

Um Framework para Apoiar Especialistas no Estudo da Eficiência Energética em Trens Urbanos**A Framework to Support Experts in the Study of Energy Efficiency in Urban Trains**

DOI:10.34117/bjdv6n6-100

Recebimento dos originais:08/05/2020

Aceitação para publicação:03/06/2020

Mayrton Dias de Queiroz

Mestre em Informática pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Rua dos Escoteiros, s/n – Mangabeira, João Pessoa – PB, Brasil

E-mail: mayrtondias@ppgi.ci.ufpb.br

Ruan Alves Pontes Palmeira

Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Rua dos Escoteiros, s/n – Mangabeira, João Pessoa – PB, Brasil

E-mail: ruanpalmeira@msn.com

Felipe Tiago Santos de Melo

Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Rua dos Escoteiros, s/n – Mangabeira, João Pessoa – PB, Brasil

E-mail: ftiagomelo89@gmail.com

Rodrigo Gonçalves Daniel

Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Rua dos Escoteiros, s/n – Mangabeira, João Pessoa – PB, Brasil

E-mail: rodrigodaniel@cc.ci.ufpb.br

Icaro Targino de Alexandria Rique

Graduando em Engenharia da Computação pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Rua dos Escoteiros, s/n – Mangabeira, João Pessoa – PB, Brasil

E-mail: icaro.rique@eng.ci.ufpb.br

Augusto Cesar de Brito Pereira Guimarães

Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Rua dos Escoteiros, s/n – Mangabeira, João Pessoa – PB, Brasil

E-mail: augustocesarguim@gmail.com

Marcelle Batista Martins dos Santos

Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba
Instituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Rua dos Escoteiros, s/n – Mangabeira, João Pessoa – PB, Brasil
E-mail: marcellebm@gmail.com

Natasha Correia Queiroz Lino

Ph.D. em Computer Science pela University of Edinburgh/UK
Instituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Rua dos Escoteiros, s/n – Mangabeira, João Pessoa – PB, Brasil
E-mail: natasha@ci.ufpb.br

RESUMO

No contexto de Cidades Inteligentes, uma das preocupações é com relação a Mobilidade Urbana, que consiste em identificar alternativas para a diminuição do tráfego de veículos individuais, melhor ocupação do espaço urbano, entre outros aspectos. Uma alternativa é a adoção de trens elétricos. No entanto, surge um problema com relação ao consumo energético. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo propor um *framework* baseado em Algoritmos Genéticos (AGs), denominado SmartSubway, para auxiliar especialistas na inserção de informações do domínio no problema da eficiência energética em trens elétricos a fim de identificar perfis de condução energeticamente eficientes. Como prova de conceito foi implementado um sistema inspirado nos AGs. Para validar o sistema foram inseridas as informações do domínio de um cenário real, onde foi possível realizar seis experimentos e identificar os que obtiveram melhores resultados.

Palavras-Chave: Framework, Algoritmos Genéticos, Eficiência Energética, Transportes Inteligentes, Cidades Inteligentes.

ABSTRACT

In the context of Smart Cities, there are concerns regarding Urban Mobility, which consists of identifying alternatives for the reduction of traffic of individual vehicles, better occupation of urban space, among other aspects. An alternative is the adoption of electric trains. However, a problem concerning energy consumption arises. Thus, this work aims to propose a framework based on Genetic Algorithms (GAs), called SmartSubway, to assist specialists with insertion of domain information in the problem of energy efficiency in electric trains in order to identify energy efficient driving profiles. As proof of concept, a system inspired in GAs was implemented. To validate the system, the domain information of a real scenario was inserted, where it was possible to carry out six experiments and identify the ones that obtained the best results.

Keywords: Framework, Genetic Algorithms, Energy Efficiency, Smart Transportation, Smart Cities

1 INTRODUÇÃO

Um dos temas que vem ganhando espaço na comunidade científica é o de Cidades Inteligentes (do inglês, *Smart Cities*) (AFONSO et al., 2013). De maneira geral, as mesmas podem ser vistas como a inserção das tecnologias de informação e comunicação no ambiente urbano a fim de prover soluções sustentáveis e modernas (AQUINO et al., 2015). Frente aos desafios encontrados pelas Cidades Inteligentes (DINIZ et al., 2015), (AFONSO et al., 2015) e (DA SILVA et al., 2020), pode-se citar a Mobilidade Urbana, pois como afirma (SOARES, 2012), a cidade deve ter um inteligente sistema logístico e de transporte de pessoas, meios eficientes de acessibilidade local e internacional, um sistema de transporte sustentável não agressivo ao meio ambiente.

Em relação aos tipos de transportes urbanos, pode-se destacar os trens elétricos, que servem como uma forma de minimizar os efeitos da emissão de gases poluentes, a diminuição do tráfego de veículos individuais, bem como a redução do consumo dos combustíveis fósseis. No entanto, surge um problema com relação ao gasto de energia, fazendo-se necessária a adoção de medidas que visam a eficiência energética.

Em Huang et al. (2015), os autores fazem um levantamento sobre 18 artigos alinhados ao problema da eficiência energética em trens urbanos. Eles apresentam um comparativo, onde é possível identificar que 50% dos trabalhos adotaram os Algoritmos Genéticos (AGs) como estratégia. Os AGs são meta-heurística que têm uma boa aceitação na literatura para solucionar problemas de otimização, entre eles o problema da eficiência energética em trens elétricos.

Ao explorar trabalhos na literatura, é possível observar que esses são direcionados a um cenário particular, com especificidade em uma determinada área, como Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Computação entre outras. Dessa forma, surge o desafio de encontrar uma estratégia que possa auxiliar os especialistas de cada área, a fim de que cada um possa contribuir com suas competências na inserção de informações do domínio do problema da eficiência energética em trens elétricos.

Diante dessa problemática, esse trabalho tem como objetivo propor um *framework*, denominado SmartSubway, para auxiliar especialistas na inserção de informações do domínio no problema da eficiência energética em trens elétricos e configuração dos parâmetros dos Algoritmos Genéticos.

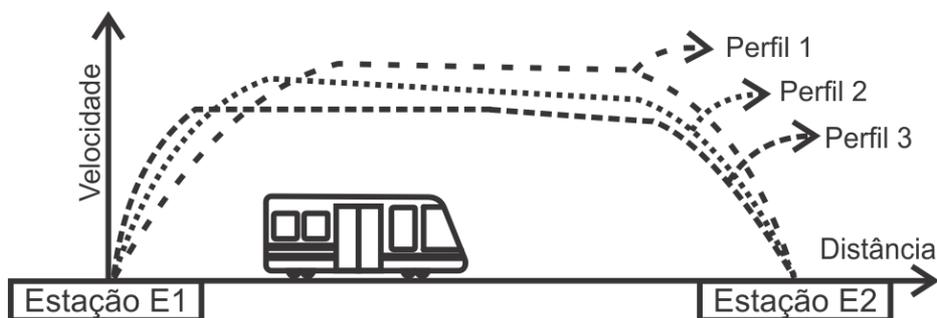
2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Com relação a Eficiência Energética, destacam-se três abordagens conhecidas como tabela de horário (do inglês, *timetable*) (YONG et al., 2011), (SU et al., 2013), reuso de energia (do inglês, *regenerative energy*) (YANG et al., 2015) e perfil de velocidade (do inglês, *speed profile*) (HAMID et al., 2016), (SICRE et al., 2014), (MARTINS et al., 2016). Cada uma dessas abordagens possui características específicas, de forma que é possível utilizar uma ou uma combinação dessas abordagens a fim de diminuir o gasto energético.

As três abordagens citadas anteriormente são importantes para a Eficiência Energética. No entanto para esse trabalho foi dada ênfase ao perfil de velocidade, visto que ele busca encontrar o perfil com menor gasto energético em um trecho entre duas estações do sistema metroferroviário. O perfil de velocidade permite, dentre outros aspectos, a automatização da condução visando menor gasto energético, bem como a recomendação de condução para operadores de trem.

A estratégia do perfil de velocidade consiste em encontrar um perfil de condução energeticamente eficiente durante o percurso do veículo. Na Figura 1 é possível observar uma ilustração de um veículo saindo de uma Estação E1 até a Estação E2, no entanto, ao realizar o trajeto, o mesmo possui um valor para a velocidade em uma determinada posição, formando assim o perfil de velocidade. Nessa mesma figura, observam-se três perfis distintos que podem ser realizados por maquinistas diferentes ou condições distintas, como número de passageiros, modelo do veículo, entre outras. Diante dos diversos perfis existentes, é importante ressaltar que o tempo necessário para realizar todo o trajeto deve obedecer ao intervalo determinado pela tabela de horário.

Figura 1: Perfis de velocidade entre duas estações.



3 TRABALHOS RELACIONADOS

Em Yang et al. (2015), os autores apresentam um levantamento sobre as operações energeticamente eficiente para os transportes ferroviários urbanos. São citados 14 trabalhos primários com foco na otimização da tabela de horários dos trens, dos quais quatro utilizaram os AGs como técnica de otimização para resolver o problema. Outro comparativo apresentado pelos autores foi com relação a 25 trabalhos com o foco na aplicação de estratégias de condução energeticamente eficientes, das quais cinco utilizaram os AGs.

Já em Huang et al. (2015), os autores realizaram um levantamento sobre 18 artigos alinhados ao problema de eficiência energética destacando o objetivo principal e as estratégias adotadas. Os autores apresentam um comparativo onde é possível identificar que o AG é a estratégia mais adotada. De posse dessa informação eles propõem um AG com múltiplas populações aplicado no metrô de Beijing em um trecho de 21 km.

Com base nas revisões da literatura analisadas, foi possível observar que os AGs tiveram uma boa aceitação para solucionar o problema da eficiência energética em trens elétricos. Dessa forma, essa técnica de otimização foi selecionada inicialmente para inspirar o *framework* posposto.

4 SMARTSUBWAY

Diante do que já foi discutido nesse artigo, atualmente os pesquisadores estão investigando estratégias para solucionar problemas encontrados no ambiente urbano. Dentre esses problemas é possível destacar o consumo energético em transportes urbanos, mais especificamente nos trens elétricos. Perante as soluções encontradas na literatura, nota-se que as abordagens adotadas foram as técnicas de otimização, de forma que as modelagens matemáticas e as variáveis utilizadas são distintas, ou seja, diante de um cenário de uma malha metroferroviária particular, podem ser realizadas simulações onde as variáveis são adquiridas de forma aleatória ou através de distribuições estatísticas. Outra alternativa é por intermédio de sensores que capturam os dados para que sejam inseridos nos experimentos.

Diante das possibilidades de configuração do domínio, ou seja, velocidade durante o trajeto, tempo gasto, quantidade de passageiros, entre outras, acerca do problema do gasto energético dos trens, se faz necessária uma alternativa que auxilie os especialistas na busca por soluções, onde os mesmos possam contribuir com as suas competências referentes ao problema. Frente a problemática citada anteriormente, o SmartSubway surgiu da necessidade de encontrar uma alternativa capaz de auxiliar os especialistas na criação e manutenção de

experimentos que necessitam das informações do domínio do problema, para alimentar e melhorar a eficiência da estratégia de otimização adotada, como os AGs por exemplo, os quais tratam-se de uma abordagem fortemente influenciada pela forma de modelagem do problema e consequente representação cromossômica, para determinação de seu sucesso. A seguir será descrito como realizar um experimento no SmartSubway.

4.1 PASSOS PARA REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Ao utilizar o sistema, o especialista poderá criar um experimento inserindo as informações do domínio. Dessa forma, se faz necessário a identificação dos passos a serem realizados para que seja possível criar um experimento. Com base nas etapas do AG, foram definidos os 5 passos a seguir:

Passo 1 - Definição das Variáveis: Esse passo consiste em definir quais as variáveis serão combinadas pelo AG, onde o desafio do especialista é identificar quais as variáveis mais relevantes que terão um maior impacto no resultado.

Passo 2 - Definição da Função de Avaliação: Nesse passo o especialista irá inserir a função de avaliação no sistema, onde ele poderá incluir números e funções pré-definidas, como *sen*, *cos*, *tan*, *exp*, entre outras, bem como fazer uso das variáveis definidas no passo 1.

Passo 3 - Definição da Criação da População Inicial: Aqui será definida a estratégia a ser adotada para a geração da população inicial, podendo ser de forma aleatória ou por dados reais, sendo que nos dois casos se faz necessário definir qual o valor mínimo, máximo e a variação de cada variável definida no passo 1.

Passo 4 - Definição dos Parâmetros: Para execução, do algoritmo, é necessário a definição de parâmetros gerais, tais como tamanho da população, número de gerações e taxa de mutação, dessa forma esse passo é responsável pela definição desses parâmetros.

Passo 5 - Definição dos Operadores Genéticos: Diante da quantidade de operadores disponíveis, nessa etapa o especialista irá determinar os operadores de seleção, *crossover* e mutação que serão adotados no experimento.

5 ETAPAS DA METODOLOGIA

Para que o objetivo seja atingido, se faz necessária a definição metodológica discutida a seguir. Posteriormente a implementação do sistema SmartSubway é feita como prova de prova do conceito, para validação do trabalho. Sendo assim, foram definidas três etapas realizadas

nesta pesquisa, sendo elas: 1. Definição, 2. Implementação e 3. Validação do SmartSubway. Essas etapas são detalhadas a seguir:

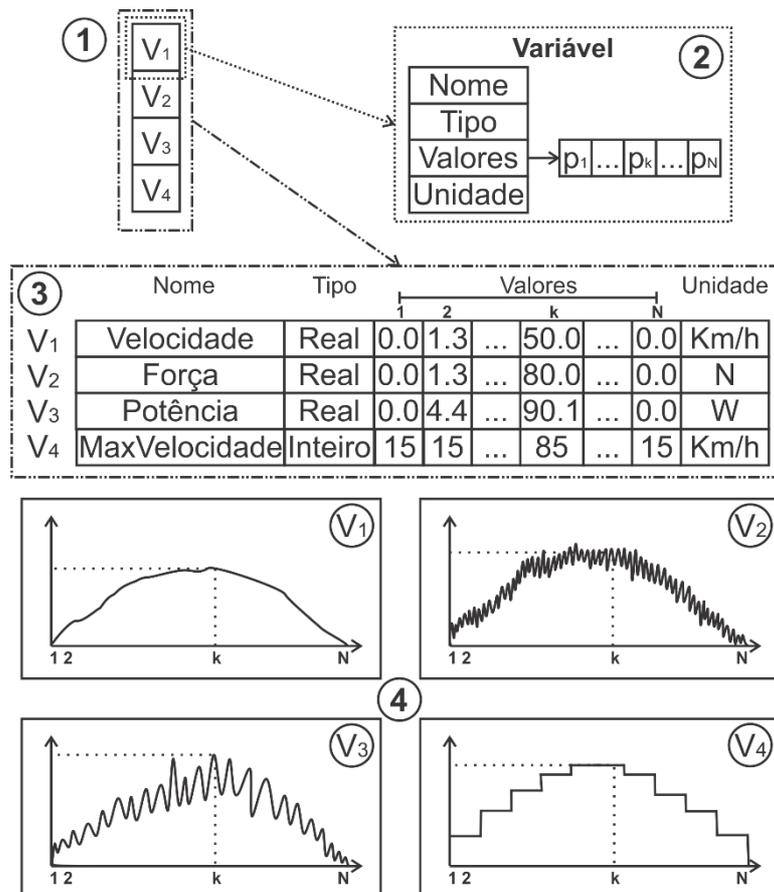
5.1 ETAPA 1 - DEFINIÇÃO CONCEITUAL DO SMARTSUBWAY

Nessa etapa será detalhada a descrição conceitual do SmartSubway. Visto a aceitação dos AGs para solucionar o problema em questão, este trabalho irá priorizar essa técnica de busca, de forma que as configurações serão inspiradas nas etapas dos AGs.

5.1.1 Representação Cromossomial

O intuito do trabalho é identificar uma estratégia genérica para inserção dos dados referente à configuração do domínio do problema. Dessa forma a representação do cromossomo a ser adotada para este trabalho deve atender essa especificação, ou seja, a definição cromossomial deve ser flexível. Na Figura 2, é possível observar a representação do cromossomo, e em seguida será apresentado a descrição dos 4 marcadores que estão na figura.

Figura 2: Representação cromossomial.



1. Representação de um vetor de objetos, de tamanho k , do tipo Variável.
2. Representação dos atributos do tipo Variável. Que são Nome, Tipo, Valores e Unidade. No caso do atributo Valores, o mesmo possui uma referência para um vetor de tamanho N que irá possuir os valores correspondente da variável, inserida pelo especialista, durante o trajeto do trem.
3. Representação na forma de uma tabela, nesse caso para melhor entendimento foram representadas 4 variáveis, sendo elas a velocidade, a força, a potência e a velocidade máxima. Onde cada linha corresponde a uma variável e uma coluna um atributo do tipo Variável, no caso do atributo Valores cada coluna corresponde a uma determinada configuração no trajeto entre duas estações, de forma que a quantidade de colunas de valores depende da quantidade de capturas, ou seja, terá o tamanho de 1 a N , por exemplo, a coluna k representa uma configuração das variáveis no momento k .
4. Apresenta os gráficos de cada variável representada, em especial é possível observar o ponto k para cada uma das variáveis.

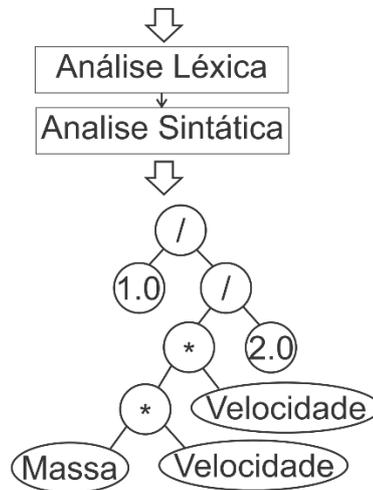
Essa representação foi definida com o intuito de facilitar a inserção, edição e remoção das variáveis pelo especialista. Durante o processo de construção dos experimentos, o profissional poderá realizar edições nas variáveis da representação, de forma que ele irá obter os resultados em menor tempo. A representação cromossomial está diretamente ligada aos operadores e, em implementações básicas de AGs, a alteração da representação pode afetar diretamente todo o algoritmo. Então, essa representação tenta evitar esse problema com relação a modificação na representação propondo um método mais genético e flexível, com maior independência da representação cromossomial.

5.1.2 Função de Avaliação

Conforme foi visto na seção de representação cromossomial, o sistema permite que o especialista realize edições nas variáveis da representação, o que está diretamente relacionado à definição da função de avaliação, bem como tem impacto sobre esta. Dessa forma, é necessário identificar uma estratégia que possibilite realizar essa adaptação da função de avaliação, em relação às variáveis definidas. A solução encontrada para este trabalho foi permitir uma flexibilidade de definição da função de avaliação e validar a função de avaliação, a ser inserida pelo especialista, por meio de dois analisadores, que são, o analisador léxico e o sintático.

Na Figura 3, é exibido um exemplo de função de avaliação, por meio de uma estrutura de dados do tipo árvore. Após a inserção da função, passará por um analisador léxico que irá dividi-la em tokens e classifica-los, gerando assim uma tabela com os tokens. Em seguida será aplicado o analisador sintático que verificará se a ordem dos termos inseridos está correta. Ao passar pelos analisadores, sem que nenhum deles identifique erros na função, será criada uma árvore sintática conforme apresentado na Figura 3. De posse da árvore gramatical, o passo do AG de avaliação dos indivíduos poderá fazer uso desta função para avaliar toda a população.

Figura 3: Processo para validar a função de avaliação
 $(1.0)/((\text{Massa}*\text{Velocidade}*\text{Velocidade})/2.0)$



5.1.3 Algoritmo Genético Adaptado

Com a representação cromossomial e a árvore gramatical da função de avaliação definidas, pode-se definir os passos do AG adaptado. No Algoritmo 1, contido na Figura 4, é apresentado os passos realizados pelo algoritmo. É possível observar que alguns métodos correspondem a processos e operadores clássicos de AG (p.e. avaliar, selecionar, etc.), entretanto outros foram acrescentados para a especificidade do problema de eficiência energética em curvas de velocidade, como por exemplo o método suavizar. Nas seções seguintes discutiremos estes em mais detalhes.

Figura 4: Pseudocódigo do Algoritmo Genético

Algoritmo 1: ALGORITMOGENETICO

Entrada: tamanho, gerações, mutação
Saída: Melhor solução encontrada

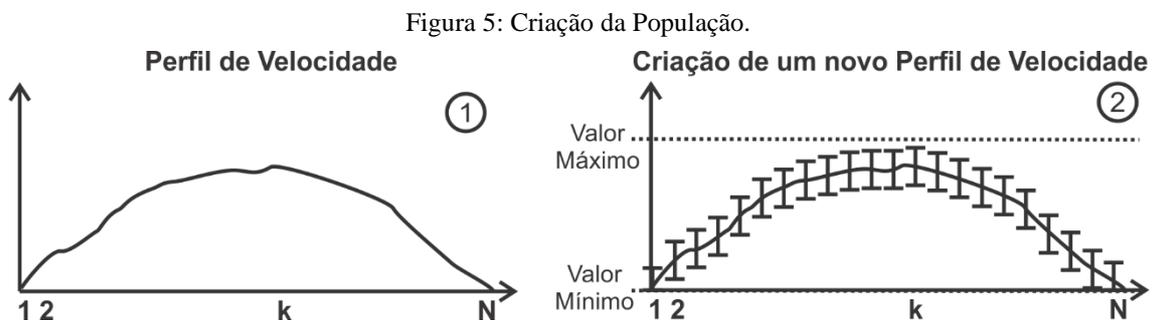
```

1 início
2   população = criarPopulação(tamanho)
3   para cont de 0 até gerações faça
4     suavizar(população)
5     avaliar(população)
6     para i de 0 até tamanho faça
7       pai1 = selecionar()
8       pai2 = selecionar()
9       filho = reproduzir( pai1, pai2)
10      novoFilho = mutar( filho, taxa)
11      novaPopulação[i] = novoFilho
12    fim
13    moduloPopulação( população, novaPopulação)
14    melhorFilho = selecionarMelhor( população)
15  fim
16  retorna melhorFilho
17 fim

```

5.1.4 Criação da População Inicial

Ao iniciar o algoritmo, o primeiro passo refere-se a criação da população. Neste passo o usuário poderá optar por: receber os dados obtidos de sensores situados nos veículos, ou de forma aleatória. Na Figura 5, é ilustrado o processo para a criação de um novo indivíduo da população. Considere que o especialista conseguiu realizar a captura da variável Velocidade. Dessa forma o atributo Valores possui os N valores da velocidade entre as duas estações, como identificado em 1. O processo de criação da população irá se inspirar nesse perfil inicial, visto que trata-se de um perfil viável.



Sabendo que essa variável possui N valores, será criado um novo perfil de mesmo tamanho, mas para não perder a diversidade genética da população, com indivíduos distintos

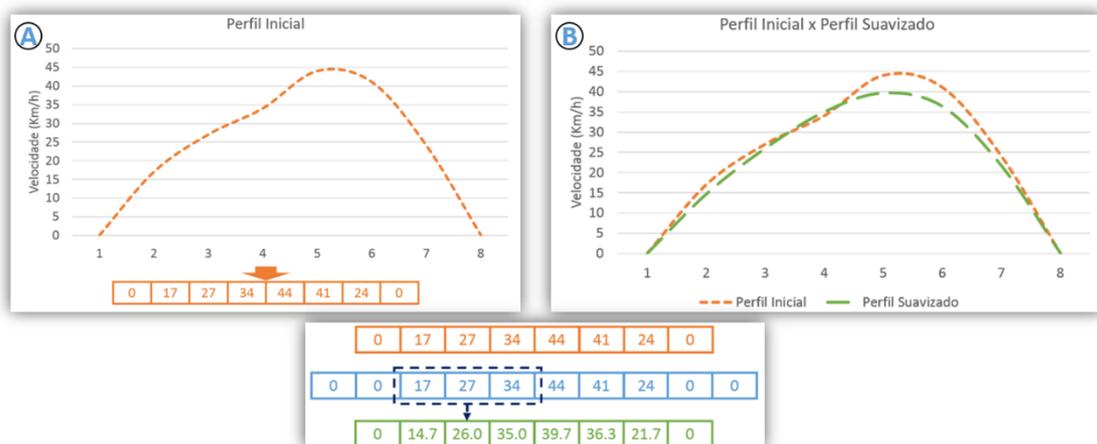
que não violem as restrições do problema. Dessa forma, o especialista deverá definir um valor de um parâmetro denominado variação que indica ao algoritmo o intervalo de variação. Por exemplo, se o valor de variação for igual a 3, e o valor na posição k for igual a 65, então o novo valor nesta posição será entre $[62, 68]$, ou seja, $[k - \text{variacao}, k + \text{variacao}]$.

5.1.5 Suavização

O passo seguinte é o da suavização do perfil de velocidade, visto que ao gerar a população ou após a aplicação dos operadores de *crossover* e mutação nos indivíduos, o perfil de velocidade gerado pode conter variações altas de velocidade, o que traria desconforto para os passageiros. Dessa forma, nesta etapa o usuário poderá aplicar a suavização da média, que realiza a média aritmética nos m valores vizinhos de cada uma das N velocidades contidas no vetor Valores da variável Velocidade.

Na Figura 6, é ilustrado o processo para a realização da suavização, onde é possível representar o perfil inicial na forma de um vetor de tamanho N , onde é armazenado cada valor da velocidade. Para aplicar a suavização se faz necessário definir o valor de m , preferencialmente um valor ímpar. No exemplo da figura o valor definido foi $m = 3$, a partir de então é criado um vetor auxiliar com tamanho maior do que o primeiro vetor criado para evitar erros quanto ao tamanho no momento da programação. O tamanho do vetor auxiliar pode ser obtido pelo seguinte cálculo $N' = N + 2 * (m/2)$.

Figura 6: Processo para suavização de um perfil.



Em seguida os valores do vetor inicial são copiados para o vetor auxiliar, e adicionado zero às extremidades. Por fim é necessário retornar um vetor do mesmo tamanho do original,

no entanto, os valores do vetor resultante serão definidos pela média aritmética dos m vizinhos. Por exemplo, na Figura 6 é possível observar que o valor 26.0 foi definido pela média aritmética dos valores que estão na região delimitada, que possui exatamente o valor de m . Esse processo se repete para cada um dos valores do vetor resultante.

5.1.6 Avaliação da População

Neste passo cada indivíduo da população será avaliado conforme a função de avaliação definida pelo usuário. Então, será utilizada a árvore sintática gerada inicialmente, pois a mesma possui as operações da função inserida pelo usuário.

5.1.7 Seleção dos Pais

Antes de seguir para o passo dos operadores, a condição do laço de repetição é verificada, se o número de gerações ainda não atingiu o valor definido, serão aplicados os operadores. O operador de seleção será responsável por escolher um indivíduo na população. Como os operadores de seleção utilizam os valores definidos na avaliação, então é possível adotar os métodos da Roleta ou do Torneio (Queiroz et al., 2016).

5.1.8 Reprodução dos Pais

Após a seleção de dois indivíduos, inicia-se a reprodução, também conhecido como *crossover*, conforme ilustra a Figura 7. Nesta figura é possível observar o tipo de *crossover* de um ponto aplicado ao cromossomo adotado neste trabalho. Então, será escolhido aleatoriamente um valor entre 1 e N , que representa o tamanho do vetor Valores, para ser o ponto de corte. O conteúdo do filho gerado será composto pela primeira parte do primeiro pai indo da posição 1 até o ponto de corte e a segunda parte do filho será o final do segundo pai, ou seja, do *ponto de corte + 1* até N .

Figura 7: Crossover de um ponto do SmartSubway.



5.1.9 Mutação

A aplicação desse operador poderá ser a Mutação Uniforme, ou os que se encontram no trabalho (Queiroz et al., 2016). No entanto é válido ressaltar que a perturbação gerada por esse operador deverá atender as restrições do problema. Assim, no caso da velocidade a mutação não deve gerar valores negativos ou maiores que a velocidade máxima.

5.1.10 Módulo da População

A cada nova iteração do algoritmo, uma nova população é gerada. O módulo da população é o operador responsável pelo controle da população, ou seja, como a nova população formada pelos pais será descartada. Pode-se utilizar o módulo da população que descarta todos os pais, ou o operador que mantém os p melhores pais e os restante da população serão formadas pelo filhos. Estas duas abordagens foram adotadas neste trabalho.

5.2 ETAPA 2 - IMPLEMENTAÇÃO DO SMARTSUBWAY

Visto que o SmartSubway é um sistema para apoiar os especialistas, então foi definido que o mesmo seria desenvolvido para a plataforma Web. As tecnologias utilizadas foram: JavaEE, HTML, CSS, JavaScript e MySQL. A biblioteca JFreeChart para a geração dos gráficos. O sistema será apresentado juntamente com o estudo de caso, onde será possível observar sua aplicação, com a finalidade de esclarecer como será a inserção de informações do domínio.

5.3 ETAPA 3 - VALIDAÇÃO DO SMARTSUBWAY

Para a validação do SmartSubway foi realizado um estudo de caso no estado da Paraíba, onde através de sensores foram captados dados entre as cidades João Pessoa e Cabedelo. Em seguida as informações do domínio foram inseridas no sistema identificando assim os perfis gerados pelo mesmo. Os detalhes sobre a avaliação encontram-se na Seção 6.

6 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

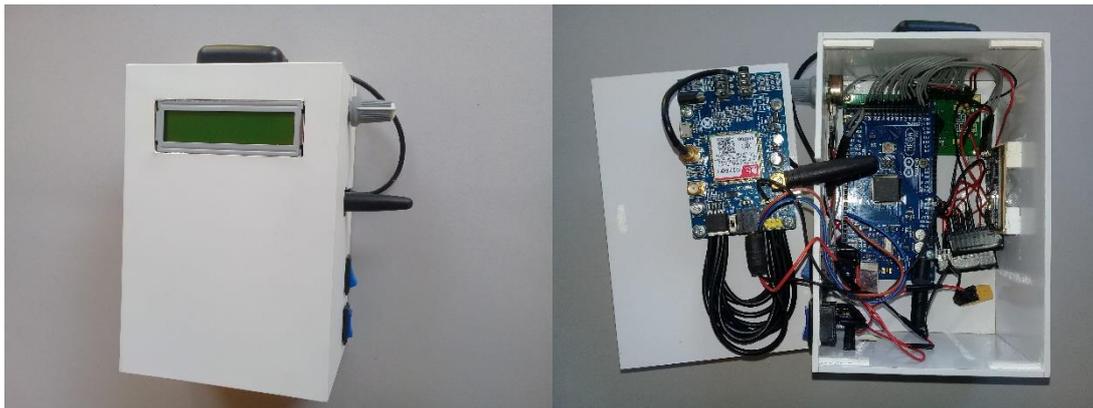
Com o intuito de validar o sistema e de apresentar o seu funcionamento, foi realizado um experimento a seguir.

6.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Como foi visto na Seção 5.1.4, para a realização de um experimento se faz necessária a criação da população do AG, que pode ser de forma aleatória ou através de dados reais. Logo, para esse experimento optou-se pela criação da população inicial por dados reais, visto que o algoritmo já inicia com uma solução viável buscando melhorar a cada geração.

Dessa forma foi desenvolvido um sistema embarcado denominado SmartSubwaySensor, que captura os dados do trem durante seu percurso. A Figura 8 ilustra o SmartSubwaySensor, que é composto por uma placa Arduíno Mega e sensores como acelerômetro, giroscópio e magnetômetro.

Figura 8: Imagens do SmartSubwaySensor.



De posse dos sensores, foi realizada a captura dos dados na Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU em João Pessoa. A captura foi realizada entre as estações de João

Pessoa a Cabedelo. No entanto, para o experimento, foi escolhido o trecho entre as estações de Renascer e Jacaré.

6.2 CONFIGURAÇÃO DO DOMÍNIO

Nessa seção será descrita a configuração do domínio a ser inserida no sistema.

6.2.1 Função de Avaliação

A função de avaliação adotada para esse experimento pode ser observada na função $f(x)$ na Equação .

$$h(x) = \frac{m * v_x^2}{2} \quad (1)$$

$$E_t = \sum_{i=1}^N h(x) \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{1}{E_t} \quad (3)$$

m = é a massa do trem.

x = posição atual do trem.

v_x = velocidade do trem na posição x .

N = total de capturas entre as estações.

$h(x)$ = energia na posição x .

E_t = Energia total.

$f(x)$ = valor da avaliação do indivíduo.

6.2.2 Parâmetros de Entrada

Os parâmetros de entrada utilizados são:

Tamanho da População: 100

Quantidade de Gerações: 30

Taxa de Mutação: 0.1

Quantidade de repetição do algoritmo: 30

Massa: 100 toneladas

K (Método do Torneio): k

6.2.3 Operadores Seleccionados

Serão realizados 6 experimentos com configurações distintas de operadores conforme mostra a Tabela 1.

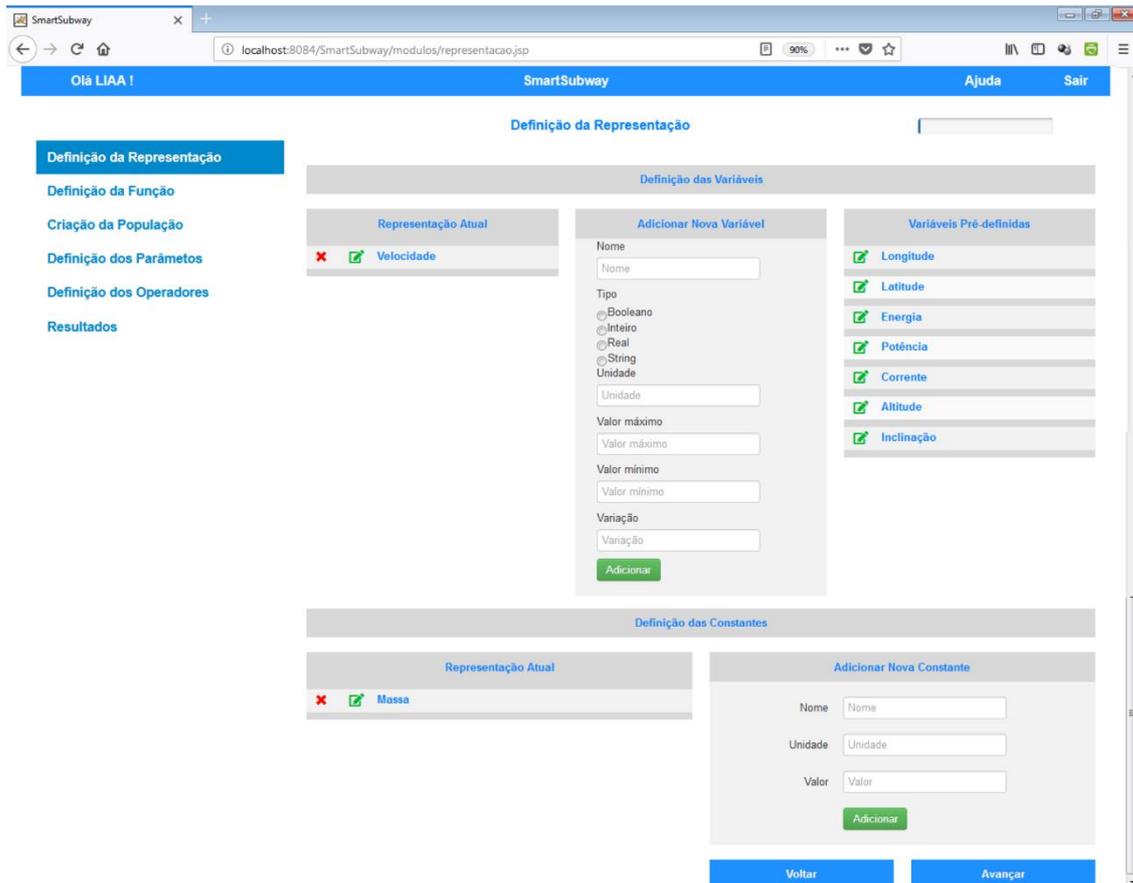
Tabela 1: Identificação dos operadores de seleção, *crossover* e mutação dos seis experimentos

Experimentos	Seleção	Crossover	Mutação
1	Roleta	Um Ponto	Uniforme
2	Roleta	Dois Pontos	Uniforme
3	Roleta	Uniforme	Uniforme
4	Roleta	Um Ponto	Uniforme
5	Torneio	Dois Pontos	Uniforme
6	Torneio	Uniforme	Uniforme

6.3 INSERÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DO DOMÍNIO NO SISTEMA

Nessa seção será apresentada a criação dos experimentos e inserção das configurações do domínio. Após o cadastro e acesso no sistema, o especialista poderá criar um novo experimento. Quando o especialista clicar em nova configuração, ele será direcionado para a página de definição da representação, como mostra a Figura 9. Nessa página será possível iniciar a inserção de informações do domínio que foram previamente definidas. Especificamente nessa página, ele irá inserir as variáveis e constantes. Conforme a função de avaliação definida, a variável que se faz necessária ser inserida, é a da velocidade. Ao inserir essa variável, o especialista poderá verificar se a mesma se encontra na seção de variáveis predefinidas.

Figura 9: Página da definição da representação



Caso o especialista não encontre a variável desejada, ele poderá ir na seção Adicionar Nova Variável, nesse caso ele precisará informar o nome da variável, o tipo, ou seja, booleano, inteiro, real ou *string* e a unidade, por exemplo, km/h. Caso a variável seja um inteiro ou real, é preciso informar os valores de máximo e mínimo e o valor da variação desejada para essa variável.

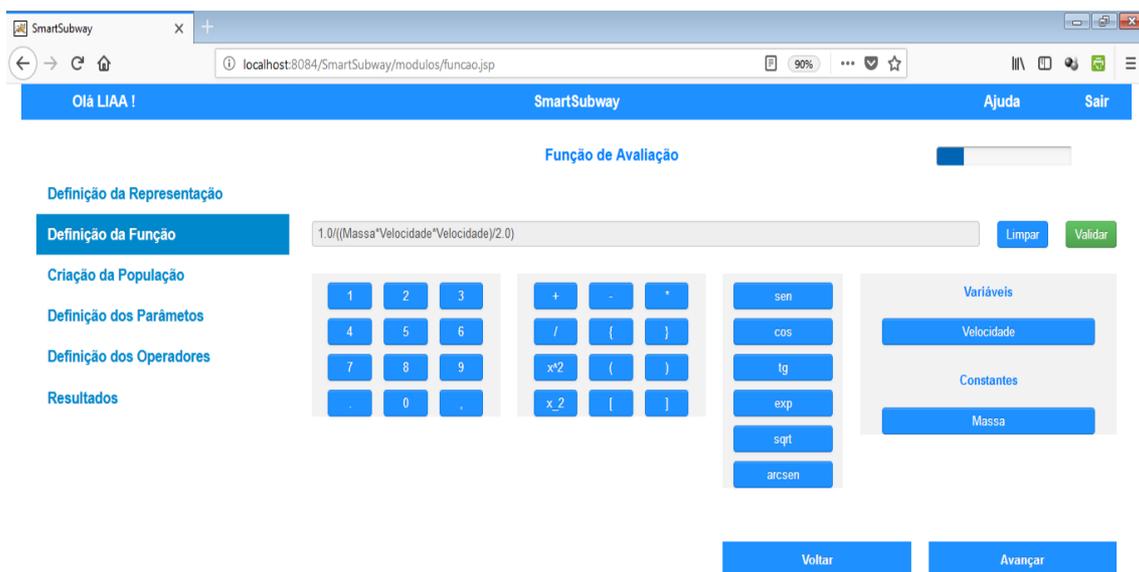
É importante destacar que essas informações se fazem necessárias para o funcionamento do algoritmo. O especialista poderá modificar as variáveis, de forma que ele consegue alterar a representação do cromossomo. Conforme suas edições são realizadas, o sistema já armazena no banco de dados para que o algoritmo utilize as mesmas. Os valores de máximo, mínimo e variação serão utilizados na etapa de criação da população inicial como foi detalhado anteriormente.

Ainda na Definição da Representação, o especialista poderá adicionar as constantes. Para esse experimento, é possível observar que a modelagem utiliza a massa, que nesse caso pode ser tratar da abordagem Perfil de Velocidade, a qual permanece constante visto que

durante duas estações não haverá mudança no peso do veículo, pois não haverá alterações na quantidade de passageiros e na carga.

Com a representação concluída, inicia-se a inserção da função de avaliação. Na Figura 10, é possível observar a página onde o especialista poderá inserir a função de avaliação. No entanto, para adicionar a função, o especialista deverá fazer uso dos botões, visto que o campo para inserir a função está desabilitado para evitar problemas com relação à digitação do nome das variáveis. Sendo assim o especialista poderá inserir números, operadores aritméticos, funções predefinidas, variáveis e constantes que foram definidas na página anterior. Ao clicar nos botões, o algoritmo inicia o processo da análise léxica, construindo a tabela de tokens, no fim ao clicar em validar, a análise sintática é iniciada e caso não tenha problema, a função será armazenada no banco de dados.

Figura 10: Página definição da função de avaliação



Em seguida, o especialista poderá definir a inicialização da população, e inserir os dados, caso ele deseje a opção de dados reais como mostrada na Figura 11. Nesse momento, foram inseridos os dados referentes à velocidade, capturados pelo SmartSubwaySensor.

Figura 11: Página da Criação da População Inicial

A Figura 12 exibe como especialista poderá inserir o tamanho da população, o número de gerações, a taxa de mutação e quantidade de repetição do algoritmo.

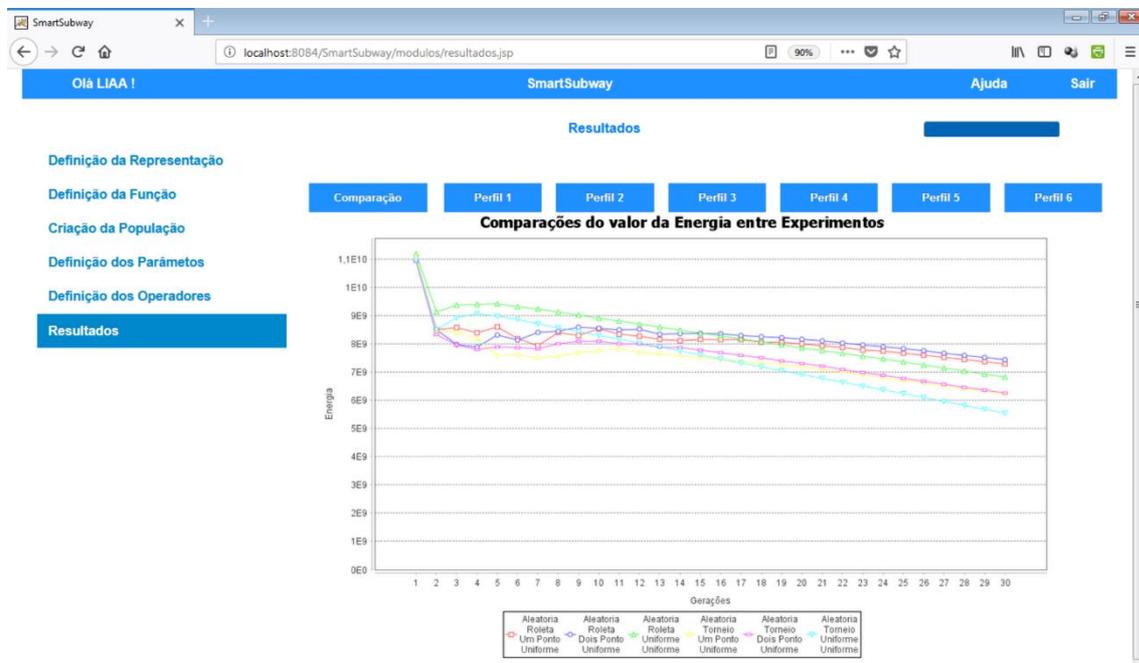
Figura 12: Página da definição dos Parâmetros

Já na Figura 13, o especialista poderá definir os operadores genéticos, ou seja, o operador de Seleção, de *Crossover*, mutação, módulo da população e o tipo de suavização. Ao escolher os operadores, alguns necessitam de parâmetros de entrada, como por exemplo, o operador do torneio, que requer o valor de K . Ao concluir a definição, a execução do algoritmo poderá ser iniciada.

Figura 13: Página da definição dos Operadores

Após todas as configurações definidas, o algoritmo executa e gera os resultados. A Figura 14 exibe a página de resultados, onde poderá ser visto a comparação entre os experimentos e o perfil de velocidade indicado pelo algoritmo.

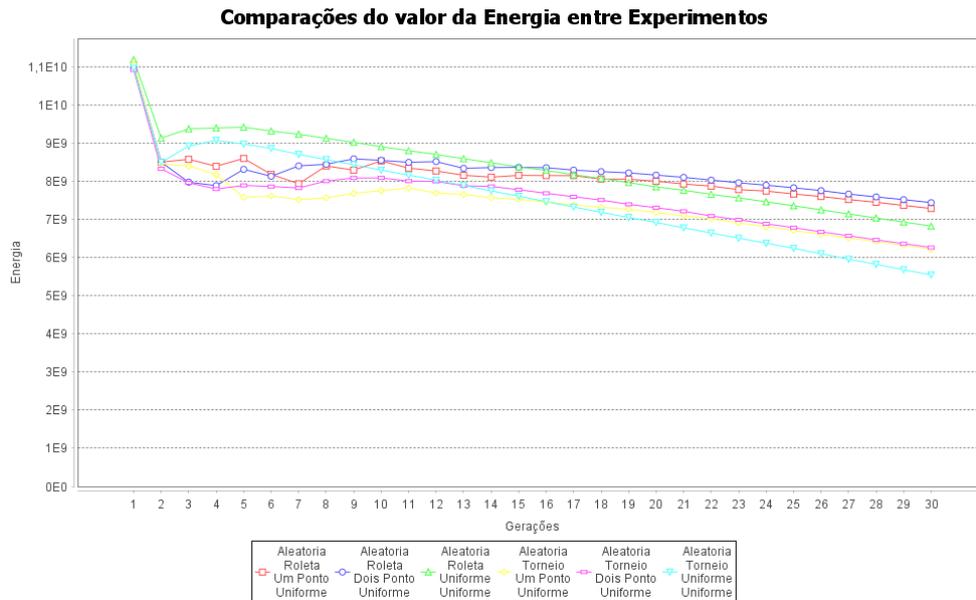
Figura: 14: Página dos Resultados



6.4 Resultados dos Experimentos

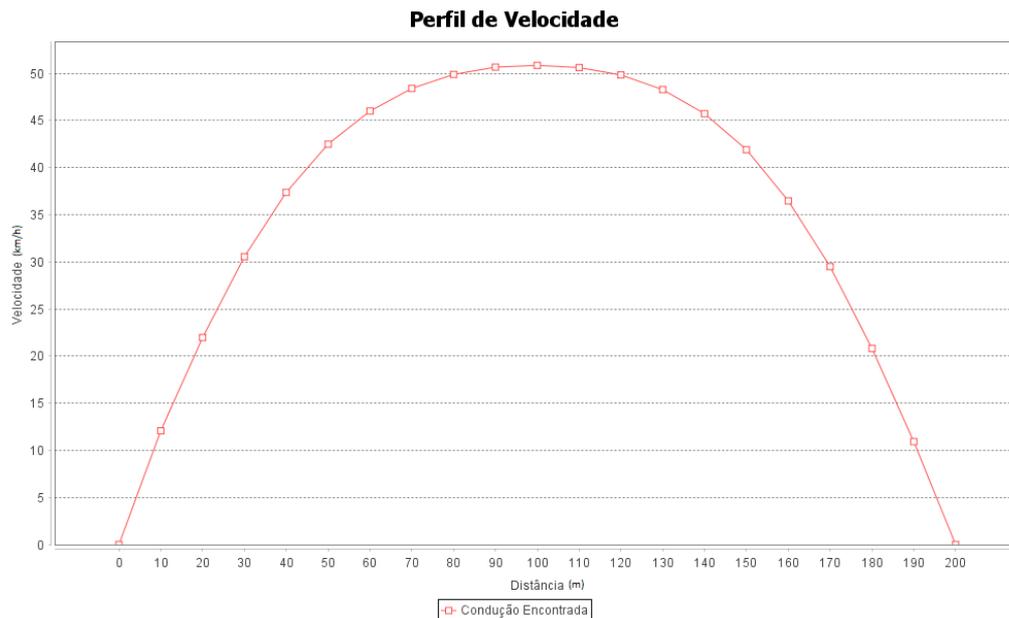
Com a inserção das informações do domínio no SmartSubway, o mesmo apresentou uma comparação entre os seis experimentos realizados e o melhor perfil de velocidade encontrado. Com relação à comparação apresentada na Figura 15, é possível observar que o Experimento 6, composto pelos operadores de seleção por torneio, *crossover* uniforme e mutação uniforme, obteve melhor resultado quando comparado com os demais experimentos.

Figura 15: Comparação entre os experimentos



Além do Experimento 6, os que obtiveram melhores resultados foram os Experimentos 4 e 5, ou seja, os experimentos que usaram o operador de seleção por torneio tiveram melhores resultados quando comparados com o método da roleta. Por fim, os Experimentos 1, 2 e 3 foram os que gastaram mais energia. Outra observação, é com relação aos operadores de *crossover*. Quando foi utilizado o mesmo operador de seleção, nos dois casos o operador de *crossover* uniforme obteve melhor resultado quando comparado ao *crossover* de um ponto e dois pontos. Na Figura 16, é ilustrado o perfil de velocidade do Experimento 6.

Figura 16: Perfil de velocidade do Experimento 6



7 CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho foi possível identificar uma estratégia para auxiliar os especialistas na inserção de informações do domínio, na solução do problema do gasto energético em trens com uma solução genérica, flexível e adaptável. Com relação a técnica de otimização, os AGs foram capazes de encontrar boas soluções.

As contribuições esperadas com a implantação do sistema:

- A empresa responsável pelos veículos economizará energia, que além de diminuir o consumo, permitirá que a mesma insira mais veículos na sua frota atual, pois em alguns estados brasileiros as companhias de fornecimento de energia elétrica limitam o fornecimento e caso ultrapassem esse limite a empresa é multada;
- Adição de mais veículos nos horários de maior uso irá impactar no nível de conforto dos passageiros.
- Com a posse do histórico dos experimentos, a adaptação à mudanças no sistema metroferroviário será facilitada, como na inserção ou remoção de uma estação, ou numa alteração significativa do número de passageiros.

Como trabalhos futuros, é possível destacar:

- Aumento da quantidade de dados capturados, inserindo variáveis como corrente, altitude, entre outras;
- Adicionar outras técnicas de otimização, bem como um método exato;
- Integrar a tabela de horário;
- Adicionar gráficos interativos.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos à Capes e ao CNPQ pelas bolsas concedidas. Ao Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI-UFPB) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM-UFPB). À toda equipe do Laboratório de Inteligência Artificial Aplicada (LIAA).

REFERÊNCIAS

Afonso, R. A., da Silva, W. M., Tomas, G. H., Gama, K., Oliveira, A., Alvaro, A., & Garcia, V. C. (2013, June). Br-scmm: Modelo brasileiro de maturidade para cidades inteligentes. In *Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação* (pp. 511-516). SBC.

Afonso, R., Nascimento, C., Garcia, V., & Álvaro, A. (2015, May). Smartcluster: Utilizando dados públicos para agrupar cidades inteligentes por domínios. In *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação* (pp. 699-702). SBC.

Aquino, A. L., Ramos, H. S., Pereira, L. V., & Frery, A. C. (2015). Cidades Inteligentes, um Novo Paradigma da Sociedade do Conhecimento. *Blucher Education Proceedings*, 1(1), 165-178.

da Silva, A. A., Lins, S. L. S., & da Silva Xavier, A. (2020). Uma aplicação do problema do carteiro chinês direcionado na coleta de lixo urbano/An application of the chinese wallet problem targeted in urban waste collection. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 24640-24659.

Diniz, H., Silva, E., & Gama, K. (2015, May). Uma arquitetura de referência para plataforma de crowdsensing em smart cities. In *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação* (pp. 87-94). SBC.

Hamid, H. A., Nicholson, G. L., Douglas, H., Zhao, N., & Roberts, C. (2016, August). Investigation into train positioning systems for saving energy with optimised train trajectories. In *2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT)* (pp. 460-468). IEEE.

Huang, Y., Ma, X., Su, S., & Tang, T. (2015). Optimization of train operation in multiple interstations with multi-population genetic algorithm. *Energies*, 8(12), 14311-14329.

Martins, M. B., Lino, N. C. Q., & Lima Filho, A. C. (2016, October). GeneticBee: A theoretic and evolutionary formulation for the energy efficiency problem of urban trains. In *2016 IEEE ANDESCON* (pp. 1-4). IEEE.

Queiroz, M., Martins, M., Daniel, R. G., & Lino, N. (2016). Um estudo exploratório sobre o uso de algoritmos genéticos para o problema de eficiência energética em trens urbanos. *Anais do IX ENUCOMP*.

Sicre, C., Cucala, A. P., & Fernández-Cardador, A. (2014). Real time regulation of efficient driving of high speed trains based on a genetic algorithm and a fuzzy model of manual driving. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 29, 79-92.

Soares, D. J. (2012). Cidades Inteligentes: um novo arranjo para o desenvolvimento. *Enfagen 2012: Administração em destaque. II Encontro da Faculdades de gestão e negócios*.

Su, S., Li, X., Tang, T., & Gao, Z. (2013). A subway train timetable optimization approach based on energy-efficient operation strategy. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(2), 883-893.

Yang, X., Chen, A., Li, X., Ning, B., & Tang, T. (2015). An energy-efficient scheduling approach to improve the utilization of regenerative energy for metro systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 57, 13-29.

Yang, X., Li, X., Ning, B., & Tang, T. (2015). A survey on energy-efficient train operation for urban rail transit. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(1), 2-13.

Yong, D. I. N. G., Haidong, L. I. U., Yun, B. A. I., & Fangming, Z. H. O. U. (2011). A two-level optimization model and algorithm for energy-efficient urban train operation. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 11(1), 96-101.