

Lucas Teles Agostinho
Rodrigo Mendonça da Paixão

Algoritmos Genéticos Aplicados no Problema de Roteirização de Veículos com Janela de Tempo

São Paulo – Brasil

2018

Lucas Teles Agostinho
Rodrigo Mendonça da Paixão

Algoritmos Genéticos Aplicados no Problema de Roteirização de Veículos com Janela de Tempo

Centro Universitário Senac
Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Dr. Eduardo Heredia

São Paulo – Brasil
2018

Lista de abreviaturas e siglas

AG	Algoritmos Genéticos
API	Application Programming Interface
IA	Inteligência Artificial
CPU	Central Processing Unit
PCV	Problema do Caixeiro Viajante
PRV	Problema de Roteirização de Veículos
PRVJT	Problema de Roteirização de Veículos com Janela de Tempo
TS	Têmpera Simulada

Sumário

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	Motivação	5
1.2	Objetivos	7
1.2.1	Objetivos Específicos	7
1.3	Método de trabalho	7
1.4	Organização do trabalho	8
2	REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1	Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo	9
2.1.1	Formulação matemática	9
2.1.2	Complexidade	11
2.1.3	Heurísticas	12
2.1.3.1	Construção de rotas	12
2.1.3.2	Aprimoramento de rotas	13
2.1.3.3	Estruturas de vizinhança	14
2.1.4	Meta-heurísticas	15
2.1.4.1	Busca Tabu (Tabu Search)	16
2.1.4.2	Têmpera Simulada (Simulated Annealing)	16
2.1.4.3	Busca Local com Múltiplos Pontos Iniciais (Multi-Start Local Search)	16
2.1.4.4	Algoritmos Genéticos / Evolutivos	16
2.2	Algoritmos genéticos	18
2.2.1	Funcionamento	18
2.2.2	Inicialização	19
2.2.3	Avaliação	19
2.2.4	Seleção	19
2.2.5	Cruzamento	20
2.2.6	Mutação	20
2.2.7	Finalização	20
2.2.8	Aplicações	22
3	METODOLOGIA	25
4	IMPLEMENTAÇÃO	32
4.1	Tecnologias	32
4.2	Estrutura do Projeto	32
4.2.1	Calculador de Rotas - CalcRoute	32

4.2.2	Gerador de Dados - CalcRoute.RouteGenerate	33
4.2.3	API de Calculo de Rotas - CalcRoute.API	33
4.2.4	Interface para comunicação com a API	33
4.2.4.1	Configurações Avançadas	34
5	RESULTADOS	37
5.1	Comparações	37
5.2	Roteiros dos Testes	38
5.2.1	Roteiro 1	38
5.2.1.1	500 Gerações e 50 População	39
5.2.1.2	1000 Gerações e 100 População	41
5.2.2	Roteiro 2	42
5.2.2.1	500 Gerações e 50 População	44
5.2.2.2	1000 Gerações e 100 População	47
5.2.3	Roteiro 3	49
5.2.3.1	500 Gerações e 50 População	51
5.2.3.2	1000 Gerações e 100 População	55
5.2.4	Roteiro 4	59
5.2.4.1	500 Gerações e 50 População	61
5.2.4.2	1000 Gerações e 100 População	65
5.2.5	Alteração do tempo com base no transito	69
5.2.5.1	Média	69
5.2.5.2	Otimista	70
5.2.5.3	Pessimista	70
5.2.6	Limitação de entregadores	71
5.2.7	Impossibilidade de entregar	72
5.3	Limitações	72
5.4	Conclusão	73
5.5	Trabalhos futuros	73
	REFERÊNCIAS	74

1 Introdução

No meio empresarial é comum pensar em logística, essa é a área que gerencia os recursos, matérias-primas, componentes, equipamentos, serviços, informações necessárias para execução e controle das atividades da empresa. Ela tem como foco orquestrar esses itens de forma a encontrar melhores condições de operação.

Uma atividade da logística que envolve grande valor de negócio é a distribuição eficiente de mercadorias ou serviços. Os custos de transporte representam uma parcela significativa do preço de muitos produtos. ([DIAS, 2010](#))

1.1 Motivação

Com o crescimento populacional, a descentralização dos pontos de venda e o aumento da variedade de produtos tem provocado o crescimento da complexidade da rede de distribuição de bens e serviços. O valor da logística se manifesta em termos de tempo e lugar, ou seja, disponibilidade. Sendo assim eles não terão valor, a menos que estejam em poder dos clientes quando (tempo) e onde (lugar) eles pretendem consumi-los ([TSUDA, 2007](#)).

As decisões de transporte são parte fundamental da estratégia e planejamento logístico, com destaque para o problema de roteirização veículos (PRV), isso porque o transporte pode representar de um a dois terços dos custos logísticos totais ([BALLOU, 1973; RODRIGUES, 2007](#)).

O PRV é definido de forma que a partir de um conjunto de rotas que será percorrido por uma quantidade N veículos, onde cada rota começa e termina em um depósito, e todos os endereços serão visitados somente uma vez.

A identificação da ordem dos destinos, quando há um número elevado de endereços, se torna complexa por se tratar de um problema combinatório, onde é preciso avaliar todas as combinações para encontrar uma rota de menor tempo e distância ([KARP, 1975](#)).

Sendo assim PRV pode exigir um alto esforço computacional, pertencendo a classe dos problemas NP-difíceis, não pode ser solucionado em tempo polinomial, sendo uma forma de combinação da solução do problema do Caixeiro Viajante e do Problema da Mochila ([OLIVEIRA, 2005b](#)), por isso torna-se importante uma boa escolha do método a ser usado para sua solução.

Existem variações do problema PRV que adicionam mais complexidade para se adequar aos problemas reais de logística, uma delas é o problema de roteamento de veículos

com janela de tempo, o PRVJT, assim como o PRV também pertence a classe NP-difíceis, nele deve-se considerar um intervalo de tempo para o atendimento dos consumidores nos locais das entregas a serem realizadas, por exemplo, não poderia realizar uma entrega para um cliente, em um horário, em que não poderia receber ou para empresas que só funcionem em horário comercial.

Como exemplo de aplicações podemos citar:

- Entrega postal;
- Entrega em domicílio de produtos comprados nas lojas de varejo ou pela internet;
- Distribuição de produtos dos centros de distribuição (CD) de atacadistas para lojas do varejo;
- Escolha de rotas para ônibus escolares ou de empresas;

Para se aproximar de uma situação mais real, deve-se levar em consideração que o trânsito das grandes cidades muda constantemente, e o tempo de percorrer uma certa distância dependendo do dia e horário da semana também muda, assim como acidentes, obras em vias e etc, tornando o trânsito uma variável importante para o cálculo da rota de entrega. Tendo destinos com horários de funcionamento delimitados, pode não existir uma rota que satisfaça as restrições de horário, tornando impossível de ser encontrado uma rota que passe por todos os destinos com apenas um entregador, somando o problema de se identificar a quantidade de entregadores necessária para realizar todas as entregas respeitando todas as restrições de horários partindo do depósito.

Os atuais resultados encontrados na literatura referentes ao PRV e PRVJT comprovam que os algoritmos exatos restringem-se à resolução de problemas-teste com tamanho reduzido e janelas de tempo apertadas. Embora hoje possamos resolver problemas com um tamanho que seja ligeiramente maior que os de alguns anos atrás, o crescimento da capacidade dos computadores e da eficiência dos algoritmos está muito distante da curva exponencial representada por este problema. Pode-se dizer que os métodos exatos não são uma alternativa viável para situações onde a um número maior de consumidores, como ocorre na maioria dos casos reais ([CHABRIER, 2006](#)).

Por isso a utilização de meta-heurísticas tais como algoritmos genéticos, podem conseguir resultados satisfatórios em menor tempo que as soluções exatas. ([BRÄYSY; DULLAERT; GENDREAU, 2004](#))

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo aplicar uma solução computacional para o PRVJT utilizando algoritmos genéticos para endereços reais.

Ao encontrar rotas com muitos destinos de forma a não conseguir realizar todas as entregas, estas serão separadas em rotas menores, cada rota deve ser percorrida por um entregador diferente, e todas tem como endereço inicial e final o depósito.

Também sendo possível determinar o número máximo de entregadores, horário de saída do depósito e horário máximo para realizar todas as entregas, caso a rota não seja possível com esse número limite entregados até o horário limite, o usuário será sinalizado.

O trânsito é considerado como alterador de tempo entre os endereços, fazendo com que a solução mude dependendo do dia da semana e horário. Todas as rotas são organizadas considerando o trânsito médio.

Esta solução irá visar a minimização da quantidade de entregadores necessários, distância total percorrida e tempo para realizar o percurso.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Realizar a integração com o Google Maps, considerando o trânsito utilizando o tempo médio entre os endereços.
- Aplicar uma solução de algoritmos genéticos para PRVJT
- Implementar uma ferramenta para rodar o GA e salvar os resultados.
- Criação de uma interface web para definição dos destinos, indicação do depósito, exibição em tabelas das rotas calculadas e exibição de cada rota em um mapa interativo do Google Maps.

1.3 Método de trabalho

Diferentes instâncias do problema serão criadas para a simulação computacional, com estes testes já integrados programa, podendo ser escolhido e executado de uma maneira simples. Os endereços são reais, escolhidos em diferentes pontos no mapa e horários de abertura e fechamento são os indicados no Google Maps para cada endereço. Utilizando essa ambiente controlado situações impossíveis devem ser rejeitas.

1.4 Organização do trabalho

Este trabalho é dividido em 4 capítulos. O primeiro capítulo faz uma introdução geral do problema, com a descrição dos objetivos e a motivação para resolução do problema proposto.

O segundo capítulo trata do problema de forma separada, mostrando o que existe na literatura para uma possível solução. Também explica de forma mais detalhada o funcionamento das heurísticas e aplicações dos algoritmos genéticos para problemas semelhantes.

O terceiro capítulo é a proposta apresentada para a criação deste trabalho.

O quarto capítulo detalha implementação do programa e métodos utilizados para o seu funcionamento.

O quinto capítulo exibe os testes executados, resultados encontrados e futuras melhorias que podem ser adicionadas ao projeto.

2 Revisão de Literatura

Nesse capítulo é feita uma revisão no estado da arte dos algoritmos de roteamento de veículos a aplicação de algoritmos genéticos para mesma finalidade.

2.1 Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo

O PRVJT é amplamente estudado na literatura de pesquisa operacional. Tendo pelo menos duas frentes de soluções, as exatas e as baseadas em heurísticas.

2.1.1 Formulação matemática

O PRVJT pode ser definido a partir um grafo completo orientado $G = (V, A)$ em que $V = 0, \dots, n + 1$ é um conjunto de vértices e $G = (i, j) | i, j \in V$ é o conjunto de arcos. Cada arco (i, j) é associado a um tempo t_{ij} e um custo de travessia c_{ij} .

É necessário uma definição precisa do termo *custo de travessia*. Em casos práticos pode se considerar diversos fatores, tais como distância, tempo, desgaste do veículo ao percorrer determinado caminho, entre outros fatores. Porém, quando se trata de problemas teóricos envolvendo janelas de tempo, é comum converter todas as medidas relevantes em unidades de tempo para fins de padronização e também para facilitar a comparação entre diferentes métodos. Por isso, adota-se aqui a mesma definição de custo que a maioria dos trabalhos teóricos da literatura, considerando que o custo de viagem consiste na distância convertida em unidades de tempo. ([YVES ROCHAT, 1995](#))

Podemos descrever o problema como sendo um conjunto K de veículos com capacidade Q , eles devem atender n clientes, representados pelos vértices $1, \dots, n$. Considera-se que $N = V \{0, n + 1\}$ representa o conjunto de clientes. Os veículos devem partir do depósito e, após visitar todos os clientes, devem retornar ao mesmo local de onde partiram. Por conveniência, o depósito é representado por dois vértices, o vértice 0, que representa a origem, e o vértice $n + 1$ que representa o destino. A cada cliente i , uma demanda q_i é associada, esta deve ser atendida por um único veículo. E todos os vértices possuem uma janela de tempo $[e_i, l_i]$, o serviço no vértice i deve ser iniciado dentro desse intervalo. Caso ocorra que a chegada ao cliente i aconteça antes do horário previsto e_i , ele deve esperar a abertura da janela. O veículo não poderá chegar a i depois do instante l_i , pois isso faria violar a restrição de tempo do problema. Esse tipo de restrição é conhecido na literatura como janela de tempo rígida. A cada vértice é também associado um tempo de serviço, denotado por s_i . O objetivo é encontrar uma solução s de custo mínimo, de forma

a minimizar a soma de todos os custos de viagem $\sum_{(i,j) \in s} c_{ij}$ que são associados aos arcos (i, j) presentes nas rotas que compõem essa solução.

A formulação matemática do PRVJT, é apresentada pelas expressões:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ijk} \quad (2.1)$$

Sujeito as seguintes restrições:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ijk} = 1, \forall i \in N \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{0jk} = 1, \forall k \in K \quad (2.3)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ijk} - \sum_{i \in V} x_{jik} = 0, \forall k \in K, \forall j \in N \quad (2.4)$$

$$\sum_{i \in V} x_{i(n+1)k} = 1, \forall k \in K \quad (2.5)$$

$$\sum_{i \in N} q_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq Q, \forall k \in K \quad (2.6)$$

$$b_{ik} + s_i + t_{ij} - (1 - x_{ijk}) M_{ij} \leq b_{jk}, \forall k \in K, \forall (i, j) \in A \quad (2.7)$$

$$e_i \leq b_{ik} \leq l_i, \forall k \in K, \forall i \in V \quad (2.8)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \forall k \in K, \forall (i, j) \in A \quad (2.9)$$

A variável binária x_{ijk} assume valor 1 se o veículo k passa pelo arco (i, j) e 0, caso contrário.

A função objetivo 2.1 expressa o custo total a ser minimizado. As restrições 2.2 asseguram que somente um veículo k sai de cada cliente i . As restrições 2.3, 2.4, 2.5 garantem a continuidade do caminho a ser percorrido pelo veículo k , ou seja, cada veículo parte do depósito, visita os clientes e em seguida retorna ao depósito. As restrições 2.6 fazem com que cada veículo k somente possa atender a um conjunto de clientes cuja demanda total não ultrapasse sua capacidade Q . As restrições 2.7, 2.8 asseguram a viabilidade das rotas no que diz respeito as restrições de janelas de tempo, em que b_{ik} representa o tempo em que o veículo k começa a atender o cliente i e M_{ij} são constantes

de valor suficientemente grande. As restrições 2.9 definem o domínio das variáveis de decisão. (CORDEAU et al.,)

2.1.2 Complexidade

Encontrar a solução ótima do PRVJT implica em obter simultaneamente a solução de vários problemas NP-difíceis, dentre os quais citam-se o *Problema do Caixeiro Viajante* (PCV) e o *Problema da Mochila*. Sendo assim, tal tarefa é também NP-difícil. Além disso, encontrar uma simples solução viável para o PRVJT dispondo de um conjunto limitado de veículos é NP-difícil no sentido forte (KOHL, 1995). Porém, uma solução inicial viável é trivial caso o número de veículos seja ilimitado, bastando atender cada consumidor com um veículo.

Os atuais resultados encontrados na literatura referentes ao PRVJT comprovam que os algoritmos exatos restringem-se à resolução de problemas-teste com tamanho reduzido e janelas de tempo apertadas. Embora hoje podemos resolver problemas com um tamanho que seja ligeiramente maior que o de alguns anos atrás, o crescimento da capacidade dos computadores e da eficiência dos algoritmos está muito distante da curva exponencial representada por este problema. Pode-se dizer que os métodos exatos não são uma alternativa viável para situações onde a um número maior de consumidores, como ocorre na maioria dos casos reais. (CHABRIER, 2006)

Abordagens heurísticas e algoritmos aproximativos também tem sido utilizadas na resolução do PRVJT. As Heurísticas buscam obter uma solução em tempo hábil. Este fato torna as estratégias heurísticas muito poderosas se comparadas com abordagens exatas, que focam exclusivamente na obtenção da solução ótima. Uma boa heurística deve ser capaz de encontrar soluções próximas da ótima, em tempo bem inferior ao necessário pelos métodos exatos. A qualidade da solução não deve variar demasiadamente ao aplicá-la em diferentes ou ao mesmo problemas-teste. Até 2006, 45 do total de 56 problemas de Solomon tiveram uma solução ótima. Alguns casos foram gastos mais que cinco horas de processamento na resolução de algumas instâncias, enquanto em outras puderam ser resolvidas em menos de um minuto. (JEPSEN; SPOORENDONK, 2006)

Os métodos aproximativos vêm ao encontro destas características. Um método aproximativo é uma heurística com garantia de qualidade no resultado. A melhor solução encontrada por um algoritmo de aproximação está sempre a uma distância percentual previamente definida da solução ótima desconhecida. A "distância do ótimo" é particular de cada algoritmo, podendo até não ser muito relevante em termos práticos. Um exemplo bem conhecido é o algoritmo PRIM, para árvore geradora mínima, que é capaz de oferecer uma solução viável para o PCV, que é no máximo duas vezes o ótimo em distância total percorrida (ALVARENGA, 2005).

Dado essa complexidade, resolver esse problema utilizando de abordagens puramente exatas é uma tarefa extremamente árdua, demandando tempo computacional muito elevado. Por isso é motivado o desenvolvimento de novos algoritmos heurísticos com tempos mais reduzidos para a solução do PRVJT, mesmo que esses não garantam uma solução ótima.

2.1.3 Heurísticas

Heurísticas são procedimentos de busca que visam a obtenção de soluções com uma qualidade satisfatória em um tempo computacional aceitável. Porem tais procedimentos não garantem encontrar a solução ótima nem são capazes de mensurar o quanto próxima a solução obtida está da ótima. Sera enumerado as ideias centrais de algumas heurísticas construtivas e de refinamento disponíveis na literatura.

2.1.3.1 Construção de rotas

Um dos trabalhos mais antigos sobre heurística para construção de rotas para PRVJT proposto por Baker ([BAKER; SCHAFFER, 1986](#)) em 1989, Foi criada a partir da ideia da heurística das economias de Clarke e Write ([CLARKE; WRIGHT, 1964](#)) que foi proposta para criação de soluções para o PRV. O algoritmo funciona primeiramente criando uma rota partindo do depósito para cada cliente i , para em seguida, executar varias iterações, em cada interação, o algoritmo calcula quais duas rotas que podem ser combinadas de forma a gerar a maior economia possível.

Outra heurística proposta por ([LANDEGHEM, 1988](#)) também baseada na heurística das economias é uma heurística de dois critérios, nesta as janelas de tempo são utilizadas para mensurar o quanto uma ligação entre dois clientes é boa em termos de tempo.

De forma semelhante ([SOLOMON, 1987](#)) desenvolveu um algoritmo baseado na ideia na heurística das economias para resolução do PRVJT. Devido a existência de janelas de tempo, deve-se considerar também a orientação da rota. Também deve-se checar as violações de janelas de tempo quando mais de uma rota é combinada. Ela de forma igual a heurística das Economias original possuem complexidade $O^2 \log n^2$. Nesta heurística toda rota é inicializada encontrando o cliente mais próximo ao depósito que ainda não pertença a nenhuma rota. A cada iteração subsequente o cliente mais próximo ao último adicionado à rota é considerado para inserção ao final da rota que está sendo gerado. Quando a busca falha, uma nova rota é inicializada.

As heurísticas de ([LANDEGHEM, 1988](#)) e ([SOLOMON, 1987](#)) de forma geral conseguem encontrar uma solução rapidamente. Porém as soluções que suas heurísticas encontram são geralmente de baixa qualidade. Geralmente pouco a mais de 10% do ótimo ([EL-SHERBENY, 2010](#)).

Criar uma rota por vez traz uma desvantagem, usualmente as rotas geradas por

ultimo são de baixa qualidade, uma vez que os clientes sem rota tendem estar distantes geograficamente ([EL-SHERBENY, 2010](#)).

É possível encontrar uma tentativa de solução deste problema de inserção no trabalho de Rousseau ([POTVIN; ROUSSEAU, 1993](#)) por meio de construção simultânea de varias rotas. A inicialização das rotas é feita usando a heurística de inserção de Solomon. Em cada rota o cliente mais distante do depósito é selecionado como semente. A partir desse ponto, computa-se a melhor inserção viável para cada cliente que ainda não foi visitado. Este método é melhor que a heurística de Solomon, porem as soluções geradas continuam distantes das ótimas.

Antes e Derigs ([ANTES; DERIGS, 1997](#)) evoluem as ideias clássicas de inserção. No seu trabalho, todo cliente sem rota designada recebe um custo de inserção de cada uma das rotas. A definição desse custo é semelhante ao adotado nas heurísticas de Solomon. Cada cliente sem rota envia uma proposta a rota com melhor oferta, cada rota aceita a melhor proposta dos clientes com menor número de alternativas. Vale observar que mais clientes podem ser inseridos em cada iteração. Se houver alguma violação nas rotas, um certo numero de veículos é removido e o processo é reiniciado.

Os resultados do trabalhos de Antes e Derigs ([ANTES; DERIGS, 1997](#)) são comparados aqueles apresentados por Potvin e Rousseau ([POTVIN; ROUSSEAU, 1993](#)). Segundo os autores, construir rotas paralelamente produz soluções de maior qualidade que construir rotas uma a uma.

2.1.3.2 Aprimoramento de rotas

Quase todas as heurísticas de melhoria de rotas tem a noção de vizinhança. A vizinhança de uma solução S é um conjunto de soluções N(s) que podem ser geradas pela aplicação de uma única alteração denominada *movimento* na solução S.

Checar algumas ou todas as soluções de uma vizinhança pode revelar soluções melhores em relação a uma determinada função objetivo. Esta ideia pode ser repetida partindo-se da melhor solução obtida até o momento. Se em algum momento nenhuma solução melhor for encontrada em uma vizinhança, um ótimo local foi obtido. Trata-se definitivamente de um ótimo local, porem este pode eventualmente ser um ótimo global. A este algoritmo da-se o nome de Hill Climbing. ([BRÄYSY; GENDREAU, 2005](#)). Na próxima seção serão introduzidas varias estruturas de vizinhança empregadas na literatura para melhorar soluções do PRVJT. Em seguida serão descritos alguns dos algoritmos que as utilizam.

2.1.3.3 Estruturas de vizinhança

Uma estrutura de vizinhança mais utilizada em roteamento é a *k-opt*, onde k arcos são removidos e substituídos por outros k arcos. Um ótimo local obtido utilizando-se a vizinhança *k-opt* é dita solução *k-optimal*. Normalmente, k é no máximo 3.

Para todas as possíveis trocas *2-opt* e algumas das permutações da vizinhança *3-opt*, parte da rota é invertida. Isto comumente acarreta violações nas janelas de tempo. No trabalho de (POTVIN; ROBILLARD, 1995) são apresentadas duas variantes, a *2-opt** e a *Or-opt*, que mantêm a direção da rota.

Na vizinhança *Or-opt*, um conjunto contíguo de até 3 clientes é realocado para outra posição na mesma rota. Uma vez que nessa vizinhança três arcos são trocados por outros três, é fácil observar que ela é um subconjunto da vizinhança *3-opt*. Desta forma, o tamanho da vizinhança é reduzido de $O(n^3)$ para $O(n^2)$. De forma geral, o tamanho da vizinhança *k-opt* é da ordem de $O(n^k)$. A vizinhança *2-opt** consiste na troca de um segmento de uma rota por um segmento de outra rota. Esses operadores de vizinhança são muitas vezes denotados na literatura por *crossover* ou simplesmente *cross*.

Movimentos da vizinhança *exchange* alteram diferentes rotas através da troca simultânea de dois clientes. A vizinhança *k-node*, proposta no trabalho de (CHRISTOFIDES; BEASLEY, 1984) tem sido adaptada por alguns autores para que este leve em consideração aspectos referentes às janelas de tempo. Nesta estrutura, cada cliente i é considerado e os conjuntos M_1 e M_2 são identificados. Em M_1 são alocados o cliente i e seu sucessor j . O conjunto M_2 é formado pelos clientes mais próximos aos clientes i e j que não estejam na mesma rota que i e j (encontrados pela minimização do custo de inserção considerando distância euclidiana). A vizinhança é então definida pela remoção dos elementos desses conjuntos e posterior inserção em qualquer outra possível localização. Como trata-se de uma vizinhança de dimensões muito elevadas, apenas os k candidatos mais promissores são considerados.

Outra vizinhança explorada na literatura é a $\lambda - interchange$ desenvolvida em (OSMAN, 1993), originalmente para o PRV. Trata-se de uma generalização do operador *relocate*. Nesta estrutura, um subconjunto de clientes de uma mesma rota é trocado por outro conjunto de outra rota. O mecanismo de geração $\lambda - interchange$ pode ser descrito como segue. Dada uma solução para o problema, representada pelo conjunto de rotas $S = \{r_1, \dots, r_p, \dots, r_q, \dots, r_k\}$, um $\lambda - interchange$ entre um par de rotas (r_p, r_q) consiste na troca dos clientes $S_1 \cup r_p$ de tamanho $|S_1| \leq \lambda$ por outro subconjunto $S_2 \cup r_q$ de tamanho $|S_2| \leq \lambda$ para gerar novas rotas $r_p^* = (r_p - S_1) \cup S_2$, $r_q^* = (r_q - S_2) \cup S_1$ e uma nova solução $S' = \{r_1, \dots, r_p^*, \dots, r_q^*, \dots, r_k\}$. A vizinhança $N_\lambda(S)$ de uma dada solução S é o conjunto de todos os vizinhos S' gerados para um dado valor de λ .

A vizinhança denotada por *shift-sequence* é proposta em (SCHULZE; FAHLE, 1999).

Nesta, um cliente é movido de uma rota para outra checando-se todas as possibilidades de inserção. Caso uma inserção possa se tornar viável pela remoção de outro cliente j , este é removido e inserido em outra rota. Este procedimento é repetido até que a viabilidade seja restabelecida.

A Tabela 1 apresenta uma breve descrição das estruturas de vizinhança comumente utilizadas na literatura por algoritmos de busca local para a resolução do PRVJT. Observa-se que algumas dessas são também utilizadas neste trabalho

Tabela 1 – Estruturas de vizinhança para o PRVJT

Vizinhança	Descrição
<i>Relocate</i>	Move um cliente de uma rota para outra.
<i>Exchange</i>	Troca dois clientes entre duas rotas
<i>2 – opt*</i>	Troca um segmento de uma rota por um segmento de outra rota.
<i>Or-opt</i>	Um segmento contínuo de clientes é movido de uma posição em uma rota para outra posição da mesma rota.
<i>k-node</i>	Os clientes i , seu sucessor j e os dois clientes mais próximos que não estão na mesma rota são removidos. Tenta-se então inserir os quatro vértices em todas as possíveis localizações. Como trata-se de uma vizinhança de dimensões muito elevadas, apenas os k candidatos mais promissores são considerados.
$\lambda - interchange$	Um subconjunto S_1 de clientes de tamanho $ S_1 \leq \lambda$ de uma rota é trocado por um subconjunto S_2 de tamanho $ S_2 \leq \lambda$ de outra rota.
<i>Shift-sequence</i>	Um cliente é movido de uma rota para outra checando-se todas as possibilidades de inserção. Caso uma inserção se torne viável pela remoção de um consumidor j , este é removido e inserido em alguma outra rota. Este procedimento é repetido até que a viabilidade seja restabelecida.

2.1.4 Meta-heurísticas

Meta-heurísticas são procedimentos destinados a encontrar uma boa solução, eventualmente a ótima, consistindo na aplicação, em cada passo, de uma heurística subordinada,

a qual tem que ser modelada para cada problema específico (RIBEIRO, 1996) Contrariamente às heurísticas convencionais, as metaheurísticas são de caráter geral e providas de mecanismos para tentar escapar de ótimos locais. (SOUZA, M. J. F., 2011)

2.1.4.1 Busca Tabu (Tabu Search)

Essa meta-heurística foi introduzida por (GLOVER, 1986), mas foi (GARCIA; POTVIN; ROUSSEAU, 1994) propos a primeira aplicação para o problema de roteamento e programação de veículos com janela de tempo. O conceito básico da busca tabu (BT) é explorar o espaço solução, a cada iteração, movendo de uma dada solução para outra que pertença à sua vizinhança. Diferentemente dos métodos clássicos de descida, aceita-se soluções piores, o que pode gerar ciclos. Para evitar a ciclagem, as soluções já avaliadas são marcadas como proibidas e incluídas em uma lista tabu.

2.1.4.2 Têmpera Simulada (Simulated Annealing)

A têmpera simulada (TS) é uma técnica de relaxação estocástica baseada no processo térmico utilizado na metalurgia para obtenção de estados de baixa energia num sólido. No algoritmo da TS, uma nova solução x_t é aceita sempre que $f(x_t) < f(x)$, onde x é a solução corrente. Para fugir dos mínimos locais, soluções com $f(x_t) \geq f(x)$ também são aceitas com uma probabilidade $e^{\delta/T}$, onde $\delta = f(x_t) - f(x)$ e T é um parâmetro (chamado temperatura) que varia ao longo das iterações, partindo de um número grande e terminando próximo de zero. A queda na temperatura ocorre gradativamente e costuma ser feita através da regra $T_k = \alpha T_{(k-1)}$ para $0 \leq \alpha \leq 1$. (CHIANG; RUSSELL, 1996)

2.1.4.3 Busca Local com Múltiplos Pontos Iniciais (Multi-Start Local Search)

Este método de busca local envolve a geração de um conjunto de soluções iniciais, seguida da aplicação de um procedimento de refinamento a cada solução gerada. As diferentes soluções iniciais permitem uma diversificação do espaço de busca, o que evita ótimos locais. A heurística de inserção mais barata é usada para criar a solução inicial, que é refinada por uma extensão da heurística de cadeia de ejeções, com o objetivo de reduzir o número de veículos. Finalmente, uma modificação da troca cruzada é empregada para reduzir a distância total percorrida em cada solução. (BRÄYSY; HASLE; DULLAERT, 2004)

2.1.4.4 Algoritmos Genéticos / Evolutivos

Algoritmos genéticos e evolutivos são meta-heurística com boas aplicações no problema de PRV e PRVJT, (HOMBERGER, 2005) propuseram duas estratégias evolucionárias diferentes. As duas estratégias utilizam uma aproximação estocástica baseada na heurística das economias, ou seja, os clientes pertencentes a lista das economias são

escolhidos aleatoriamente para constituir a rota. A função objetivo pondera o número de rotas, a distância total e um critério que determina a facilidade de eliminação da menor rota. A mutação é feita pelas heurísticas de refinamento *Or-opt*, $2 - opt^*$ e $\lambda - Interchange$. No primeiro algoritmo, o cruzamento não é executado. No segundo, o cruzamento é feito através de um procedimento uniforme.

Foi desenvolvido por ([JUNG; MOON, 2002](#)) um algoritmo genético híbrido, no qual a função objetivo é baseada na distância. O algoritmo começa com a aplicação da heurística de inserção de ([SOLOMON, 1987](#)) para a determinação de uma solução inicial. O primeiro cliente de cada rota é escolhido de forma aleatória entre o cliente mais distante do depósito, o cliente com o menor instante final da janela de tempo e um cliente também determinado aleatoriamente.

Em seu algoritmo a seleção é feita pelo torneio. Para o cruzamento, o grafo que contém o depósito, os clientes e as arestas utilizadas para formar as rotas de cada veículo são mapeados e a escolha dos pontos de corte é feita por meio de curvas ou figuras geométricas de diferentes tipos. A figura 1 exemplifica o procedimento de cruzamento. As regiões formadas pela sobreposição das figuras geométricas definem conjuntos de nós. Cada conjunto pertence a um único pai. Primeiramente, definimos as rotas dentro desses conjuntos. Como essa divisão de nós é arbitrária, restarão várias rotas desconexas, de modo que é preciso utilizar algoritmos de reparação para reconstruir uma solução factível. Essa reconstrução é feita seguindo a regra do vizinho mais próximo.

Na mutação, são feitas mudanças de nós entre, no máximo, 3 rotas. As heurísticas de refinamento *or-opt*, *relocate* são aplicadas ao final da iteração para melhorar a solução.

Algoritmos evolucionários para o problema com janela de tempo foram analisados e comparados por Braysy ([BRÄYSY; DULLAERT; GENDREAU, 2004](#)).

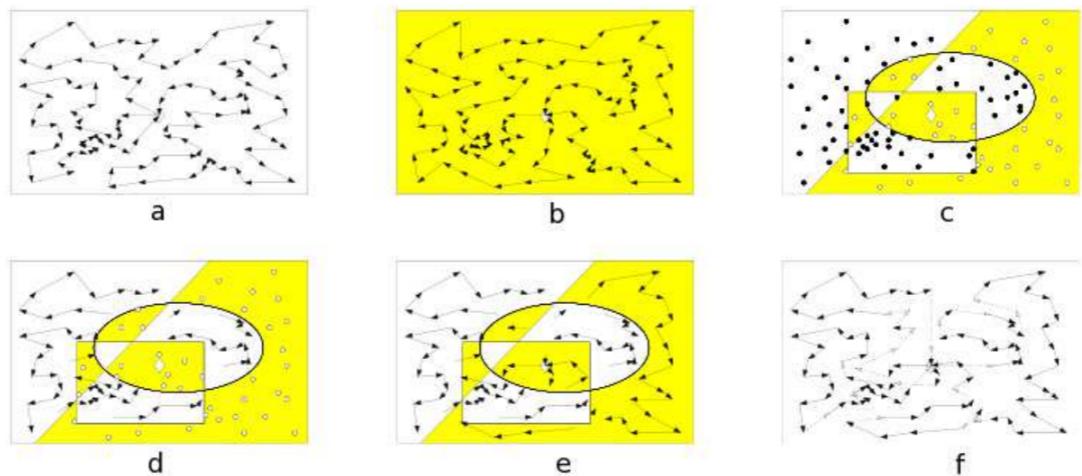


Figura 1 – O crossover utilizado por Jung e Moon. As Figuras a e b representam, respectivamente, os pais 1 e 2. A Figura c mostra a divisão dos clientes com base em figuras geométricas. A Figura d mostra as ligações feitas nas regiões referentes ao primeiro pai, enquanto a Figura e mostra as rotas internas à região referente ao segundo pai. Finalmente, a Figura f mostra as rotas após a aplicação do algoritmo de reparação.

2.2 Algoritmos genéticos

AG é uma técnica amplamente utilizada de IA, que utilizam conceitos provenientes do princípio de seleção natural para abordar uma ampla série de problemas, geralmente de adaptação. ([LUCAS, 2002](#))

2.2.1 Funcionamento

Inspirado na maneira como o seleção natural explica o processo de evolução das espécies, Holland ([HOLLAND, 1975](#)) decompôs o funcionamento dos AG em sete etapas, essa são *inicialização, avaliação, seleção, cruzamento, mutação, atualização e finalização* conforme a Figura 2.

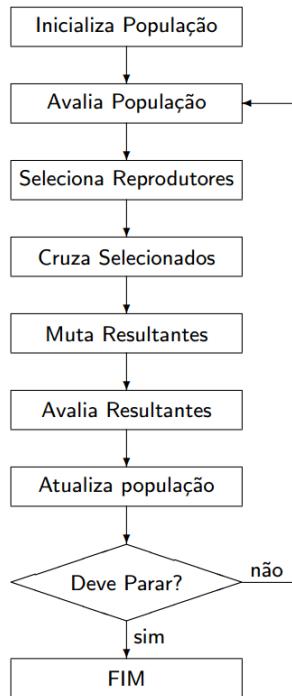


Figura 2 – Estrutura de um AG ([LUCAS, 2002](#))

2.2.2 Inicialização

Criar uma população de possíveis respostas para um problema. É comum fazer uso de funções aleatórias para gerar os indivíduos, sendo este um recurso simples que visa fornecer maior diversidade.

2.2.3 Avaliação

Avalia-se a aptidão das soluções, os indivíduos da população, então é feita uma análise para que se estabeleça quão bem elas respondem ao problema proposto. A função de avaliação também pode ser chamada de função objetivo. Ela pode variar de acordo com problema, Calcular com exatidão completa o grau de adaptação dos indivíduos pode ser uma tarefa complexa em muitos casos, e se levarmos em conta que esta operação é repetida varias vezes ao longo do processo de evolução, seu custo pode ser consideravelmente alto. Em tais situações é comum o uso de funções não determinísticas, que não avaliam a totalidade das características do indivíduo, operando apenas sobre uma amostragem destas.

2.2.4 Seleção

Ela é a responsável pela perpetuação de boas características na espécie. Neste estágio que os indivíduos são escolhidos para posterior cruzamento, fazendo uso do grau de adaptação de cada um é realizado um sorteio, onde os indivíduos com maior grau de adaptação tem maior probabilidade de se reproduzirem. O grau adaptação é calculado a

partir da função de avaliação para cada indivíduo, determina o quanto apto ele está para reprodução relativo a sua população.

2.2.5 Cruzamento

Após alguns indivíduos serem selecionados, normalmente pares, estes são usados como base para novos descendentes, combinando as suas características para gerar um novo genoma.

2.2.6 Mutação

Características dos indivíduos resultantes do processo de reprodução são alteradas, acrescentando assim variedade à população. A mutação opera sobre os indivíduos resultantes do processo de cruzamento e com uma probabilidade pré-determinada efetua algum tipo de alteração em sua estrutura. A importância desta operação é o fato de que uma vez bem escolhido seu modo de atuar, é garantido que diversas alternativas serão exploradas.

2.2.7 Finalização

É testado se as condições de encerramento da evolução foram atingidas, retornando para a etapa de avaliação em caso negativo e encerrando a execução em caso positivo.

Os critérios para a parada podem ser vários, desde o número de gerações criadas até o grau de convergência da população atual.

Toda base dos AG se fundamenta nos indivíduos, eles são a unidade básica em qual o algoritmo se baseia, sua função é codificar as possíveis soluções do problema a ser tratado e partir de sua manipulação no processo evolutivo, a partir daí que são encontradas as respostas.

Esses indivíduos precisam de uma representação, essa será o principal responsável pelo desempenho do programa. É comum chamar de *genoma* ou *cromossomo* para se referir ao indivíduo. Por essa definição podemos resumir um indivíduo pelos genes que possui, ou seja seu *genótipo*.

Apesar de toda representação por parte do algoritmo ser baseada única e exclusivamente em seu genótipo, toda avaliação é baseada em seu fenótipo, o conjunto de características observáveis no objeto resultante do processo de decodificação dos genes do indivíduo, ver Tabela 2.

Para cada indivíduo é calculado o seu grau de adaptação, a partir de uma função objetivo, comumente denotada como na formula 2.10.

$$f_O(x) \quad (2.10)$$

Tabela 2 – Exemplos de genótipos e fenótipos correspondentes em alguns tipos de problemas (LUCAS, 2002)

Problema	Genótipo	Fenótipo
Otimização numérica	0010101001110101	10869
Caixeiro viajante	CGDEHABF	Comece pela cidade C, depois passe pelas cidades G, D, E, H, A, B e termine em F
Regras de aprendizado para agentes	C ₁ R ₄ C ₂ R ₆ C ₄ R ₁	Se condição 1 (C ₁) execute regra 4 (R ₄), se (C ₂) execute (R ₆), se (C ₄) execute (R ₁)

Que vai representar o quanto bem a resposta apresentada pelo indivíduo soluciona o problema proposto.

Também é calculado o grau de adaptação do indivíduo relativo aos outros membros da população a qual ele pertence, esse é chamado de grau de aptidão, para um indivíduo x temos seu grau de aptidão denotado pela fórmula 2.11.

$$f_A(x) = \frac{f_O(x)}{\sum_{i=1}^n f_O(i)} \quad (2.11)$$

Sendo n o tamanho da população.

A dinâmica populacional é a responsável pela evolução, ao propagar características desejáveis a gerações subsequentes no processo de cruzamento, enquanto novas são testadas no processo de mutação.

Algumas definições importantes relativas às populações de um AG são:

Geração: É o número de vezes em que a população passou pelo processo de seleção, reprodução, mutação e atualização.

Média de adaptação: É a taxa média que os indivíduos se adaptaram ao problema, é definida pela fórmula 2.12.

$$M_A = \frac{\sum_{i=1}^n f_O(i)}{n} \quad (2.12)$$

Grau de convergência: define o quanto próxima está a média de adaptação desta população relativa às anteriores. O objetivo dos AG é fazer a população convergir para um valor de adaptação ótimo. Um estado negativo que pode ocorrer relativo a esta medida é

a *convergência prematura*, a mesma ocorre quando a população converge em uma média de adaptação sub-ótima, e dela não consegue sair por causa de sua baixa diversidade.

Diversidade: Mede o grau de variação entre os genótipos da população. Ela é fundamental para o tamanho da busca. Sua queda está fortemente ligada ao fenômeno de *Convergência prematura*.

Elite: São os indivíduos mais bem adaptados da população. Uma técnica comum nos AG é o *elitismo*, onde são selecionados k melhores indivíduos que serão mantidos a cada geração.

2.2.8 Aplicações

Existem vários aplicações para os algoritmos genéticos, por serem uma inteligência artificial não supervisionada, de rápido aprendizado e podendo ser paralelizado.

O modelo m-PRC(Problema de Rotas de Cobertura multi-veículo) é uma aplicação de algoritmos genéticos para construção de rotas em uma região mapeada, encontrando uma boa distribuição de viaturas para patrulhamento urbano, que pode ser utilizado por departamentos segurança, como a polícia, guardas municipais ou segurança privada ([OLIVEIRA, 2009](#)). O Modelo é definido como um grafo não direcionado [2.13](#).

$$G = (V \cup W, E) \quad (2.13)$$

Onde [2.14](#):

$$V \cup W \quad (2.14)$$

Compõem o conjunto de vértices e E o conjunto de arestas, ou seja, o subgrafo induzido por E e um grafo completo cujo conjunto de nós é V. V são todos os vértices que podem ser visitados e é composto pelo subconjunto T, que são os vértices que devem ser visitados por algum veículo. W é um conjunto de vértices onde todos os M veículos devem passar. M é o número de rotas de veículos que começam no vértice base V_0 .

O m-PRC atribui o conjunto de m rotas de veículos com as restrições: todas as m rotas de veículos começam e terminam na base V_0 , Tem exatamente m rotas, cada vértice de V pertence a no máximo uma rota, cada vértice de T pertence a exatamente uma rota, com exceção a base, cada vértice de W deve ter uma rota que passa por ele e em uma distância C de um vértice V visitado, O módulo da diferença entre o número de vértices de diferentes rotas não pode exceder um determinado valor R. A Figura [3](#) mostra o grafo da relação de V com W.

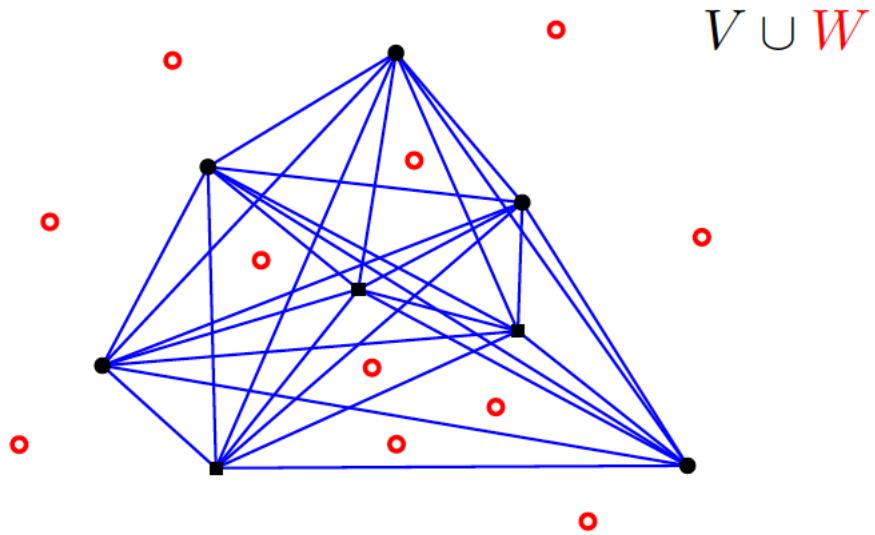


Figura 3 – Exemplo de gráfo não direcionado para $V \cup W$. ([OLIVEIRA, 2009](#))

Para utilizar o algoritmos genéticos com o modelo m-PRC, o trabalho propõem dois modelos. O AGS (Algoritmo genético sequencial), que utiliza heurísticas GENIUS e 2-opt balanceada para ajustes finais para tentar melhor a solução; O AGH(Algoritmos genéticos H-1-PRC), que utiliza heurísticas H-1-PRC-MOD e 2-opt balanceada em todo o processo de resolução.

A conclusão de ([OLIVEIRA, 2009](#)) é que a utilização de algoritmos genéticos para a resolução de uma adaptação do problema de rotas de cobertura de veículos como bastante relevantes e de fácil manipulação. O modelo AGS resolve o problema de forma rápida e tem uma fácil implementação dentro dos critérios de comparação adotadas. O modelo AGH é mais lento e não conseguiu encontrar a solução para alguns exemplos.

Homberger, Jorg, Gehring e Hermann propuseram duas estratégias evolucionárias diferentes. As duas estratégias utilizam uma aproximação estocástica baseada na heurística das economias, ou seja, os clientes pertencentes a lista das economias são escolhidos aleatoriamente para constituir a rota. A função objetivo pondera o número de rotas, a distância total e um critério que determina a facilidade de eliminação da menor rota. A mutação é feita pelas heurísticas de refinamento Or-opt, 2-opt e λ -Interchange. No primeiro algoritmo, o cruzamento não é executado. No segundo, o cruzamento é feito através de um procedimento uniforme. (??)

O trabalho de Sabir Ribas na universidade federal de fluminense utilizou uma abordagem híbrida para resolver o Problema de Roteamento de Veículos, usando Algoritmos Genéticos com a meta-heurística Iterated Local Search e o método Variable Neighborhood Descent. Chama de IILS-SP, desenvolvido em C++. O algoritmo foi submetido a 56 problemas teste de 100 clientes, para cada problema, executado 5 vezes em intervalos de 10min. Teve resultados melhores do que os encontrados pelo autor em sua pesquisa na literatura. ([RIBAS, 2011](#)).

Humberto, Germano e Guilherme também tentaram resolver o PRVJT utilizando GA, para a criação da população inicial utilizar a heurística Push-Forward Insertion Heuristic. Utilizando 56 problemas de teste e 100 clientes, chamadas instâncias de Solomon de 1987, mesma base de teste utilizadas em sua revisão de literatura para comparação de resultados, utiliza a mesma metodologia de teste do Sabir Ribas. ([OLIVEIRA, 2005a](#))

No trabalho de Glaydston da UniAracruz e Luiz Antônio da Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais utilizaram algoritmos genéticos para resolver Problemas de Roteamento de Veículos Dinâmico com Janelas de Tempo, em casos reais, podem existir mudanças que podem afetar as rotas, pensando nisso, o algoritmo recalcula a rota de todos os veículos. O GA deve um resultado equivalente ou superior em alguns casos se comparados com as heurísticas. ([LORENA,](#))

O trabalho de ([PEREIRA et al., 2002](#)) com uma proposta de operador de cruzamento conseguiu resultados satisfatórios no uso de GA para PRV, e propõe como trabalho futuro o uso de seu modelo para problemas especializados como o PRVJT.

3 Metodologia

O software desenvolvido tem como objetivo demonstrar uma solução para o problema de PRVJT, descobrindo caminho viáveis entre diferentes endereços, onde é possível realizar as entregas em um período pre determinado, também identificar roteiros que são impossíveis de serem realizados a tempo.

Para adquirir informações próximas as reais de distancia e locomoção entre endereços esta sendo utilizado a API do Google Maps([Google Inc., 2018](#)).

Por se tratar de entregas de pequenos porte, os testes foram criados com endereços dentro das proximidades da cidade de São Paulo, uma grande metrópole com um dos maiores índices de transito ([TOMTOM INTERNATIONAL BV, 2017](#)), por esse motivo a menor distância de rota pode não ser a melhor escolha para certos horários do dia, podendo uma rota com maior distância que evita transito ser uma melhor escolha.

Para preparar o calculo da rota, deve-se levar em consideração que todos os entregadores partem de uma única origem chamada deposito, a quantidade de entregadores é predefinida, o sistema irá devolver rotas para atender todos os pontos visando diminuir a quantidade necessária de entregadores e distancia percorrida sem desrespeitar as restrições de janelas de tempo.

Cada entrega tem um tempo médio de descarga, produtos pequenos podem demorar minutos, muitos produtos demoram mais para a retirar do veículo e produtos grande podem precisar ser levados com mais cuidado.

Cada endereço tem um horário de abertura e fechamento para realizar entregas, por exemplo, um super mercado recebe produtos na madrugada, já que receber em seu horário normal de abertura provavelmente irá atrapalhar as compras dos clientes, então esse horário deve ser considerado como restrição de tempo.

Por causa das restrições de tempo, quando um entregador chega a um endereço deve ser avaliado com penalidade caso o mesmo chegue antes ou depois da janela de tempo, se chegar antes o mesmo deve esperar até o horário de abertura do endereço, somar o tempo de descarga e sair para o próximo endereço, caso chegue depois é considerado que não é uma solução de rota viável para as restrições definidas.

É importante avaliar situações onde não é possível realizar as entregas, essas situação podem depender de distancia, por exemplo, caso o deposito esteja longe a ponto de um entregador não ter como chegar no endereço dentro de sua janela de tempo, ou caso mesmo sendo próximos ocorrer uma mudança no transito tornando impossível realizar a entrega á tempo, ou ainda pelo fato de ser definido um numero finito de entregadores, que

podem não ser suficientes para realizar todas as entregas do roteiro.

Depois que uma entrega é feita, uma nova rota deve ser recalculada, agora como ponto inicial o endereço atual, todo o processo será refeito para verificar se o transito ou possível atrasos não afetaram a ordem dos próximos destinos, depois do recalcular o entregador deve ser o próximo destino indicado.

Se caso não for mais possível entregar no horário por motivos de piora de transito ou um grande tempo de atraso para descarregar, um alerta será emitido indicando que todos os destinos não podem ser visitados a tempo.

Cada entregador tem seu próprio recalcular de rota, sendo que se um entregador concluir todos os destinos, os outros continuam pedindo novas rotas até que todos terminem suas entregas.

O fluxograma a baixo demonstra o fluxo da solução.

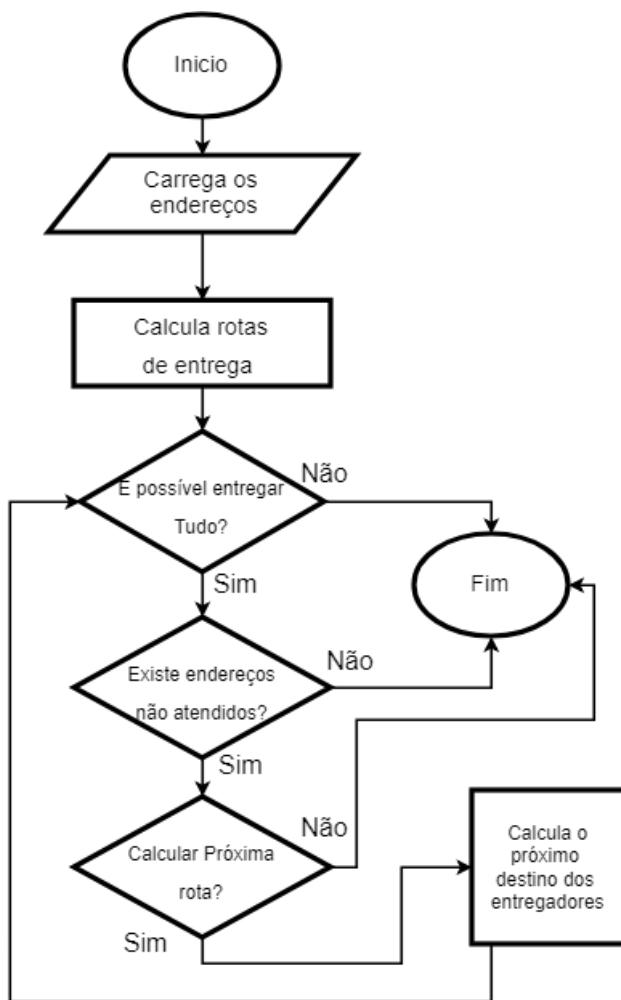


Figura 4 – Fluxograma macro do funcionamento do software.

Sempre que é necessário calcular a rota, o módulo de GA é chamado. Considerando que um indivíduo é uma solução completa, gera uma população de várias soluções, onde a

ordem da rota é aleatória somente mantendo o deposito fixo como primeiro endereço para criar a população inicial.

Para cada rota da população de indivíduos a seleção determina dois para a realização do cruzamento, onde endereços das duas rotas são trocados de forma a criar duas novas rotas mantendo o deposito sempre como inicial. A mutação é executada individual em cada rota, mudando de posição um ou mais endereços da rota, sempre mantendo o deposito como ponto inicial.

Depois que todas as rotas dos indivíduos da população foram modificados, agora é hora de verificar quais são os melhores, o que define isso é a função de aptidão, todos os parâmetros da rota são agrupados em um único numero e a rota que tem o menor número é a melhor rota da população. O valor de aptidão é definido com a soma da distância entre todos os endereços da rota, mais o tempo de cada um dos trajetos com o tempo de espera e descarga.

A função de aptidão do GA considera para uma frota homogênea de m veículos o horário de saída como parâmetros inicial, com isso, utiliza o tempo dado pelo Google Maps entre os pontos e soma ao horário verificando se está dentro da janela de tempo do destino. Se o horário calculo for menor que o de abertura, é somado o tempo restante de espera e uma penalidade por chegar antes. Se o horário for maior que o tempo de fechamento, é somado o tempo restante de espera até a abertura no próximo dia mais uma penalidade pela diferença. O Valor de aptidão final é a soma da distância em metros do percurso passando por todos os pontos, com o tempo total em minutos com as penalidades de chegar antes ou depois das janelas de tempo.

A função de aptidão é definida como:

$$v(s) = \sum_{k=1}^m d_k + \sum_{i=1}^n \alpha_i \text{Max}(0, tc_i - l_i) + \beta_i te_i, \quad s \in S$$

Figura 5 – Formula de avaliação de solução de rota ([GENDREAU et al., 1999](#))

Onde para cada ponto de entrega i temos um e_i e um l_i que representam, respectivamente, a abertura e o fechamento da janela de tempo do ponto i , O tc_i é o tempo de chegada do veículo no ponto i , te_i calculado como $e_i - tc_i$.

dk é a distância total percorrida na rota k para todo $k = 1, \dots, m$, α_i é o coeficiente de penalidade associado à chegada do veículo no vértice i após o fechamento da janela de tempo.

Para seção utilizamos o operador **Selection Roulette Wheel**, onde é feita uma soma de todos os valores da função de aptidão da população, depois calculado a porcentagem de cada indivíduo referente ao total e guardada em um vetor. Então é gerado um valor X

aleatório entre 0 e 1, e multiplicado pelo valor total dos pesos. Para selecionar o indivíduo é feito um loop no vetor de pesos e seus valores somados até que seja menor ou igual ao valor X , a posição atual no vetor deste valor será o utilizada para selecionar o indivíduo no vetor de indivíduos. Desta forma aumentando a possibilidade de selecionar um indivíduo com melhor aptidão.

O cromossomo deve especificar a quantidade de veículos/entregadores necessários, como as demandas são particionadas entre esses veículos e qual rota cada veículo deve fazer. Adotamos uma representação onde o material genético de um individual contém várias rotas, cada uma delas composta por um subconjunto ordenado de clientes [6](#). Todas as demandas pertencentes ao problema a ser resolvido devem estar presentes na combinação dessas rotas. Aonde cada uma inicia e finaliza no depósito ??

Rota 1	Rota 2	Rota 3
1 3 4 5	9 8 7 2	6 10

Figura 6 – Representação geral do genoma

Rota 1					
depósito	1	3	4	5	Retorno para depósito
Rota 2					
depósito	9	8	7	2	Retorno para depósito
Rota 3					
depósito	6	10	Retorno para depósito		

Figura 7 – Representação do genoma separando rotas

Para cruzamento foi escolhido o operador proposto por ([PEREIRA et al., 2002](#)) que teve resultados positivos para o PRV puro, o operador por si só não promove uma troca mútua de material genético entre dois pais. Em vez disso, quando submetidos a essa operação, um indivíduo recebe um fragmento de material genético (mais precisamente, uma sub-rota) de outro pai e insere-o em uma de suas próprias rotas. O doador não é modificado. A localização geográfica dos clientes é usada para determinar a posição onde a sub-rota é inserida, de forma a ser inserida no ponto mais próximo ao primeiro ponto da sub-rota e que não pertença a ela. A definição do algoritmo pode ser verificada em [1](#).

O exemplo da figura [8](#) ajuda a ilustrar como o cruzamento atua. Assume-se que o cliente 6 é o que está geograficamente mais próximo do cliente 9. Desta forma, a sub-rota {9, 1, 10} é selecionado de I_2 e é inserido em uma das rotas de I_1 , imediatamente após o 6. O operador de cruzamento possibilita que um fragmento de informação que faz parte de

Algoritmo 1: Algoritmo de cruzamento aplicado a PRV

- 1 Função Cruzamento (I_1, I_2);
- Entrada :** Dois indivíduos da população I_1 e I_2
- Saida :** Um descendente I_d
- 2 $SR \leftarrow$ Do material genético de I_2 , selecione aleatoriamente uma sub-rota $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$
- 3 $C \leftarrow$ Encontre o cliente geograficamente mais próximo de a_1 não pertencente a SR
- 4 Insira SR no material genético de I_1 de maneira que a_1 seja colocado imediatamente após C
- 5 Do material genético original de I_1 , remover todos os clientes duplicados que também aparecem em SR , obtendo um descendente I_d
- 7 **return** I_d

um indivíduo possa ser incorporado em outra solução. Dada a seu comportamento, ele não pode adicionar novos veículos à solução. Por outro lado, pode acabar por remove-los.

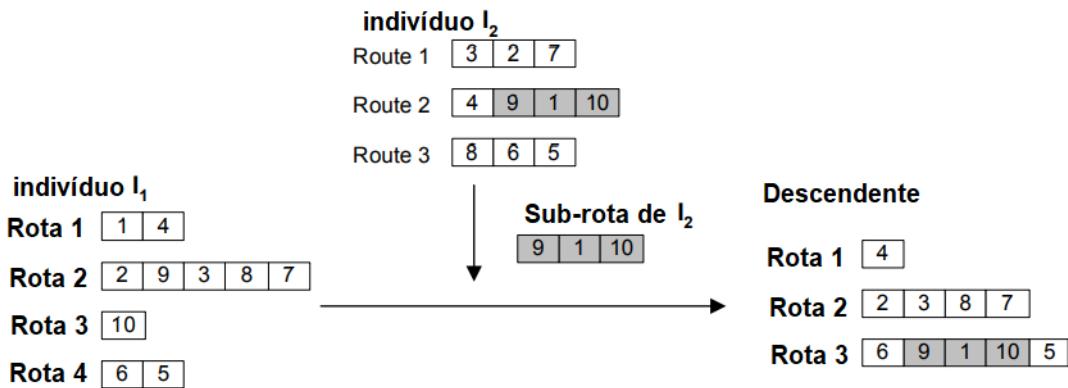


Figura 8 – Exemplo de Cruzamento, adaptado de (PEREIRA et al., 2002)

Porem no caso de nossa implementação ao fazer a seleção de um par de indivíduos (a,b) para o cruzamento, geramos um par de descendentes (x,y) , de forma que $x = a \rightarrow b$ e $y = b \rightarrow a$ aonde $x \rightarrow y$ implica na operação de cruzamento aplicado de x em y .

Descendentes resultantes do cruzamento podem estar sujeitos a mutação. Nós consideramos 4 operadores de mutação comuns de serem aplicados em representações Baseadas em ordem. (ROCHA; VILELA; NEVES, 2000). Estes são:

Swap: Seleciona dois clientes de forma aleatória e os troca. Os clientes selecionados podem pertencer a mesma ou não.

Inversion: Seleciona uma sub-rota de forma aleatória e inverte a ordem de visita aos clientes pertencentes a ela.

Insertion: Seleciona aleatoriamente um cliente e o insere em outro lugar. A rota onde este será inserido é escolhida aleatoriamente. É possível criar uma nova rota com novo entregador para este cliente. Nos experimentos deste trabalho, a probabilidade de

criar um novo rota é $1/(2 \times V)$, onde V representa o número de veículos da solução atual. Desta forma, a probabilidade de criar uma nova rota é inversamente proporcional à número de veículos já utilizados.

Na figura 9, mostramos um exemplo dessa operação.

Displacement: Seleciona aleatoriamente uma sub-rota e a insere em outro lugar. Este operador pode realizar intra ou inter deslocamento (se a sub-rota selecionada é inserida na mesma ou em outra rota). Assim como no operador anterior, também é possível criar uma nova rota com a sub-rota (a probabilidade desta ocorrência é calculada da mesma forma).

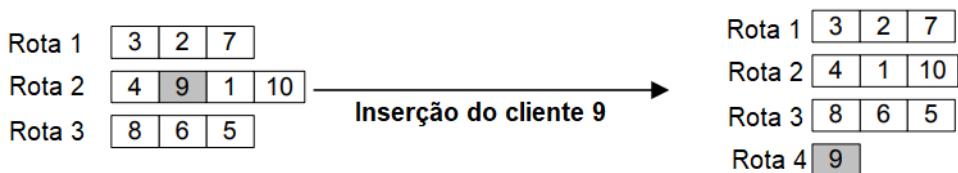


Figura 9 – Exemplo de mutação, adaptado de ([PEREIRA et al., 2002](#))

Swap e *Inversion* não alteram o número de rotas de um indivíduo. Já *Insertion* e *Displacement* têm a capacidade de remover e adicionar veículos nos indivíduos.

Foi implementada uma logica de elitismo simples, aonde uma próxima geração leva junto N mais bem avaliados indivíduos da ultima geração.

O GA foi configurado com o numero de gerações em 200, tamanho da população em 1000, melhores indivíduos por geração em 20, com elitismo em 2 indivíduos, probabilidade de cruzamento em 70% e de Mutação em 5%.

Os testes foram configurados com um numero de 6 roteiros diferentes, endereços dentro da cidade de São Paulo e cidades próximas.

Considerando o transito médio enviado pelo Google Maps, para poder demostrar o impacto do transito nos caminhos calculados. Tudo será rodado 10 vezes e será retirada uma média do valor de aptidão, por que, cada vez que roda o GA a resposta da solução pode mudar, por ele não ser determinístico.

E uma base pré-definidas rotas, para prevenir possíveis problemas sera ignorado o transito atual. Ja que o mesmo altera dependendo das condições do clima ou horário do dia. Então utilizando o Google Maps, um cache inicial foi preparado e o software utiliza simulando uma buscar ao Google Maps, com isso, a informação é obtida mais rapidamente e sempre fixa para garantir a resposta pré-determinada do teste.

O fluxograma a baixo demonstra o funcionamento do software utilizando o GA.

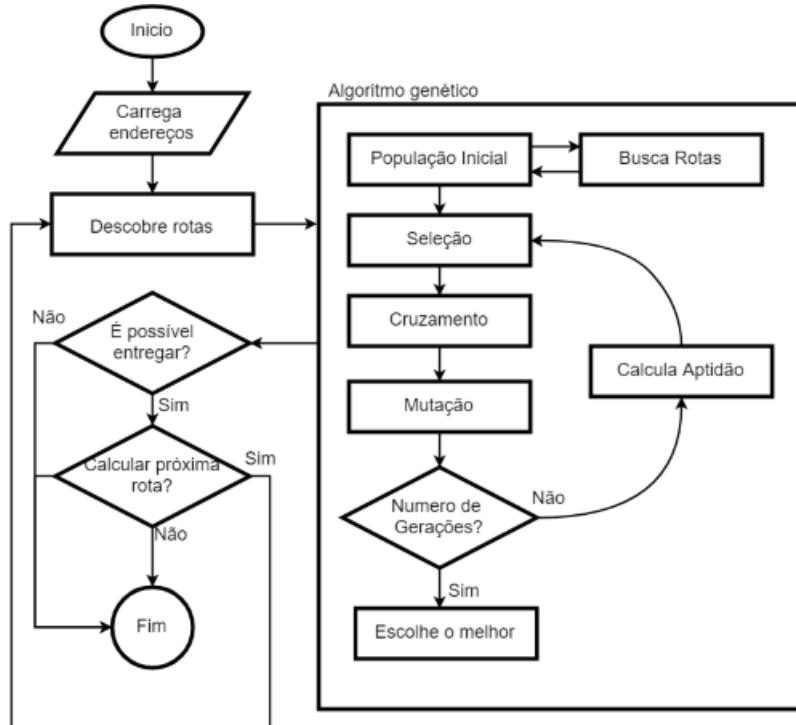


Figura 10 – Fluxograma macro da integração com o GA.

4 Implementação

Nesse capítulo será apresentado mais profundamente as tecnologias, ferramentas e métodos que foram utilizados para a implementação do algoritmo genético para busca de rota com janela de tempo.

4.1 Tecnologias

O software foi desenvolvido na linguagem C# com Visual Studio 2017 com o Framework .Net Core 2.2 compatível com Windows, Linux e MacOs. Foi desenvolvido uma WeApi em ASP.NET para consumo de uma pagina desenvolvida utilizando ReactJS. Toda comunicação entre frontend e backend foi desenvolvida utilizando os conceitos de REST.

Também foi desenvolvido uma ferramenta para gravar os resultados obtidos pelo GA, porem este obtém as configurações de busca a partir de arquivos que contém os endereços e quantidade de entregadores.

Todos os testes presentes nesse trabalho foram obtidos rodando os testes em um computador I7 2600 de 3.4Ghz com 12GB de memória RAM.

4.2 Estrutura do Projeto

Para facilitar o entendimento inicial do projeto, é importante ter uma orientação de onde está cada parte de seu comportamento. A Software é dividido em 4 projetos principais, sendo um projeto feito em ReactJS e 3 projetos em C#, onde eles são:

4.2.1 Calculador de Rotas - CalcRoute

Projeto principal que tem toda a logica de preparação das rotas, recebendo parâmetros e utilizando o GA para gerar a resposta. A classe PRVJTFinder que é responsável por essa tarefa, podendo carrega as configurações por arquivo ou recendo os parâmetros diretamente. Os endereços não precisam vim com as coordenadas, e sim apenas o nome, por que existe uma preparação dos endereços antes de começar o calculo das rotas que busca as coordenadas de cada endereço. Os projetos CalcRoute.GeneticAlgorithm e CalcRoute.Routes são auxiliares para o calculo da rota.

A interação com a API do Google Mapas é encontrada no projeto CalcRoute.Routes, ela permite 3 tipos de transito possíveis para o calculo de tempo entre as rotas, esses são:

- Média considera a média historica entre os endereços.

- Otimista considera o melhor resultado histórico entre os endereços.
- Pessimista considera o pior resultado histórico entre os endereços.

4.2.2 Gerador de Dados - CalcRoute.RouteGenerate

Para ajudar na identificação dos melhores parâmetros a ser utilizado, esse projeto é configurado para utilizar todos os cruzamentos e mutação do GA, com isso, diferentes configurações de população, numero de gerações,taxa de cruzamento e taxa de mutação, podem ser testados e os resultados são agrupados em um arquivo CSV com o valor do melhor valor de aptidão encontrado para cada parâmetro para facilitar a analise dos dados.

```

Selecionar C:\Program Files\dotnet\dotnet.exe
A:Extras.txt M:Insertion C:SubRouteInsertion I:0
Tempo [00:00]
Tempo [01:07]
A:Extras.txt M:Displacement C:SubRouteInsertion I:0
Tempo [00:00]
Tempo [01:07]
A:Extras.txt M:Displacement C:SubRouteInsertion I:1
Tempo [00:00]
Tempo [01:07]
A:Extras.txt M:Displacement C:SubRouteInsertion I:2
Tempo [00:00]
Tempo [01:14]
A:Extras.txt M:Displacement C:SubRouteInsertion I:3
Tempo [00:00]
Tempo [01:10]
A:Extras.txt M:Displacement C:SubRouteInsertion I:4
Tempo [00:00]
Tempo [01:07]
A:Extras.txt M:Displacement C:SubRouteInsertion I:5
Tempo [00:00]
Tempo [01:07]
A:Extras.txt M:Displacement C:SubRouteInsertion I:6
Tempo [00:00]
Tempo [01:12]
A:Extras.txt M:Displacement C:SubRouteInsertion I:7
Tempo [00:00]
Tempo [01:06]
A:Extras.txt M:Displacement C:SubRouteInsertion I:8
Tempo [00:00]

```

Figura 11 – Tela da geração de dados de comparação

4.2.3 API de Calculo de Rotas - CalcRoute.API

Projeto de comunicação com a interface usando POST, recebendo parâmetros da interface e organiza para serem calculados no CalcRoute. O retorno é organizado e os campos formatados para melhor apresentação na tabela da interface.

4.2.4 Interface para comunicação com a API

A interface é utilizada para interagir com o calculador de rotas de uma forma mais simples, podendo procurar por endereços, adicionar a lista, definir o deposito, os horários de cada endereço, numero de entregadores e tempo de descarga de cada endereço. Para melhor visualização dos testes, é possível encontrar todos os roteiros de teste para fácil execução e verifica os resultados.

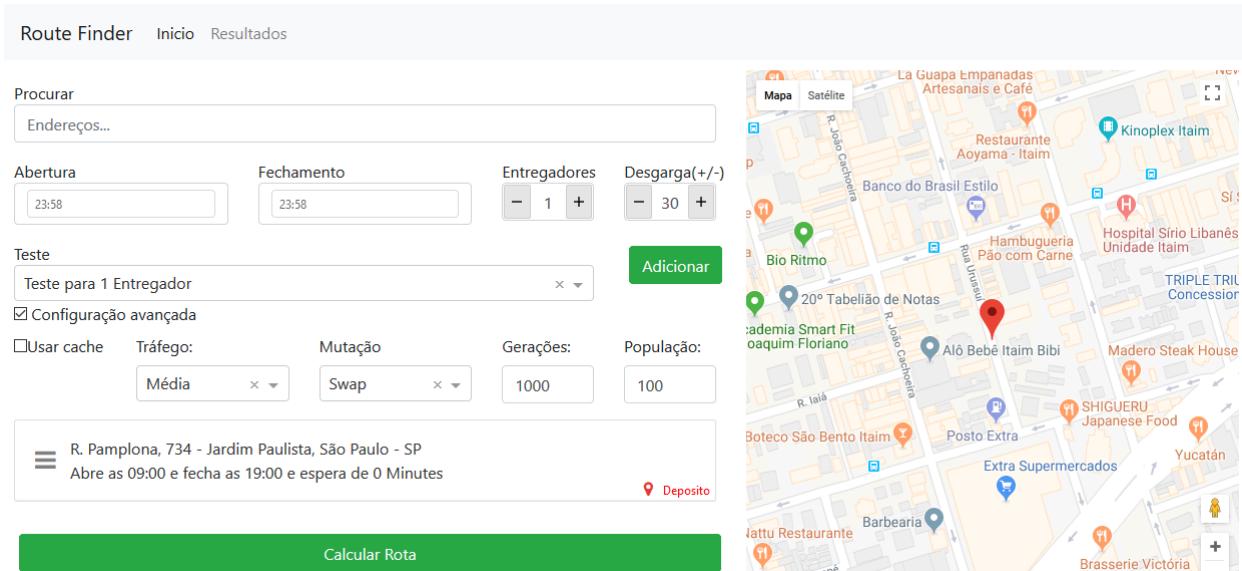


Figura 12 – Aparência da interface, configuração das rotas

- No campo procurar é preciso digitar o endereço para ser localizado no Google Maps, uma lista de possíveis escolhas aparece a baixo assim que começa a digitar, encontra o endereço e selecione.
- O mapa exibe o endereço selecionado.
- Abertura é o horário que é permitida a entrada no local, no caso do deposito é o horário que o entregador sai para realizar as entregas.
- Fechamento é o horário limite para realizar a entrega, no caso do deposito, é o horário limite para terminar todas as entregas, horário que o deposito fecha.
- Entregadores é o numero de entregados disponível para realizar as entregas.
- Descarga o tempo médio para descarregar no endereço de entrega, no caso do deposito esse campo não é utilizado.
- Adicionar Agrupa os campos do endereço, abertura, fechamento e descarga para a lista.
- Lista de endereços reúne todos os endereços escolhidos para enviar para o calculador de rotas, o primeiro da lista é sempre o deposito
- Calcular Rota faz a chama da Api de calculo e envia a lista.

4.2.4.1 Configurações Avançadas

As Configurações Avançadas ajudam no teste, podem definir configurações e fazer comparações de uma maneira mais ágil.

- Usar Cache guarda as rotas carregar do google mapas para a primeira chamada e utiliza para as próximas consultas iguais.
- Tráfego configura a maneira que o Google Mapas trabalha com o trânsito, com as opção média, Otimista e Pessimista.
- Mutação define qual mutação deve ser utilizada no GA.
- Gerações define o numero de gerações que o GA deve rodar antes de retornar o melhor resultado encontrado.
- População define o tamanho população que o GA vai utilizar para calcular as rotas.

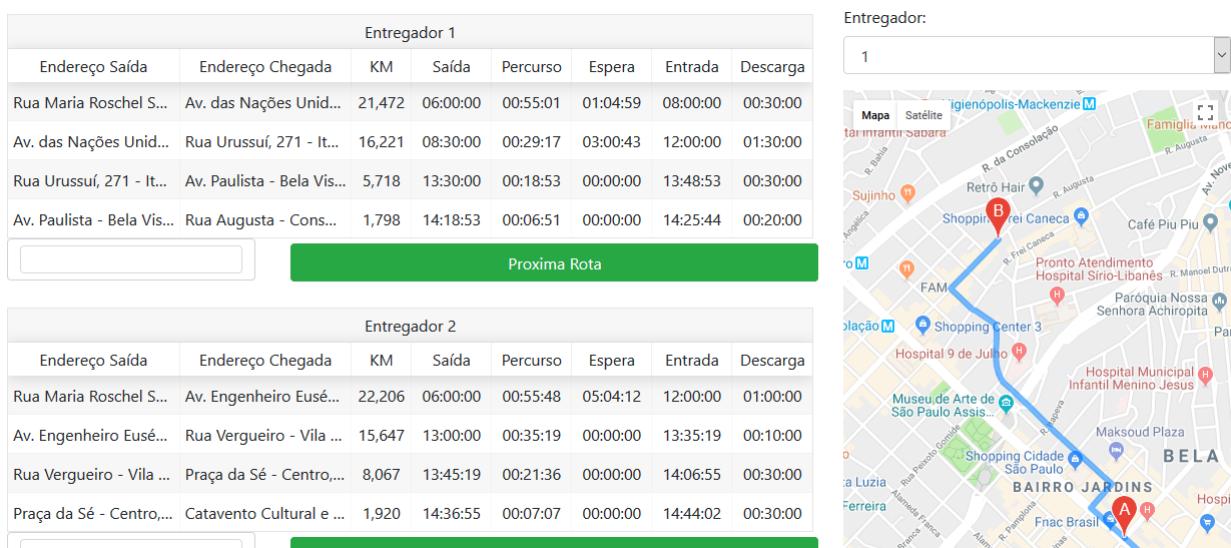


Figura 13 – Aparência da interface para exibição dos resultados

Cada entregador é exibido de forma separada, com sua própria tabela de endereço e recalcular para o próximo destino. A lista acima do mapa, é possível escolher qual rota será exibida no mapa, trocando entre os entregadores. A tabela tem 8 colunas com informações de cada percurso, essa colunas são:

- Endereço Saída: É o endereço que o entregador vai sair, na primeira vez será do depósito. Todos entregadores saem do mesmo endereço de depósito.
- Endereço Chegada: Endereço que o entregador chegará depois que sair do endereço de saída.
- KM: É a distância em Quilômetros de cada percurso indicada pelo Google Maps.
- Saída: Horário que o entregador sairá para realizar a entrega.
- Percurso: Tempo de locomoção para chegar até o destino de entrega.

- Espera: Se chegar no destino antes do horário de abertura, esse é o tempo que o entregador ficará esperando.
- Entrada: Horário que o entregador consegui entrar para começar a realizar a descarga da entrega.
- Descarga: Tempo Médio para descarregador toda a encomenda.

Depois de finalizar a entrega o campo saída deve ser preenchido com o horário que está tudo pronto para fazer a próxima entrega e clicar no botão Próxima Rota, uma nova chamada para a API será feita somente com o entregador pedido, esse processo pode ser repetido até que todas os endereços sejam visitados.

5 Resultados

Nesse capítulo é apresentado como os testes foram organizados, as limitações do software, os resultados encontrados e futuras melhorias.

5.1 Comparações

Implementamos para comparação 4 tipos de mutação, com duas definições de quantidade de gerações e tamanho de população, essas sendo, 1 - com uma população de 100 indivíduos e uma quantidade de 1000 gerações. e 2 - com uma população de 50 indivíduos e uma quantidade de 500 gerações.

Assim avaliando se é possível adquirir um resultado viável em menor tempo.

Cada configuração foi executada 10 vezes, e depois calculado a média do valor de aptidão para evitar o efeito probabilístico do GA. Para isso implementamos um projeto que extrai essas informações, o Route.DataGeneration, todas os dados das possibilidades foram armazenados em um arquivo CSV e organizados na tabela abaixo. Para garantir que os valores de distancia e tempo entre dois pontos seja o mesmo para todos os testes, um cache das distancias entre os todos os pontos é reutilizado para cada um dos testes.

Média de Aptidão Arquivo	Mutação			
	Displacement	Insertion	Inversion	Swap
SubRouteInsertion				
Extras	110095	110095	110223	110095
MacDonalds	40870	40870	40870	40870
Senacs	491009	491009	493523	492467
Turisticos	71360	71360	71360	71360
Uninoves	152151	152151	153053	152330

Figura 14 – Comparação das Mutações, Menor é melhor

A figura 14 demonstra a comparação entre as mutações, *Inversion* e o *Swap* não se demonstraram menos eficazes, Não sendo as melhores escolhas para criação das rotas. O *Displacement* e o *Insertion* conseguiram chegar em uma mesma média de aptidão para todas os arquivos, provando serem prováveis melhores escolhas para a busca de rotas.

5.2 Roteiros dos Testes

Os roteiros foram escolhidos de forma arbitrária com endereços dentro ou próximos da cidade de São Paulo. Para garantir consistência entre os resultados para cada roteiro foi salvo um cache entre as distâncias entre todos os pontos, de forma ser utilizado o mesmo fator de distância e tempo para todos os testes.

As listas de endereços e as rotas encontrada podem ser vista a baixo:

5.2.1 Roteiro 1

O primeiro roteiro (figura: 15) foi definido de forma que consiga ser realizado com apenas um entregador, o mesmo tem o seu deposito localizado em Jardim Paulista e realiza as entregas aos arredores da região da Vila Olímpia como pode ser observado na figura 16.

#	Endereço	Abertura	Fechamento	Descarga
0	R. Pamplona, 734 - Jardim Paulista, São Paulo - SP	09:00	19:00	
1	R. Augusta, 1856 - Cerqueira César, São Paulo - SP	08:00	23:00	30
2	Av. Brigadeiro Luís Antônio, 3477/3481 - Jardim Paulista, São Paulo - SP	09:00	19:00	90
3	Av. José Maria Whitaker, 81 - Jardim Paulista, São Paulo - SP	09:00	21:00	45
4	Av. das Nações Unidas, 12555 - Pinheiros, São Paulo - SP	06:00	21:00	95
5	Av. Eliseu de Almeida, 2700 - Jardim Peri Peri, São Paulo - SP	09:00	18:00	20
6	Av. Vital Brasil, 1256 - Butantã, São Paulo - SP	09:00	16:00	40
7	Rua Henrique Schaumann, 80/124 - Cerqueira César, São Paulo - SP	09:00	23:00	60
8	Av. Roque Petroni Júnior, 1089 - Chácara Santo Antônio (Zona Sul), São Paulo - SP	09:00	21:00	80

Figura 15 – Roteiro de um entregador

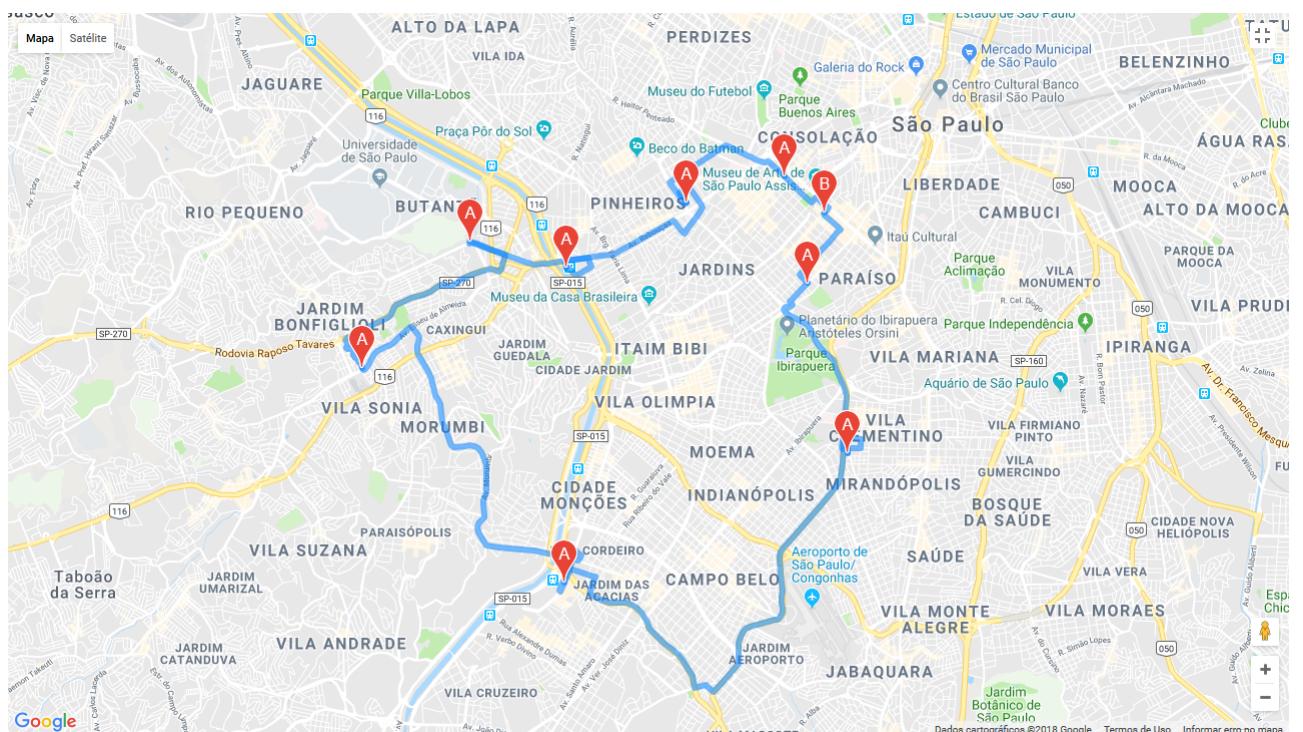


Figura 16 – Mapa de um entregador

5.2.1.1 500 Gerações e 50 População

Como pode ser observado nas figuras (20, 19, 18, 17), tivemos resultados extremamente próximos, o que indica que com uma quantidade grande o suficiente de gerações os resultados convergem.

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percuso	Espera	Entrada	Descarga
R. Pamplona, 734 - J...	Av. Brigadeiro Luís A...	1,708	09:00:00	00:05:28	00:00:00	09:05:28	01:30:00
Av. Brigadeiro Luís A...	Av. José Maria Whita...	3,808	10:35:28	00:09:54	00:00:00	10:45:22	00:45:00
Av. José Maria Whita...	Av. Roque Petroni Jú...	11,152	11:30:22	00:22:30	00:00:00	11:52:52	01:20:00
Av. Roque Petroni Jú...	Av. Eliseu de Almeid...	8,249	13:12:52	00:18:39	00:00:00	13:31:31	00:20:00
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:51:31	00:10:03	00:00:00	14:01:34	00:40:00
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. das Nações Unid...	2,915	14:41:34	00:09:59	00:00:00	14:51:33	01:35:00
Av. das Nações Unid...	Rua Henrique Schau...	3,919	16:26:33	00:10:37	00:00:00	16:37:10	01:00:00
Rua Henrique Schau...	R. Augusta, 1856 - C...	2,886	17:37:10	00:08:56	00:00:00	17:46:06	00:30:00
R. Augusta, 1856 - C...	R. Pamplona, 734 - J...	1,174	18:16:06	00:04:06	00:00:00	18:20:12	00:00:00
Distancia total: 39.476Km		Tempo total: 09:20:12					

Figura 17 – Mutacão Displacement Mutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
R. Pamplona, 734 - J...	Av. Brigadeiro Luís A...	1,708	09:00:00	00:05:28	00:00:00	09:05:28	01:30:00
Av. Brigadeiro Luís A...	Av. José Maria Whita...	3,808	10:35:28	00:09:54	00:00:00	10:45:22	00:45:00
Av. José Maria Whita...	Av. Roque Petroni Jú...	11,152	11:30:22	00:22:30	00:00:00	11:52:52	01:20:00
Av. Roque Petroni Jú...	Av. Eliseu de Almeid...	8,249	13:12:52	00:18:39	00:00:00	13:31:31	00:20:00
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:51:31	00:10:03	00:00:00	14:01:34	00:40:00
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. das Nações Unid...	2,915	14:41:34	00:09:59	00:00:00	14:51:33	01:35:00
Av. das Nações Unid...	Rua Henrique Schau...	3,919	16:26:33	00:10:37	00:00:00	16:37:10	01:00:00
Rua Henrique Schau...	R. Augusta, 1856 - C...	2,886	17:37:10	00:08:56	00:00:00	17:46:06	00:30:00
R. Augusta, 1856 - C...	R. Pamplona, 734 - J...	1,174	18:16:06	00:04:06	00:00:00	18:20:12	00:00:00

Figura 18 – Mutação InsertionMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
R. Pamplona, 734 - J...	Av. Brigadeiro Luís A...	1,708	09:00:00	00:05:28	00:00:00	09:05:28	01:30:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	Av. José Maria Whita...	3,808	10:35:28	00:09:54	00:00:00	10:45:22	00:45:00	
Av. José Maria Whita...	Av. Roque Petroni Jú...	11,152	11:30:22	00:22:30	00:00:00	11:52:52	01:20:00	
Av. Roque Petroni Jú...	Av. Eliseu de Almeid...	8,249	13:12:52	00:18:39	00:00:00	13:31:31	00:20:00	
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:51:31	00:10:03	00:00:00	14:01:34	00:40:00	
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. das Nações Unid...	2,915	14:41:34	00:09:59	00:00:00	14:51:33	01:35:00	
Av. das Nações Unid...	Rua Henrique Schau...	3,919	16:26:33	00:10:37	00:00:00	16:37:10	01:00:00	
Rua Henrique Schau...	R. Augusta, 1856 - C...	2,886	17:37:10	00:08:56	00:00:00	17:46:06	00:30:00	
R. Augusta, 1856 - C...	R. Pamplona, 734 - J...	1,174	18:16:06	00:04:06	00:00:00	18:20:12	00:00:00	

Distancia total: 39.476Km

Tempo total: 09:20:12

Figura 19 – Mutação InversionMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
R. Pamplona, 734 - J...	Av. Brigadeiro Luís A...	1,708	09:00:00	00:05:28	00:00:00	09:05:28	01:30:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	Av. José Maria Whita...	3,808	10:35:28	00:09:54	00:00:00	10:45:22	00:45:00	
Av. José Maria Whita...	Av. Roque Petroni Jú...	11,152	11:30:22	00:22:30	00:00:00	11:52:52	01:20:00	
Av. Roque Petroni Jú...	Av. Eliseu de Almeid...	8,249	13:12:52	00:18:39	00:00:00	13:31:31	00:20:00	
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:51:31	00:10:03	00:00:00	14:01:34	00:40:00	
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. das Nações Unid...	2,915	14:41:34	00:09:59	00:00:00	14:51:33	01:35:00	
Av. das Nações Unid...	Rua Henrique Schau...	3,919	16:26:33	00:10:37	00:00:00	16:37:10	01:00:00	
Rua Henrique Schau...	R. Augusta, 1856 - C...	2,886	17:37:10	00:08:56	00:00:00	17:46:06	00:30:00	
R. Augusta, 1856 - C...	R. Pamplona, 734 - J...	1,174	18:16:06	00:04:06	00:00:00	18:20:12	00:00:00	

Distancia total: 39.476Km

Tempo total: 09:20:12

Figura 20 – Mutação SwapMutation

5.2.1.2 1000 Gerações e 100 População

Dobrando a quantidade de gerações e população é possível de observar uma pequena melhoria no resultado (24, 23, 22, 21). Que provavelmente não justifique o tempo e processamento necessário parar se adquirir a resposta.

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
R. Pamplona, 734 - J...	R. Augusta, 1856 - C...	1,693	09:00:00	00:07:04	00:00:00	09:07:04	00:30:00
R. Augusta, 1856 - C...	Rua Henrique Schau...	2,870	09:37:04	00:09:59	00:00:00	09:47:03	01:00:00
Rua Henrique Schau...	Av. das Nações Unid...	3,999	10:47:03	00:09:31	00:00:00	10:56:34	01:35:00
Av. das Nações Unid...	Av. Eliseu de Almeid...	4,903	12:31:34	00:09:47	00:00:00	12:41:21	00:20:00
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:01:21	00:10:03	00:00:00	13:11:24	00:40:00
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. Roque Petroni Jú...	8,180	13:51:24	00:14:46	00:00:00	14:06:10	01:20:00
Av. Roque Petroni Jú...	Av. José Maria Whita...	8,107	15:26:10	00:15:41	00:00:00	15:41:51	00:45:00
Av. José Maria Whita...	Av. Brigadeiro Luís A...	4,036	16:26:51	00:09:37	00:00:00	16:36:28	01:30:00
Av. Brigadeiro Luís A...	R. Pamplona, 734 - J...	2,233	18:06:28	00:08:18	00:00:00	18:14:46	00:00:00

Distancia total: 38.627Km

Tempo total: 09:14:46

Figura 21 – Mutação DisplacementMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
R. Pamplona, 734 - J...	R. Augusta, 1856 - C...	1,693	09:00:00	00:07:04	00:00:00	09:07:04	00:30:00
R. Augusta, 1856 - C...	Rua Henrique Schau...	2,870	09:37:04	00:09:59	00:00:00	09:47:03	01:00:00
Rua Henrique Schau...	Av. das Nações Unid...	3,999	10:47:03	00:09:31	00:00:00	10:56:34	01:35:00
Av. das Nações Unid...	Av. Eliseu de Almeid...	4,903	12:31:34	00:09:47	00:00:00	12:41:21	00:20:00
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:01:21	00:10:03	00:00:00	13:11:24	00:40:00
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. Roque Petroni Jú...	8,180	13:51:24	00:14:46	00:00:00	14:06:10	01:20:00
Av. Roque Petroni Jú...	Av. José Maria Whita...	8,107	15:26:10	00:15:41	00:00:00	15:41:51	00:45:00
Av. José Maria Whita...	Av. Brigadeiro Luís A...	4,036	16:26:51	00:09:37	00:00:00	16:36:28	01:30:00
Av. Brigadeiro Luís A...	R. Pamplona, 734 - J...	2,233	18:06:28	00:08:18	00:00:00	18:14:46	00:00:00

Distancia total: 38.627Km

Tempo total: 09:14:46

Figura 22 – Mutação InsertionMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
R. Pamplona, 734 - J...	Av. Brigadeiro Luís A...	1,708	09:00:00	00:05:28	00:00:00	09:05:28	01:30:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	Av. José Maria Whita...	3,808	10:35:28	00:09:54	00:00:00	10:45:22	00:45:00	
Av. José Maria Whita...	Av. Roque Petroni Jú...	11,152	11:30:22	00:22:30	00:00:00	11:52:52	01:20:00	
Av. Roque Petroni Jú...	Av. Eliseu de Almeid...	8,249	13:12:52	00:18:39	00:00:00	13:31:31	00:20:00	
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:51:31	00:10:03	00:00:00	14:01:34	00:40:00	
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. das Nações Unid...	2,915	14:41:34	00:09:59	00:00:00	14:51:33	01:35:00	
Av. das Nações Unid...	Rua Henrique Schau...	3,919	16:26:33	00:10:37	00:00:00	16:37:10	01:00:00	
Rua Henrique Schau...	R. Augusta, 1856 - C...	2,886	17:37:10	00:08:56	00:00:00	17:46:06	00:30:00	
R. Augusta, 1856 - C...	R. Pamplona, 734 - J...	1,174	18:16:06	00:04:06	00:00:00	18:20:12	00:00:00	

Distancia total: 39.476Km

Tempo total: 09:20:12

Figura 23 – Mutação InversionMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
R. Pamplona, 734 - J...	R. Augusta, 1856 - C...	1,693	09:00:00	00:07:04	00:00:00	09:07:04	00:30:00	
R. Augusta, 1856 - C...	Rua Henrique Schau...	2,870	09:37:04	00:09:59	00:00:00	09:47:03	01:00:00	
Rua Henrique Schau...	Av. das Nações Unid...	3,999	10:47:03	00:09:31	00:00:00	10:56:34	01:35:00	
Av. das Nações Unid...	Av. Eliseu de Almeid...	4,903	12:31:34	00:09:47	00:00:00	12:41:21	00:20:00	
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:01:21	00:10:03	00:00:00	13:11:24	00:40:00	
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. Roque Petroni Jú...	8,180	13:51:24	00:14:46	00:00:00	14:06:10	01:20:00	
Av. Roque Petroni Jú...	Av. José Maria Whita...	8,107	15:26:10	00:15:41	00:00:00	15:41:51	00:45:00	
Av. José Maria Whita...	Av. Brigadeiro Luís A...	4,036	16:26:51	00:09:37	00:00:00	16:36:28	01:30:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	R. Pamplona, 734 - J...	2,233	18:06:28	00:08:18	00:00:00	18:14:46	00:00:00	

Distancia total: 38.627Km

Tempo total: 09:14:46

Figura 24 – Mutação SwapMutation

5.2.2 Roteiro 2

O segundo roteiro (figura: 25) foi pensado de forma a ser necessário um mínimo de 2 entregadores, de forma a um conjunto de pontos de entrega próximos a São Paulo e um ponto de entrega em Campos de Jordão.

Desta forma, pelo tempo necessário para se realizar esta entrega mais longe e voltar ao depósito, é obrigatório que seja demandado o uso de um entregador a mais. Como pode ser visualizado nos mapas que representam um resultado de rota (26,27).

# Endereço	Abertura	Fechamento	Descarga
0 Av. Eng. Eusébio Stevaux, 823 - Santo Amaro	09:00	20:00	
1 R. Dr. Antônio Bento, 393 - Santo Amaro	09:00	12:00	10
2 Rua Salvador Branco de Andrade, 182 - Jardim São Miguel	09:00	18:00	60
3 Av. do Café, 298 - Jabaquara	09:00	11:00	40
4 R. Dante Batiston, 248 - Centro	12:00	15:00	50
5 R. Voluntários da Pátria, 3167 - Santana	10:00	19:00	20
6 R. Cel. Luís Americano, 130 - Tatuapé	15:00	19:00	30
7 Rua do Orfanato, 316 - Vila Prudente	09:00	17:00	20
8 Av. Frei Orestes Girardi, 3549 - Capivari, Campos do Jordão - SP	09:00	17:00	20

Figura 25 – Roteiro de dois entregadores

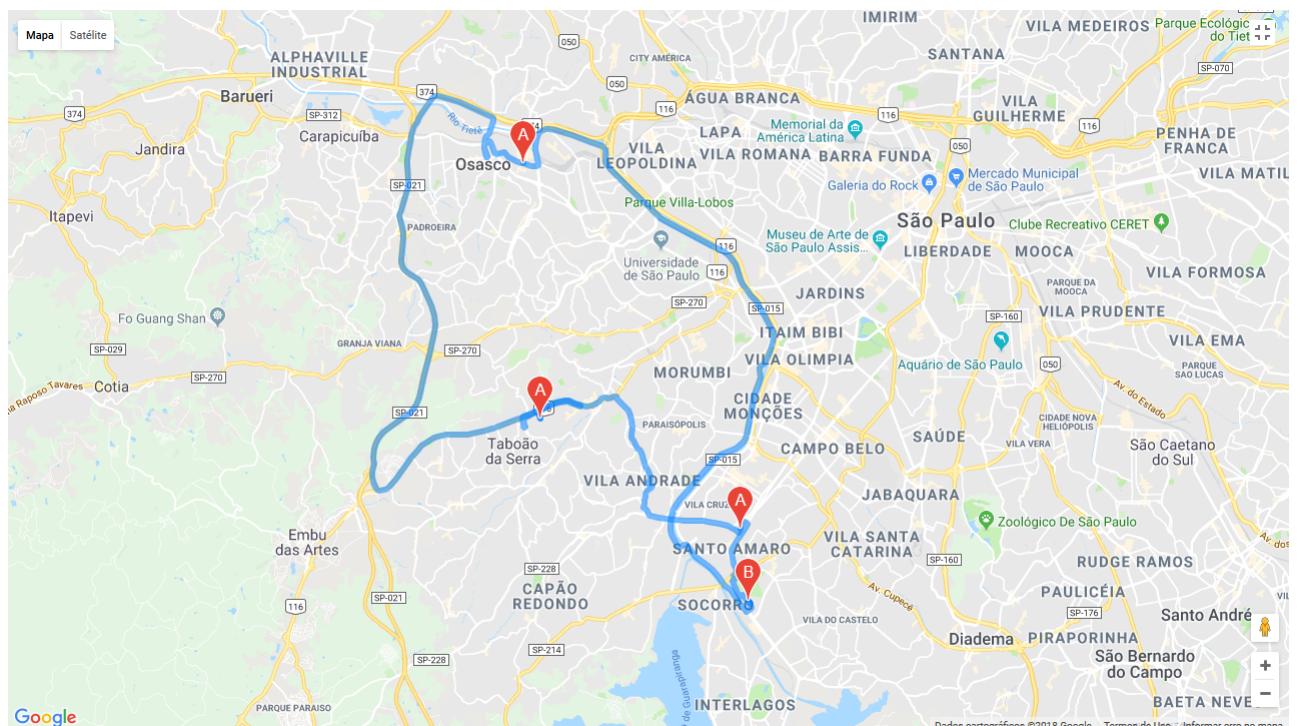


Figura 26 – Mapa de um de dois entregadores

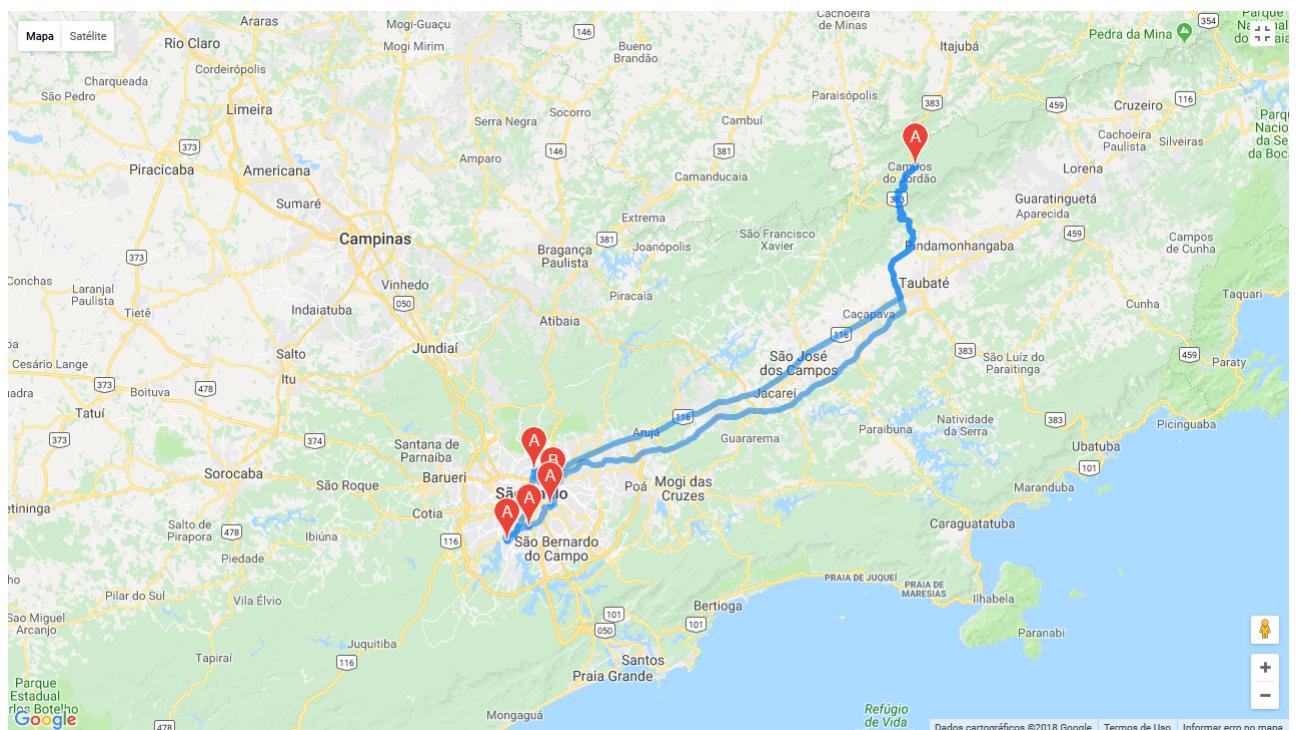


Figura 27 – Mapa de um de dois entregadores

5.2.2.1 500 Gerações e 50 População

Para cada mutação os resultados convergiram da mesma forma que o primeiro, de forma a não ser possível identificar uma mudança significativa em sua aplicação.

Pode ser verificado nas figuras 31, 30, 29 e 28 que o resultado divide de forma quase parcial a quantidade de pontos de entrega entre ambos os entregadores, mesmo que um entregador volte ao depósito na metade do dia e o outro entregador chegue ao final, pois o segundo tem sua entrega distante configurada no meio de seu roteiro, tendo assim entregas para serem realizados em seu caminho de ida e volta ao destino mais longe.

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. Eng. Eusébio Stev...	R. Dr. Antônio Bento,...	3,945	09:00:00	00:12:32	00:00:00	09:12:32	00:10:00
R. Dr. Antônio Bento,...	Rua Salvador Branco...	13,279	09:22:32	00:31:05	00:00:00	09:53:37	01:00:00
Rua Salvador Branco...	R. Dante Batiston, 24...	31,419	10:53:37	00:38:09	00:28:14	12:00:00	00:50:00
R. Dante Batiston, 24...	Av. Eng. Eusébio Stev...	26,221	12:50:00	00:33:49	00:00:00	13:23:49	00:00:00

Distancia total: 48.643Km

Tempo total: 04:23:49

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. Eng. Eusébio Stev...	Av. do Café, 298 - Ja...	10,953	09:00:00	00:29:10	00:00:00	09:29:10	00:40:00	
Av. do Café, 298 - Ja...	Rua do Orfanato, 31...	11,269	10:09:10	00:23:44	00:00:00	10:32:54	00:20:00	
Rua do Orfanato, 31...	Av. Frei Orestes Girar...	182,...	10:52:54	02:29:45	00:00:00	13:22:39	00:20:00	
Av. Frei Orestes Girar...	R. Cel. Luís American...	168,...	13:42:39	02:38:16	00:00:00	16:20:55	00:30:00	
R. Cel. Luís American...	R. Voluntários da Pát...	10,964	16:50:55	00:23:37	00:00:00	17:14:32	00:20:00	
R. Voluntários da Pát...	Av. Eng. Eusébio Stev...	24,143	17:34:32	00:44:51	00:00:00	18:19:23	00:00:00	

Distancia total: 383.794Km

Tempo total: 09:19:23

Figura 28 – Mutação DisplacementMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. Eng. Eusébio Stev...	R. Dr. Antônio Bento,...	3,945	09:00:00	00:12:32	00:00:00	09:12:32	00:10:00	
R. Dr. Antônio Bento,...	Rua Salvador Branco...	13,279	09:22:32	00:31:05	00:00:00	09:53:37	01:00:00	
Rua Salvador Branco...	R. Dante Batiston, 24...	31,419	10:53:37	00:38:09	00:28:14	12:00:00	00:50:00	
R. Dante Batiston, 24...	Av. Eng. Eusébio Stev...	26,221	12:50:00	00:33:49	00:00:00	13:23:49	00:00:00	

Distancia total: 48.643Km

Tempo total: 04:23:49

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. Eng. Eusébio Stev...	Av. do Café, 298 - Ja...	10,953	09:00:00	00:29:10	00:00:00	09:29:10	00:40:00	
Av. do Café, 298 - Ja...	Rua do Orfanato, 31...	11,269	10:09:10	00:23:44	00:00:00	10:32:54	00:20:00	
Rua do Orfanato, 31...	Av. Frei Orestes Girar...	182,...	10:52:54	02:29:45	00:00:00	13:22:39	00:20:00	
Av. Frei Orestes Girar...	R. Cel. Luís American...	168,...	13:42:39	02:38:16	00:00:00	16:20:55	00:30:00	
R. Cel. Luís American...	R. Voluntários da Pát...	10,964	16:50:55	00:23:37	00:00:00	17:14:32	00:20:00	
R. Voluntários da Pát...	Av. Eng. Eusébio Stev...	24,143	17:34:32	00:44:51	00:00:00	18:19:23	00:00:00	

Distancia total: 383.794Km

Tempo total: 09:19:23

Figura 29 – Mutação InsertionMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. Eng. Eusébio Stev...	R. Dr. Antônio Bento,...	3,945	09:00:00	00:12:32	00:00:00	09:12:32	00:10:00
R. Dr. Antônio Bento,...	Rua Salvador Branco...	13,279	09:22:32	00:31:05	00:00:00	09:53:37	01:00:00
Rua Salvador Branco...	R. Dante Batiston, 24...	31,419	10:53:37	00:38:09	00:28:14	12:00:00	00:50:00
R. Dante Batiston, 24...	Av. Eng. Eusébio Stev...	26,221	12:50:00	00:33:49	00:00:00	13:23:49	00:00:00

Distancia total: 48.643Km

Tempo total: 04:23:49

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. Eng. Eusébio Stev...	Av. do Café, 298 - Ja...	10,953	09:00:00	00:29:10	00:00:00	09:29:10	00:40:00
Av. do Café, 298 - Ja...	Rua do Orfanato, 31...	11,269	10:09:10	00:23:44	00:00:00	10:32:54	00:20:00
Rua do Orfanato, 31...	Av. Frei Orestes Girar...	182,...	10:52:54	02:29:45	00:00:00	13:22:39	00:20:00
Av. Frei Orestes Girar...	R. Cel. Luís American...	168,...	13:42:39	02:38:16	00:00:00	16:20:55	00:30:00
R. Cel. Luís American...	R. Voluntários da Pát...	10,964	16:50:55	00:23:37	00:00:00	17:14:32	00:20:00
R. Voluntários da Pát...	Av. Eng. Eusébio Stev...	24,143	17:34:32	00:44:51	00:00:00	18:19:23	00:00:00

Distancia total: 383.794Km

Tempo total: 09:19:23

Figura 30 – Mutação InversionMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. Eng. Eusébio Stev...	Av. do Café, 298 - Ja...	10,953	09:00:00	00:29:10	00:00:00	09:29:10	00:40:00
Av. do Café, 298 - Ja...	Rua do Orfanato, 31...	11,269	10:09:10	00:23:44	00:00:00	10:32:54	00:20:00
Rua do Orfanato, 31...	Av. Frei Orestes Girar...	182,...	10:52:54	02:29:45	00:00:00	13:22:39	00:20:00
Av. Frei Orestes Girar...	R. Cel. Luís American...	168,...	13:42:39	02:38:16	00:00:00	16:20:55	00:30:00
R. Cel. Luís American...	R. Voluntários da Pát...	10,964	16:50:55	00:23:37	00:00:00	17:14:32	00:20:00
R. Voluntários da Pát...	Av. Eng. Eusébio Stev...	24,143	17:34:32	00:44:51	00:00:00	18:19:23	00:00:00

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. Eng. Eusébio Stev...	R. Dr. Antônio Bento,...	3,945	09:00:00	00:12:32	00:00:00	09:12:32	00:10:00	
R. Dr. Antônio Bento,...	Rua Salvador Branco...	13,279	09:22:32	00:31:05	00:00:00	09:53:37	01:00:00	
Rua Salvador Branco...	R. Dante Batiston, 24...	31,419	10:53:37	00:38:09	00:28:14	12:00:00	00:50:00	
R. Dante Batiston, 24...	Av. Eng. Eusébio Stev...	26,221	12:50:00	00:33:49	00:00:00	13:23:49	00:00:00	

Distancia total: 48.643Km

Tempo total: 04:23:49

Figura 31 – Mutação SwapMutation

5.2.2.2 1000 Gerações e 100 População

No caso do roteiro de 2 entregadores aplicar mais força computacional, com mais populações não trouxe nenhum ganho. O algorítimo se demonstra convergindo bem rápido para uma solução viável (figuras: 34, 32, 33, 35).

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. Eng. Eusébio Stev...	R. Dr. Antônio Bento,...	3,945	09:00:00	00:12:32	00:00:00	09:12:32	00:10:00	
R. Dr. Antônio Bento,...	Rua Salvador Branco...	13,279	09:22:32	00:31:05	00:00:00	09:53:37	01:00:00	
Rua Salvador Branco...	R. Dante Batiston, 24...	31,419	10:53:37	00:38:09	00:28:14	12:00:00	00:50:00	
R. Dante Batiston, 24...	Av. Eng. Eusébio Stev...	26,221	12:50:00	00:33:49	00:00:00	13:23:49	00:00:00	

Distancia total: 48.643Km

Tempo total: 04:23:49

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. Eng. Eusébio Stev...	Av. do Café, 298 - Ja...	10,953	09:00:00	00:29:10	00:00:00	09:29:10	00:40:00	
Av. do Café, 298 - Ja...	Rua do Orfanato, 31...	11,269	10:09:10	00:23:44	00:00:00	10:32:54	00:20:00	
Rua do Orfanato, 31...	Av. Frei Orestes Girar...	182,...	10:52:54	02:29:45	00:00:00	13:22:39	00:20:00	
Av. Frei Orestes Girar...	R. Cel. Luís American...	168,...	13:42:39	02:38:16	00:00:00	16:20:55	00:30:00	
R. Cel. Luís American...	R. Voluntários da Pát...	10,964	16:50:55	00:23:37	00:00:00	17:14:32	00:20:00	
R. Voluntários da Pát...	Av. Eng. Eusébio Stev...	24,143	17:34:32	00:44:51	00:00:00	18:19:23	00:00:00	

Distancia total: 383.794Km

Tempo total: 09:19:23

Figura 32 – Mutação DisplacementMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. Eng. Eusébio Stev...	R. Dr. Antônio Bento,...	3,945	09:00:00	00:12:32	00:00:00	09:12:32	00:10:00	
R. Dr. Antônio Bento,...	Rua Salvador Branco...	13,279	09:22:32	00:31:05	00:00:00	09:53:37	01:00:00	
Rua Salvador Branco...	R. Dante Batiston, 24...	31,419	10:53:37	00:38:09	00:28:14	12:00:00	00:50:00	
R. Dante Batiston, 24...	Av. Eng. Eusébio Stev...	26,221	12:50:00	00:33:49	00:00:00	13:23:49	00:00:00	

Distancia total: 48.643Km

Tempo total: 04:23:49

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. Eng. Eusébio Stev...	Av. do Café, 298 - Ja...	10,953	09:00:00	00:29:10	00:00:00	09:29:10	00:40:00	
Av. do Café, 298 - Ja...	Rua do Orfanato, 31...	11,269	10:09:10	00:23:44	00:00:00	10:32:54	00:20:00	
Rua do Orfanato, 31...	Av. Frei Orestes Girar...	182,...	10:52:54	02:29:45	00:00:00	13:22:39	00:20:00	
Av. Frei Orestes Girar...	R. Cel. Luís American...	168,...	13:42:39	02:38:16	00:00:00	16:20:55	00:30:00	
R. Cel. Luís American...	R. Voluntários da Pát...	10,964	16:50:55	00:23:37	00:00:00	17:14:32	00:20:00	
R. Voluntários da Pát...	Av. Eng. Eusébio Stev...	24,143	17:34:32	00:44:51	00:00:00	18:19:23	00:00:00	

Distancia total: 383.794Km

Tempo total: 09:19:23

Figura 33 – Mutação InsertionMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. Eng. Eusébio Stev...	Av. do Café, 298 - Ja...	10,953	09:00:00	00:29:10	00:00:00	09:29:10	00:40:00	
Av. do Café, 298 - Ja...	Rua do Orfanato, 31...	11,269	10:09:10	00:23:44	00:00:00	10:32:54	00:20:00	
Rua do Orfanato, 31...	Av. Frei Orestes Girar...	182,...	10:52:54	02:29:45	00:00:00	13:22:39	00:20:00	
Av. Frei Orestes Girar...	R. Cel. Luís American...	168,...	13:42:39	02:38:16	00:00:00	16:20:55	00:30:00	
R. Cel. Luís American...	R. Voluntários da Pát...	10,964	16:50:55	00:23:37	00:00:00	17:14:32	00:20:00	
R. Voluntários da Pát...	Av. Eng. Eusébio Stev...	24,143	17:34:32	00:44:51	00:00:00	18:19:23	00:00:00	

Distancia total: 383.794Km

Tempo total: 09:19:23

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. Eng. Eusébio Stev...	R. Dr. Antônio Bento,...	3,945	09:00:00	00:12:32	00:00:00	09:12:32	00:10:00
R. Dr. Antônio Bento,...	Rua Salvador Branco...	13,279	09:22:32	00:31:05	00:00:00	09:53:37	01:00:00
Rua Salvador Branco...	R. Dante Batiston, 24...	31,419	10:53:37	00:38:09	00:28:14	12:00:00	00:50:00
R. Dante Batiston, 24...	Av. Eng. Eusébio Stev...	26,221	12:50:00	00:33:49	00:00:00	13:23:49	00:00:00

Distancia total: 48.643Km

Tempo total: 04:23:49

Figura 34 – Mutação InversionMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. Eng. Eusébio Stev...	R. Dr. Antônio Bento,...	3,945	09:00:00	00:12:32	00:00:00	09:12:32	00:10:00
R. Dr. Antônio Bento,...	Rua Salvador Branco...	13,279	09:22:32	00:31:05	00:00:00	09:53:37	01:00:00
Rua Salvador Branco...	R. Dante Batiston, 24...	31,419	10:53:37	00:38:09	00:28:14	12:00:00	00:50:00
R. Dante Batiston, 24...	Av. Eng. Eusébio Stev...	26,221	12:50:00	00:33:49	00:00:00	13:23:49	00:00:00

Distancia total: 48.643Km

Tempo total: 04:23:49

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. Eng. Eusébio Stev...	Av. do Café, 298 - Ja...	10,953	09:00:00	00:29:10	00:00:00	09:29:10	00:40:00
Av. do Café, 298 - Ja...	Rua do Orfanato, 31...	11,269	10:09:10	00:23:44	00:00:00	10:32:54	00:20:00
Rua do Orfanato, 31...	Av. Frei Orestes Girar...	182,...	10:52:54	02:29:45	00:00:00	13:22:39	00:20:00
Av. Frei Orestes Girar...	R. Cel. Luís American...	168,...	13:42:39	02:38:16	00:00:00	16:20:55	00:30:00
R. Cel. Luís American...	R. Voluntários da Pát...	10,964	16:50:55	00:23:37	00:00:00	17:14:32	00:20:00
R. Voluntários da Pát...	Av. Eng. Eusébio Stev...	24,143	17:34:32	00:44:51	00:00:00	18:19:23	00:00:00

Distancia total: 383.794Km

Tempo total: 09:19:23

Figura 35 – Mutação SwapMutation

5.2.3 Roteiro 3

O terceiro roteiro (figura: 36) foi pensado de forma a ser necessário um mínimo de 3 entregadores, todos os pontos ficam em São Paulo, porém com uma quantidade maior de pontos de entrega e tempo de descarga que as rotas anteriores.

Assim sendo, dois entregadores receberam de forma geral os pontos mais distantes

do depósito e opostos entre si, e o terceiro recebeu os ponto mais próximos do deposito porem com tempo maior de descarga. (37, 38, 39).

#	Endereço	Abertura	Fechamento	Descarga
0	Av. das Nações Unidas, 16741 - Santo Amaro	06:00	23:00	
1	R. João Batista de Oliveira, 47 - Centro, Taboão da Serra - SP	09:00	22:00	220
2	Av. Guido Caloi, 25 - Jardim São Luís, São Paulo - SP	09:00	22:00	140
3	Avenida Washignton Luís, 5859 - Jd. Aeroporto, São Paulo - SP	09:00	22:00	120
4	R. João Cachoeira, 899 - Itaim Bibi, São Paulo - SP	06:00	22:00	210
5	Av. Dr. Ricardo Jafet, 1501 - Vila Mariana, São Paulo - SP	09:00	22:00	300
6	R. Nossa Sra. das Mercês, 29 - Vila das Merces, São Paulo - SP	09:00	22:00	140
7	Av. Brigadeiro Luís Antônio, 2013 - Bela Vista, São Paulo - SP	09:00	22:00	200
8	Rua Três Rios, 282 - Bom Retiro, São Paulo - SP	09:00	22:00	300
9	Av. Guarapiranga, 752 - Socorro, São Paulo - SP	09:00	22:00	180
10	Estrada Velha do M'Boi Mirim, 4374 - Jardim Angela, São Paulo - SP	09:00	22:00	110
11	Av. Sen. Teotônio Vilela, 2926 - Jardim Iporanga, São Paulo - SP	09:00	22:00	70

Figura 36 – Roteiro de três entregadores

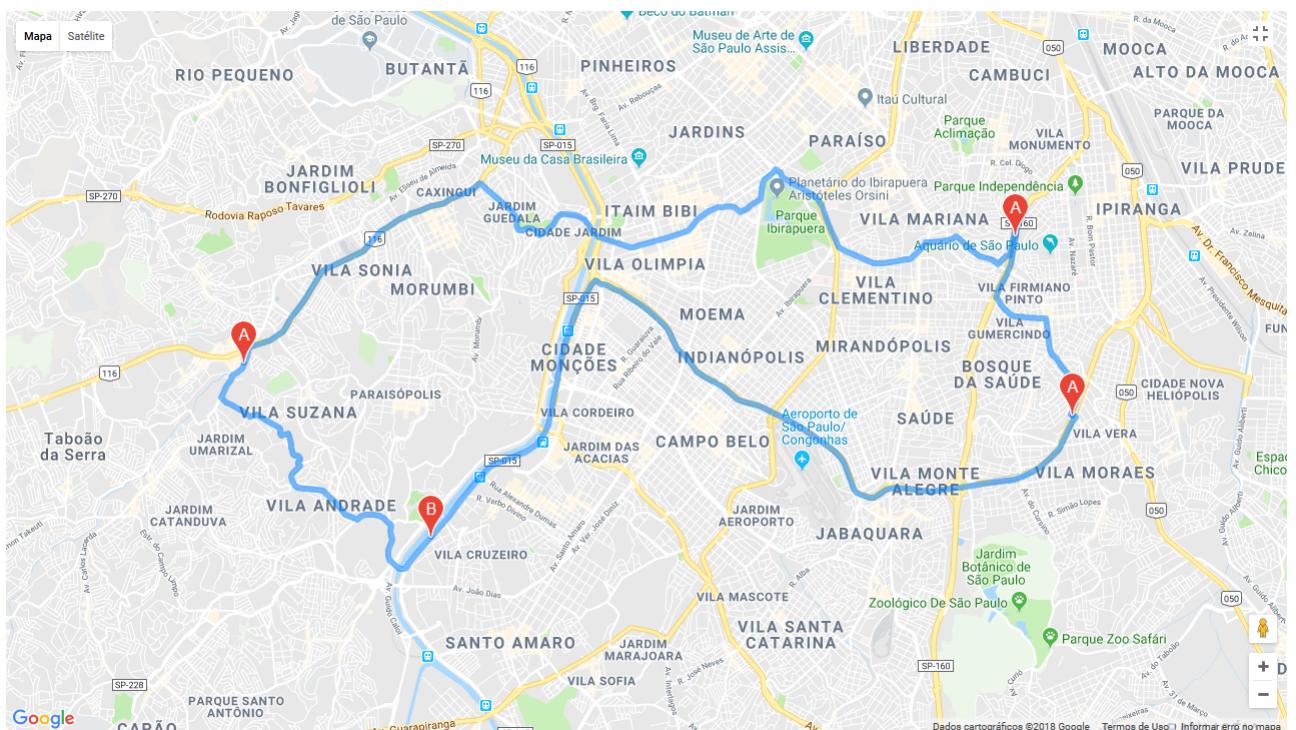


Figura 37 – Mapa de um de três entregadores

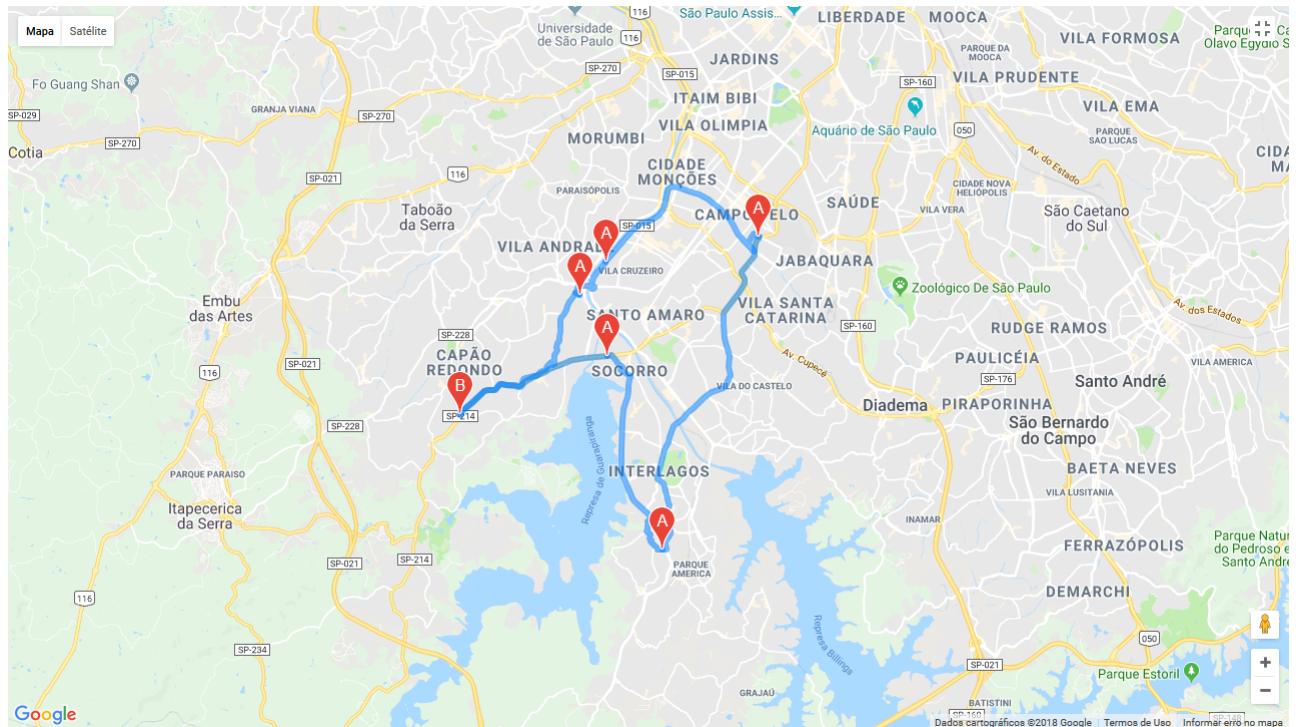


Figura 38 – Mapa de um de três entregadores

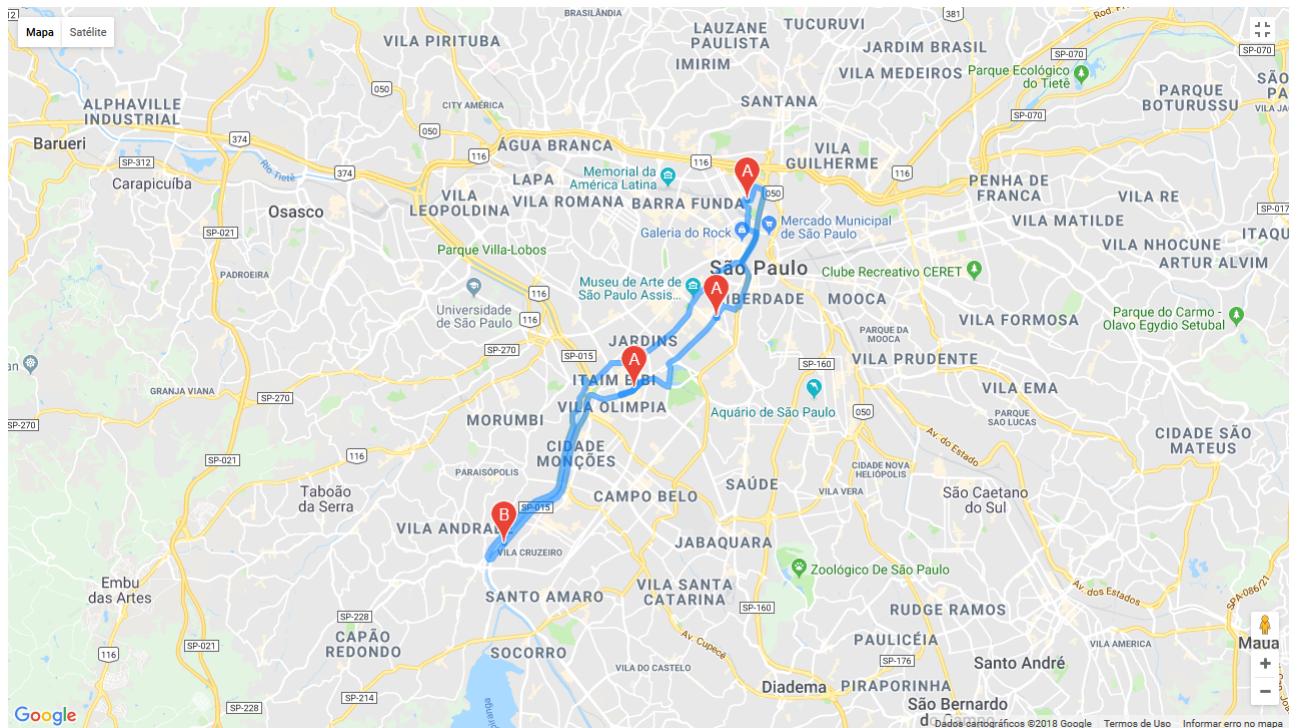


Figura 39 – Mapa de um de três entregadores

5.2.3.1 500 Gerações e 50 População

Para 3 entregadores ao contrário das rotas anterior é visível uma diferença entre a utilização da mutações, no caso as que alteram sub-rotas performaram pior (42, 40) que as que fazem trocas simples entre pontos (41, 43). Isso se da pelo aumento de complexidade

com mais entregadores, como a estratégia de cruzamento se guia pela distância entre pontos, grandes alterações no genoma podem mais facilmente resultar em resultados piores.

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	R. Nossa Sra. das Me...	16,206	06:00:00	00:25:17	02:34:43	09:00:00	02:20:00	
R. Nossa Sra. das Me...	Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	4,183	11:20:00	00:09:19	00:00:00	11:29:19	05:00:00	
Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	R. João Batista de Oli...	18,834	16:29:19	00:39:54	00:00:00	17:09:13	03:40:00	
R. João Batista de Oli...	Av. das Nações Unid...	6,988	20:49:13	00:19:52	00:00:00	21:09:05	00:00:00	

Distancia total: 39.223Km

Tempo total: 15:09:05

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Avenida Washignton...	8,505	06:00:00	00:14:26	02:45:34	09:00:00	02:00:00	
Avenida Washignton...	Av. Sen. Teotônio Vil...	12,896	11:00:00	00:29:37	00:00:00	11:29:37	01:10:00	
Av. Sen. Teotônio Vil...	Av. Guarapiranga, 75...	8,158	12:39:37	00:24:43	00:00:00	13:04:20	03:00:00	
Av. Guarapiranga, 75...	Estrada Velha do M'...	5,828	16:04:20	00:15:01	00:00:00	16:19:21	01:50:00	
Estrada Velha do M'...	Av. Guido Caloi, 25 - ...	7,211	18:09:21	00:26:17	00:00:00	18:35:38	02:20:00	
Av. Guido Caloi, 25 - ...	Av. das Nações Unid...	2,217	20:55:38	00:04:06	00:00:00	20:59:44	00:00:00	

Distancia total: 42.598Km

Tempo total: 14:59:44

Entregador 3								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	R. João Cachoeira, 8...	8,670	06:00:00	00:12:58	00:00:00	06:12:58	03:30:00	
R. João Cachoeira, 8...	Av. Brigadeiro Luís A...	5,744	09:42:58	00:17:16	00:00:00	10:00:14	05:00:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	Rua Três Rios, 282 - ...	5,715	15:00:14	00:16:09	00:00:00	15:16:23	05:50:00	
Rua Três Rios, 282 - ...	Av. das Nações Unid...	19,638	21:06:23	00:35:05	00:00:00	21:41:28	00:00:00	

Distancia total: 20.129Km

Tempo total: 15:41:28

Figura 40 – Mutação DisplacementMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	R. João Cachoeira, 8...	8,670	06:00:00	00:12:58	00:00:00	06:12:58	03:30:00	
R. João Cachoeira, 8...	Av. Brigadeiro Luís A...	5,744	09:42:58	00:17:16	00:00:00	10:00:14	05:00:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	Rua Três Rios, 282 - ...	5,715	15:00:14	00:16:09	00:00:00	15:16:23	05:50:00	
Rua Três Rios, 282 - ...	Av. das Nações Unid...	19,638	21:06:23	00:35:05	00:00:00	21:41:28	00:00:00	

Distancia total: 20.129Km

Tempo total: 15:41:28

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Av. Sen. Teotônio Vil...	13,797	06:00:00	00:29:54	02:30:06	09:00:00	01:10:00	
Av. Sen. Teotônio Vil...	Av. Guarapiranga, 75...	8,158	10:10:00	00:24:43	00:00:00	10:34:43	03:00:00	
Av. Guarapiranga, 75...	Estrada Velha do M'...	5,828	13:34:43	00:15:01	00:00:00	13:49:44	01:50:00	
Estrada Velha do M'...	Av. Guido Caloi, 25 - ...	7,211	15:39:44	00:26:17	00:00:00	16:06:01	02:20:00	
Av. Guido Caloi, 25 - ...	R. João Batista de Oli...	6,786	18:26:01	00:16:46	00:00:00	18:42:47	03:40:00	
R. João Batista de Oli...	Av. das Nações Unid...	6,988	22:22:47	00:19:52	00:00:00	22:42:39	00:00:00	

Distancia total: 41.78Km

Tempo total: 16:42:39

Entregador 3								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Avenida Washignton...	8,505	06:00:00	00:14:26	02:45:34	09:00:00	02:00:00	
Avenida Washignton...	R. Nossa Sra. das Me...	9,206	11:00:00	00:14:16	00:00:00	11:14:16	02:20:00	
R. Nossa Sra. das Me...	Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	4,183	13:34:16	00:09:19	00:00:00	13:43:35	05:00:00	
Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	Av. das Nações Unid...	16,983	18:43:35	00:36:20	00:00:00	19:19:55	00:00:00	

Distancia total: 21.894Km

Tempo total: 13:19:55

Figura 41 – Mutação InsertionMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	R. Nossa Sra. das Me...	16,206	06:00:00	00:25:17	02:34:43	09:00:00	02:20:00	
R. Nossa Sra. das Me...	Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	4,183	11:20:00	00:09:19	00:00:00	11:29:19	05:00:00	
Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	R. João Batista de Oli...	18,834	16:29:19	00:39:54	00:00:00	17:09:13	03:40:00	
R. João Batista de Oli...	Av. das Nações Unid...	6,988	20:49:13	00:19:52	00:00:00	21:09:05	00:00:00	

Distancia total: 39.223Km

Tempo total: 15:09:05

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. das Nações Unid...	Avenida Washignton...	8,505	06:00:00	00:14:26	02:45:34	09:00:00	02:00:00
Avenida Washignton...	Av. Sen. Teotônio Vil...	12,896	11:00:00	00:29:37	00:00:00	11:29:37	01:10:00
Av. Sen. Teotônio Vil...	Av. Guarapiranga, 75...	8,158	12:39:37	00:24:43	00:00:00	13:04:20	03:00:00
Av. Guarapiranga, 75...	Estrada Velha do M'...	5,828	16:04:20	00:15:01	00:00:00	16:19:21	01:50:00
Estrada Velha do M'...	Av. Guido Caloi, 25 - ...	7,211	18:09:21	00:26:17	00:00:00	18:35:38	02:20:00
Av. Guido Caloi, 25 - ...	Av. das Nações Unid...	2,217	20:55:38	00:04:06	00:00:00	20:59:44	00:00:00

Distancia total: 42.598Km

Tempo total: 14:59:44

Entregador 3							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. das Nações Unid...	R. João Cachoeira, 8...	8,670	06:00:00	00:12:58	00:00:00	06:12:58	03:30:00
R. João Cachoeira, 8...	Av. Brigadeiro Luís A...	5,744	09:42:58	00:17:16	00:00:00	10:00:14	05:00:00
Av. Brigadeiro Luís A...	Rua Três Rios, 282 - ...	5,715	15:00:14	00:16:09	00:00:00	15:16:23	05:50:00
Rua Três Rios, 282 - ...	Av. das Nações Unid...	19,638	21:06:23	00:35:05	00:00:00	21:41:28	00:00:00

Distancia total: 20.129Km

Tempo total: 15:41:28

Figura 42 – Mutação InversionMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. das Nações Unid...	R. João Cachoeira, 8...	8,670	06:00:00	00:12:58	00:00:00	06:12:58	03:30:00
R. João Cachoeira, 8...	Av. Brigadeiro Luís A...	5,744	09:42:58	00:17:16	00:00:00	10:00:14	05:00:00
Av. Brigadeiro Luís A...	Rua Três Rios, 282 - ...	5,715	15:00:14	00:16:09	00:00:00	15:16:23	05:50:00
Rua Três Rios, 282 - ...	Av. das Nações Unid...	19,638	21:06:23	00:35:05	00:00:00	21:41:28	00:00:00

Distancia total: 20.129Km

Tempo total: 15:41:28

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Av. Sen. Teotônio Vil...	13,797	06:00:00	00:29:54	02:30:06	09:00:00	01:10:00	
Av. Sen. Teotônio Vil...	Av. Guarapiranga, 75...	8,158	10:10:00	00:24:43	00:00:00	10:34:43	03:00:00	
Av. Guarapiranga, 75...	Estrada Velha do M'...	5,828	13:34:43	00:15:01	00:00:00	13:49:44	01:50:00	
Estrada Velha do M'...	R. João Batista de Oli...	11,201	15:39:44	00:40:22	00:00:00	16:20:06	03:40:00	
R. João Batista de Oli...	Av. das Nações Unid...	6,988	20:00:06	00:19:52	00:00:00	20:19:58	00:00:00	

Distancia total: 38.984Km

Tempo total: 14:19:58

Entregador 3								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Avenida Washignton...	8,505	06:00:00	00:14:26	02:45:34	09:00:00	02:00:00	
Avenida Washignton...	R. Nossa Sra. das Me...	9,206	11:00:00	00:14:16	00:00:00	11:14:16	02:20:00	
R. Nossa Sra. das Me...	Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	4,183	13:34:16	00:09:19	00:00:00	13:43:35	05:00:00	
Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	Av. Guido Caloi, 25 - ...	16,936	18:43:35	00:33:00	00:00:00	19:16:35	02:20:00	
Av. Guido Caloi, 25 - ...	Av. das Nações Unid...	2,217	21:36:35	00:04:06	00:00:00	21:40:41	00:00:00	

Distancia total: 38.83Km

Tempo total: 15:40:41

Figura 43 – Mutação SwapMutation

5.2.3.2 1000 Gerações e 100 População

Assim como nos casos anteriores aumentar as quantidades de gerações e população não resultou em um resultado melhor como pode ser visto em ([44](#), [45](#), [46](#), [47](#)).

De forma equivalente a versão de 500 gerações e 50 indivíduos as mutações simples demonstraram melhor resultado.

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Av. Sen. Teotônio Vil...	13,797	06:00:00	00:29:54	02:30:06	09:00:00	01:10:00	
Av. Sen. Teotônio Vil...	Av. Guarapiranga, 75...	8,158	10:10:00	00:24:43	00:00:00	10:34:43	03:00:00	
Av. Guarapiranga, 75...	Estrada Velha do M'...	5,828	13:34:43	00:15:01	00:00:00	13:49:44	01:50:00	
Estrada Velha do M'...	Av. Guido Caloi, 25 - ...	7,211	15:39:44	00:26:17	00:00:00	16:06:01	02:20:00	
Av. Guido Caloi, 25 - ...	R. João Batista de Oli...	6,786	18:26:01	00:16:46	00:00:00	18:42:47	03:40:00	
R. João Batista de Oli...	Av. das Nações Unid...	6,988	22:22:47	00:19:52	00:00:00	22:42:39	00:00:00	

Distancia total: 41.78Km

Tempo total: 16:42:39

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Avenida Washignton...	8,505	06:00:00	00:14:26	02:45:34	09:00:00	02:00:00	
Avenida Washignton...	R. Nossa Sra. das Me...	9,206	11:00:00	00:14:16	00:00:00	11:14:16	02:20:00	
R. Nossa Sra. das Me...	Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	4,183	13:34:16	00:09:19	00:00:00	13:43:35	05:00:00	
Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	Av. das Nações Unid...	16,983	18:43:35	00:36:20	00:00:00	19:19:55	00:00:00	

Distancia total: 21.894Km

Tempo total: 13:19:55

Entregador 3								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	R. João Cachoeira, 8...	8,670	06:00:00	00:12:58	00:00:00	06:12:58	03:30:00	
R. João Cachoeira, 8...	Av. Brigadeiro Luís A...	5,744	09:42:58	00:17:16	00:00:00	10:00:14	05:00:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	Rua Três Rios, 282 - ...	5,715	15:00:14	00:16:09	00:00:00	15:16:23	05:50:00	
Rua Três Rios, 282 - ...	Av. das Nações Unid...	19,638	21:06:23	00:35:05	00:00:00	21:41:28	00:00:00	

Distancia total: 20.129Km

Tempo total: 15:41:28

Figura 44 – Mutação DisplacementMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. das Nações Unid...	Av. Sen. Teotônio Vil...	13,797	06:00:00	00:29:54	02:30:06	09:00:00	01:10:00
Av. Sen. Teotônio Vil...	Av. Guarapiranga, 75...	8,158	10:10:00	00:24:43	00:00:00	10:34:43	03:00:00
Av. Guarapiranga, 75...	Estrada Velha do M'...	5,828	13:34:43	00:15:01	00:00:00	13:49:44	01:50:00
Estrada Velha do M'...	Av. Guido Caloi, 25 - ...	7,211	15:39:44	00:26:17	00:00:00	16:06:01	02:20:00
Av. Guido Caloi, 25 - ...	R. João Batista de Oli...	6,786	18:26:01	00:16:46	00:00:00	18:42:47	03:40:00
R. João Batista de Oli...	Av. das Nações Unid...	6,988	22:22:47	00:19:52	00:00:00	22:42:39	00:00:00

Distancia total: 41.78Km

Tempo total: 16:42:39

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. das Nações Unid...	R. João Cachoeira, 8...	8,670	06:00:00	00:12:58	00:00:00	06:12:58	03:30:00
R. João Cachoeira, 8...	Av. Brigadeiro Luís A...	5,744	09:42:58	00:17:16	00:00:00	10:00:14	05:00:00
Av. Brigadeiro Luís A...	Rua Três Rios, 282 - ...	5,715	15:00:14	00:16:09	00:00:00	15:16:23	05:50:00
Rua Três Rios, 282 - ...	Av. das Nações Unid...	19,638	21:06:23	00:35:05	00:00:00	21:41:28	00:00:00

Distancia total: 20.129Km

Tempo total: 15:41:28

Entregador 3							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. das Nações Unid...	Avenida Washignton...	8,505	06:00:00	00:14:26	02:45:34	09:00:00	02:00:00
Avenida Washignton...	R. Nossa Sra. das Me...	9,206	11:00:00	00:14:16	00:00:00	11:14:16	02:20:00
R. Nossa Sra. das Me...	Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	4,183	13:34:16	00:09:19	00:00:00	13:43:35	05:00:00
Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	Av. das Nações Unid...	16,983	18:43:35	00:36:20	00:00:00	19:19:55	00:00:00

Distancia total: 21.894Km

Tempo total: 13:19:55

Figura 45 – Mutação InsertionMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Av. das Nações Unid...	R. João Cachoeira, 8...	8,670	06:00:00	00:12:58	00:00:00	06:12:58	03:30:00
R. João Cachoeira, 8...	Av. Brigadeiro Luís A...	5,744	09:42:58	00:17:16	00:00:00	10:00:14	05:00:00
Av. Brigadeiro Luís A...	Rua Três Rios, 282 - ...	5,715	15:00:14	00:16:09	00:00:00	15:16:23	05:50:00
Rua Três Rios, 282 - ...	Av. das Nações Unid...	19,638	21:06:23	00:35:05	00:00:00	21:41:28	00:00:00

Distancia total: 20.129Km

Tempo total: 15:41:28

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Av. Sen. Teotônio Vil...	13,797	06:00:00	00:29:54	02:30:06	09:00:00	01:10:00	
Av. Sen. Teotônio Vil...	Av. Guarapiranga, 75...	8,158	10:10:00	00:24:43	00:00:00	10:34:43	03:00:00	
Av. Guarapiranga, 75...	Estrada Velha do M'...	5,828	13:34:43	00:15:01	00:00:00	13:49:44	01:50:00	
Estrada Velha do M'...	Av. Guido Caloi, 25 - ...	7,211	15:39:44	00:26:17	00:00:00	16:06:01	02:20:00	
Av. Guido Caloi, 25 - ...	R. João Batista de Oli...	6,786	18:26:01	00:16:46	00:00:00	18:42:47	03:40:00	
R. João Batista de Oli...	Av. das Nações Unid...	6,988	22:22:47	00:19:52	00:00:00	22:42:39	00:00:00	

Distancia total: 41.78Km

Tempo total: 16:42:39

Entregador 3								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	R. Nossa Sra. das Me...	16,206	06:00:00	00:25:17	02:34:43	09:00:00	02:20:00	
R. Nossa Sra. das Me...	Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	4,183	11:20:00	00:09:19	00:00:00	11:29:19	05:00:00	
Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	Avenida Washignton...	9,878	16:29:19	00:19:10	00:00:00	16:48:29	02:00:00	
Avenida Washignton...	Av. das Nações Unid...	9,585	18:48:29	00:14:41	00:00:00	19:03:10	00:00:00	

Distancia total: 30.267Km

Tempo total: 13:03:10

Figura 46 – Mutação InversionMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	R. João Cachoeira, 8...	8,670	06:00:00	00:12:58	00:00:00	06:12:58	03:30:00	
R. João Cachoeira, 8...	Av. Brigadeiro Luís A...	5,744	09:42:58	00:17:16	00:00:00	10:00:14	05:00:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	Rua Três Rios, 282 - ...	5,715	15:00:14	00:16:09	00:00:00	15:16:23	05:50:00	
Rua Três Rios, 282 - ...	Av. das Nações Unid...	19,638	21:06:23	00:35:05	00:00:00	21:41:28	00:00:00	

Distancia total: 20.129Km

Tempo total: 15:41:28

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Avenida Washignton...	8,505	06:00:00	00:14:26	02:45:34	09:00:00	02:00:00	
Avenida Washignton...	R. Nossa Sra. das Me...	9,206	11:00:00	00:14:16	00:00:00	11:14:16	02:20:00	
R. Nossa Sra. das Me...	Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	4,183	13:34:16	00:09:19	00:00:00	13:43:35	05:00:00	
Av. Dr. Ricardo Jafet, ...	Av. das Nações Unid...	16,983	18:43:35	00:36:20	00:00:00	19:19:55	00:00:00	

Distancia total: 21.894Km

Tempo total: 13:19:55

Entregador 3								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Av. das Nações Unid...	Av. Sen. Teotônio Vil...	13,797	06:00:00	00:29:54	02:30:06	09:00:00	01:10:00	
Av. Sen. Teotônio Vil...	Av. Guarapiranga, 75...	8,158	10:10:00	00:24:43	00:00:00	10:34:43	03:00:00	
Av. Guarapiranga, 75...	Estrada Velha do M'...	5,828	13:34:43	00:15:01	00:00:00	13:49:44	01:50:00	
Estrada Velha do M'...	Av. Guido Caloi, 25 - ...	7,211	15:39:44	00:26:17	00:00:00	16:06:01	02:20:00	
Av. Guido Caloi, 25 - ...	R. João Batista de Oli...	6,786	18:26:01	00:16:46	00:00:00	18:42:47	03:40:00	
R. João Batista de Oli...	Av. das Nações Unid...	6,988	22:22:47	00:19:52	00:00:00	22:42:39	00:00:00	

Distancia total: 41.78Km

Tempo total: 16:42:39

Figura 47 – Mutação SwapMutation

5.2.4 Roteiro 4

O quarto roteiro (figura: 48) foi pensado de forma a ser necessário um mínimo de 4 entregadores, todos os pontos de entrega ficam fora da cidade de São Paulo, de forma bem espaçada.

O ponto mais distante em Olímpia, acabou sendo passado para apenas um entregador, por ser muito longe e ter um tempo de descarga relativamente alto, apenas seria possível que um entregador conseguisse realizar essa entrega e voltar a tempo. Os outros pontos por mais que distantes foram distribuídos entre os demais entregadores de forma quase uniforme, respeitando de forma que o mesmo entregador entregue entre pontos mais próximos ou que façam parte de seu caminho até um terceiro ponto mais distante. (49,50, 51,52).

#	Endereço	Abertura	Fechamento	Descarga
0	Rua Vergueiro, 235/249 - Liberdade, São Paulo - SP	08:00	20:00	
1	Americana - SP, Brasil	12:00	18:00	120
2	Jundiaí, SP, Brasil	15:00	22:00	90
3	Praia Grande, SP, Brasil	08:00	14:00	90
4	Campinas, SP, Brasil	11:00	16:00	120
5	Olímpia, SP, Brasil	08:00	14:00	90
6	São Roque, SP, Brasil	07:00	23:00	120
7	Mogi das Cruzes - SP, Brasil	14:00	21:00	90
8	Campos do Jordão, SP, Brasil	15:00	21:00	50
9	Bertioga, SP, Brasil	08:00	23:00	150

Figura 48 – Roteiro de quatro entregadores

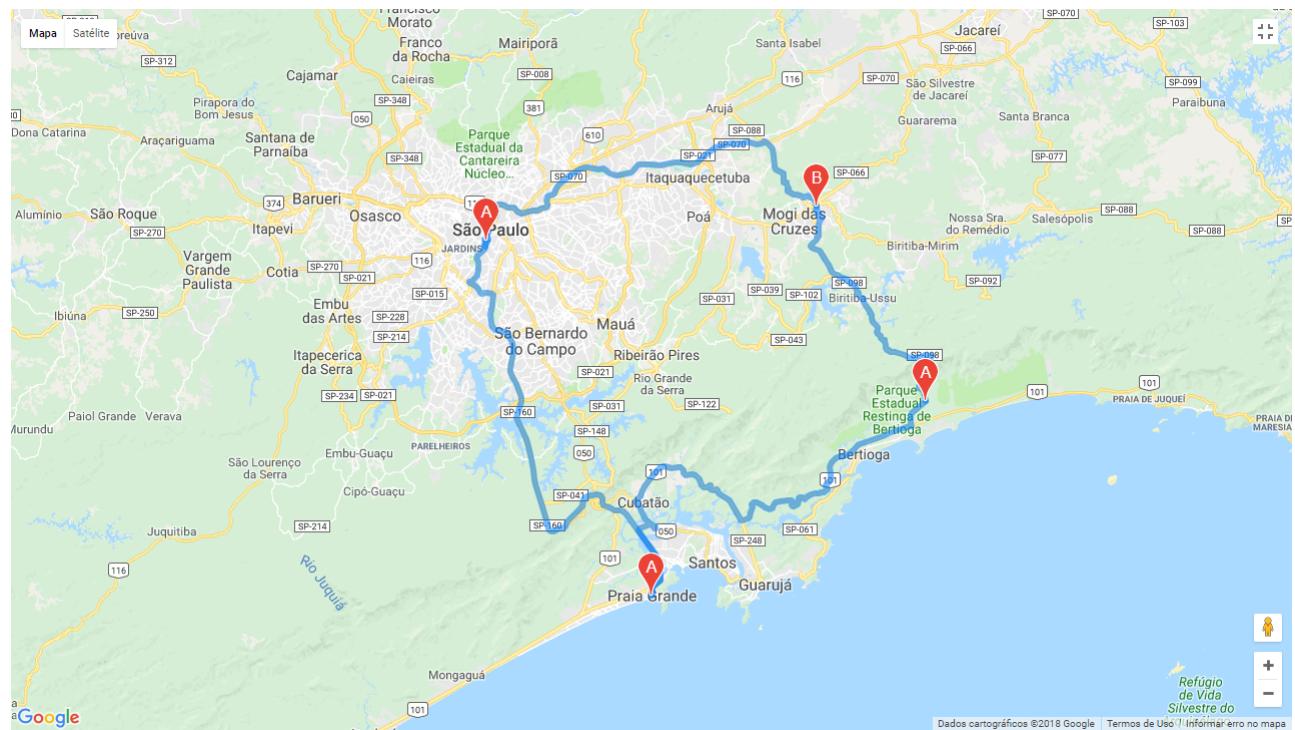


Figura 49 – Mapa de um de quatro entregadores

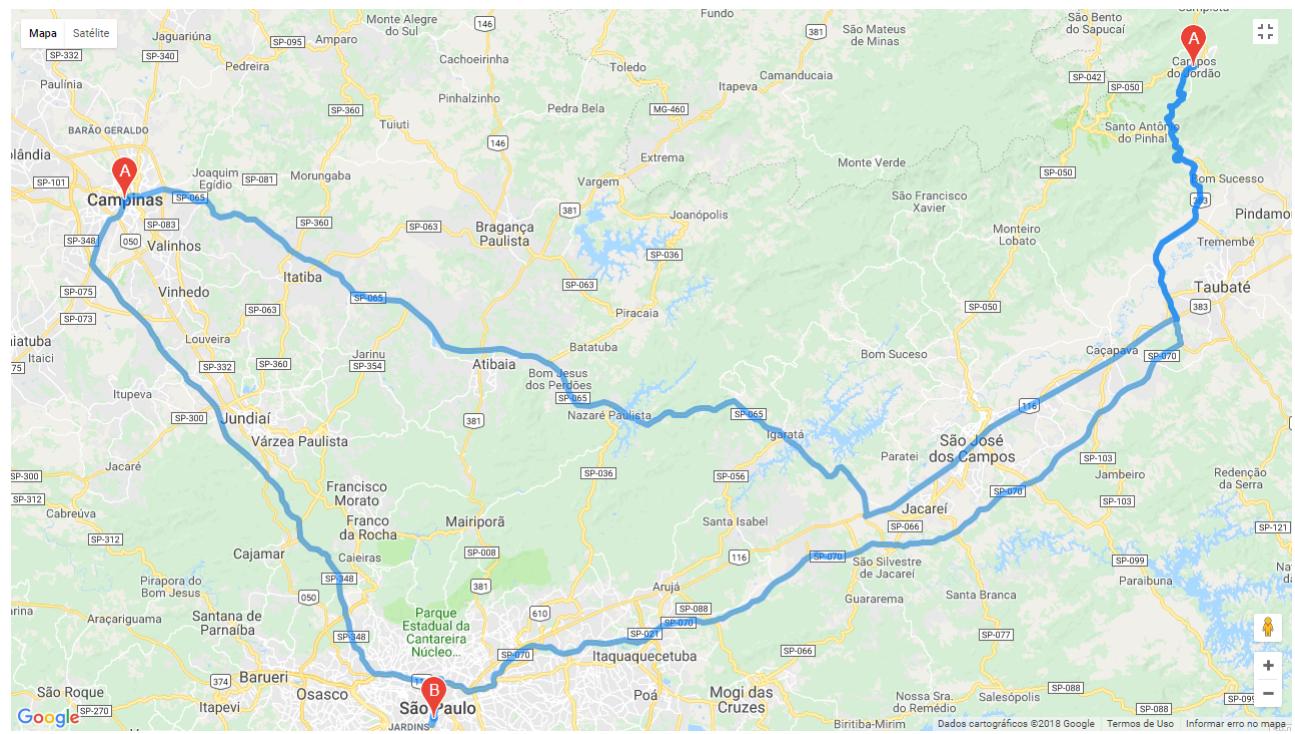


Figura 50 – Mapa de um de quatro entregadores

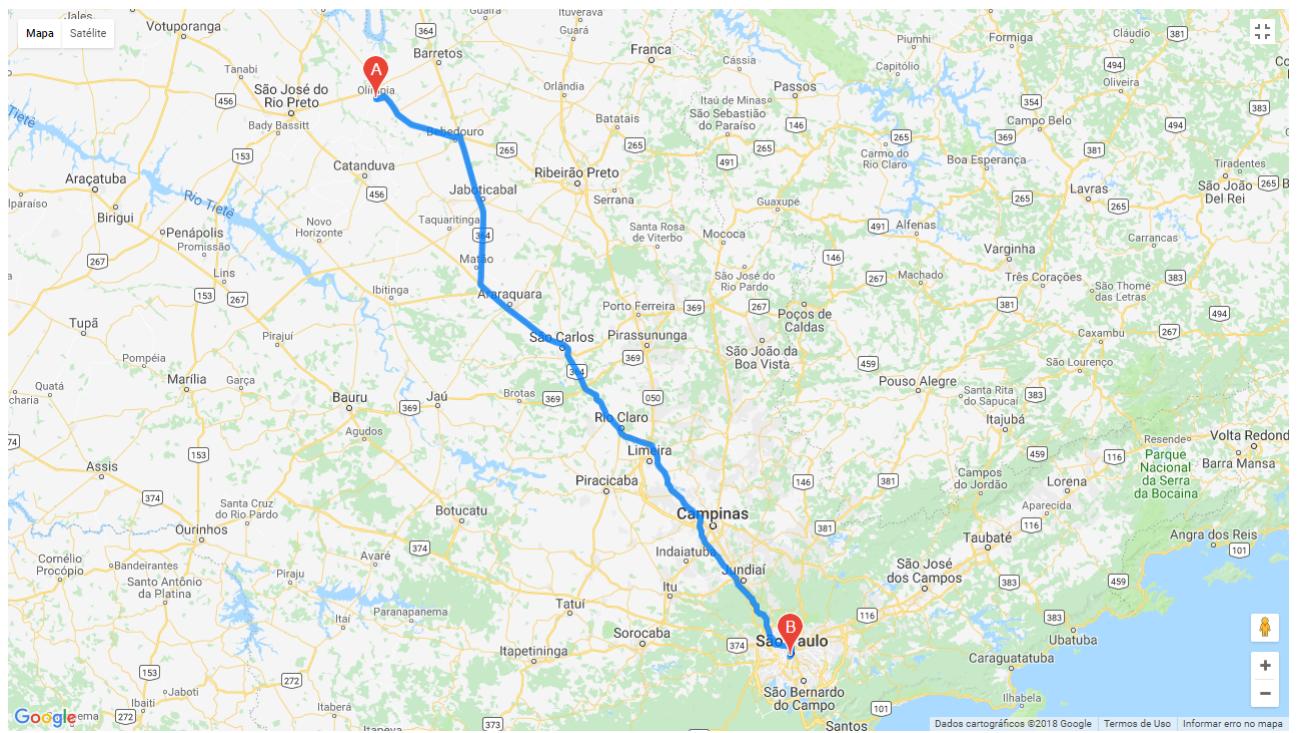


Figura 51 – Mapa de um de quatro entregadores

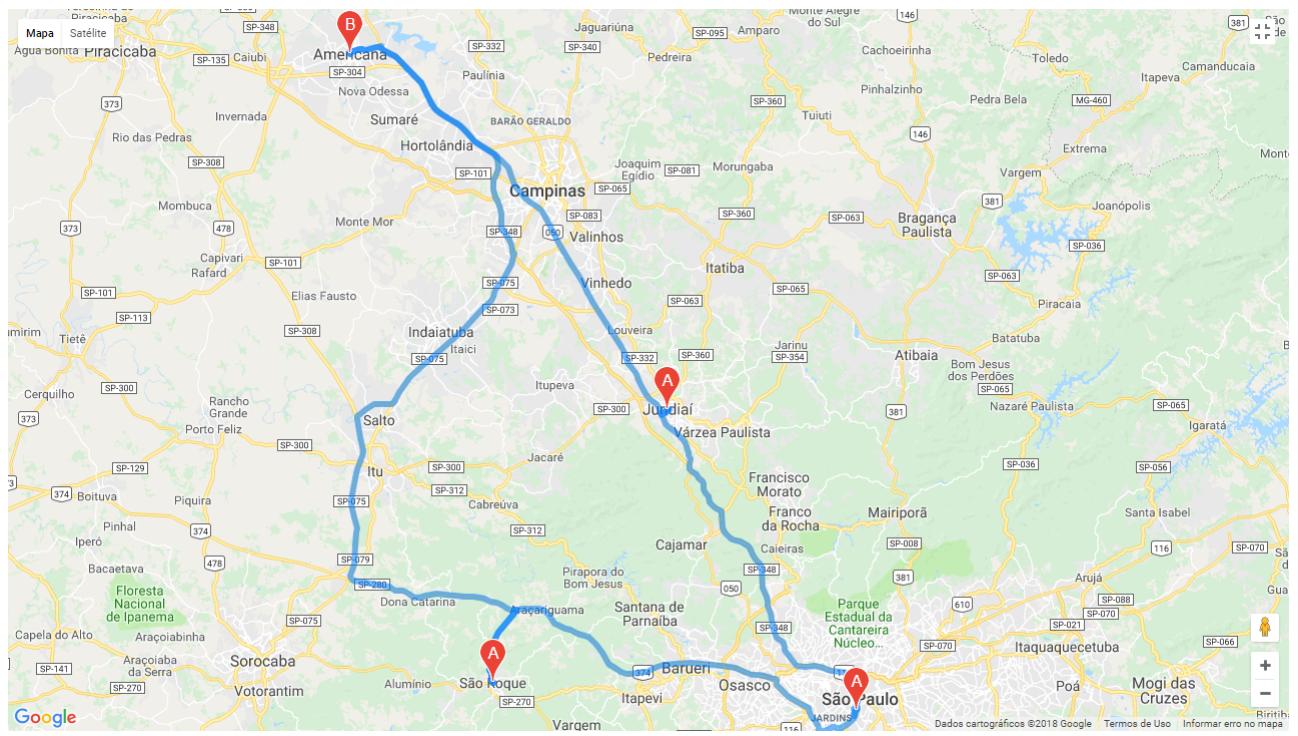


Figura 52 – Mapa de um de quatro entregadores

5.2.4.1 500 Gerações e 50 População

Todas as mutações convergiram para o mesmo valor neste caso, por mais que sejam rotas muito espaçadas em distância, a quantidade de combinações validas para realizar todas as entregas a tempo não é alta (figuras: 55, 53, 54, 56).

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Praia Grande, SP, Bra...	77,523	08:00:00	01:17:36	00:00:00	09:17:36	01:30:00
Praia Grande, SP, Bra...	Bertioga, SP, Brasil	80,719	10:47:36	01:17:13	00:00:00	12:04:49	02:30:00
Bertioga, SP, Brasil	Mogi das Cruzes - S...	42,373	14:34:49	00:51:13	00:00:00	15:26:02	01:30:00
Mogi das Cruzes - S...	Rua Vergueiro, 235/2...	65,739	16:56:02	01:06:01	00:00:00	18:02:03	00:00:00

Distancia total: 200.615Km

Tempo total: 10:02:03

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Campinas, SP, Brasil	96,793	08:00:00	01:18:52	01:41:08	11:00:00	02:00:00
Campinas, SP, Brasil	Campos do Jordão, S...	230,...	13:00:00	02:53:33	00:00:00	15:53:33	00:50:00
Campos do Jordão, S...	Rua Vergueiro, 235/2...	175,...	16:43:33	02:29:52	00:00:00	19:13:25	00:00:00

Distancia total: 327.497Km

Tempo total: 11:13:25

Entregador 3							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Olímpia, SP, Brasil	441,...	08:00:00	05:01:41	00:00:00	13:01:41	01:30:00
Olímpia, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	439,...	14:31:41	05:05:13	00:00:00	19:36:54	00:00:00

Distancia total: 441.544Km

Tempo total: 11:36:54

Entregador 4							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	São Roque, SP, Brasil	71,570	08:00:00	01:08:16	00:00:00	09:08:16	02:00:00
São Roque, SP, Brasil	Americana - SP, Brasil	128,...	11:08:16	01:39:19	00:00:00	12:47:35	02:00:00
Americana - SP, Brasil	Jundiaí, SP, Brasil	73,369	14:47:35	01:00:01	00:00:00	15:47:36	01:30:00
Jundiaí, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	61,836	17:17:36	00:59:51	00:00:00	18:17:27	00:00:00

Distancia total: 273.267Km

Tempo total: 10:17:27

Figura 53 – Mutação DisplacementMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Olímpia, SP, Brasil	441,...	08:00:00	05:01:41	00:00:00	13:01:41	01:30:00
Olímpia, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	439,...	14:31:41	05:05:13	00:00:00	19:36:54	00:00:00

Distancia total: 441.544Km

Tempo total: 11:36:54

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Rua Vergueiro, 235/2...	São Roque, SP, Brasil	71,570	08:00:00	01:08:16	00:00:00	09:08:16	02:00:00	
São Roque, SP, Brasil	Campos do Jordão, S...	242,...	11:08:16	03:07:34	00:44:10	15:00:00	00:50:00	
Campos do Jordão, S...	Rua Vergueiro, 235/2...	175,...	15:50:00	02:29:52	00:00:00	18:19:52	00:00:00	

Distancia total: 314.294Km

Tempo total: 10:19:52

Entregador 3								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Rua Vergueiro, 235/2...	Praia Grande, SP, Bra...	77,523	08:00:00	01:17:36	00:00:00	09:17:36	01:30:00	
Praia Grande, SP, Bra...	Bertioga, SP, Brasil	80,719	10:47:36	01:17:13	00:00:00	12:04:49	02:30:00	
Bertioga, SP, Brasil	Mogi das Cruzes - S...	42,373	14:34:49	00:51:13	00:00:00	15:26:02	01:30:00	
Mogi das Cruzes - S...	Rua Vergueiro, 235/2...	65,739	16:56:02	01:06:01	00:00:00	18:02:03	00:00:00	

Distancia total: 200.615Km

Tempo total: 10:02:03

Entregador 4								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Rua Vergueiro, 235/2...	Campinas, SP, Brasil	96,793	08:00:00	01:18:52	01:41:08	11:00:00	02:00:00	
Campinas, SP, Brasil	Americana - SP, Brasil	37,744	13:00:00	00:37:36	00:00:00	13:37:36	02:00:00	
Americana - SP, Brasil	Jundiaí, SP, Brasil	73,369	15:37:36	01:00:01	00:00:00	16:37:37	01:30:00	
Jundiaí, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	61,836	18:07:37	00:59:51	00:00:00	19:07:28	00:00:00	

Distancia total: 207.906Km

Tempo total: 11:07:28

Figura 54 – Mutação InsertionMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Rua Vergueiro, 235/2...	Campinas, SP, Brasil	96,793	08:00:00	01:18:52	01:41:08	11:00:00	02:00:00	
Campinas, SP, Brasil	Americana - SP, Brasil	37,744	13:00:00	00:37:36	00:00:00	13:37:36	02:00:00	
Americana - SP, Brasil	Jundiaí, SP, Brasil	73,369	15:37:36	01:00:01	00:00:00	16:37:37	01:30:00	
Jundiaí, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	61,836	18:07:37	00:59:51	00:00:00	19:07:28	00:00:00	

Distancia total: 207.906Km

Tempo total: 11:07:28

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	São Roque, SP, Brasil	71,570	08:00:00	01:08:16	00:00:00	09:08:16	02:00:00
São Roque, SP, Brasil	Campos do Jordão, S...	242,...	11:08:16	03:07:34	00:44:10	15:00:00	00:50:00
Campos do Jordão, S...	Rua Vergueiro, 235/2...	175,...	15:50:00	02:29:52	00:00:00	18:19:52	00:00:00

Distancia total: 314.294Km

Tempo total: 10:19:52

Entregador 3							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Praia Grande, SP, Bra...	77,523	08:00:00	01:17:36	00:00:00	09:17:36	01:30:00
Praia Grande, SP, Bra...	Bertioga, SP, Brasil	80,719	10:47:36	01:17:13	00:00:00	12:04:49	02:30:00
Bertioga, SP, Brasil	Mogi das Cruzes - S...	42,373	14:34:49	00:51:13	00:00:00	15:26:02	01:30:00
Mogi das Cruzes - S...	Rua Vergueiro, 235/2...	65,739	16:56:02	01:06:01	00:00:00	18:02:03	00:00:00

Distancia total: 200.615Km

Tempo total: 10:02:03

Entregador 4							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Olímpia, SP, Brasil	441,...	08:00:00	05:01:41	00:00:00	13:01:41	01:30:00
Olímpia, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	439,...	14:31:41	05:05:13	00:00:00	19:36:54	00:00:00

Distancia total: 441.544Km

Tempo total: 11:36:54

Figura 55 – Mutação InversionMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Campinas, SP, Brasil	96,793	08:00:00	01:18:52	01:41:08	11:00:00	02:00:00
Campinas, SP, Brasil	Americana - SP, Brasil	37,744	13:00:00	00:37:36	00:00:00	13:37:36	02:00:00
Americana - SP, Brasil	Jundiaí, SP, Brasil	73,369	15:37:36	01:00:01	00:00:00	16:37:37	01:30:00
Jundiaí, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	61,836	18:07:37	00:59:51	00:00:00	19:07:28	00:00:00

Distancia total: 207.906Km

Tempo total: 11:07:28

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	São Roque, SP, Brasil	71,570	08:00:00	01:08:16	00:00:00	09:08:16	02:00:00
São Roque, SP, Brasil	Campos do Jordão, S...	242,...	11:08:16	03:07:34	00:44:10	15:00:00	00:50:00
Campos do Jordão, S...	Rua Vergueiro, 235/2...	175,...	15:50:00	02:29:52	00:00:00	18:19:52	00:00:00

Distancia total: 314.294Km

Tempo total: 10:19:52

Entregador 3							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Olímpia, SP, Brasil	441,...	08:00:00	05:01:41	00:00:00	13:01:41	01:30:00
Olímpia, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	439,...	14:31:41	05:05:13	00:00:00	19:36:54	00:00:00
Distancia total: 441.544Km		Tempo total: 11:36:54					

Entregador 4							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Praia Grande, SP, Bra...	77,523	08:00:00	01:17:36	00:00:00	09:17:36	01:30:00
Praia Grande, SP, Bra...	Bertioga, SP, Brasil	80,719	10:47:36	01:17:13	00:00:00	12:04:49	02:30:00
Bertioga, SP, Brasil	Mogi das Cruzes - S...	42,373	14:34:49	00:51:13	00:00:00	15:26:02	01:30:00
Mogi das Cruzes - S...	Rua Vergueiro, 235/2...	65,739	16:56:02	01:06:01	00:00:00	18:02:03	00:00:00
Distancia total: 200.615Km		Tempo total: 10:02:03					

Figura 56 – Mutação SwapMutation

5.2.4.2 1000 Gerações e 100 População

Todas as mutações convergiram para o mesmo valor assim como as rotas anteriores, em comparação com resultado de menos gerações e indivíduos tivemos resultados ligeiramente melhores, aonde a rota de um dos entregador 1 da figura 53 teve seu segundo roteiro alternado com entregador 4, ficando como mostra a figura 57.

Isso demonstra que com mais tempo é possível adquirir melhores resultados, porém o tempo gasto tende a ser inversamente proporcional a melhoria de rota, de forma que tivemos que dobrar os recursos do sistema para adquirir um resultado otimizado em 6.3%.

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	São Roque, SP, Brasil	71,570	08:00:00	01:08:16	00:00:00	09:08:16	02:00:00
São Roque, SP, Brasil	Campos do Jordão, S...	242,...	11:08:16	03:07:34	00:44:10	15:00:00	00:50:00
Campos do Jordão, S...	Rua Vergueiro, 235/2...	175,...	15:50:00	02:29:52	00:00:00	18:19:52	00:00:00
Distancia total: 314.294Km		Tempo total: 10:19:52					

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Praia Grande, SP, Bra...	77,523	08:00:00	01:17:36	00:00:00	09:17:36	01:30:00
Praia Grande, SP, Bra...	Bertioga, SP, Brasil	80,719	10:47:36	01:17:13	00:00:00	12:04:49	02:30:00
Bertioga, SP, Brasil	Mogi das Cruzes - S...	42,373	14:34:49	00:51:13	00:00:00	15:26:02	01:30:00
Mogi das Cruzes - S...	Rua Vergueiro, 235/2...	65,739	16:56:02	01:06:01	00:00:00	18:02:03	00:00:00

Distancia total: 200.615Km

Tempo total: 10:02:03

Entregador 3							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Olímpia, SP, Brasil	441,...	08:00:00	05:01:41	00:00:00	13:01:41	01:30:00
Olímpia, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	439,...	14:31:41	05:05:13	00:00:00	19:36:54	00:00:00

Distancia total: 441.544Km

Tempo total: 11:36:54

Entregador 4							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Campinas, SP, Brasil	96,793	08:00:00	01:18:52	01:41:08	11:00:00	02:00:00
Campinas, SP, Brasil	Americana - SP, Brasil	37,744	13:00:00	00:37:36	00:00:00	13:37:36	02:00:00
Americana - SP, Brasil	Jundiaí, SP, Brasil	73,369	15:37:36	01:00:01	00:00:00	16:37:37	01:30:00
Jundiaí, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	61,836	18:07:37	00:59:51	00:00:00	19:07:28	00:00:00

Distancia total: 207.906Km

Tempo total: 11:07:28

Figura 57 – Mutação DisplacementMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Praia Grande, SP, Bra...	77,523	08:00:00	01:17:36	00:00:00	09:17:36	01:30:00
Praia Grande, SP, Bra...	Bertioga, SP, Brasil	80,719	10:47:36	01:17:13	00:00:00	12:04:49	02:30:00
Bertioga, SP, Brasil	Mogi das Cruzes - S...	42,373	14:34:49	00:51:13	00:00:00	15:26:02	01:30:00
Mogi das Cruzes - S...	Rua Vergueiro, 235/2...	65,739	16:56:02	01:06:01	00:00:00	18:02:03	00:00:00

Distancia total: 200.615Km

Tempo total: 10:02:03

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Olímpia, SP, Brasil	441,...	08:00:00	05:01:41	00:00:00	13:01:41	01:30:00
Olímpia, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	439,...	14:31:41	05:05:13	00:00:00	19:36:54	00:00:00

Distancia total: 441.544Km

Tempo total: 11:36:54

Entregador 3							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	São Roque, SP, Brasil	71,570	08:00:00	01:08:16	00:00:00	09:08:16	02:00:00
São Roque, SP, Brasil	Campos do Jordão, S...	242,...	11:08:16	03:07:34	00:44:10	15:00:00	00:50:00
Campos do Jordão, S...	Rua Vergueiro, 235/2...	175,...	15:50:00	02:29:52	00:00:00	18:19:52	00:00:00

Distancia total: 314.294Km

Tempo total: 10:19:52

Entregador 4							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Campinas, SP, Brasil	96,793	08:00:00	01:18:52	01:41:08	11:00:00	02:00:00
Campinas, SP, Brasil	Americana - SP, Brasil	37,744	13:00:00	00:37:36	00:00:00	13:37:36	02:00:00
Americana - SP, Brasil	Jundiaí, SP, Brasil	73,369	15:37:36	01:00:01	00:00:00	16:37:37	01:30:00
Jundiaí, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	61,836	18:07:37	00:59:51	00:00:00	19:07:28	00:00:00

Distancia total: 207.906Km

Tempo total: 11:07:28

Figura 58 – Mutação InsertionMutation

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Olímpia, SP, Brasil	441,...	08:00:00	05:01:41	00:00:00	13:01:41	01:30:00
Olímpia, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	439,...	14:31:41	05:05:13	00:00:00	19:36:54	00:00:00

Distancia total: 441.544Km

Tempo total: 11:36:54

Entregador 2							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	Campinas, SP, Brasil	96,793	08:00:00	01:18:52	01:41:08	11:00:00	02:00:00
Campinas, SP, Brasil	Americana - SP, Brasil	37,744	13:00:00	00:37:36	00:00:00	13:37:36	02:00:00
Americana - SP, Brasil	Jundiaí, SP, Brasil	73,369	15:37:36	01:00:01	00:00:00	16:37:37	01:30:00
Jundiaí, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	61,836	18:07:37	00:59:51	00:00:00	19:07:28	00:00:00

Distancia total: 207.906Km

Tempo total: 11:07:28

Entregador 3							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
Rua Vergueiro, 235/2...	São Roque, SP, Brasil	71,570	08:00:00	01:08:16	00:00:00	09:08:16	02:00:00
São Roque, SP, Brasil	Campos do Jordão, S...	242,...	11:08:16	03:07:34	00:44:10	15:00:00	00:50:00
Campos do Jordão, S...	Rua Vergueiro, 235/2...	175,...	15:50:00	02:29:52	00:00:00	18:19:52	00:00:00

Distancia total: 314.294Km

Tempo total: 10:19:52

Entregador 4								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Rua Vergueiro, 235/2...	Praia Grande, SP, Bra...	77,523	08:00:00	01:17:36	00:00:00	09:17:36	01:30:00	
Praia Grande, SP, Bra...	Bertioga, SP, Brasil	80,719	10:47:36	01:17:13	00:00:00	12:04:49	02:30:00	
Bertioga, SP, Brasil	Mogi das Cruzes - S...	42,373	14:34:49	00:51:13	00:00:00	15:26:02	01:30:00	
Mogi das Cruzes - S...	Rua Vergueiro, 235/2...	65,739	16:56:02	01:06:01	00:00:00	18:02:03	00:00:00	

Distancia total: 200.615Km

Tempo total: 10:02:03

Figura 59 – Mutação InversionMutation

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Rua Vergueiro, 235/2...	São Roque, SP, Brasil	71,570	08:00:00	01:08:16	00:00:00	09:08:16	02:00:00	
São Roque, SP, Brasil	Campos do Jordão, S...	242,...	11:08:16	03:07:34	00:44:10	15:00:00	00:50:00	
Campos do Jordão, S...	Rua Vergueiro, 235/2...	175,...	15:50:00	02:29:52	00:00:00	18:19:52	00:00:00	

Distancia total: 314.294Km

Tempo total: 10:19:52

Entregador 2								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Rua Vergueiro, 235/2...	Praia Grande, SP, Bra...	77,523	08:00:00	01:17:36	00:00:00	09:17:36	01:30:00	
Praia Grande, SP, Bra...	Bertioga, SP, Brasil	80,719	10:47:36	01:17:13	00:00:00	12:04:49	02:30:00	
Bertioga, SP, Brasil	Mogi das Cruzes - S...	42,373	14:34:49	00:51:13	00:00:00	15:26:02	01:30:00	
Mogi das Cruzes - S...	Rua Vergueiro, 235/2...	65,739	16:56:02	01:06:01	00:00:00	18:02:03	00:00:00	

Distancia total: 200.615Km

Tempo total: 10:02:03

Entregador 3								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Rua Vergueiro, 235/2...	Olímpia, SP, Brasil	441,...	08:00:00	05:01:41	00:00:00	13:01:41	01:30:00	
Olímpia, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	439,...	14:31:41	05:05:13	00:00:00	19:36:54	00:00:00	

Distancia total: 441.544Km

Tempo total: 11:36:54

Entregador 4								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
Rua Vergueiro, 235/2...	Campinas, SP, Brasil	96,793	08:00:00	01:18:52	01:41:08	11:00:00	02:00:00	
Campinas, SP, Brasil	Americana - SP, Brasil	37,744	13:00:00	00:37:36	00:00:00	13:37:36	02:00:00	
Americana - SP, Brasil	Jundiaí, SP, Brasil	73,369	15:37:36	01:00:01	00:00:00	16:37:37	01:30:00	
Jundiaí, SP, Brasil	Rua Vergueiro, 235/2...	61,836	18:07:37	00:59:51	00:00:00	19:07:28	00:00:00	

Distancia total: 207.906Km

Tempo total: 11:07:28

Figura 60 – Mutação SwapMutation

5.2.5 Alteração do tempo com base no transito

A solução desenvolvida leva em consideração a densidade do tráfego, utilizando de recursos do Google Mapas para escolher qual nível de gravidade do transito deverá ser utilizado na simulação. Estas são três, **Média, Otimista e Pessimista**.

5.2.5.1 Média

Esta configuração utiliza o que a API do Google chama de *Melhor Sugestão*, tentando encontrar a situação média melhor de transito com base no horário de entrega. Um exemplo pode ser visualizado na figura 61.

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
R. Pamplona, 734 - J...	Av. Brigadeiro Luís A...	1,708	09:00:00	00:05:28	00:00:00	09:05:28	01:30:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	Av. José Maria Whita...	3,808	10:35:28	00:09:54	00:00:00	10:45:22	00:45:00	
Av. José Maria Whita...	Av. Roque Petroni Jú...	11,152	11:30:22	00:22:30	00:00:00	11:52:52	01:20:00	
Av. Roque Petroni Jú...	Av. Eliseu de Almeid...	8,249	13:12:52	00:18:39	00:00:00	13:31:31	00:20:00	
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:51:31	00:10:03	00:00:00	14:01:34	00:40:00	
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. das Nações Unid...	2,915	14:41:34	00:09:59	00:00:00	14:51:33	01:35:00	
Av. das Nações Unid...	Rua Henrique Schau...	3,919	16:26:33	00:10:37	00:00:00	16:37:10	01:00:00	
Rua Henrique Schau...	R. Augusta, 1856 - C...	2,886	17:37:10	00:08:56	00:00:00	17:46:06	00:30:00	
R. Augusta, 1856 - C...	R. Pamplona, 734 - J...	1,174	18:16:06	00:04:06	00:00:00	18:20:12	00:00:00	

Distancia total: 39.476Km

Tempo total: 09:20:12

Figura 61 – Rota gerada com a média do histórico de transito

5.2.5.2 Otimista

Esta configuração de tráfego implica em testar o tempo de entrega com o mínimo de tempo de transição entre dois pontos. Com o palpite mais otimista de transito possível. Em comparação com o resultado da figura 61 o resultado otimista da figura 62 volta ao depósito no final 20 minutos antes.

Entregador 1							
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga
R. Pamplona, 734 - J...	Av. Brigadeiro Luís A...	1,708	09:00:00	00:04:15	00:00:00	09:04:15	01:30:00
Av. Brigadeiro Luís A...	Av. José Maria Whita...	3,808	10:34:15	00:08:20	00:00:00	10:42:35	00:45:00
Av. José Maria Whita...	Av. Roque Petroni Jú...	11,152	11:27:35	00:18:58	00:00:00	11:46:33	01:20:00
Av. Roque Petroni Jú...	Av. Eliseu de Almeid...	8,249	13:06:33	00:15:12	00:00:00	13:21:45	00:20:00
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	13:41:45	00:08:38	00:00:00	13:50:23	00:40:00
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. das Nações Unid...	2,915	14:30:23	00:08:10	00:00:00	14:38:33	01:35:00
Av. das Nações Unid...	Rua Henrique Schau...	3,919	16:13:33	00:09:00	00:00:00	16:22:33	01:00:00
Rua Henrique Schau...	R. Augusta, 1856 - C...	2,886	17:22:33	00:06:56	00:00:00	17:29:29	00:30:00
R. Augusta, 1856 - C...	R. Pamplona, 734 - J...	1,174	17:59:29	00:03:05	00:00:00	18:02:34	00:00:00
Distancia total: 39.476Km		Tempo total: 09:02:34					

Figura 62 – Rota gerada com o melhor tempo de cada rota

5.2.5.3 Pessimista

Esta configuração de tráfego implica em testar o tempo de entrega com o máximo de tempo de transição entre dois pontos. Ou seja, com pior tráfego. Em comparação com o resultado da figura 61 o resultado pessimista da figura 63 volta ao depósito no final do dia com 20 minutos a mais de tempo.

Entregador 1								
Endereço Saída	Endereço Chegada	KM	Saída	Percorso	Espera	Entrada	Descarga	
R. Pamplona, 734 - J...	Av. Brigadeiro Luís A...	1,708	09:00:00	00:06:37	00:00:00	09:06:37	01:30:00	
Av. Brigadeiro Luís A...	Av. José Maria Whita...	3,808	10:36:37	00:11:41	00:00:00	10:48:18	00:45:00	
Av. José Maria Whita...	Av. Roque Petroni Jú...	11,152	11:33:18	00:27:01	00:00:00	12:00:19	01:20:00	
Av. Roque Petroni Jú...	Av. Eliseu de Almeid...	8,249	13:20:19	00:20:45	00:00:00	13:41:04	00:20:00	
Av. Eliseu de Almeid...	Av. Vital Brasil, 1256 ...	4,839	14:01:04	00:12:55	00:00:00	14:13:59	00:40:00	
Av. Vital Brasil, 1256 ...	Av. das Nações Unid...	2,915	14:53:59	00:12:36	00:00:00	15:06:35	01:35:00	
Av. das Nações Unid...	Rua Henrique Schau...	3,919	16:41:35	00:12:55	00:00:00	16:54:30	01:00:00	
Rua Henrique Schau...	R. Augusta, 1856 - C...	2,886	17:54:30	00:13:21	00:00:00	18:07:51	00:30:00	
R. Augusta, 1856 - C...	R. Pamplona, 734 - J...	1,174	18:37:51	00:05:34	00:00:00	18:43:25	00:00:00	

Distancia total: 39.476Km

Tempo total: 09:43:25

Figura 63 – Rota gerada com o pior tempo de cada rota

5.2.6 Limitação de entregadores

A figura 66 representa um roteiro que não é possível de ser atendido com apenas 1 entregador, já a solução desenvolvida pode receber como restrição a quantidade máxima de entregadores. Neste caso o resultado é conforme pode ser visto na figura 65.

#	Endereço	Abertura	Fechamento	Descarga
0	Rua Maria Roschel Schunck, 817	06:00	19:20	
1	Av. das Nações Unidas, 22540	08:00	10:00	30
2	Rua Urussuí, 271 - Itaim Bibi, São Paulo - SP, Brasil	12:00	20:00	90
3	Av. Paulista - Bela Vista, São Paulo - SP, Brasil	12:00	15:00	30
4	Rua Augusta - Consolação, São Paulo - SP, Brasil	12:00	23:00	20
5	Av. Engenheiro Eusébio Stevaux, 823	12:00	13:00	60
6	Rua Vergueiro - Vila Dom Pedro I, São Paulo - SP, Brasil	12:00	20:00	10
7	Praça da Sé - Centro, São Paulo - SP, Brasil	12:00	23:00	30
8	Catavento Cultural e Educacional - Avenida Mercúrio - Brás	12:00	17:00	30

Figura 64 – Roteiro Não é possível entregar com um entregador

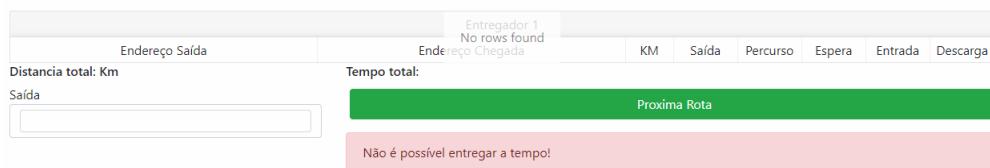
Endereço Saída	Endereço Chegada	Entregador 1
Distancia total: Km	No rows found	
Tempo total:		
Saída		Proxima Rota
<input type="text"/>		
Não é possível entregar a tempo!		

Figura 65 – Mensagem de impossibilidade de entrega

5.2.7 Impossibilidade de entregar

Em casos de entrega impossível como o roteiro da figura 66, não importa a quantidade de entregadores ou configurações de GA, o resultado sempre sera "impossível entregar", como na figura 67

#	Endereço	Abertura	Fechamento	Descarga
0	Metrô Consolação - Avenida Paulista - Cerqueira César, São Paulo - SP, Brasil	00:00	00:00	0
1	Manaus, AM, Brasil	00:00	00:00	0
2	Minas Gerais, Brasil	00:00	00:00	0

Figura 66 – Roteiro não é possível entregar*Figura 67 – Mensagem de impossibilidade de entrega*

5.3 Limitações

Foi possível identificar possíveis situações em que o software não foi capaz de dar uma resposta, estes sendo:

Não é possível entregar a tempo: Levando em consideração o horário de saída e o horário limite para realizar todas as entregas, é possível que um percurso entre os endereços tem seu tempo de trajeto mais demorado que o tempo disponível para a realização de todas as entregas, com isso seria impossível entregar, mesmo com mais entregadores, com isso, o software não consegue definir uma rota por considerar a velocidade média das vias por onde ele passará.

Límite de Entregadores: Para pedir a definição de uma rota é preciso indicar quantos entregadores estão disponível para realizar as entregas, em algumas situações é possível que mesmo dividindo para todos os entregadores, mais entregadores seriam precisos para chegar a tempo em todos os endereços, com isso, o software não consegue definir uma rota.

Tempo limite de entrega excedido: Se a rota não tiver nenhum percurso muito demorado e também for possível determinar a divisão da rota principal entre o numero de entregadores, podemos encontrar outro problema, sempre que um entregador chega a um destino, é possível sofre atrasos na descarga, um maior tempo de espera ou até o

transito piorando por causa de um acidente em uma via principal, por exemplo, isso muda o tempo dos próximos percursos, podendo elevar muito o tempo do trajeto.

É possível encontrar a situação que seria preciso mais entregadores para finalizar a entrega, que não é mais possível por que o entregador já está em transito, também pode encontrar um percurso completamente parado, com isso, o software não consegue definir uma rota para finalizar as entregas.

5.4 Conclusão

Neste trabalho, apresentamos a aplicação de uma abordagem evolutiva genérica para o PRVJT. A solução provou ser extremamente eficaz, uma vez que fomos capazes de encontrar rotas otimizadas para varias combinações de endereço de entrega. Além disso, os resultados mostram que este método é robusto e escalável.

Fomos capazes de criar uma aplicação Web, com interface simples, para realizar os cálculos em tempo real, o que significa que o sistema consegue encontrar uma solução com uma velocidade relativamente alta, ja que existe um tempo limite *timeout* em requisições HTTP.

O Google Maps ajudou na definição da rota por entregar o transito médio da rota fazendo com que o caminho escolhido pelo software fique mais próximo de uma situação real.

O GA ajudou na escolhas das rotas para minimizar o tempo, a distância e o numero de entregadores, encontrando padrões difíceis de ser vistos, porém, para encontrar uma solução próxima do ótimo é preciso perder performance para calcular a resposta, aumentando o numero de gerações e população para encontrar a rota.

Utilizando um número baixo de destinos o processo de recalculo de rotas para cada vez que chegar em um destino, se mostra útil para identificar mudanças no transito e ainda chegar no horário proposto.

5.5 Trabalhos futuros

Devido a média de tempo para se encontrar as rotas, avaliar a possível paralelização da rotina de algoritmos genéticos.

Aplicar mais uma restrição, como uma quantidade máxima de carga por entregador.

Desenvolver um aplicativo mobile para avançar as próximas rotas para cada entregador.

Utilizar uma base de dados maior para os testes, baseada em casos reais de logística.

Referências

- ALVARENGA, G. B. Um algoritmo híbrido para os problemas de roteamento de veículos estático e dinâmico com janela de tempo. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/RVMR-6EAKH8/guilherme_bastos.pdf?sequence=1>. Citado na página 11.
- ANTES, J.; DERIGS, U. A new parallel tour construction algorithm for the vehicle routing problem with time windows. 12 1997. Citado na página 13.
- BAKER, E. K.; SCHAFFER, J. R. Solution improvement heuristics for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, v. 6, n. 3-4, p. 261–300, 1986. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01966324.1986.10737197>>. Citado na página 12.
- BALLOU, R. H. Book. *Business logistics management [by] Ronald H. Ballou*. [S.l.]: Prentice-Hall Englewood Cliffs, N.J, 1973. xiii, 514 p. p. ISBN 0131048023. Citado na página 5.
- BRÄYSY, O.; DULLAERT, W.; GENDREAU, M. Evolutionary algorithms for the vehicle routing problem with time windows. *Journal of Heuristics*, v. 10, n. 6, p. 587–611, Dec 2004. ISSN 1572-9397. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10732-005-5431-6>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 17.
- BRÄYSY, O.; GENDREAU, M. Vehicle routing problem with time windows, part i: Route construction and local search algorithms. *Transportation Science*, v. 39, n. 1, p. 104–118, 2005. Disponível em: <<https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/trsc.1030.0056>>. Citado na página 13.
- BRÄYSY, O.; HASLE, G.; DULLAERT, W. A multi-start local search algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 159, n. 3, p. 586–605, 12 2004. ISSN 0377-2217. Citado na página 16.
- CHABRIER, A. Vehicle routing problem with elementary shortest path based column generation. *Comput. Oper. Res.*, Elsevier Science Ltd., Oxford, UK, UK, v. 33, n. 10, p. 2972–2990, out. 2006. ISSN 0305-0548. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2005.02.029>>. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 11.
- CHIANG, W.-C.; RUSSELL, R. A. Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows. *Annals of Operations Research*, v. 63, n. 1, p. 3–27, Feb 1996. ISSN 1572-9338. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF02601637>>. Citado na página 16.
- CHRISTOFIDES, N.; BEASLEY, J. E. The period routing problem. *Networks*, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, v. 14, n. 2, p. 237–256, 1984. ISSN 1097-0037. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/net.3230140205>>. Citado na página 14.

- CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, v. 12, n. 4, p. 568–581, 1964. Disponível em: <<https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>>. Citado na página 12.
- CORDEAU, J.-F. et al. 7. vrp with time windows. In: _____. *The Vehicle Routing Problem*. [s.n.]. p. 157–193. Disponível em: <<http://pubs.siam.org/doi/abs/10.1137/1.9780898718515.ch7>>. Citado na página 11.
- DIAS, M. A. P. *Administração de materiais: uma abordagem logística*. [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 5.
- EL-SHERBENY, N. A. Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University - Science*, v. 22, n. 3, p. 123 – 131, 2010. ISSN 1018-3647. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364710000297>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- GARCIA, B.-L.; POTVIN, J.-Y.; ROUSSEAU, J.-M. A parallel implementation of the tabu search heuristic for vehicle routing problems with time window constraints. *Computers & Operations Research*, v. 21, n. 9, p. 1025 – 1033, 1994. ISSN 0305-0548. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0305054894900736>>. Citado na página 16.
- GENDREAU, M. et al. Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching. *Transportation Science*, v. 33, n. 4, p. 381–390, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1287/trsc.33.4.381>>. Citado na página 27.
- GLOVER, F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & Operations Research*, v. 13, n. 5, p. 533 – 549, 1986. ISSN 0305-0548. Applications of Integer Programming. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0305054886900481>>. Citado na página 16.
- Google Inc. *Google Distance Matrix API*. 2018. [Online; accessed Maio 01, 2018]. Disponível em: <<https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/?hl=pt-br>>. Citado na página 25.
- HOLLAND, J. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor, MI, USA: University of Michigan Press, 1975. Disponível em: <<http://books.google.com/books?id=YE5RAAAAMAAJ>>. Citado na página 18.
- HOMBERGER. A two-phase hybrid metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, v. 162, n. 1, p. 220–238, 2005. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:ejores:v:162:y:2005:i:1:p:220-238>>. Citado na página 16.
- JEPSEN, M.; SPOORENDONK, S. A non-robust branch-and-cut-and-price algorithm for the vehicle routing problem with time windows. 01 2006. Citado na página 11.
- JUNG, S.; MOON, B.-R. A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows. In: *Proceedings of the 4th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann

- Publishers Inc., 2002. (GECCO'02), p. 1309–1316. ISBN 1-55860-878-8. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2955491.2955733>>. Citado na página 17.
- KARP, R. M. On the computational complexity of combinatorial problems. 1975. Citado na página 5.
- KOHL, N. Exact methods for time constrained routing and related scheduling problems. Richard Petersens Plads, Building 321, 2800 Kgs. Lyngby, p. 234, 1995. Disponível em: <<http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/p.php?2100>>. Citado na página 11.
- LANDEGHEM, H. V. A bi-criteria heuristic for the vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, v. 36, n. 2, p. 217 – 226, 1988. ISSN 0377-2217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221788904286>>. Citado na página 12.
- LORENA, G. M. R. e L. A. N. Roteamento de veículos dinâmico usando algoritmos genéticos. Citado na página 24.
- LUCAS, D. C. Algoritmos genéticos: uma introdução. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/~alvares/INF01048IA/ApostilaAlgoritmosGeneticos.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 21.
- OLIVEIRA, G. C. V. e G. B. A. Humberto César Brandão de. Uma abordagem evolucionária para o problema de roteamento de veículos com janela de tempo. 2005. Citado na página 24.
- OLIVEIRA, H. C. B. de. Algoritmo evolutivo no tratamento do problema de roteamento de veículos com janela de tempo. 2005. Citado na página 5.
- OLIVEIRA, W. A. de. Algoritmo genético para o problema de rotas de cobertura multiveículo. 2009. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- OSMAN, I. H. Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. *Annals of Operations Research*, v. 41, n. 4, p. 421–451, Dec 1993. ISSN 1572-9338. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF02023004>>. Citado na página 14.
- PEREIRA, F. et al. Gvr: A new genetic representation for the vehicle routing problem. 2002. Citado 4 vezes nas páginas 24, 28, 29 e 30.
- POTVIN, J.-Y.; ROBILLARD, C. Clustering for vehicle routing with a competitive neural network. *Neurocomputing*, v. 8, n. 2, p. 125 – 139, 1995. ISSN 0925-2312. Optimization and Combinatorics, Part II. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/092523129400012H>>. Citado na página 14.
- POTVIN, J.-Y.; ROUSSEAU, J.-M. A parallel route building algorithm for the vehicle routing and scheduling problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, v. 66, n. 3, p. 331 – 340, 1993. ISSN 0377-2217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221793902218>>. Citado na página 13.
- RIBAS, S. Um algoritmo híbrido para o problema de roteamento de veículos com janelas de tempo. 2011. Citado na página 23.

- RIBEIRO, C. C. Metaheuristics and applications. In: _____. *Advanced School on Artificial Intelligence*. [S.l.: s.n.], 1996. Citado na página 16.
- ROCHA, M.; VILELA, C.; NEVES, J. A study of order based genetic and evolutionary algorithms in combinatorial optimization problems. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems: Intelligent Problem Solving: Methodologies and Approaches*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. (IEA/AIE '00), p. 601–610. ISBN 3-540-67689-9. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=352552.353562>>. Citado na página 29.
- RODRIGUES, P. R. A. *Introdução aos sistemas de transporte do Brasil e à logística internacional*. [S.l.: s.n.], 2007. Citado na página 5.
- SCHULZE, J.; FAHLE, T. A parallel algorithm for the vehicle routing problem with time window constraints. *Annals of Operations Research*, v. 86, n. 0, p. 585–607, Jan 1999. ISSN 1572-9338. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1018948011707>>. Citado na página 14.
- SOLOMON, M. M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research*, v. 35, n. 2, p. 254–265, 1987. Disponível em: <<https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 17.
- SOUZA, M. J. F. 2011. Disponível em: <<http://www.decom.ufop.br/marcone/Disciplinas/InteligenciaComputacional/InteligenciaComputacional.htm>>. Acesso em: 01/12/2017. Citado na página 16.
- TOMTOM INTERNATIONAL BV. 2017. Disponível em: <https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/list?citySize=Large&continent=All&country=BR>. Acesso em: 12/11/2017. Citado na página 25.
- TSUDA, D. S. Modelo de roteirização de veículos em uma empresa importadora de produtos japoneses. 2007. Citado na página 5.
- YVES ROCHAT, E. Probabilistic diversification and intensification in local search for vehicle routing. 1995. Citado na página 9.