

TEORIA DOS GRAFOS APLICADA À ROTEIRIZAÇÃO NA LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO: O PROBLEMA DO CAIXEIRO-VIAJANTE EM UMA EMPRESA FABRICANTE DE FARINHA DE TRIGO

**JOSE RIBMAR FRANK BARROS JÚNIOR (Universidade
Ceuma)**

juniorfk_crazy@hotmail.com.br

Gabriel de Castro Marques (Universidade Ceuma)

castro_marques@hotmail.com

Maycon da Silva Gerônimo (Universidade Ceuma)

maycon.geronimo@hotmail.com

Ailton Celio Alves de Araujo Junior (Universidade Ceuma)

jralvesjj@gmail.com

Bárbara Elis Pereira Silva (Universidade Ceuma)

prof.barbabraeps@gmail.com



O presente artigo tem como objetivo apresentar uma solução baseada na Teoria dos Grafos para otimização de rotas durante a distribuição de produtos de uma empresa fabricante de farinha de trigo localizada no Porto do Itaqui, na cidade de São Luís - MA. Ap

Palavras-chave: Grafos. Roteirização. Caixeiro-viajante. Otimização

1. Introdução

Com frequência menciona-se a importância das empresas serem eficientes e eficazes em toda extensão dos setores, desde produção até a distribuição. Logo, o problema a ser estudado refere-se à logística de distribuição: atividade que passou a ser vista na ótica das organizações como um processo fundamental, pois trata-se de implementar o fluxo eficaz e eficiente de materiais, produtos em processo ou acabados e serviços.

A falta de infraestrutura logística afeta diretamente o setor de transporte de cargas, comprometendo a eficiência e a eficácia da atividade de distribuição. Portanto, para o sucesso de uma operação é indispensável um bom planejamento logístico. Tendo-se a necessidade de melhoria na distribuição e transporte de cargas, surge o termo roteirização, que se caracteriza pela determinação de roteiros ou de sequências de paradas predeterminadas.

A roteirização envolve diferentes tipos de variações de modelos. Nesse artigo, será apresentado o *Travelling Salesman Problem (TSP)* ou Problema do Caixeiro-viajante, caracterizado por visitar um conjunto de pontos dispersos em uma única viagem e voltar para o ponto de origem inicial sem repetir nenhum ponto. Na qual, uma solução pode ser obtida por meio de métodos heurísticos, que oferecem possíveis soluções de rotas, ou seja, compara pontos de visitas através de interações em busca de um percurso mínimo.

Visto a necessidade de reduzir custos de distribuição, aumentar o nível de serviço para que os objetivos logísticos sejam alcançados, entende-se que as empresas precisam encurtar caminhos, com intuito de ampliar os laços com os clientes. Desse modo, visando melhoria da entrega, acredita-se que a roteirização baseada em algoritmos de grafos, pode aumentar o desempenho do processo logístico na distribuição. Logo, a aplicação da Teoria dos Grafos pode somar significativamente para tomada de decisões sobre roteamento de veículos para distribuição. Pois, a partir de métodos baseados nessa teoria, pode-se definir possíveis soluções rotas consideradas ótimas para a realização de um serviço logístico.

Considerando o exposto, o presente artigo possui o seguinte problema de pesquisa: como algoritmos de grafos podem contribuir para o melhor desempenho da logística de distribuição dos produtos de uma empresa fabricante de farinha de trigo? Tal questionamento requer tanto uma revisão bibliográfica quanto uma coleta de dados que permitam a investigação, atingindo o objetivo geral dessa pesquisa que é: propor uma solução para roteirização buscando a otimização de rotas, a fim de melhorar o serviço de distribuição de farinha de trigo tendo

como base a algoritmos de grafos.

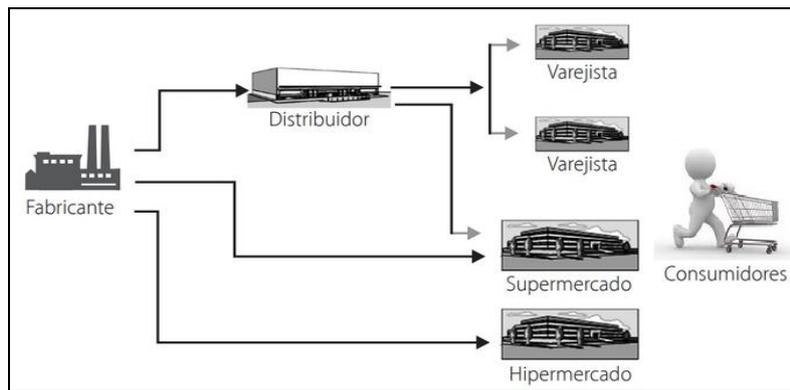
2. Logística de distribuição

Logística é a atividade que move produtos entre origens e diferentes destinos, onde estão envolvidos fornecedores, indústrias, distribuidores e clientes ou consumidores finais, formando uma cadeia. Conforme Novaes (2004, p.35), “logística é o processo de planejar, implementar e controlar eficientemente o fluxo de matérias-primas ou produtos, bem como os serviços e informações associadas, com objetivo de atender as necessidades dos envolvidos”. Resumidamente, a logística compreende administrar e gerenciar a movimentação ou a distribuição de cargas.

Analisando a definição, entende-se que distribuição é a parte da logística responsável pelo transporte de cargas para cada cliente ou ponto de venda, ou seja, trata-se da atividade que movimenta produtos desde a produção até o consumidor final. Mas, com a evolução da logística e com o aumento da necessidade do consumidor, a logística de distribuição deixou de ser simplesmente uma atividade, passando a ser vista como um fator estratégico para a organização. A partir de então, a mesma passou a agregar valor de lugar e tempo ao produto, adicionando valor de qualidade ao processo logístico de tal modo que não afetasse a qualidade intrínseca do produto (NOVAES, 2004).

Como apresenta a literatura, a logística está subdividida em dois processos diferentes ao seu cunho estratégico. Sendo *Inbound Logistic* e *Outbound Logistic*. O primeiro refere-se sobre o abastecimento da produção com chegada de matéria prima, ou seja, logística de abastecimento. O segundo significa o próprio processo de distribuição logístico, sendo a logística de distribuição (NOVAES, 2004). No que se refere ao segundo processo que é de particular interesse, ele é formado por canais de um ou mais níveis, isto é, entre o fabricante e o consumidor existem intermediários (distribuidor, atacadista e/ou varejista), formando uma configuração típica, conforme figura 1.

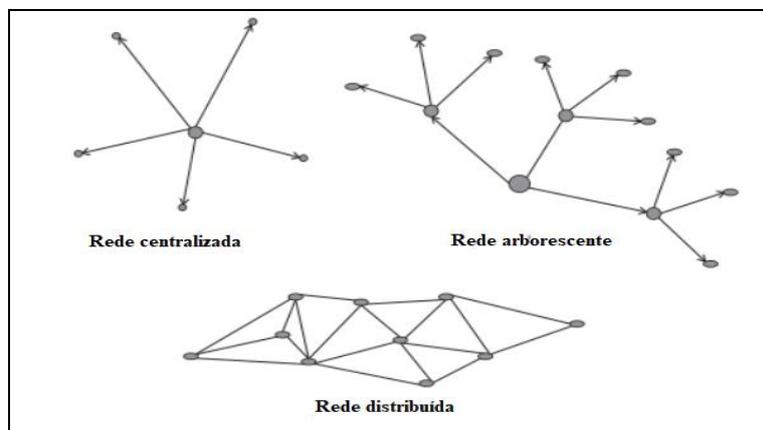
Figura 1 – Configuração típica dos canais de distribuição



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2013)

De acordo com figura, os canais de distribuição são formados por vários atores (empresas), entre eles: fabricante, distribuidor, atacadistas, varejista e o consumidor final. E examinado a distribuição como um fluxo, sabe-se que é possível estudá-la como uma rede, pois é um canal na qual fluem produtos entre o fabricante e o consumidor. Tais redes interconectam os atores, nas quais existem várias configurações para as mesmas, dentre elas: rede centralizada, rede arborescente e rede distribuída, como representada na figura 2 (GOLÇALVES, 2013).

Figura 2 – Exemplos de formação de redes



Fonte:Gonçalves (2013)

A rede centralizada está relacionada ao processo logístico que parte do centro de distribuição para abastecimento de varejistas. Enquanto a rede arborescente está mais relacionada ao produto que é fabricado e distribuído para regiões através de centros de distribuição regionais. Já as redes distribuídas, tratam malhas denominadas aleatórias, também conhecidas como problema do caixeiro viajante, que tem como objetivo visitar vários clientes ao longo de uma vasta rede (GONÇALVES, 2013).

Na logística de distribuição, o transporte é a principal atividade operacional. Tal atividade compromete a maior parte das despesas do processo logístico, sendo em média de 60%. Portanto, realizar a gestão de transporte torna-se uma tarefa estratégica para empresas que almejam alcançar os indicadores de eficiência e eficácia no processo. E esta tarefa abrange diferentes fatores como tempo, custo, manutenção e decisões tais como o tipo de modal, roteirização de veículos e fretes. E por isso, o gestor deve ficar atento aos fatores que influenciam sobre o mesmo (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007).

2.1. Problemas de roteirização de veículos

Dentro do processo logístico, o transporte é a principal área de decisão na qual está contido o processo de roteirização de veículos. Pois apresenta alguns problemas que visam ser solucionados, tais como: tempo que o veículo passa no trânsito, refletindo assim na efetividade no número de entregas e na qualidade do serviço. Desta forma, a roteirização consiste em reduzir custos e melhorar a entrega ao cliente minimizando tempos e distâncias de bens em trânsito (BALLOU, 2006).

De acordo com Novaes (2004) um sistema de distribuição pode ser resumido em duas características básicas:

- a) Distribuição “um para um” onde um veículo é carregado na fábrica ou num Centro de Distribuição (CD) e transporta carga para outro ponto de destino (CD, loja ou qualquer instalação).
- b) Distribuição “um para muitos” em que o veículo é carregado na fábrica ou num CD com mercadorias para vários clientes, executando uma rota predeterminada.

Nesse sentido, variantes dos problemas de rotas podem se configurar e podemos resumí-los em três modelos básicos, sendo: (1) encontrar um itinerário ao longo da rede, tendo a origem diferente do destino, para encontrar uma rota entre dois pontos de custo mínimo; (2) múltiplos pontos de origens e destinos, tendo como objetivo combinar destinos e encontrar as melhores rotas; (3) e o mais complexo de todos os problemas, em que pontos de origem e destino são similares (BALLOU, 2006).

O problema de roteirização de origens e destinos coincidentes tem o objetivo de encontrar itinerários, em um veículo visite uma sequência de pontos dispersos minimizando a distância

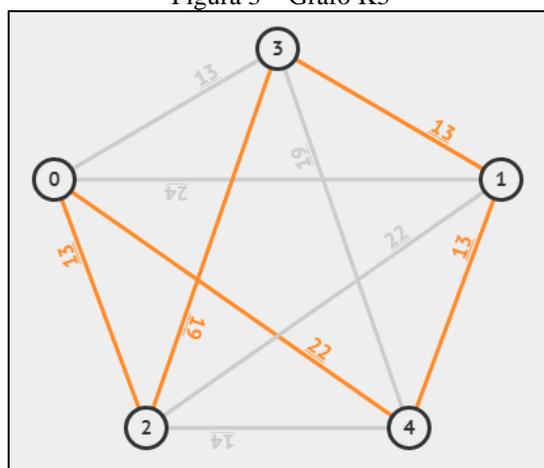
e/ou custo total da viagem. Tal problema é conhecido como “problema do caixeiro-viajante” muito comum em operações logísticas (BALLOU, 2006). Visto isso, existem várias abordagens para resolução desses problemas de roteirização e uma delas é a Teoria dos Grafos.

3. Teoria dos grafos

A Teoria dos Grafos é a parte da matemática que analisa a relação entre “grandezas”, por meio de uma análise combinatória, através de grafos. Em que pode ser aplicada nas mais diversas áreas das ciências exatas para solução de problemas específicos, principalmente nas engenharias como solução de problemas de redes. Dessa maneira, o seu desenvolvimento veio sob a investida das aplicações a problemas de otimização organizacional, tendo como principal contribuição fornecer uma forma para otimização de problemas (BOAVENTURA NETTO, 2011).

“Em geral, define-se um *grafo* como sendo uma estrutura $G = (V, E)$, onde V é um conjunto discreto e E é uma família de elementos não vazios [...]” (BOAVENTURA NETTO, 2011, p.7), em outras palavras, grafos é uma estrutura formada por um conjunto de vértices (nós) e um conjunto de arestas (arcos) conectadas entre si. Onde os elementos de V é o conjunto de vértices ou nós e uma família E é conhecido como um conjunto de arestas. Em situações problemas os grafos podem aparecer de diferentes ordens, este representado a seguir é de ordem 5, ou seja, possui cinco pontos de visitas, conforme a figura 3.

Figura 3 – Grafo K5



Fonte: Autor (2019)

Devido às características teóricas de grafos, percebe-se a importância deles para problemas aplicados, especialmente pelo aspecto associado a redes. Dentre os problemas mais comuns

envolvendo a Teoria dos Grafos, têm-se os problemas de caminho mínimo, onde o objetivo consiste em encontrar o trajeto de menor custo, que é caracterizado por três diferentes tipos de subproblemas: (1) entre dois vértices, (2) de um vértice dado a cada um dos demais vértices e (3) unido cada par de vértices do grafo (BOAVENTURA NETTO; JURKIEWICZ, 2009).

Portanto, estudos de problemas de percursos abrangentes estão entre os temas mais importante na Teoria dos grafos. Nesse contexto, um percurso abrangente refere-se a qualquer tipo de circuito aberto ou fechado que utiliza todas as ligações ou vértices de um grafo, principalmente os que utilizam uma única vez uma ligação ou um vértice. Na qual podemos citar os percursos *eulerianos* e *hamiltonianos* em que o primeiro se trata de um percurso que utiliza todas as arestas de um grafo uma só vez e o segundo trata-se de um percurso fechado em relação aos vértices e que não repete nenhum vértice (BOAVENTURA NETTO; JURKIEWICZ, 2009).

3.1. Problema do caixeiro-viajante

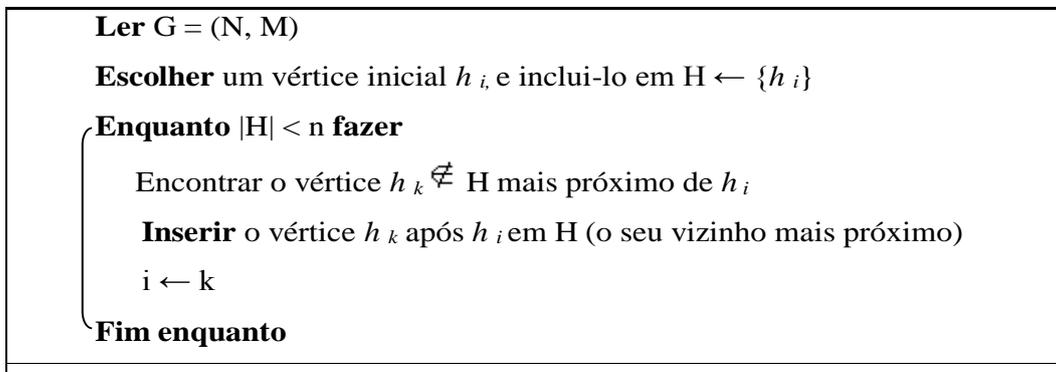
O Problema do caixeiro-viajante (PCV) é do tipo de caminho mínimo, de percurso abrangente, que busca a determinação de um percurso *hamiltoniano* de custo mínimo (BOAVENTURA NETTO, 2011). Trata-se de um problema de otimização de análise combinatória, onde a condição da situação problema é visitar em ordem sequencial um conjunto de pontos dispersos de um grafo, ou seja, sair de um vértice inicial, visitar todos os outros e voltar para a origem inicial sem repetir nenhum vértice.

O PCV é um problema de classe NP-completo, ou seja, para a solução em tempo hábil exige o uso de métodos computacionais ou algoritmos, ainda mais se o problema for de grandes dimensões de dados. Tratando-se de um problema de complexidade exponencial, em que num grafo completo de ordem n , teremos $(n - 1)!$ soluções. No entanto, a abordagem computacional para solução desse problema pode não fornecer a solução exata em comparação com a solução de um método exato (BOAVENTURA NETTO, 2011).

Portanto, para facilitar a obtenção de uma solução, existem as heurísticas, que é um algoritmo que pode produzir um resultado, ou até mesmo uma solução ótima, mas também podem não gerar nenhuma solução, pois tratam de procedimentos com enfoque intuitivo que pressupõe que a solução encontrada seja ótima. Diversos métodos foram desenvolvidos para o Problema do Caixeiro-viajante e dentre as heurísticas de construção de roteiros, tem-se o algoritmo de Bellmore e Nemhauser denominada de **vizinho mais próximo** e as heurísticas de inserção. Na

figura abaixo está descrito o algoritmo do vizinho mais próximo (GOLDBARG E GOLDBARG, 2012).

Figura 4 – Algoritmo do vizinho mais próximo



Fonte: Goldberg e Goldberg (2012)

Conforme a figura 4 a heurística do vizinho mais próximo trata-se de um procedimento de construção de roteiro em que um ciclo é iniciado num vértice inicial, e, para seleccionar o próximo vértice, examina todas as distâncias entre os que não foram visitadas e selecciona o que estiver mais próximo, esta etapa é repetida até todas os vértices terem sido visitados. Nesse caso, pode resultar em inserções forçadas de alto custo, tendo em vista esgotar os vértices a serem visitados (GOLDBARG E GOLDBARG, 2012).

E o algoritmo FITSP (*Farthest insertion for travelling Salesman Problem*), representando as chamadas heurísticas de inserção, ou seja, uma estratégia baseada no crescimento progressivo de um ciclo, pela inserção de vértices. No caso FITSP, procura-se o vértice mais distante do circuito já construído (sendo essa distância medida a partir do vértice do circuito que esteja mais próximo). Escolhido um vértice, procura-se o par de vértices do circuito entre os quais ele será inserido, através da minimização da distância, conforme descrito na figura abaixo (BOAVENTURA NETTO, 2011).

Figura 5 – Heurística de inserção

Ler $G = (N, M)$

Iniciar por um ciclo de vértice H

Enquanto não for formado um ciclo hamiltoniano **fazer**

Encontrar o vértice $k \notin H$, **mais distante** de qualquer dos vértices de H .

Encontrar a aresta $(i, i + 1)$ tal que **minimize** $\{C_{ik} + C_{ki+1} - C_{ii+1}\}$

Inserir o vértice k em H entre os vértices i e $i + 1$

Fim enquanto

Fonte: Goldberg e Goldberg (2012)

Segundo Goldberg e Goldberg (2012, p. 540) normalmente as heurísticas de inserção iniciam de um *subtuor*, ou seja, de um ciclo de comprimento três vértices que seleciona e insere vértices ainda não visitados na solução até completar o ciclo. Sendo que os critérios mais utilizados são: inserção do vértice mais próximo; inserção de vértice mais distante; inserção do vértice ou aresta que conduz ao ciclo de menor custo e inserção aleatória.

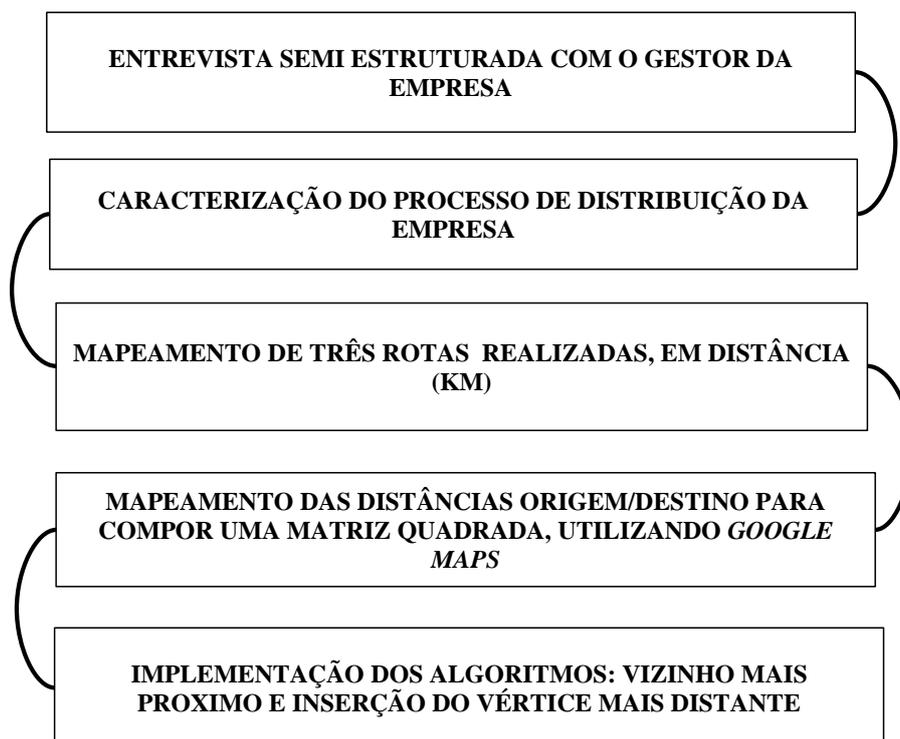
4. Metodologia

A metodologia de pesquisa deste artigo, contempla a pesquisa bibliográfica, pesquisa de campo e estudo de caso. A princípio realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão, para estabelecer um modelo teórico inicial, que auxiliou na elaboração da pesquisa. E posteriormente foi realizada uma investigação *in loco* com o objetivo de obter informações e conhecimento sobre o problema.

O método caracterizou-se pelo objetivo de construir e apresentar um caminho de como chegar a uma solução de um problema real da empresa e interesse prático de propor uma solução para um problema de roteirização. A abordagem foi de caráter quantitativo, pois utilizou-se medições de distâncias para a implementação de algoritmos baseados na Teoria dos Grafos em um software de linguagem de programação para obter resultados sobre a problemática.

Portanto, para alcançar o objetivo proposto, seguiram-se os seguintes passos, conforme a figura 6 abaixo:

Figura 6 - Fluxo do trabalho



Fonte: Autor (2019)

Para implementação dos métodos utilizou-se a linguagem de programação Python que é uma plataforma de desenvolvimento de *software* de código-fonte aberto. O Python é uma linguagem de uso geral, projetada para tornar os programas legíveis. Possui uma rica biblioteca, sendo possível criar aplicações usando código-fonte relativamente simples (PERKOVIC, 2016).

5. Análise dos resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados alcançados, no qual se delimita a dois pontos: aplicação de métodos do vizinho mais próximo e o método de inserção do vértice mais distante através dos códigos criados conforme anexos e a análise do Problema do Caixeiro-viajante envolvendo cenários construídos nas tabelas 1, 2 e 3, que possuem respectivamente 7, 8 e 10 endereços, denominados de pontos de visita.

O presente estudo foi desenvolvido numa unidade de produção de uma empresa do ramo alimentício de segmento industrial de moagem de farinha de trigo, onde situa-se no Porto do Itaqui em São Luís/MA. O foco do estudo abrange a logística de distribuição, no qual visou apresentar uma solução para a roteirização de cargas utilizando-se de métodos simples de construção de roteiros.

Durante as análises observou-se no processo de distribuição da empresa, as seguintes linhas de produtos: farinha de trigo especial para panificação; farinha de trigo para uso industrial e farinha de trigo para uso doméstico. Esses produtos são consumidos pela indústria, atacado e varejo da região. Para o transporte dos produtos utiliza-se dos seguintes tipos de caminhão: Toco e Truck com capacidade de 5,5 e 15 toneladas, respectivamente. No carregamento, ocorrem duas situações: (i) a primeira, em que normalmente o caminhão Toco é destinado a cargas fechadas, exclusivamente adequado a um cliente e (ii) a segunda, na qual o Truck é destinado para cargas fracionadas.

Tendo como principal foco a distribuição de carga fracionada, que é bastante comum na empresa. Esse tipo de carregamento geralmente ocorre em destino a empresas de pequeno e médio porte, que necessitam de uma demanda pequena de produtos. E a fim de utilizar a capacidade máxima do caminhão, ocorre a distribuição fracionada. Portanto, foram mapeadas e analisadas apenas a distribuição das mesmas, em que os clientes estão localizados em posições geográficas distintas.

Dessa forma, as rotas foram mapeadas durante a distribuição real dos produtos com as respectivas distâncias, nas quais apresentam as seguintes características: os endereços representam as origens e os destinos visitados, em que cada rota realizada segue uma sequência, de onde o veículo parte de uma origem **1** (um) e visita todos os endereços até chegar no último, sendo este o ponto inicial de partida, ou seja, a origem **1**(um).

Essas rotas que foram inicialmente determinadas pela empresa, em que os produtos são distribuídos de acordo com a determinação, mas a definição dos caminhos é feita de forma empírica ou de acordo com a prioridade ou exigência do cliente. Portanto, apurou-se as distâncias percorridas pelos veículos durante a distribuição, e com base nas apurações, para cada uma das rotas construiu-se cenários e depois foram testados com os métodos para a construção de novas rotas. Seguindo-se então, os passos descritos na quarta seção (4.), sendo calculadas as novas rotas de distribuição, com base nas tabelas dos cenários a seguir:

Tabela 1– Matriz de distância do cenário 1 (quilômetro)

	Endereços	1	2	3	4	5	6	7
Porto do Itaqui	1	0,0	15,5	21,7	24,3	22,1	31,1	27,9
Comic Pizza Express	2	15,8	0,0	8,1	8,8	6,7	16,0	13,4
Vitapão	3	21,8	9,5	0,0	2,6	9,3	18,3	15,1
Babette	4	24,1	8,3	3,0	0,0	7,9	16,9	15,7
D Silva Pavão	5	22,6	6,8	8,9	8,2	0,0	11,3	8,3
Mercadinho Pinheiro	6	31,2	15,8	18,3	18,1	10,9	0,0	3,2
Padaria D France	7	28,5	13,0	16,1	15,4	8,1	3,1	0,0

Fonte: *Google Maps*(2019)

Tabela 2 – Matriz de distância do cenário 2 (quilômetro)

	Endereços	1	2	3	4	5	6	7	8
Casa Cruzeiro	1	0,0	7,2	4,7	17,2	12,3	15,3	12,8	11,5
R. Sousa Coelho	2	6,3	0,0	6,2	21,2	14,8	18,6	16,1	9,0
F. Cunha Frota	3	5,6	5,1	0,0	15,6	9,3	4,0	11,5	6,8
L. D. A. Alimentícios	4	15,6	19,7	14,3	0,0	6,6	3,3	9,1	19,7
C. F. S Comércio	5	10,6	14,0	9,3	6,4	0,0	5,7	7,5	13,9
Baguett	6	15,4	19,3	14,1	1,8	6,0	0,0	8,2	19,1
M. V. V Cellia e Cia	7	12,6	15,1	10,0	10,0	7,8	7,6	0,0	17,2
Emerson Fitipaldi	8	11,9	6,7	7,2	18,1	13,7	20,0	18,0	0,0

Fonte: *Google Maps*(2019)

Tabela 3 – Matriz de distâncias cenário 3 (quilômetro).

	Endereços	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Porto do Itaqui	1	0,0	22,7	21,7	25,5	24,7	22,5	15,7	15,7	20,5	26,5
J. Melo dos Santos	2	21,3	0,0	2,6	4,1	5,1	7,5	4,9	4,9	6,4	14,7
Rio Grande Comérc	3	22,1	4,1	0,0	2,7	2,6	9,7	5,7	5,7	7,2	15,5
Pizzaria One	4	23,2	5,2	2,8	0,0	0,9	9,3	6,8	6,8	8,3	16,6
Vitally Plus	5	24,1	6,2	3,7	1,0	0,0	8,5	7,8	7,7	9,2	17,5
Teresinha Neves	6	18,9	5,8	8,3	7,2	6,4	0,0	11,6	11,6	12,1	21,4
R R P da Silva - Me	7	15,7	7,8	5,9	8,5	8,5	10,8	0,0	0,04	6,1	12,1
Maria Vilani - ME	8	15,7	7,8	5,8	8,5	8,4	10,8	0,0	0,0	5,7	12,1
A da Conceição Roc	9	21,0	10,1	8,1	10,8	10,7	14,6	5,2	5,1	0,0	8,7
Emerson Fitipaldi	10	31,4	16,8	14,8	17,5	17,4	21,3	11,9	12,0	8,3	0,0

Fonte: *Google Maps*(2019)

Conhecido os possíveis caminhos de distribuição representado nas tabelas acima, entre os diferentes endereços visitados, com o auxílio dos algoritmos baseados em grafos, buscou-se gerar possíveis soluções de novas rotas para cada cenário. Portanto, o estudo consistiu em encontrar uma solução que apresentasse uma redução significativa no percurso, implementando algoritmos de construção de roteiro.

5.1. Método do vizinho mais próximo versus método de inserção do vértice mais distante

Neste tópico será feito uma análise dos métodos utilizados no estudo, para verificar e realizar um comparativo dos métodos e observar se é possível obter soluções de roteirização, as quais podem ser úteis na logística de distribuição, dados os cenários apresentados.

A análise se inicia pela tabela 1, que representa a primeira rota realizada pelo motorista. Conforme a aplicação dos algoritmos, gerou-se uma nova configuração de rota, conforme tabela 4.

Tabela04 – Soluções encontradas para o cenário 01

Rota 01 realizada em quilômetros (km)									Total
Endereço	0	1	2	3	4	5	6	7	72,00
Distância		15	7	3	6	8	5	28	
Nova rota obtida com o método do vizinho mais próximo (km)									Total
Endereço	0	1	2	5	4	3	7	6	82,8
Distância		15,5	6,7	8,2	3	15,1	3,1	31,2	
Nova rota obtida com o método de inserção do vértice mais distante (km)									Total
Endereço	0	1	3	4	6	7	5	2	75,1
Distância		21,7	2,6	16,9	3,2	8,1	6,8	15,8	

Fonte: Autor (2019)

Na tabela pode-se observar que na avaliação do cenário 1, o método do vizinho mais próximo apresentou uma nova sequência com distância de 82.8km, enquanto o método de inserção do vizinho mais distante demonstrou, uma distância de 75.10 km. Ao fazer uma análise dos dois casos com a rota inicial realizada pelo motorista, que foi de 72km, com o percurso de: 1 →2→3 →4→ 5 →6→7→1. A partir desse comparativo percebeu-se que os dois métodos não apresentaram melhorias, mas o método de inserção do vértice mais distante conseguiu chegar mais próximo do resultado realizado pelo motorista. A seguir, será a análise do cenário 2, conforme figura 5.

Tabela05 – Soluções encontradas para o cenário 2

Rota 02 realizada em quilômetros (km)										Total
Endereço	0	1	2	3	4	5	6	7	8	71,9
Distância		3	7	10	10	8	4	18	11,9	
Nova rota obtida com o método do vizinho mais próximo (km)										Total
Endereço	0	1	3	6	4	5	7	2	8	60,6
Distância		4,7	4	1,8	6,6	7,5	15,1	9	11,9	
Nova rota obtida com o método de inserção do vértice mais distante (km)										Total
Endereço	0	1	2	3	8	5	4	6	7	64,4
Distância		7,2	6,2	6,8	13,7	6,4	3,3	8,2	12,6	

Fonte: Autor (2019)

De acordo com a 5 apresentada acima, que representa os resultados sobre o cenário tabela 2, obteve-se com o método do vizinho mais próximo um percurso com distância total de 60.6 km, e o método de inserção do vértice mais distante, apresentando um percurso levemente superior, com 64.39km, ambos sendo menores do que a distância percorrida pelo motorista, que foi de 71.9km, com uma sequência de rota sendo: 1→2→3→4→5→6→7→8→1. Por meio desse comparativo, para o cenário 2, ambos os métodos apresentaram melhorias, só que o método do vizinho mais próximo, diferente do primeiro cenário em que apresentou uma piora no resultado, para este cenário obteve-se um resultado positivo em relação ao realizado. Após será apresentado o terceiro e último cenário avaliado, conforme tabela 06.

Tabela 6 – Soluções encontradas para o cenário 3

Rota 03 realizada em quilômetros (km)											Total	
Endereço	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	90,9
Distância		20	3	2	1	8	10	0,5	6	9	31,4	
Nova rota obtida com o método do vizinho mais próximo (km)											Total	
Endereço	0	1	7	8	9	3	5	4	2	6	10	98,64
Distância		15,7	0,04	5,7	8,1	2,6	1	5,2	7,5	21,4	31,4	
Nova rota obtida com o método de inserção do vértice mais distante											Total	
Endereço	0	1	6	5	4	3	2	10	9	7	8	80,74
Distância		22,5	6,4	1	2,8	4,1	14,7	8,3	5,2	0,04	15,7	

Fonte: Autor (2019)

A tabela 6 demonstra o terceiro e último cenário avaliado, em que o motorista realizou a rota com distância total de 90.9km, com a rota: 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 1. Para este cenário o método do vizinho mais próximo, alcançou uma distância total percorrida de 98.64 km, enquanto o método de inserção do vizinho mais distante, gerou um resultado de 80.74km, apresentando ser o método mais eficiente na análise do cenário 3 (três).

A partir dos resultados obtidos, foi observado que durante as análises dos cenários aplicando o método do vizinho mais próximo, o segundo cenário foi o único que se destacou, em que apresentou uma redução na distância equivalente a 11,3 km. Enquanto isso, no método de inserção do vértice mais distante observou-se boas soluções para os cenários dois e três que tiveram redução equivalente a 10,6 e 7,51 km, respectivamente. E não foi possível uma melhoria no resultado do primeiro cenário, mais o resultado obtido apresentou-se próximo do realizado. Portanto, nota-se que o método do vizinho mais próximo apresentou baixa eficiência nos testes.

Para explicar os casos em que não teve melhoria, baseia-se na literatura, que retrata que a obtenção de rota através do método do vizinho mais próximo pode apresentar exceções, por se tratar de um método *guloso* em que para completar o percurso é forçado a inserir caminhos com longas distâncias.

Considerando que ambos os métodos foram analisados utilizando os mesmos cenários, o método de inserção do vértice mais distante apresenta maior desempenho em relação ao método do vizinho mais próximo. Portanto conclui-se que as heurísticas construtivas de roteiros aqui apresentadas não garantem com eficácia soluções para o Problema do Caixeiro-viajante aplicada à logística de distribuição.

6. Considerações finais

Tendo em vista o objetivo desse estudo, que foi propor uma solução de roteirização para melhoria de desempenho na distribuição de produtos com base em algoritmos de grafos, foram realizados testes com aplicação das heurísticas construtivas e tendo seus resultados obtidos pelos algoritmos propostos comparados com os realizados pelos motoristas para chegar à uma solução. Observa-se que é possível a minimização das distâncias percorrida, pois há uma redução entre cada um dos métodos.

Nesse sentido, em relação a comparação de desempenho entre as heurísticas, o método de inserção do vértice mais distante se destacou quando aplicado sobre os cenários durante os

testes, em que verificou-se reduções seguidas no segundo e terceiro cenário. Dessa forma o método de inserção pode contribuir para melhoria do processo de distribuição. No entanto, a solução encontrada através de tal método não assegura de fato uma melhoria, pois, no primeiro cenário não foi obtida uma solução esperada.

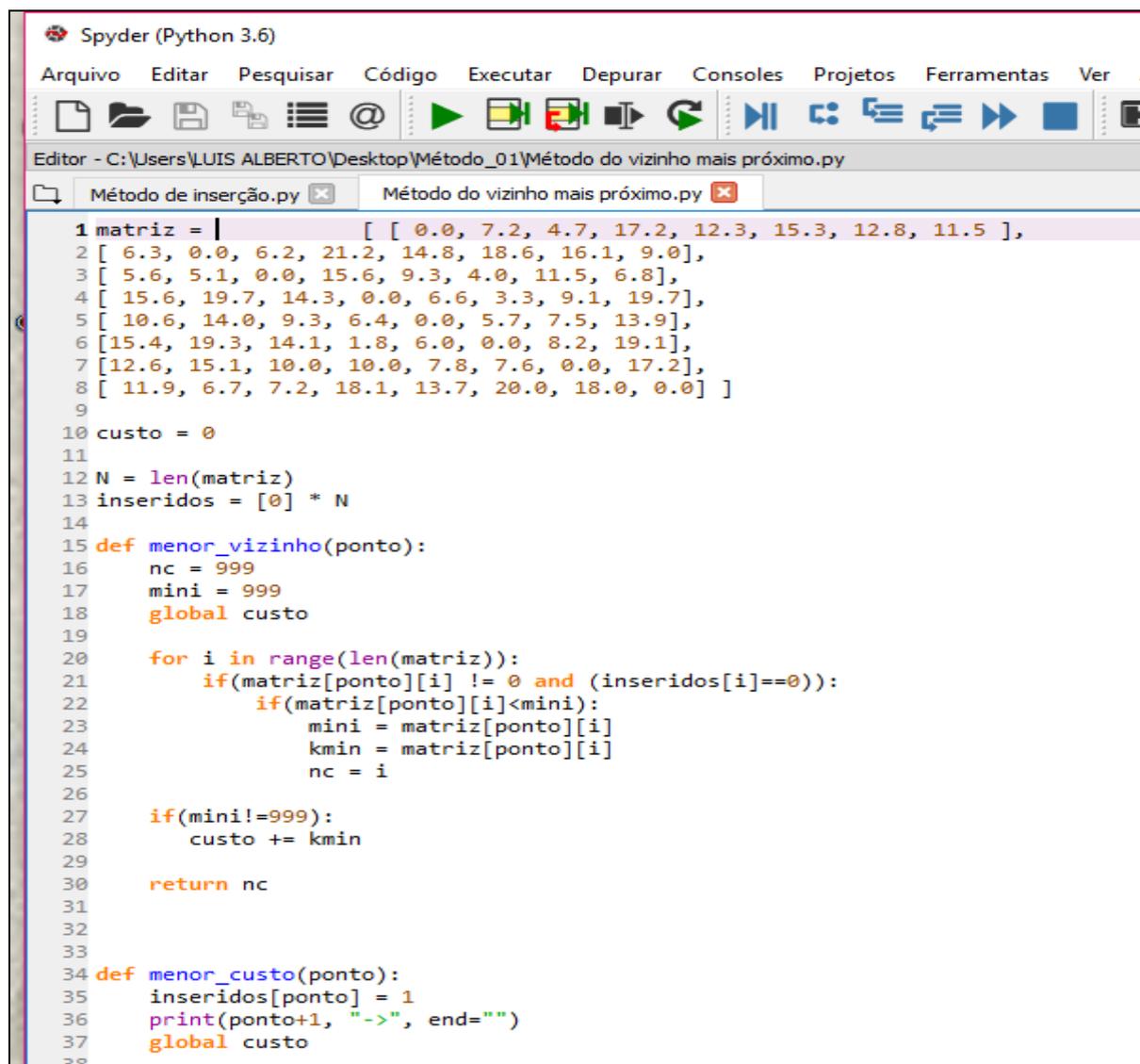
Admite-se então, que a aplicação de algoritmos de grafos pode contribuir para aumento do desempenho logístico de tal modo que sejam obtidas vantagens em relação à distância. Todavia sabe-se que tais métodos não trazem de forma confiável esse benefício. Portanto, para estudos futuros sugere-se, que em parceria com a empresa, realizar uma pesquisa mais criteriosa do processo logístico, em relação à distância percorrida, custos de transporte e tempo de entrega considerando as condições ambientais que influenciam sobre a roteirização aplicando outras heurísticas de construção de roteiros em conjunto com heurísticas de melhorias visando o alcance de possíveis soluções otimizadas.

7. Referências

- BALLOU, Ronald H.. **Gerenciamento de cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COPPER, M. Bixby; BOWERSOX, John C. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. Bixby. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BOAVENTURA NETTO, Paulo Oswaldo. **Grafos: teoria, modelos, algoritmos**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BOAVENTURA NETTO, Paulo Oswaldo; JURKIEWICZ, Samuel. **Grafos: introdução e prática**. São Paulo: Blucher, 2009.
- GONÇALVES, Paulo Sérgio. **Logística e Cadeia de Suprimentos: o essencial**. Barueri, SP: Mano ele, 2013.
- GOLDBARG, Marco Cesar; GOLDBARG, Elizabeth. **Grafos: conceitos, algoritmos e aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e gerenciamento de cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

PERKOVIC, Ljubomir0. **Introdução à computação usando Python**: um foco no desenvolvimento de aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

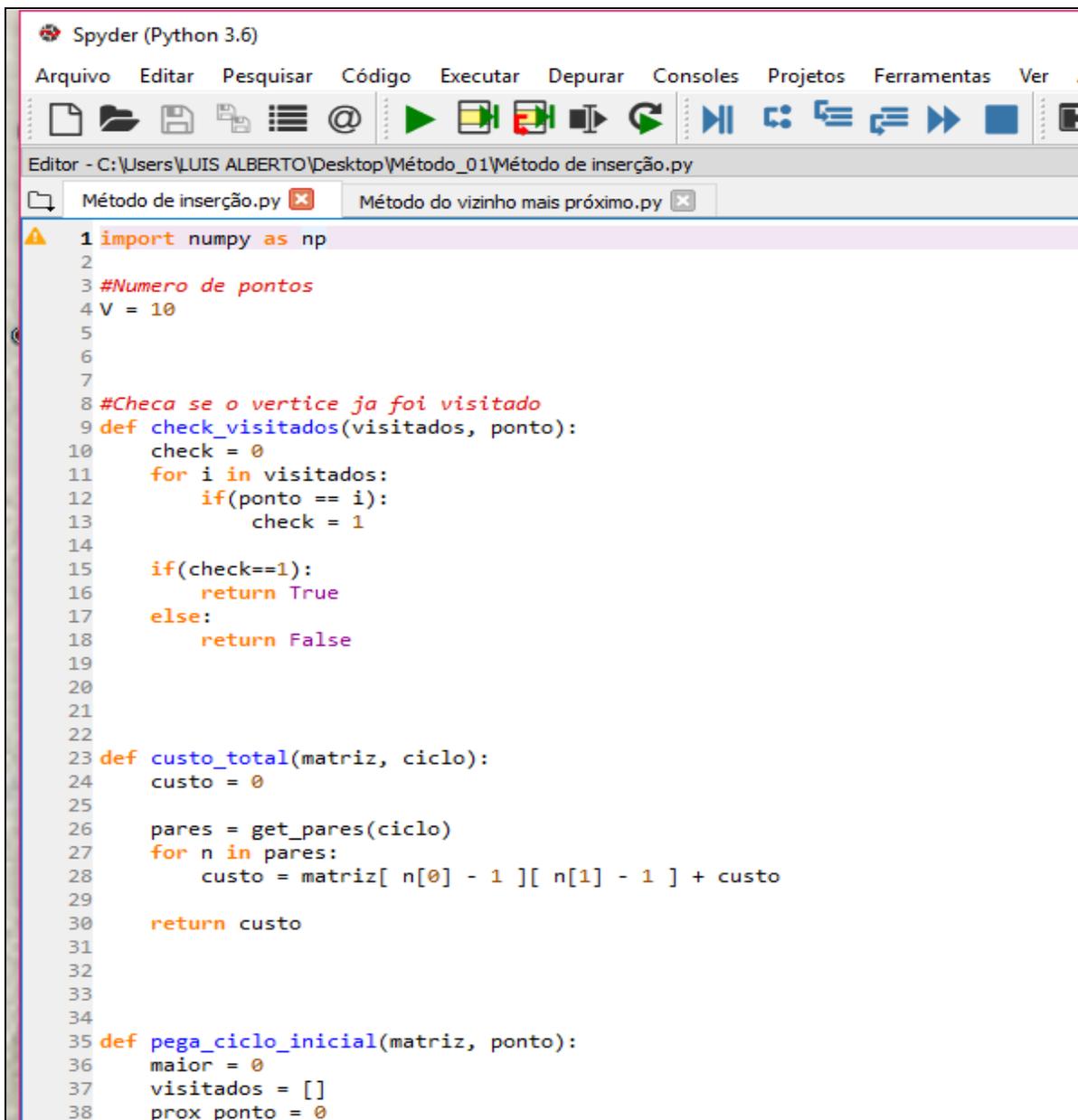
ANEXO A - TRECHO DO SCRIPT DO MÉTODO DO VIZINHO MAIS PRÓXIMO



```
1 matriz = [ [ 0.0, 7.2, 4.7, 17.2, 12.3, 15.3, 12.8, 11.5 ],
2 [ 6.3, 0.0, 6.2, 21.2, 14.8, 18.6, 16.1, 9.0],
3 [ 5.6, 5.1, 0.0, 15.6, 9.3, 4.0, 11.5, 6.8],
4 [ 15.6, 19.7, 14.3, 0.0, 6.6, 3.3, 9.1, 19.7],
5 [ 10.6, 14.0, 9.3, 6.4, 0.0, 5.7, 7.5, 13.9],
6 [15.4, 19.3, 14.1, 1.8, 6.0, 0.0, 8.2, 19.1],
7 [12.6, 15.1, 10.0, 10.0, 7.8, 7.6, 0.0, 17.2],
8 [ 11.9, 6.7, 7.2, 18.1, 13.7, 20.0, 18.0, 0.0] ]
9
10 custo = 0
11
12 N = len(matriz)
13 inseridos = [0] * N
14
15 def menor_vizinho(ponto):
16     nc = 999
17     mini = 999
18     global custo
19
20     for i in range(len(matriz)):
21         if(matriz[ponto][i] != 0 and (inseridos[i]==0)):
22             if(matriz[ponto][i]<mini):
23                 mini = matriz[ponto][i]
24                 kmin = matriz[ponto][i]
25                 nc = i
26
27     if(mini!=999):
28         custo += kmin
29
30     return nc
31
32
33
34 def menor_custo(ponto):
35     inseridos[ponto] = 1
36     print(ponto+1, "->", end="")
37     global custo
38
```

Fonte: Autor (2019)

ANEXO B - TRECHO DO SCRIPT DO MÉTODO DE INSERÇÃO DO VÉRTICE MAIS DISTANTE



```
1 import numpy as np
2
3 #Numero de pontos
4 V = 10
5
6
7
8 #Checa se o vertice ja foi visitado
9 def check_visitados(visitados, ponto):
10     check = 0
11     for i in visitados:
12         if(ponto == i):
13             check = 1
14
15     if(check==1):
16         return True
17     else:
18         return False
19
20
21
22
23 def custo_total(matriz, ciclo):
24     custo = 0
25
26     pares = get_pares(ciclo)
27     for n in pares:
28         custo = matriz[ n[0] - 1 ][ n[1] - 1 ] + custo
29
30     return custo
31
32
33
34
35 def pega_ciclo_inicial(matriz, ponto):
36     maior = 0
37     visitados = []
38     prox_ponto = 0
```

Fonte: Autor (2019)