

## **PROPOSTA DE FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS ATRAVÉS DE UM APLICATIVO MOBILE**

Vinicius Martins Rodrigues Pereira <sup>1</sup>; Otávio Martins Vasconcelos <sup>2</sup>; Guilherme de Souza Ferreira <sup>3</sup>; Luiza Bernardes Real

1 Vinicius Martins Rodrigues Pereira, Bolsista IFMG, Engenharia Mecânica, IFMG Campus Congonhas, Congonhas - MG; [viniciusmartins6@hotmail.com](mailto:viniciusmartins6@hotmail.com)

2 Otávio Martins Vasconcelos, Bolsista IFMG, Engenharia de Produção, IFMG Campus Congonhas, Congonhas - MG; [otavio\\_vasconcelos@outlook.com](mailto:otavio_vasconcelos@outlook.com)

3 Orientador: Guilherme de Souza Ferreira, UFGM; [ferreira.guilherme@gmail.com](mailto:ferreira.guilherme@gmail.com)

4 Orientador Luiza Bernardes Real: Pesquisador do IFMG, Campus Congonhas; [luiza.real@ifmg.edu.br](mailto:luiza.real@ifmg.edu.br)

### **RESUMO**

Com o avanço da internet e novas tecnologias focadas em vendas online e tele-entregas, é possível identificar problemas de logística cada vez mais frequentes. Dificuldade em gerar escalas de negócios desde pequenas empresas com entregas utilizando poucos entregadores até grandes negócios geram situações que podem usar um otimizador de rotas para fazê-las de forma mais rápida, mais curta e mais barata (entregas de fast-food, e-commerce, pessoas que precisam passar em vários pontos esporadicamente e pequenos agricultores) trazendo ganhos diversos para o usuário. O mercado já tem ferramentas consolidadas que otimizam essas rotas, porém todas apresentam grande restrição de uso gratuito, dificultando o uso de pequenos comerciantes que muitas vezes não tem orçamento para investimentos nesse tipo de ferramenta. O objetivo dos autores com este estudo foi desenvolver uma análise da mudança da forma de consumo em relação ao e-commerce que gerou esse aumento da importância da logística e entender as demandas de um nicho de mercado que não usa as soluções já difundidas para então desenvolver uma nova ferramenta prática e de fácil acesso, com funcionalidades que auxiliam o dia a dia de pessoas que precisam decidir com frequência rotas a serem realizadas com vários destinos, como no caso de um entregas de alimentos e encomendas ou simplesmente algum turista que tem o propósito de visitar vários pontos turísticos. O modelo matemático utilizado foi baseado no Travelling Salesman Problem (Problema do Caixeiro Viajante), usando a heurística 2-opt para fazer o cálculo da melhor rota. Foi avaliado também o rendimento dessa heurística em relação a soluções de métodos exatos de acordo com instâncias já definidas. Para facilitar o uso do otimizador de rotas foi criada uma solução mobile com o framework React Native, para conseguir ser ainda mais acessível, visto que um aplicativo no celular pode ser levado junto ao utilizador e auxiliar na tomada de decisão durante a viagem.

### **INTRODUÇÃO:**

Todas as mudanças de comportamento e cultura de uma sociedade traz consigo diversas quebras de paradigma e novos problemas a serem resolvidos que também são, por essência, oportunidades. Segundo Companys e McMullen (2007), as principais fontes de oportunidades são: mudanças na informação disponível para a sociedade sobre seus recursos materiais; mudanças nas interpretações ou preferências por meio de inovações culturais; ou mudanças no interpretador, no próprio ambiente em que ele está inserido. Avaliando o setor do comércio, fica evidente uma mudança nas preferências dos clientes em relação a compras online graças ao aumento considerável do acesso à internet e à facilidade em comparar vários tipos de produtos de marcas diferentes e seus preços.

Outra mudança grande no ambiente e que fortaleceu ainda mais o e-commerce foi a pandemia de Covid-19, que praticamente obrigou a todos os comércios a mudar sua forma de vender e a solução amplamente utilizada foi a venda à distância, sem que o cliente esteja presente fisicamente na hora da compra.

Essa mudança na forma de consumir trouxe consigo diversos desafios para quem está comprando e para quem está vendendo. Um dos mais importantes na cadeia de processos que um e-commerce necessita é a logística. É fundamental para o sucesso desse negócio entregar a compra do cliente em curto prazo e sem danos, mantendo a qualidade, com o menor custo possível de transporte. Muitas vezes, um veículo parte de determinado ponto de estoque com mercadorias de diferentes clientes. É preciso decidir qual será a ordem de visita dos clientes, ou em outras palavras, qual será a ordem de entrega das mercadorias. A ordem escolhida impactará o tempo, a distância total percorrida e conseqüentemente o custo da rota.

Entendendo esse cenário, fica cada vez mais evidente a necessidade de sistemas logísticos que tracem rotas que diminuam os custos e também aumentem a qualidade do serviço. Grandes empresas sempre tiveram essa preocupação. Porém, essa necessidade se expandiu também para pequenos comerciantes, pequenos produtores rurais, representantes comerciais, entregadores de delivery autônomos e até pessoas físicas que precisam se locomover em vários endereços durante o dia.

Para realizar essa otimização de rotas o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) se apresenta como um dos principais meios explorados tanto no meio acadêmico quanto nas indústrias. O PCV é dos mais famosos problemas de otimização e vem sendo cada vez mais estudado desde sua descoberta devido a sua grande aplicabilidade. O PCV tem como objetivo indicar a forma ótima de sair de um local, visitar um conjunto de cidades e depois retornar ao local de origem, passando uma única vez por cada ponto, de forma a minimizar a distância percorrida e conseqüentemente os custos e o tempo gasto. De acordo com Helsgaun (2000), este problema tem como principal objetivo determinar a ordem pela qual devem ser percorridos os diversos clientes, por um veículo que sai do ponto inicial, o armazém, e regressa a este no final, de modo a minimizar a distância total percorrida.

O PCV é um problema considerado NP- difícil. Isso significa que o esforço computacional necessário para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema (CUNHA, 2000). Dessa forma, existe um grande esforço acadêmico para criar formas que consigam resolver esse problema de forma mais rápida e com soluções melhores. Segundo Helsgaun (2000), não há como achar a solução ótima sem o uso da força bruta, ou algum algoritmo exato, que normalmente é de complexa programação, com códigos da ordem de 10.000 linhas e exagerado tempo de execução. Diante disso, é comum utilizar heurísticas para obter uma solução aproximada e conseqüentemente, mais rápida.

Apesar do reconhecido potencial de ganho que a otimização de rotas pode trazer, ainda falta uma plataforma de fácil acesso para que a população realize uma otimização da ordem de visita dos locais de entrega, classificando de maneira fácil e prática qual seria a melhor sequência para que as entregas sejam realizadas. Os aplicativos tradicionais de GPS conseguem calcular o melhor caminho, dado um endereço de origem, um endereço de destino e um conjunto de endereços intermediários. No entanto, esses aplicativos não definem a ordem de visita dos endereços a serem visitados, assumem que essa ordem é conhecida a priori pelo usuário. Os principais aplicativos presentes no mercado que são capazes de definir a melhor ordem de visita de um conjunto de endereços são: DeliForce, Mapbox e Roadwarrior. Todos possuem sistemas bem elaborados, com customização dos mapas, atendimento ao cliente, otimização com rotas em várias paradas. Porém, apresentam grande restrição de acessos gratuitos, limitando o número de rotas otimizadas por telefone, número máximo de pontos de parada e um custo que pode se tornar relativamente alto dependendo da quantidade do uso.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é desenvolver um aplicativo totalmente gratuito que otimize a ordem de visita de um conjunto de endereços com base no PCV, com uma interface simples que receba o ponto inicial e os endereços a serem visitados. Com isso, espera-se atender a necessidade de uma parcela de mercado que precisa usar o serviço de forma esporádica e que não deseja fazer cadastros e vincular cartões de crédito, além de pequenos usuários (empresas com rotas curtas, entregadores, etc) que tem rotas que podem ser otimizadas e que não tem condições financeiras ou interesse de aumentar o custo de processo com planos de assinatura.

## METODOLOGIA:

Entendendo o crescimento do e-commerce mesmo para microempreendedores, foi observado uma dificuldade constante principalmente em pequenos estabelecimentos de montar uma logística de entrega de produtos. Devido ao aumento de localidades que precisam ser visitadas, fica cada vez mais complicado analisar manualmente qual seria a sequência ideal para conseguir percorrer todos os pontos da melhor maneira possível.

Então, uma análise de mercado foi feita com intuito de mapear os principais aplicativos otimizadores de rotas do mercado, entendendo suas forças e fraquezas, para buscar oportunidades no mercado que esses concorrentes não conseguem aproveitar com seus atuais produtos. As principais forças e fraquezas mapeadas estão listadas no Quadro 1.

Quadro 1: Mapeamento de Forças e Fraquezas dos concorrentes

<b>Forças e Fraquezas de Aplicativos Consolidados no Mercado</b>		
<b>Aplicativo</b>	<b>Principais Forças</b>	<b>Fraquezas</b>
Deliforce	Rastreamento em tempo real do entregador;	Restrições de acesso gratuito
	Análise de relatórios	Consome muita memória
Mapbox	Possui mapas com tráfego em tempo real	Restrições de acesso gratuito
	Navegação e pesquisa de endereços por meio de API e kit de desenvolvimento de software	Alto custo
Roadwarrior	Possibilidade de otimização de rotas com várias paradas	Restrições de acesso gratuito
	Utilização flexível, inclusive acesso do aplicativo, pela web	Alto custo

Fonte: Os Autores

A análise dos concorrentes deixou evidente que as soluções do mercado já apresentam grau avançado de maturidade em relação ao desenvolvimento técnico da inteligência que otimiza as rotas, da parte visual e experiência do usuário e de serviços complementares, mais importantes, como relatórios e mapas em tempo real. No entanto, essa complexidade também exige um custo com desenvolvedores e por isso todos apresentam grandes restrições nas suas versões gratuitas.

Com essa limitação dos aplicativos de mercado mapeada e com o entendimento da necessidade de um novo público, que precisa melhorar a logística sem condições de investimento em ferramentas, foi definido que a solução mais provável de ter aceitação pelo público é um aplicativo mobile que seja gratuito e simples de ser usado e que apenas forneça a otimização da rota em tempo hábil e com uma interface simples para trazer praticidade ao usuário. Outro ponto importante para a decisão de se criar um aplicativo é que o uso de celulares tem crescido bastante no Brasil. Segundo a pesquisa realizada pelas empresas MobileTime e Opinion Box, 98% dos brasileiros que possuem celular já instalaram algum aplicativo. (Panorama, 2021)

Para o desenvolvimento do aplicativo, foi escolhido o framework React Native. Na pesquisa de Brito et al (2018). foram comparadas opções para desenvolvimento de aplicativo entre elas React Native, Ionic, NativeScript, Android nativo e IOS nativo. Foi definido que a aprendizagem, qualidade da documentação, tempo de resposta e velocidade do React Native superava todos e por isso era a melhor opção de framework.

Foi criado uma tela inicial para inserir a origem da rota e uma segunda tela ilustrada por um mapa utilizando a API do Google Maps para a inserção dos demais pontos. Esses endereços são armazenados em uma matriz de origem x destino. Depois, essa estrutura é utilizada para consumir a API do Google para

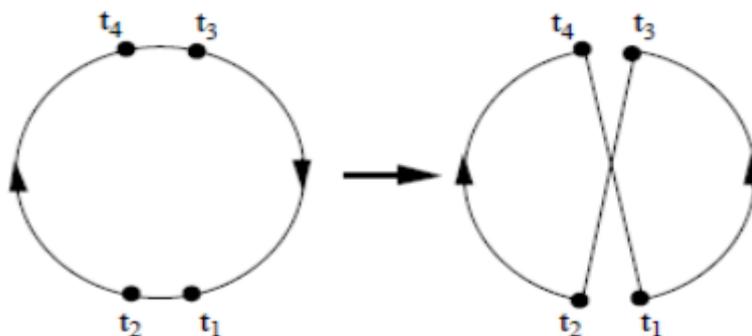
retornar a distância entre todos os pontos, que ficam armazenadas em outra matriz e são as únicas informações de entrada para calcular a rota ótima.

Para resolver o PCV e de fato otimizar a rota existem várias formas na literatura, sendo os Modelos Matemáticos, heurísticos e meta heurísticos os mais utilizados. Segundo Chaves (2003), métodos heurísticos são aqueles que procuram encontrar soluções próximas da otimalidade em um tempo computacional razoável, sem, no entanto, conseguir definir se esta é a solução ótima, nem quão próxima ela está da solução ótima. Para o aplicativo, foi definido que uma heurística seria desenvolvida na linguagem JavaScript, compatível com o React Native para facilitar a implementação, e dentre as várias desenvolvidas na literatura a 2-Opt foi a escolhida.

Segundo Chaves (2005), a heurística 2-Opt foi proposta primeiramente por Croes (1958) sendo baseada em trocas entre pares de arestas de grafos que representem soluções para problemas de permutação, mas é atribuída a LIN (1965) a apresentação do método como 2-OPT.

O algoritmo 2-opt consiste em remover dois arcos não adjacentes da solução analisada e depois ligar o ponto de origem do primeiro arco com a origem do segundo e o destino do primeiro arco com o destino do segundo, obtendo uma rota com o sentido inverso. Esse processo deve ser realizado até que não haja nenhuma rota com menor custo. A Figura 1 ilustra o funcionamento da heurística.

Figura 1: Movimento 2-opt



Fonte: Helsgaun (2000)

Depois de obter a resposta da heurística o aplicativo retorna na tela para o usuário a melhor rota encontrada, indicando a ordem em que os destinos devem ser visitados.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Para garantir a qualidade do aplicativo é fundamental garantir que as rotas possam ser otimizadas em tempo hábil. Esse tempo de solução é um dos grandes gargalos do PCV e foi o motivo de se desenvolver várias formas mais rápidas de resolver o problema como as heurísticas.

Essa questão é ainda mais fundamental no aplicativo, que se apoiará no funcionamento simples e rápido como diferenciais no mercado. Então, visando garantir essas condições, foram realizadas diversas comparações de tempo e qualidade da solução entre a heurística implantada e um método exato para diferentes tamanhos de instância para confirmar a heurística 2-opt como a usada na otimização. Foi utilizado

para a aplicação do teste um notebook simples para simular a utilização no dia a dia, Intel i3- 7ª geração com 8 GB de memória RAM.

Essas instâncias foram retiradas do site TSPLIB (TSPLIB, 2022), que disponibiliza a matriz de distâncias, a rota e a menor distância ótima para diversos exemplos. Foram escolhidos quatro exemplos para os testes. A Figura 3 apresenta: na primeira coluna, o nome de cada exemplo; na segunda coluna, o número de pontos a serem visitados; e na terceira coluna, a solução ótima para aquele exemplo.

Figura 3 – Instâncias Comparadas

Nome	Dimensão	Melhor Solução - TSPLIB
br17	17	39
bays29	29	2020
swiss42	42	1273
ft70	70	38673

Fonte: Os Autores

A Figura 4 compara a heurística implementada com a solução ótima para cada exemplo. A coluna “Distância 2-opt” apresenta a melhor solução encontrada pela heurística 2-opt. A coluna “GAP” mostra o GAP dessa solução para a solução ótima ((Distância 2-opt – Melhor Solução – TSPLIB)/Melhor Solução TSPLIB). A coluna Tempo de Solução Heurística (s) traz os tempos necessários para que a heurística retorne um resultado.

Figura 4 – Resultados

Instância	Dimensão (Nº de Pontos)	Melhor Solução - TSPLIB	Distância 2-opt	GAP	Tempo de Solução Heurística (s)
br17	17	39	39	0,00%	0,0907
bays29	29	2020	2085	3,22%	1,5039
swiss42	42	1273	1387	8,96%	4,1055
ft70	70	38673	45633	18,00%	16,4973

O maior tempo para obter a solução foi para a instância ft70, que demorou aproximadamente 16,49 segundos com GAP de 18%. Os resultados indicam que a heurística atende a necessidade do público-alvo da solução, com resultados com alta proximidade do método exato e baixo tempo de solução.

## CONCLUSÕES:

Mudanças sempre trazem problemas e oportunidades e com a logística no e-commerce não foi diferente. Portanto este trabalho buscou trazer o raciocínio e as ferramentas usadas para entender uma mudança, possíveis oportunidades que ela trouxe e como desenvolver uma solução que tenta se inserir num nicho específico de mercado devido ao atendimento específico de suas necessidades.

Para o problema da logística foi desenvolvido uma solução mobile com o framework React Native, que usa o Problema do Caixeiro Viajante para otimizar rotas de usuários gratuitamente, com um rápido tempo de resposta graças a heurística 2-opt usada como inteligência do aplicativo.

Para trabalhos futuros é indicado fazer testes controlados com usuários que forneçam feedback da ferramenta como um todo, trazendo pontos de melhoria em todo o processo de inserção de endereços, formato da resposta e interface num todo. Com esses feedbacks e melhorias mapeadas num uso real fica viável a divulgação da ferramenta numa loja de aplicativos para consumo amplo da solução. Também é indicado testar outras heurísticas para resolver o PCV para melhorar tanto o GAP quanto o tempo de resposta do aplicativo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CHAVES, Antônio Augusto. MODELAGENS EXATA E HEURÍSTICA PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM COLETA DE PRÊMIOS. 2003. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003. Disponível em: <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Orientacoes/PCVCP-Exato-VNS.pdf> . Acesso em: 26 abr. 2022.

CHAVES, Antônio Augusto. HEURISTICAS HIBRIDAS COM BUSCA ATRAVES DE ´AGRUPAMENTOS PARA O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM COLETA DE PREMIOS. 2005. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://www.lac.inpe.br/~lorena/antonio/proposta-diss-chaves.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. Revista Transportes da ANPET, v. 8, n. 2, p.51-74, 2000.

COMPANYS, Y.; McMULLEN, J. S. Strategic Entrepreneurs at Work: The Nature, Discovery, and Exploitation of Entrepreneurial Opportunities. Small Business Economics, v. 28, n. 4, p. 273-283, 2007.

HELSGAUN, Keld. An Effective Implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic. European Journal of Operational Research 126 (1), p. 106-130, Elsevier, 2000.

Brito, H.; Gomes, A.; Bernardino, A. S. e. J. Javascript in mobile applications: React native vs ionic vs nativescript vs native development. In: 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6. ISSN null.

TSPLIB. Disponível em: <http://elib.zib.de/pub/mp-testdata/tsp/tsplib/tsplib.html>. Acesso em: 02 abr. 2022.