao selecionar o botão *Análise* o usuário é encaminhado para a página do contexto de tomada de decisão. Este foi o grande foco desse trabalho, nele se aplicou a otimização multiobjetivo, definido na [seção 2.3](#), sobre as diversas soluções encontradas para o PRVE na cidade selecionada pelo usuário. A [Figura 15](#) apresenta a página de análise da aplicação.

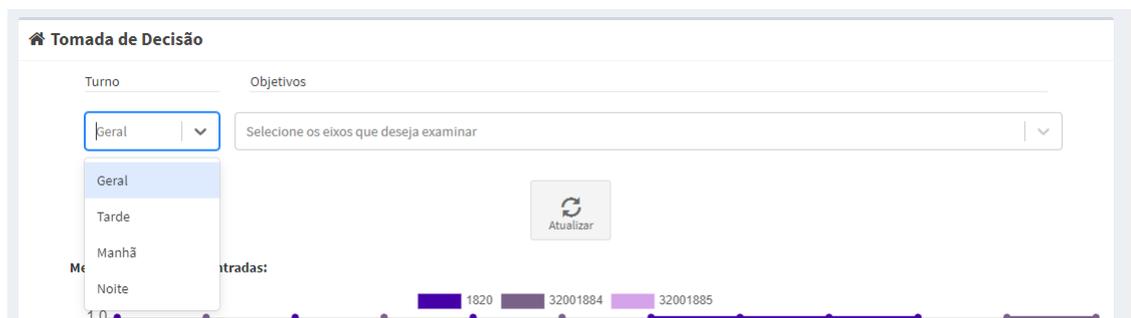
Figura 15 – Página de análise.



Fonte: Produzido pelo autor

Foram adicionadas funções que permitem ao usuário alterar o gráfico de tomada de decisão ao seu gosto. A primeira delas foi a escolha do turno, o usuário pode avaliar o conjunto de soluções, considerando todos os turnos (geral), apenas o turno da manhã, apenas o turno da tarde ou apenas o turno da noite. A [Figura 16](#) apresenta a opção de seleção de turnos.

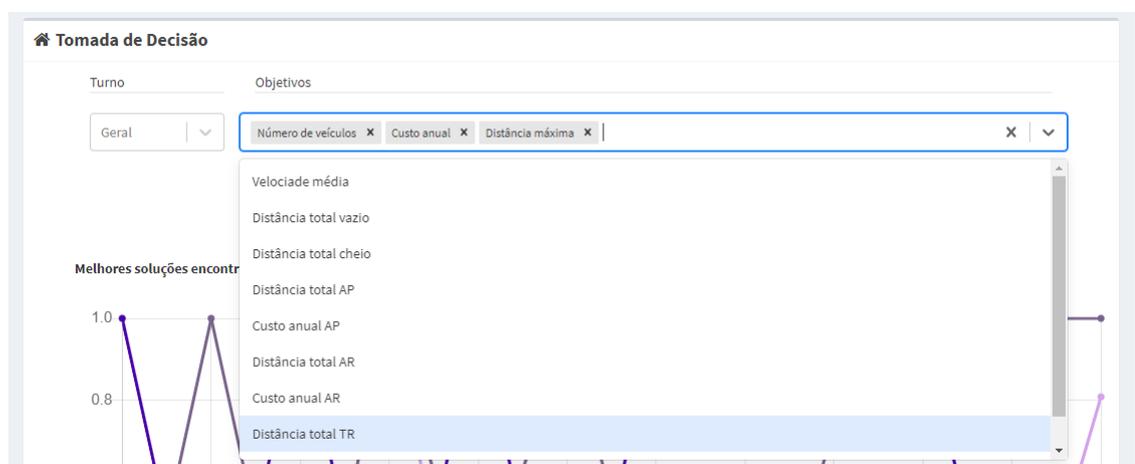
Figura 16 – Seleção de turno para o gráfico de tomada de decisão.



Fonte: Produzido pelo autor

Outra funcionalidade criada foi a escolha das funções objetivo do gráfico. Nesta, o usuário pode escolher quais objetivos deseja avaliar, ou seja, quais eixos de avaliação seu gráfico de coordenadas paralelas irá apresentar. As opções de eixos apresentadas são as funções objetivo apresentadas na [seção 3.2](#). O componente para selecionar as funções objetivo é apresentado na [Figura 17](#).

Figura 17 – Seleção de funções objetivo para o gráfico de tomada de decisão.

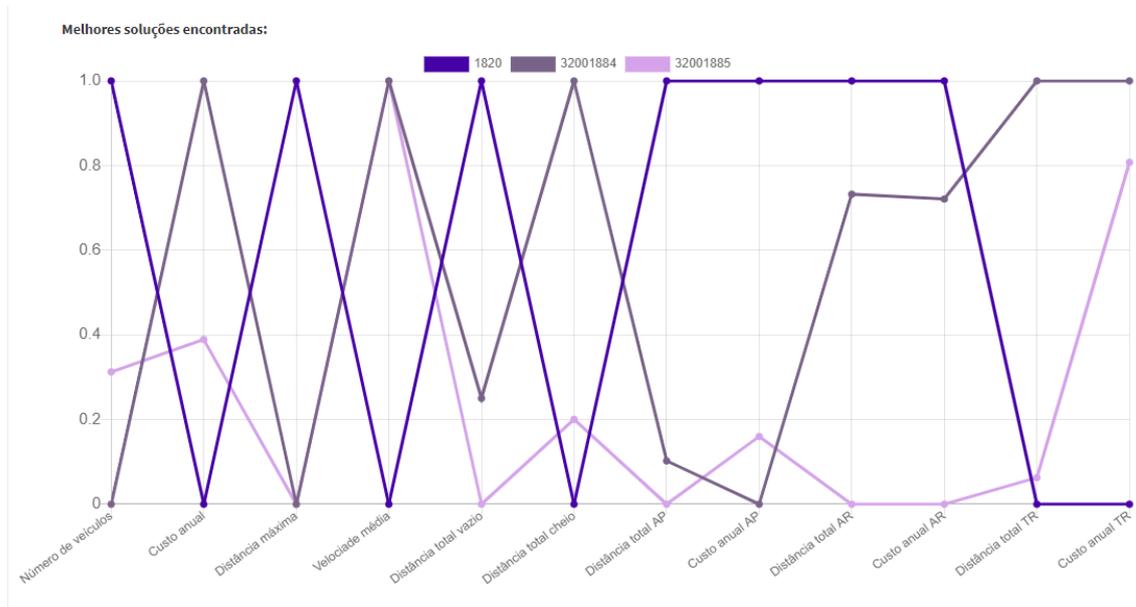


Fonte: Produzido pelo autor

Após a seleção dos eixos, o filtro das soluções não dominadas ([seção 2.3](#)) é executado e as soluções filtradas são apresentadas no gráfico. Como valor padrão, caso o usuário não selecione nenhuma função objetivo, o gráfico possuirá todos os eixos disponíveis. Como apresentado na [Figura 18](#).

Ao selecionar um ponto no gráfico, uma caixa de diálogo é apresentada no navegador, como a apresentada na [Figura 19](#). Essa função permite que o usuário possa navegar para

Figura 18 – Gráfico de coordenadas paralelas da aplicação, apresentando as soluções não dominadas do problema.



Fonte: Produzido pelo autor

o contexto solução (apresentado na [subseção 4.2.1](#)), podendo assim, obter mais detalhes da solução selecionada.

Figura 19 – Caixa de diálogo para o contexto solução.

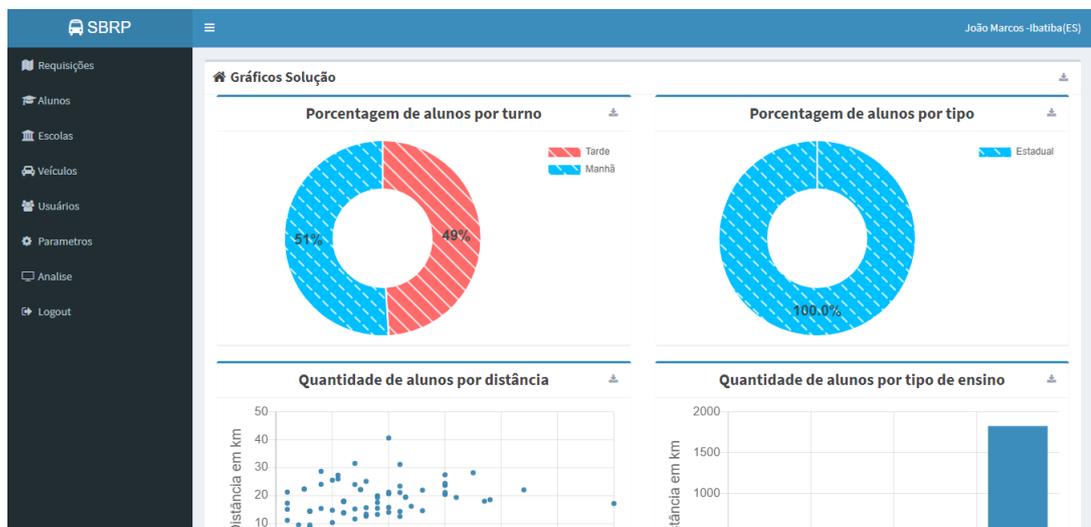


Fonte: Produzido pelo autor

### 4.2.1 Contexto solução

O contexto solução é uma página da aplicação com diversos gráficos com dados de uma solução específica. O objetivo foi disponibilizar ao usuário informação o suficiente para que ele possa avaliar uma possível solução aplicável ao PRVE para a sua cidade. A página do contexto solução é apresentada na [Figura 20](#).

Figura 20 – Página do contexto solução.



Fonte: Produzido pelo autor

Os gráficos neste contexto apresentam dados sobre o transporte e características dos alunos, sobre o custo por veículo e a quantidade de escolas. Esses gráficos são apresentados no [Apêndice A](#).

### 4.3 Geração de PDF

Com o intuito de permitir ao usuário exportar os gráficos criados neste trabalho, foi adicionado a funcionalidade de geração de *PDF*. Ao lado direito do nome dos gráficos se encontra o botão para o *download* do gráfico, como apresentado na [Figura 21](#).

Figura 21 – Botão de exportação de gráficos.



Fonte: Produzido pelo autor

No início das páginas inicial e da página das soluções foi adicionado um botão, semelhante ao apresentado na [Figura 21](#), que permite a geração de um arquivo *PDF* com todos os gráficos encontrados na página. Isso permite ao usuário exportar todos os gráficos de uma só vez, sem a necessidade de selecionar um por um.

## 5 Conclusão

Este trabalho desenvolveu uma ferramenta para apresentar os dados do PRVE ao usuário, auxiliando na escolha da solução mais adequada para o problema. Inicialmente, foi constatado que em um município poderiam haver diversas soluções diferentes para o PRVE, dificultando a escolha da melhor delas. A partir desse ponto, observou-se características de um problema de otimização multiobjetivo. A solução proposta foi então a exposição dos dados das soluções em um gráfico de coordenada paralelas, permitindo que o usuário escolhesse quais funções objetivo gostaria de avaliar. Desta forma, a escolha da solução mais adequada se torna intuitiva. Como suporte, foi proposto o desenvolvimento de outras representações gráficas, que destacam ainda mais os dados obtidos com o PRVE.

Com o problema definido e a solução proposta, o próximo passo foi a escolha das tecnologias para a aplicação. Como este trabalho é um módulo de um projeto maior, a escolha de muitas tecnologias sofreu influência do que já estava sendo usado em outros módulos. Foram utilizados no *frontend* as bibliotecas *React* e *ChartJS* e o *framework AdminLTE*. Já no *backend* foi utilizada a linguagem *Java*, seguindo as recomendações da arquitetura *REST*. O gerenciador de dado escolhida nesse projeto foi o *PostgreSQL*.

Por fim, os resultados obtidos cumpriram os objetivos deste trabalho. Este gerou uma ferramenta de grande valia para o monitoramento do transporte escolar, além de servir de base para outros problemas relacionados ao transporte de pessoas ou de cargas. Permitindo a tomada de decisão transparente, esse projeto consegue tornar o trabalho massante de escolha da melhor solução em algo mais prático e intuitivo. Desta forma, o autor avalia que o projeto foi bem sucedido e acredita que será um grande auxílio para gestores de transportes escolares, devido às funcionalidades desenvolvidas e o trabalho em conjunto com outros módulos do projeto.

### 5.1 Trabalhos futuros

O fim de um trabalho dificilmente significa que o projeto está completo. Existem novas funcionalidades que podem ser adicionadas e melhorias que podem ser aplicadas no que já foi feito. Para esse trabalho, não seria diferente. Desta forma, vale ressaltar alguns pontos que poderiam ser trabalhados no futuro. São eles:

- **Desenvolvimento da aplicação para dispositivos móveis:** esse trabalho teve o objetivo de desenvolver uma ferramenta *WEB* que, mesmo sendo responsiva, não foi projetada para um dispositivo móvel.

- **Refatoração de parte do código do *frontend*:** durante o desenvolvimento do trabalho, surgiu entre as atualizações do *React* uma nova funcionalidade chamada *Hooks*. Esta permite a criação de componentes e a manipulação do *states* sem a utilização de classes, tornando o código mais simples e funcional.
- **Utilização de teste automatizados:** a partir do momento que uma aplicação começa a crescer, se torna interessante a utilização de testes automatizados para uma maior segurança e evitar eventuais *bugs*.
- **Refinamento da exportação em *PDF*:** foi desenvolvido nesse trabalho a funcionalidade extra de exportação em *PDF*, porém melhorias na disposição das informações e na formatação do *PDF* seriam interessantes.

Outros trabalhos, como a otimização do *PRVE*, o desenvolvimento de uma banco de dados próprio da aplicação, o cadastramento dos dados e a internacionalização da aplicação, já estão sendo desenvolvidos em outros módulos do projeto. Devido a isso, não foram citados nesta seção.

# Referências

- AGRAWAL, G. et al. Intuitive visualization of pareto frontier for multi- objective optimization in n-dimensional performance space. In: . [S.l.: s.n.], 2004. v. 3. Citado na página 23.
- ALEXANDRE, R. F.; BARBOSA, C. H. N. de R.; VASCONCELOS, J. A. de. Lonsa: a labeling-oriented non-dominated sorting algorithm for evolutionary many-objective optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, v. 38, p. 275–286, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210650217306806>>. Acesso em: 09 set. 2019. Citado na página 21.
- ALMSAEED, A. *AdminLTE Control Panel Template*. 2019. Disponível em: <<https://adminlte.io>>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- ALMSAEED, A. *Dependencies Plugins*. 2019. Disponível em: <<https://adminlte.io/docs/2.4/dependencies>>. Citado na página 29.
- ARROY, J. E. C. Heurísticas e metaheurísticas para otimização combinatória multiobjetivo. UNICAMP, Campinas, SP, 2002. Citado na página 21.
- AYERST, J. *React-chartjs-2*. 2019. Disponível em: <<https://github.com/jerairrest/react-chartjs-2>>. Citado na página 29.
- BANKS, A.; PORCELLO, E. *Learning React: functional web development with React and Redux*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2017. Citado na página 27.
- BERTONCINI, C. et al. Processo decisório: a tomada de decisão. *Revista FAEF*, Garça, SP, v. 3, p. 8–34, 2013. Citado na página 22.
- BODIN, L. D.; BERMAN, L. Routing and scheduling of school buses by computer. *Transportation Science*, v. 13, n. 2, p. 113–129, 1979. Disponível em: <<https://doi.org/10.1287/trsc.13.2.113>>. Citado na página 20.
- BOOTSTRAP. *Introduction*. 2019. Disponível em: <<http://getbootstrap.com/docs/4.1/getting-started/introduction>>. Citado na página 29.
- BRACA, J. et al. A computerized approach to the new york city school bus routing problem. *IIE Transactions*, Taylor Francis, v. 29, n. 8, p. 693–702, 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07408179708966379>>. Citado na página 20.
- BRASIL. *Lei Nº 9.394, dE 20 de dezembro de 1996*. 1996. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm)>. Citado na página 15.
- CHART.JS. *Open source HTML5 Charts for your website*. 2018. Disponível em: <<https://www.chartjs.org>>. Citado na página 29.
- CHEN, D.-S. et al. A bus routing system for rural school districts. *Computers Industrial Engineering*, v. 19, n. 1, p. 322 – 325, 1990. ISSN 0360-8352. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360835290901315>>. Citado na página 19.

- COELLO, C. A. C. An updated survey of evolutionary multiobjective optimization techniques : State of the art and future trends. *CEC*, v. 1, p. 3–13, 1999. Citado na página 21.
- DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The truck dispatching problem. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 1959. v. 6, p. 80–91. Citado na página 18.
- FARAJ, M. F. et al. A real geographical application for the school bus routing problem. *IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation System*, 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/273762469\\_A\\_real\\_geographical\\_application\\_for\\_the\\_School\\_Bus\\_Routing\\_Problem](https://www.researchgate.net/publication/273762469_A_real_geographical_application_for_the_School_Bus_Routing_Problem)>. Acesso em: 09 set. 2019. Citado na página 15.
- GONÇALVES, R. P. Desenvolvimento de filtros interpoladores multidimensionais para análise de banco de dados de risers. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009. Citado na página 25.
- HASHIMOTO, K. Técnicas de otimização combinatória multiobjetivo aplicadas na estimação do desempenho elétrico de redes de distribuição. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Citado na página 23.
- HOFFMAN, P. et al. Dna visual and analytic data mining. In: . [S.l.: s.n.], 1997. p. 437–442. Citado na página 25.
- JAHANSHAHLOO, G.; LOTFI, F. H.; IZADIKHAH, M. An algorithmic method to extend topsis for decision-making problems with interval data. *Applied Mathematics and Computation*, v. 175, n. 2, p. 1375 – 1384, 2006. ISSN 0096-3003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300305006843>>. Citado na página 23.
- JAIMES, A. L.; MARTÍNEZ, S. Z.; COELLO, C. A. C. *Optimization in Polymer Processing*. [S.l.]: Nova Science Publishers, 2010. Citado na página 21.
- JÚNIOR, J. C. O. S. Metodologia híbrida baseada em sistemas imunes artificiais aplicada na solução de um PRVE real. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Citado 5 vezes nas páginas 15, 18, 19, 20 e 22.
- KALUŽA, M.; VUKELIC, B. Comparison of front-end frameworks for web applications development. *Zbornik Veleučilišta u Rijeci*, v. 6, p. 261–282, 01 2018. Citado na página 28.
- KLADIS, C. M.; FREITAS, H. M. R. de. O processo decisório: modelos e dificuldades. In: \_\_\_\_\_. Rio de Janeiro - RJ: [s.n.], 1995. p. 30–34. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- KOOCHAKSARAEI, R. H. et al. A new visualization method in many-objective optimization with chord diagram and angular mapping. *Knowledge-Based Systems*, v. 138, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 21, 24, 25 e 26.
- KUMAR, S. N.; PANNEERSELVAM, R. A survey on the vehicle routing problem and its variants. *Intelligent Information Management*, v. 04, 01 2012. Citado na página 19.

- LI, F.; GOLDEN, B.; WASIL, E. The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results. *Computers Operations Research*, v. 34, n. 10, p. 2918 – 2930, 2007. ISSN 0305-0548. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054805003515>>. Citado na página 19.
- LI, M.; ZHEN, L.; YAO, X. How to read many-objective solution sets in parallel coordinates. *IEEE Computation Intelligence Magazine*, p. 88–100, 2017. Citado na página 25.
- MIRANDA, D. M. et al. A multi-loading school bus routing problem. *Expert Syst. Appl.*, Pergamon Press, Inc., Elmsford, NY, USA, v. 101, n. C, p. 228–242, jul. 2018. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.02.014>>. Citado na página 19.
- MORO, T. D.; DORNELES, C.; REBONATTO, M. T. Web services ws-\* versus web services rest. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica em Computação*, v. 11, n. 1, 2009. Citado na página 30.
- NEWTON, R. M.; THOMAS, W. H. Design of school bus routes by computer. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 3, n. 1, p. 75 – 85, 1969. ISSN 0038-0121. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038012169900512>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- NIU, Z.; YANG, C.; ZHANG, Y. A design of cross-terminal web system based on json and rest. In: *2014 IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 904–907. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.
- OPRICOVIC, S.; TZENG, G.-H. Compromise solution by mcdm methods: A comparative analysis of vikor and topsis. *European Journal of Operational Research*, v. 156, n. 2, p. 445 – 455, 2004. ISSN 0377-2217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221703000201>>. Citado na página 24.
- PANTUZA, G. Métodos de otimização multiobjetivo e de simulação aplicados ao problema de planejamento de lavra em minas a céu aberto. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2011. Citado na página 23.
- PARK, J.; KIM, B.-I. The school bus routing problem: A review. *European Journal of Operational Research*, v. 202, p. 311–319, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 15, 19, 20 e 21.
- POSTGRESQL. *PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database*. 2019. Disponível em: <<https://www.postgresql.org/>>. Citado na página 31.
- REACT. *Introducing JSX*. 2019. Disponível em: <<https://reactjs.org/docs/introducing-jsx.html>>. Citado na página 27.
- REACT. *React*. 2019. Disponível em: <<https://reactjs.org/>>. Citado na página 27.
- REACT. *React*. 2019. Disponível em: <<https://reactjs.org/docs/faq-internals.html#what-is-the-virtual-dom>>. Citado na página 27.

- RODRIGUEZ, A. Restful web services: The basics. *IBM developerWorks*, v. 33, p. 18, 2008. Citado na página 30.
- SAVAS, E. S. On equity in providing public services. *Management Science*, INFORMS, v. 24, n. 8, p. 800–808, 1978. ISSN 00251909, 15265501. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2630377>>. Citado na página 20.
- SCHILDT, H. *Java 2 a beginner's guide*. [S.l.]: The McGraw-Hill Companies, Inc, 2003. Citado na página 31.
- SPADA, M.; BIERLAIRE, M.; LIEBLING, T. M. Decision-aiding methodology for the school bus routing and scheduling problem. *Transportation Science*, v. 39, n. 4, p. 477–490, 2005. Disponível em: <<https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/trsc.1040.0096>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- STACKOVERFLOW. *Stack Overflow Trends*. 2019. Disponível em: <<https://insights.stackoverflow.com/trends?tags=jquery%2Cangularjs%2Cangular%2Creactjs>>. Citado na página 28.
- TOTH, P.; VIGO, D. *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002. Disponível em: <<https://epubs.siam.org/doi/abs/10.1137/1.9780898718515>>. Citado na página 18.
- TUŠAR, T. Visualizing solution sets in multiobjective optimization. Jožef Stefan International Postgraduate School, Ljubljana, Slovenia, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- VAINIKKA, J. Full-stack web development using django rest framework and react. Metropolia Ammattikorkeakoulu, 2018. Citado na página 29.
- ZHOU, A. et al. Multiobjective evolutionary algorithms: A survey of the state of the art. *Swarm and Evolutionary Computation*, v. 1, p. 32–49, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210650211000058>>. Acesso em: 12 set. 2019. Citado na página 21.

# Apêndices

## APÊNDICE A – Gráficos do contexto solução desenvolvidos pelo autor

Figura 22 – Gráfico apresentando a porcentagem de alunos por turno.

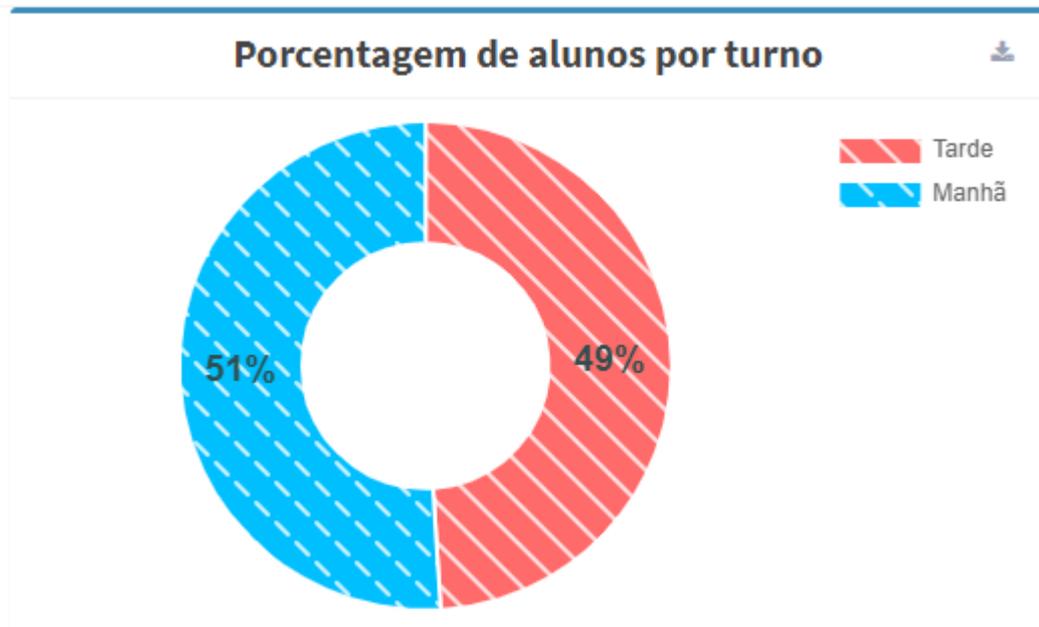


Figura 23 – Gráfico apresentando a porcentagem de alunos por tipo da escola.

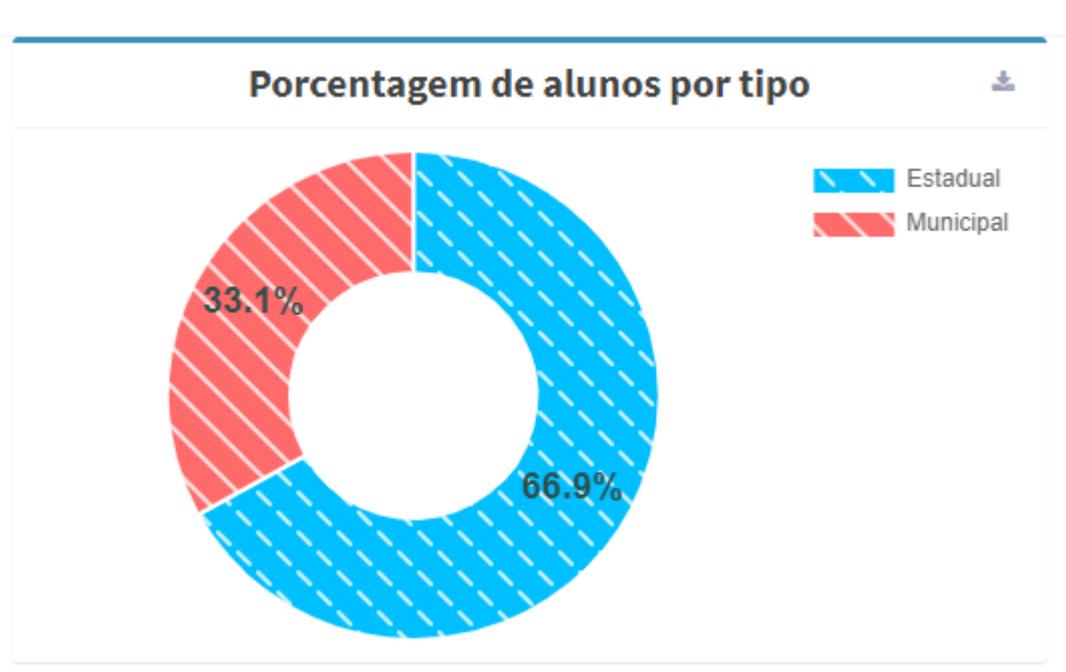


Figura 24 – Gráfico apresentando a quantidade de alunos que percorrem a mesma distância.

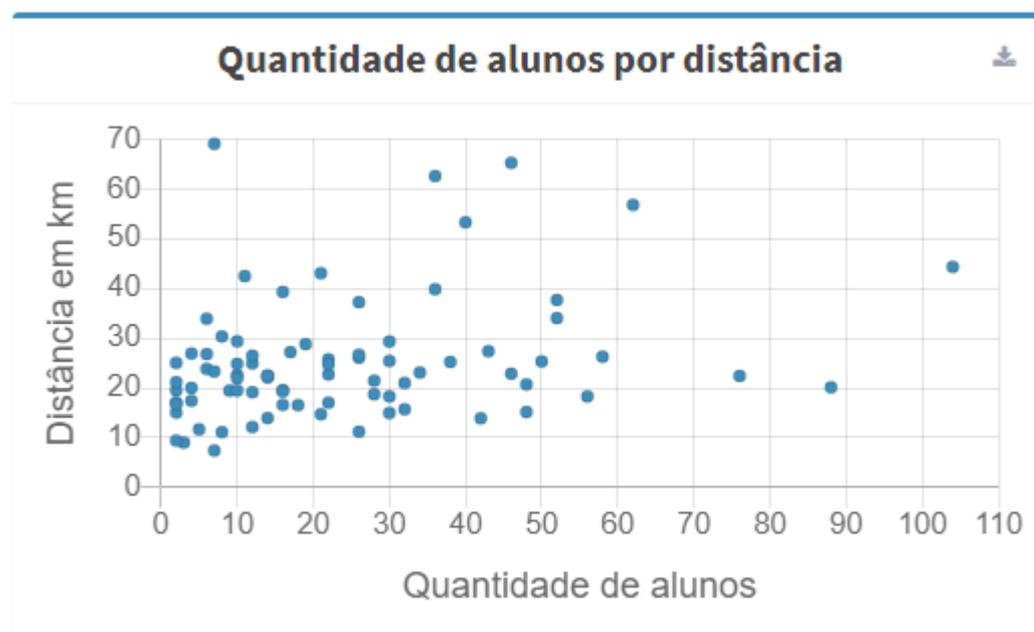


Figura 25 – Gráfico apresentando a quantidade de alunos por tipo de ensino.

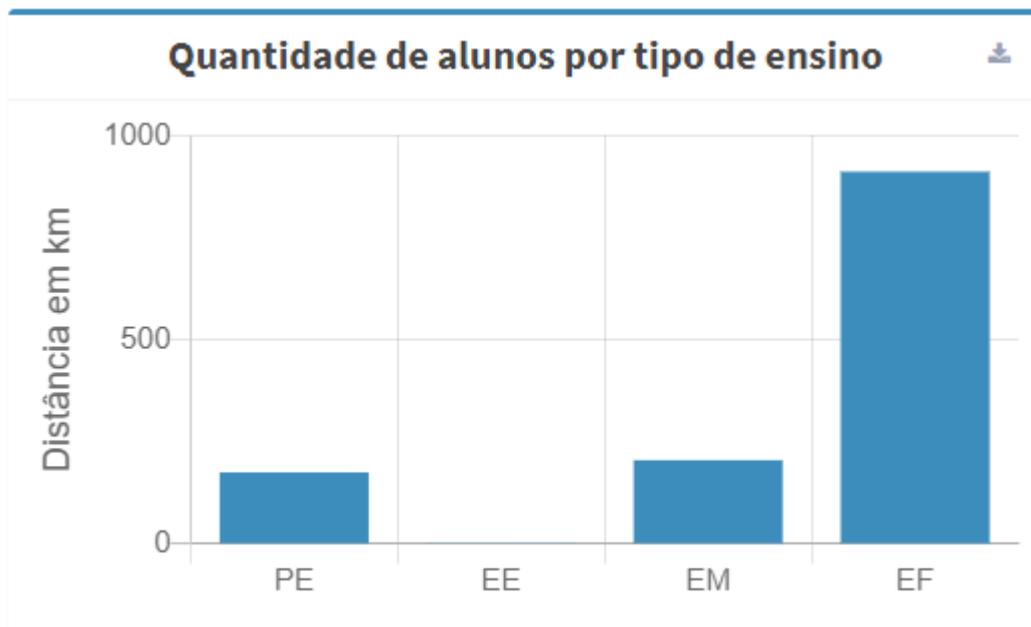


Figura 26 – Gráfico apresentando a quantidade de alunos por características especiais. Nesse contexto, *outlier* são alunos muito distantes de suas escolas ou que moram em áreas isoladas.

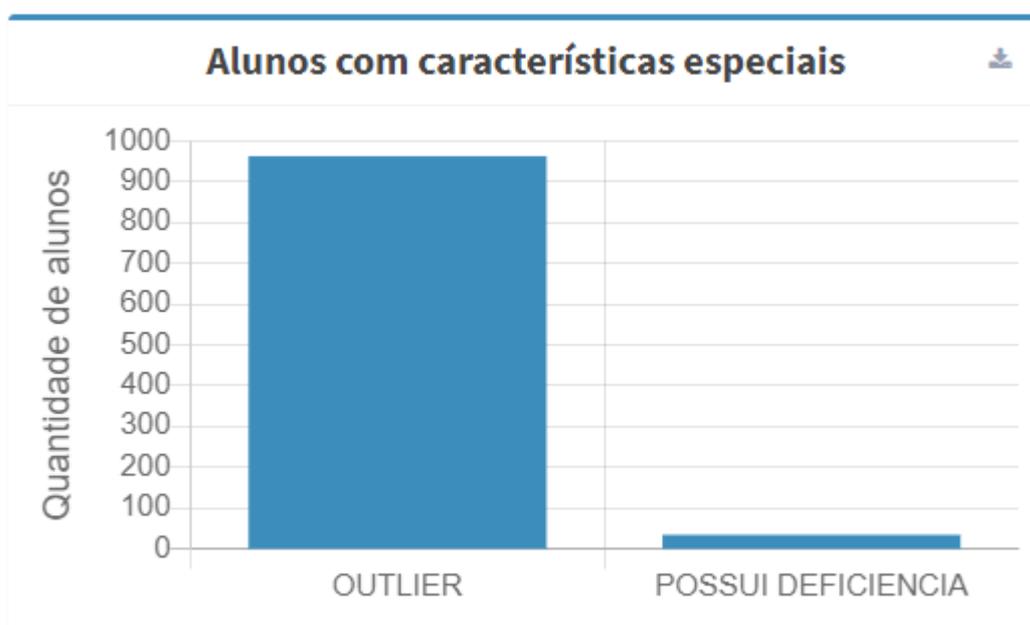


Figura 27 – Gráfico apresentando a porcentagem do total de viagens em relação ao turno.

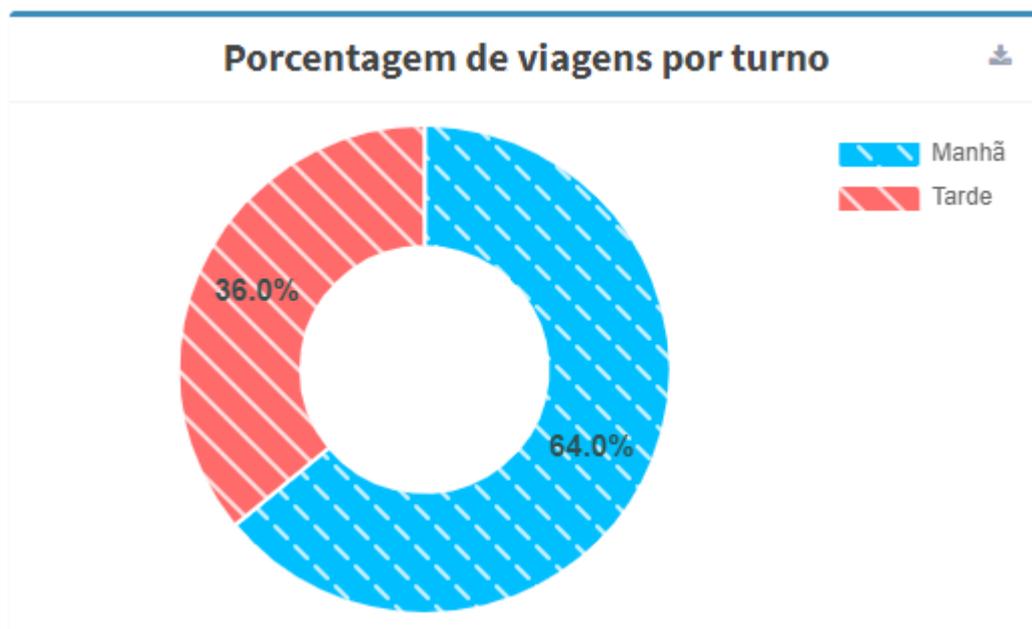


Figura 28 – Gráfico apresentando a quantidade de veículos por tipo do carro.

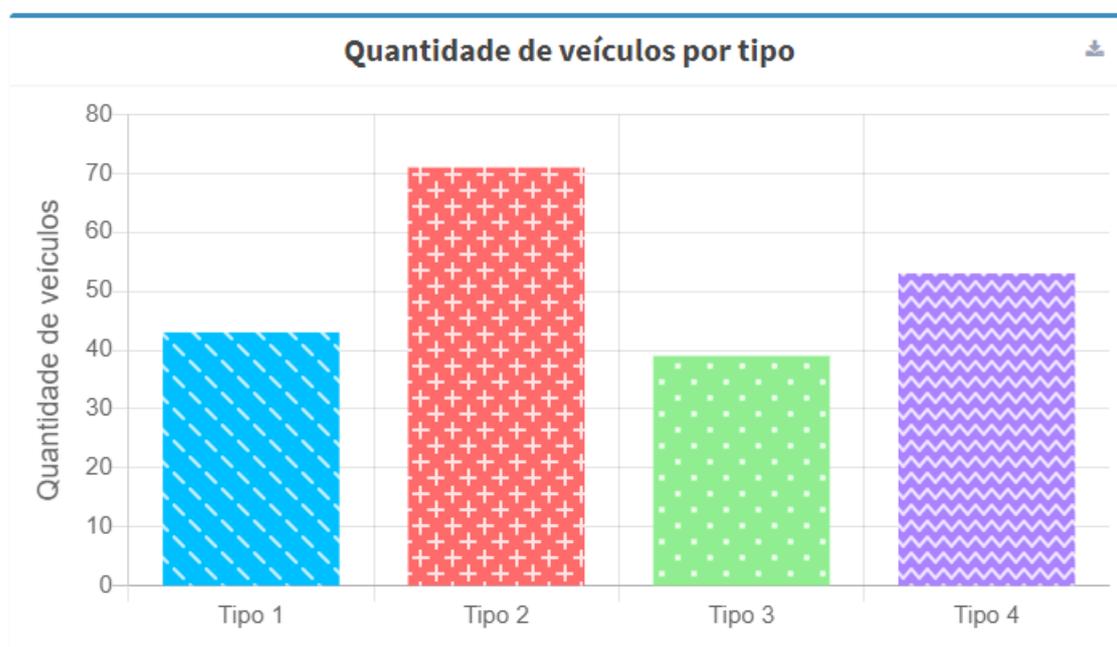


Figura 29 – Gráficos apresentando dados sobre os veículos disponíveis.

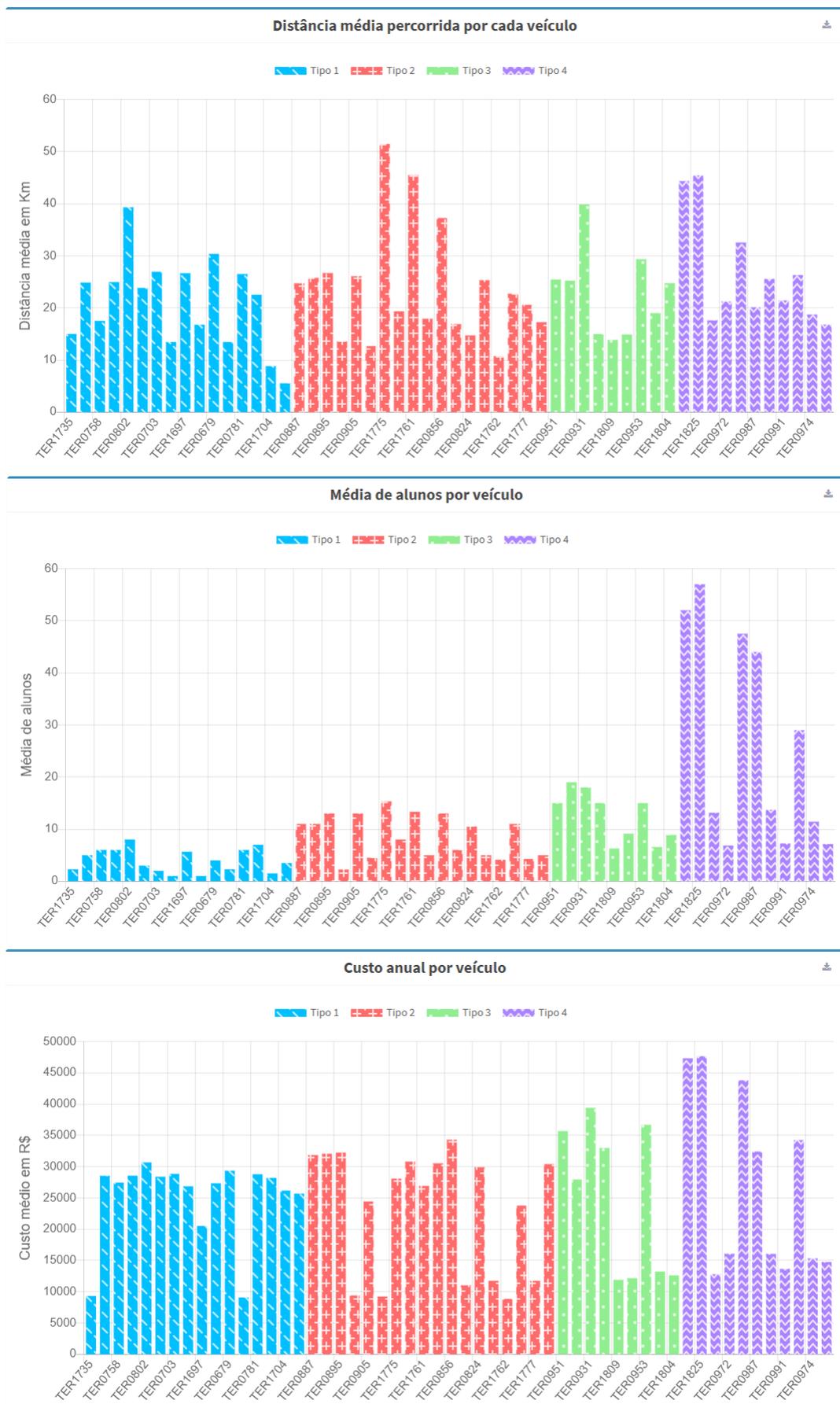


Figura 30 – Gráfico apresentando o número de escolas por bairro.

