



NETLOG 2021

International Conference on Network
Enterprises & Logistics Management

ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM RESTRIÇÕES OPERACIONAIS: PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA TRANSPORTADORA DA REGIÃO DO ABC EM SÃO PAULO

Loiola, A. S. D.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
alexandro.dl@gmail.com

Resumo

O presente artigo tem por finalidade estudar o problema de roteirização com restrições operacionais, usando como objeto de estudo uma transportadora da região do ABC em São Paulo, que atua desde janeiro de 2019 no Brasil. Para atingir o objetivo de pesquisa acima descrito, foi feito um estudo teórico sobre o transporte rodoviário de cargas, roteirização de veículos e por fim uma aplicação desenvolvida em Excel para a solução do problema em questão. Após a pesquisa bibliográfica, foi realizada uma análise a respeito da transportadora e a caracterização do seu problema. A partir das informações, foi possível confrontar a teoria estudada com a aplicação em Excel e apresentar uma proposta de solução. Os resultados apontam que o uso da aplicação se mostrou eficaz para a resolução do problema e elaboração de relatório de custos.

PALAVRAS-CHAVE: Roteirização, Restrições, Transportadora.

Abstract

This article aims to study the problem of routing with operational restrictions, using as a study object a carrier from the ABC region in São Paulo, which has been operating since January 2019 in Brazil. In order to achieve the research objective described above, a theoretical study was carried out on road freight transport, vehicle routing and, finally, an application developed in Excel to solve the problem in question. After the bibliographic research, an analysis was carried out regarding the carrier and the characterization of its problem. From the information, it was possible to compare the theory studied with the application in Excel and present a solution proposal. The results show that the use of the application proved to be effective for solving the problem and preparing a cost report.

KEYWORDS: Routing, Restrictions, Carrier.

Resumen

Este artículo tiene como objetivo estudiar el problema del enrutamiento con restricciones operativas, utilizando como objeto de estudio un transportista de la región ABC en São Paulo, que opera desde enero de 2019 en Brasil. Para lograr el objetivo de investigación descrito anteriormente, se realizó un estudio teórico sobre el transporte de mercancías por carretera, el enrutamiento de vehículos y, finalmente, una aplicación desarrollada en Excel para resolver el problema en cuestión. Tras la búsqueda bibliográfica, se realizó un análisis sobre el portador y la caracterización de su problema. A partir de la información, fue posible comparar la teoría estudiada con la aplicación en Excel y presentar una propuesta de solución. Los resultados muestran que el uso de la aplicación resultó ser eficaz para resolver el problema y preparar un informe de costos.

PALABRAS CLAVE: Enrutamiento, Restricciones, Transportista.

1 Introdução

A logística é um fator determinante que, pode ser utilizado como estratégia para empresa pois, suas aplicações e escolhas adequadas sejam elas de fornecedores, distribuição dos produtos, e integrações de sistemas da produção até entrega ao cliente final podem melhorar o fluxo de informações na gestão dos processos logísticos. Deste modo, um serviço bem prestado apresenta um alto nível de complexidade, que é decorrente de problemas de controle, gestão e acompanhamento da distribuição dos produtos

Segundo Botelho et al (2017), no Brasil o modal mais utilizado é o rodoviário. As variáveis econômicas como preços elevados dos combustíveis, estradas precárias impostos elevados, pedágios dentre outros tem influência direta na composição dos custos. Assim, as companhias se deparam com diversos desafios relacionados a gestão, planejamento das atividades logísticas e custos e ainda oferecendo mais qualidade e rapidez ao mercado consumidor.

De acordo com Gama et al (2011), o Problema de Roteirização de Veículos (VRP) é um dos problemas de otimização mais frequentemente encontrados na logística, que pode ser descrito como problema do planejamento ótimo de entregas e/ ou rotas de coletas sujeito as restrições, porém, visando minimizar o custo das operações de transporte por uma frota de veículos operando a partir de uma base chamada de depósito. Surge em muitos setores e contextos nos níveis tático e operacional.

Gama et al (2011) ainda afirma que, o VRP foi introduzido há mais de 50 anos por Dantzig e Ramser no ano de 1959 e muitas variantes do VRP que incorporam recursos adicionais, como janelas de tempo (intervalos em que os clientes podem ser visitados) e composição da frota foram estudados buscando encontrar o uso eficiente dos veículos. Apesar de sua natureza operacional, o VRP é considerado no domínio acadêmico de Pesquisa Operacional, e não em Gerenciamento de Operações. Isso se deve à dificuldade inerente de resolver um VRP, não apenas devido à complexidade dos algoritmos de solução associados, mas também considerações práticas sobre a implementação da solução

Pelo exposto acima, o tema justifica-se pela possível oportunidade de redução de custos, otimização do uso da frota e oferta de maior nível de serviço por uma transportadora da região do ABC, a partir da utilização de um roteirizador desenvolvido em Excel.

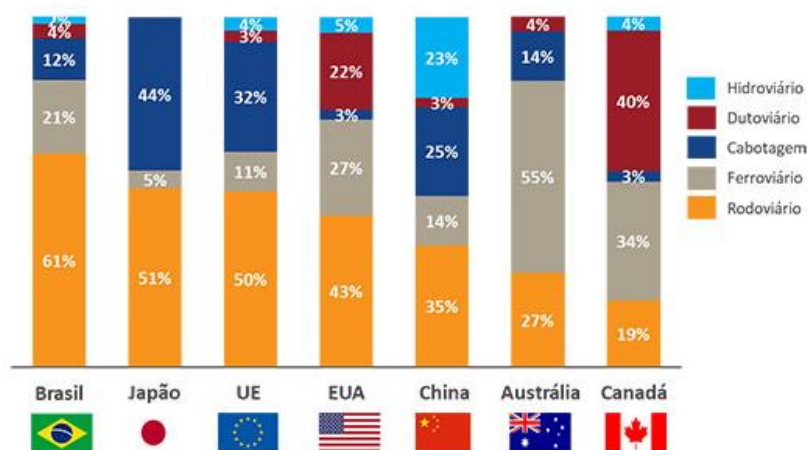
O método de pesquisa utilizado que embasa o artigo trata-se de um estudo de caso de caráter quantitativo. O estudo de caso segundo Creswell (2021) é uma história de um fenômeno passado ou atual, elaborado a partir de múltiplas fontes de prova, que pode incluir dados da observação direta e entrevistas sistemáticas, incluindo estudos transversais que utilizam de questionários ou entrevistas estruturadas para coleta de dados que para identificação das diversas variáveis. Com isso, como o artigo retratará de uma única realidade de uma empresa – no caso, a Ultra Transportes Ltda- sua categorização se adequa.

Para atingir o objetivo de pesquisa, foi realizado um estudo teórico a respeito dos conceitos de transporte rodoviário de cargas, roteirização de veículos e por fim uma aplicação para roteirização desenvolvida em Excel. Após a pesquisa bibliográfica, foi realizada uma análise a respeito da transportadora e a caracterização do seu problema. A partir das informações, foi possível confrontar a teoria estudada com a aplicação em Excel e apresentar uma proposta de solução. Os resultados apontam que o uso da aplicação se mostrou eficaz para a resolução do problema e elaboração de relatório de custos.

2 Referencial teórico

2.1 Transporte rodoviário de cargas

No Brasil, a matriz de transporte é composta por cinco diferentes modais, entretanto, o modal rodoviário se destaca ao longo dos últimos 30 anos como o mais utilizado, conforme observado na imagem abaixo também destacando a comparação de transportes de outros países:



Fonte: ILOS (2018)

Cada modal apresenta características determinantes como, custos, capacidade, velocidade, tamanho da malha, pontos de ligação, formas e quantidades de pontos de transbordo, entre outros. O transporte rodoviário apresenta como principal característica a sua flexibilidade operacional com a facilidade da movimentação porta a porta, onde alguma restrição de acessibilidade ocorrerá somente se em seu trajeto observarem-se problemas de segurança ou de topografia.

A Concentração da utilização do modal rodoviário com seus elevados custos e sua precária infraestrutura eleva os custos da operação. Moreira et al (2018). Segundo o relatório do plano nacional de Logística e Transportes- PNLT (2016), poderia ter economia de 1,1 bilhões de dólares por ano, caso houvesse uma melhor distribuição da utilização dos modais disponíveis, bem como investimentos suficientes na matriz de transportes brasileiros

Moreira acrescenta-se que, o transporte rodoviário no Brasil é caracterizado pelas seguintes condições:

- Possui a maior representatividade entre os modais existentes;
- Adequados para o transporte em curtas e médias distâncias;
- Apresenta um baixo custo inicial de implantação, porém, um alto custo de manutenção;
- Pelo resíduo poluente gerado tem forte impacto ambiental;
- Tem maior flexibilidade pela sua grande extensão da malha;
- Transporte com velocidade moderada;
- Altos custos quando utilizado para transporte a grandes distâncias;
- Possui uma baixa capacidade de carga com limitação de volume e peso;
- Gera integração entre todos os estados brasileiros.

2.2 Roteirização de veículos

Segundo Vieira (2017), a roteirização pode ser definida através de uma ação que pode amenizar os problemas causados pelo transporte urbano de cargas e a redução do fluxo de veículos de entregas nas cidades, com o objetivo de minimizar as distâncias percorridas.

De acordo com Arthur et al (2019), um problema real de roteirização é definido por três fatores fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As decisões relatam a respeito da alocação de veículos e motoristas, envolvendo a programação e sequenciamento das visitas. O processo de roteirização tem como os objetivos principais permitir serviços de alto nível aos clientes, mantendo os custos operacionais e de capital com o menor valor possível. Em contrapartida, acatar algumas restrições como: concentração do ponto de entrega, horários, capacidade de veículo, jornada de trabalho dos motoristas e as restrições de trânsito. O problema de roteirização busca encontrar uma rota de passagem pelos pontos em estudo e uma programação de horários relacionada a cada rota. Portanto, deve-se encontrar a “melhor sequência” apresentada de forma gráfica ou por tabelas.

Ainda segundo Arthur et al (2019) afirma que, a frequência de problemas de roteirização na distribuição de produtos e serviços e em decorrência de alguns fatores como:

- Entrega, em domicílio, de produtos comprados em lojas de varejo ou pela Internet;
- Distribuição de produtos dos centros de distribuição para as lojas de varejo;
- Distribuição de bebidas em bares e restaurantes;
- Distribuição de dinheiro para caixas eletrônicos de bancos;
- Distribuição de combustíveis para postos de gasolina;
- Coleta de lixo urbano;
- Entrega domiciliar de correspondência;

2.2.1 Problema de roteirização, sem restrição

Calheiros (2017), o problema de roteirização sem restrições recebe o nome de PCV – Problema do Caixeiro Viajante. O PCV consiste no caso em que um caixeiro viajante tem de visitar um certo número de cidades localizadas numa região, devendo achar a sequência que minimize o custo total.

Para Taha (2007), o problema procura achar um caminho de circuito fechado que visite n cidades de uma única vez como demonstrado na figura 2 com um problema com 6 vértices que em aplicações reais podem significar pontos de coleta e entregas ou até mesmo tarefas a serem executadas. Para melhor entendimento, considere-se os vértices abaixo como cidades em que o ponto de partida é a cidade 1.

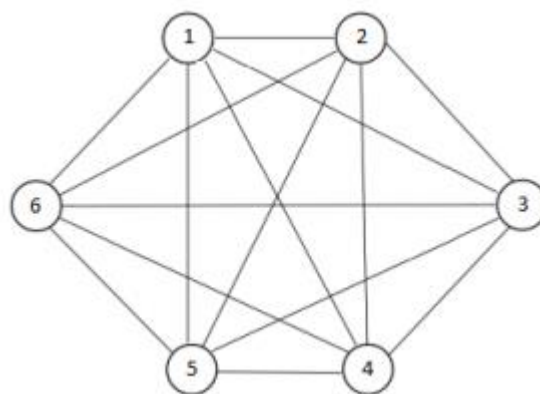


Figura 1: O autor (2021)

Dessa forma, cada vértice é ligado a outros arcos que podem representar distâncias, tempos, custos e entre outros.

De acordo com Calheiros (2017), é um dos problemas mais analisados e estudados na otimização computacional, ou seja, um ciclo que atravesse cada vértice de uma vez e possua o somatório mínimo das arestas onde a variável binária associada ao arco seja uma solução “ótima” dentre as diversas soluções exatas para o problema, baseadas na eliminação das restrições e produzindo um problema linear.

2.2.2 Problema de roteirização, com restrição

Segundo Arthur (2019), para solucionar o problema de PRV deve-se analisar as seguintes variáveis:

- Número de veículos envolvidos;
- Capacidades destes veículos;
- Pontos de paradas em cada roteiro;
- Sequências de paradas;

Em relação a questão da roteirização existe diversas possibilidades, com as seguintes ramificações:

- Problemas com pontos fixos;
- Problemas com pontos variáveis;
- Problemas com pontos concentrados;
- Problemas com pontos espaçados;
- Problemas restritos por janelas de tempo;
- Problemas sem restrição de janelas de tempo;
- Problemas com restrição de unicidade;
- Problemas com restrições de frota;
- Problemas com restrições de precedência;
- Problemas de restrições temporais;
- Problemas de múltiplos depósitos;
- Problemas com frota não homogênea;
- Problemas com demanda incerta dos clientes;
- Problemas com múltiplos objetivos;

2.3 *Vehicle routing spreadsheet solver*

Para o desenvolvimento da solução para a empresa objeto do estudo de caso, foi utilizada a aplicação desenvolvida em Excel “Vehicle Routing Problem Spreadsheet Solver”, desenvolvida pelo professor Güneş Erdoğan (2017).

O algoritmo de solução unifica Excel, SIG público e metaheurísticas. Pode resolver problemas de roteamento de veículos com até 200 clientes. A figura 1 exibe a tela inicial

Sequence	Parameter	Value	Remarks
0.Optional - GIS License	Bing Maps Key		You can get a free key at https://www.bingmapsportal.com/
1.Locations	Number of depots	1	[1,20]
	Number of customers	10	[5,200]
2.Distances	Distance / duration computation	Bing Maps driving distances (km)	
	Bing Maps route type	Fastest	Recommendation: use Fastest
	Average vehicle speed	70	Not used for the 'Bing Maps driving distances' options
3.Vehicles	Number of vehicle types	1	Heterogeneous VRP if greater than 1
4.Solution	Vehicles must return to the depot?	Yes	Open VRP if no return
	Time window type	Hard	
	Backhauls?	No	If activated, delivery locations must be visited before pickup locations
5.Optional - Visualization	Visualization background	Bing Maps	
	Location labels	Blank	
6.Solver	Warm start?	Yes	
	Show progress on the status bar?	No	May slow down the optimization algorithm
	CPU time limit (seconds)	60	Recommendation: At least 60 seconds

Fonte: Erdog n (2017)

Essa planilha armazena e fornece informa es para o restante das planilhas. Ele cont m vários parâmetros relacionados ao tamanho da instância sendo resolvida e suas características, incluindo o número de depósitos e clientes, o número de tipos de veículos e a largura das janelas de tempo. (PRESTES, 2016).

2.3.1 Planilha de localidades

De acordo com Valeri (2019), o caminho mais curto é composto por nós, destinados para origem e arestas, que conectam os nós e representam o fluxo. Esta estrutura é composta por nós, ou seja, localiza es pontuais onde os fluxos se originam ou terminam, e arestas, que conectam os nós e representam os referidos fluxos.

Os detalhes sobre os locais, incluindo seus nomes, endereços, coordenadas, janelas de tempo e requisitos de serviço de coleta e entrega são mantidos nesta planilha. As coordenadas podem ser inseridas manualmente, ou copiadas e coladas de uma fonte externa ou preenchidas usando o serviço da web do GIS com base nos endereços inseridos pelo usuário. É uma boa prática fornecer um código postal com todos os endereços, uma vez que os endereços vagos podem corresponder a pontos inacessíveis, por ex. o endereço de um parque sendo resolvido no meio de um lago.   possível proibir que os veículos visitem determinados clientes usando as op es nesta planilha, para uma rápida análise hipotética sem modifica o de dados. A figura 2 mostra a planilha de localidades (ERDOGAN, 2017).

Location ID	Name	Address	Latitude (y)	Longitude (x)	Time window start	Time window end	Must be visited?	Service time	Pickup amount	Delivery amount	Profit
0	Depot	London, UK	51.5064201	-0.1272100	00:00	23:59	Starting location	0:00	0	0	0
1	Customer 1	Leicester, UK	52.6346016	-1.1283000	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
2	Customer 2	Nottingham, UK	52.9452019	-1.1407501	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
3	Customer 3	Bristol, UK	51.4537888	-2.5916800	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
4	Customer 4	Southampton, UK	50.9146004	-1.3452899	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
5	Customer 5	Portsmouth, UK	50.8170013	-1.0736500	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
6	Customer 6	Colchester, UK	51.8832016	0.9101500	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
7	Customer 7	Reading, UK	51.4535217	-0.9630100	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
8	Customer 8	Coventry, UK	52.4370003	-1.5264100	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
9	Customer 9	Cambridge, UK	52.2284012	0.1118500	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0
10	Customer 10	Oxford, UK	51.7471008	-1.2568700	00:00	23:59	Must be visited	0:00	0	0	0

Fonte: Erdog n (2017)

2.3.2 Planilha de distâncias

De maneira geral, os caminhos a serem percorridos em qualquer circunstância podem ser simétricos, que define a mesma distância a ser percorrida na ida e na volta de um roteiro, ou assimétricos que

considera distâncias diferentes. A versão assimétrica é mais pragmática devido à dinâmica do trânsito que, nem sempre permite o retorno pelo mesmo caminho da ida. (PRESTES, 2016).

Esta planilha contém as distâncias e as durações de viagem entre cada dois pontos especificados na planilha 1. Locations. O número de locais para os quais a matriz de distância pode ser calculada é limitado pelo serviço da web do GIS e pelo tipo de acesso que o usuário tem a ele. O VRP Spreadsheet Solver fornece uma estimativa do tempo necessário para essa etapa, simplesmente multiplicando o número de entradas na matriz de distância por um fator de 0,1 s (ERDOĞAN, 2017).

O parâmetro sobre o tipo de rota (mais curta ou mais rápida) é crucial. A escolha do caminho mais curto normalmente encontra rotas que passam pelos centros das cidades, que estão sujeitas a limites rígidos de velocidade e tráfego intenso. Portanto, usar a rota mais rápida geralmente é uma opção melhor para operações de entrega de longa distância. Por outro lado, as rotas mais rápidas podem acabar usando as rodovias periféricas da cidade com muita frequência e, conseqüentemente, os caminhos mais curtos podem ser mais adequados para as empresas que realizam operações de entrega intra-cidade. Também é possível recuperar durações de condução em tempo real com base no tráfego, que é calculado e fornecido pelo serviço da Web do GIS. O usuário pode proibir os veículos de viajar entre dois locais determinados, definindo manualmente a distância relevante para um valor alto (ERDOĞAN, 2017).

From	To	Distance	Duration	Method:	Bing Maps driving distances (km)
Depot	Depot	0.00	0:00		
Depot	Customer 1	165.96	2:03		
Depot	Customer 2	204.20	2:26		
Depot	Customer 3	190.83	2:05		
Depot	Customer 4	133.86	1:32		
Depot	Customer 5	118.63	1:34		
Depot	Customer 6	108.03	1:25		
Depot	Customer 7	65.75	0:55		
Depot	Customer 8	162.24	1:56		
Depot	Customer 9	107.05	1:18		
Depot	Customer 10	95.77	1:17		
Customer 1	Depot	166.45	2:02		
Customer 1	Customer 1	0.00	0:00		
Customer 1	Customer 2	43.33	0:44		
Customer 1	Customer 3	190.82	2:15		
Customer 1	Customer 4	234.88	2:32		
Customer 1	Customer 5	257.21	2:46		
Customer 1	Customer 6	203.74	2:28		
Customer 1	Customer 7	168.02	2:08		

Fonte: Erdogã (2017)

2.3.3 Planilha de veículos

De acordo com Erdoğan (2017), os dados sobre os tipos de veículo são mantidos nesta planilha. O usuário pode definir o número de veículos de cada tipo que são mantidos em cada depósito. Os dados incluem parâmetros de custo, tais como o custo por unidade de distância e o custo por viagem, bem como parâmetros operacionais, e o depósito, a capacidade, o limite de tempo de condução e o limite de distância do veículo. Apenas existe um parâmetro de capacidade, que pode corresponder à capacidade de carga dos caminhões no caso de uma operação de escavação, à capacidade volumétrica dos caminhões-tanque no caso de transporte de óleo ou ao número máximo de passageiros no caso de ônibus escolar.

Starting depot	Vehicle type	Capacity	Fixed cost per trip	Cost per unit distance	Distance limit	Work start time	Driving time limit	Working time limit	Return depot	Number of vehicles
Depot	Minibus	15	0.00	1.00	450.00	08:00	9:00	10:00	Depot	2
	Midibus	30	0.00	1.25	500.00	08:00	9:00	10:00	Depot	2
	Bus	42	0.00	1.75	560.00	08:00	9:00	10:00	Depot	1

Fonte: Erdogã (2017)

Assim, a escolha dos veículos mais adequados para o transporte nas operações influi diretamente nos indicadores financeiros diários e mensais pois, cada tipo de veículo implica diferentes custos variáveis e fixos para empresa. Lazzari (2018)

2.3.4 Planilha de solução

Esta planilha é gerada para conter a lista de paradas para cada veículo especificado em 3. Veículos, e usa a informação em 1. Localidades para quanto a tempos de serviço e quantias de coleta / entrega, como também a distância e duração em 2. Distâncias para calcular a partida / chegada vezes o custo de viajar entre os clientes (ERDOĞAN, 2017). Esta planilha contém vários recursos de formatação condicional que são projetados para identificar visualmente soluções impossíveis e facilitar a construção de solução manual. Por exemplo, um veículo que excede sua capacidade ou limite de distância, ou um cliente sendo visitado fora de sua janela de tempo, é destacado em vermelho. Também é possível copiar e colar listas de clientes entre rotas de veículos com a finalidade de modificação manual das rotas.

Total net profit:		-1569.90									
Vehicle:	V1 (Minibus)	Stops:	4	Net profit:	-404.69			Vehicle:	V2 (Minibus)		
Stop count	Location name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Load	Stop count	Location name	
0	Depot	0.00	0:00	08:00	08:00	0:00	0	0	0	Depot	
1	Customer 10	95.77	1:17	09:17	09:17	1:17	0	0	1	Customer 5	
2	Customer 3	213.47	2:40	10:40	10:40	2:40	0	0	2	Customer 4	
3	Customer 7	339.35	4:04	12:04	12:04	4:04	0	0	3	Depot	
4	Depot	404.69	4:59	12:59		4:59	0	0	4		
5									5		
6									6		
7									7		
8									8		
9									9		
10									10		
11									11		
Detected reasons of infeasibility											

Fonte: Erdogan (2017)

2.3.5 Planilha de visualização

De acordo com Lazzari (2018), os locais e as rotas dos veículos podem ser observados visualmente nesta planilha considerada opcional. As opções no Console do VRP Solver podem ser configuradas para exibir vários detalhes sobre os locais, incluindo os valores de coleta / entrega ou os tempos de serviço com intuito de analisar e observar a rota mais efetiva que atenda todos os pontos que a distância seja minimizada. Esta planilha simplesmente contém um gráfico de dispersão com o mapa da região recuperado do serviço da web do GIS. Pode ser formatado pelas opções de eixos menores ou maiores, ou de exibição, para assim atender as necessidades do usuário como qualquer outro objeto gráfico do Excel caso necessite alterações pertinentes.



Fonte: Erdoğan (2017)

2.3.6 Menu de solução ótima

A solução ótima para o problema é encontrada após o preenchimento das planilhas anteriores e clique no botão “Engage VRP Spreadsheet Solver”. Em média demora-se 60 segundos para encontrar a solução. A solução é encontrada na aba 4. Solution.

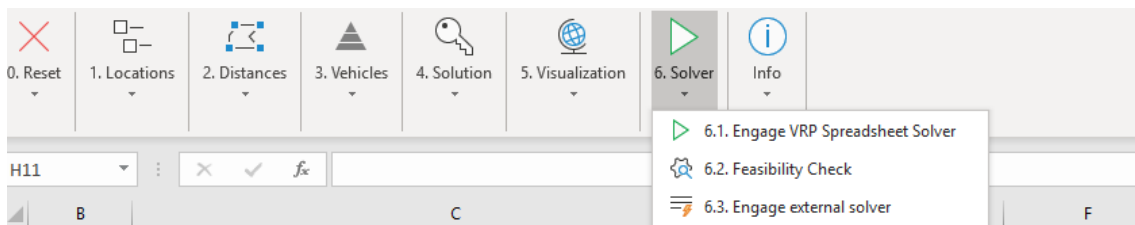


Figura 7 – Menu para encontrar solução ótima Fonte: Erdoğan (2017)

3 Estudo de caso

A Ultra Transportes LTDA (Ultra Trans) é uma Prestadora de Serviços em Logística e Transportes (PSLT) que iniciou as suas atividades em janeiro de 2019. O nicho de atuação da empresa é no Transporte Rodoviário Fracionado de cargas secas gerais na região do ABC e Grande São Paulo.

Devido ao bom nível de serviço providenciado pela empresa e crescimento na Região do ABC, a Ultra Trans foi convidada a participar de um processo de Bidding (licitação) em Transportes e se posicionou como a melhor empresa no processo, onde a partir de Junho de 2019 passou a prestar os seus serviços para rede de supermercados COOP. Devido recente abertura da empresa, o setor de roteirização ainda não estava capacitado para devida demanda. Posto isso, a diretoria da Ultra Trans decidiu optar pela contratação da uma consultoria logística para realização do projeto de roteirização para atender a COOP, buscando maior nível de serviço, otimização do uso da frota, otimização da capacidade dos veículos e ao menor custo total possível.

O serviço a ser prestado é referente a distribuição de paletes completos para 6 supermercados da rede, partindo do Centro de Distribuição da COOP em Santo André/SP em uma operação de 30 dias no mês. A figura a seguir mostra o posicionamento geográfico do Centro de Distribuição da COOP e dos supermercados a serem atendidos pela Ultra Trans:



Figura 7 – Posicionamento geográfico do CD e Supermercados

As 6 marcações dos pontos de entrega no mapa indicam a localização dos supermercados e a marcação central acima dos pontos dos supermercados no mapa sinaliza a posição do Centro de Distribuição. A tabela a seguir traz as informações gerais da operação no Centro de Distribuição e nos Supermercados geograficamente pulverizados.

Tabela 1 – Informações Gerais da Operação

Identificação	Local	Coordenadas		Janela de Entrega / Coleta		Tempos (Minutos)		Demanda Diária (Paletes)	
		Latitude	Longitude	Início	Fim	Carga	Descarga	Coleta	Entrega
Centro de Distribuição	CD Santo André COOP	-23,62028	-46,53879	07:00	08:00	60	-	16	-
Supermercado	Unidade Barcelona	-23,62896	-46,55286	06:00	22:00	-	30	-	10
Supermercado	Unidade Olímpico	-23,63597	-46,56421	08:30	09:50	-	30	-	4
Supermercado	Unidade Oswaldo Cruz	-23,63049	-46,56642	07:00	14:00	-	30	-	10
Supermercado	Unidade Campestre	-23,63975	-46,54009	06:00	22:00	-	45	-	12
Supermercado	Unidade Pq. Das Nações	-23,63884	-46,51727	06:00	11:00	-	45	-	8
Supermercado	Unidade M. Francisco	-23,6267	-46,51894	06:00	22:00	-	25	-	11

Cada supermercado possui a sua demanda diária de paletes completos, janela de entrega pré-determinada que necessita ser rigorosamente cumprida em alguns casos e a operação de descarga.

3.1 Análise dos dados, resultados e discussões

Para a operação, a empresa utilizou 2 veículos da categoria Truck, com custo fixo de R\$ 399,94 por viagem e custo variável de R\$ 6,20 por km rodado e 1 veículo Bitruck Sider, o qual o custo fixo por viagem é R\$ 483,50 e com custo variável de R\$ 8,90 por km rodado. Cada Truck possui capacidade para 16 paletes e o Bitruck Sider possui capacidade para 28 paletes, iniciam a jornada as 07:00, com limite máximo de 9 horas de jornada por dia e 8 horas no máximo de tempo dirigindo. Estas informações foram gentilmente fornecidas pelo departamento de Logística da Ultra Trans.

Após a inserção das informações acima na *VRP Spreadsheet Solver*, foi possível obter o relatório de solução abaixo, para cada veículo.

Tabela 2 – Relatório de Solução para o Truck 1

Veículo: Truck 1		Paradas: 2		Janela de Atendimento		Tempo Rodando	Demanda (Paletes)	
Parada	Local	Distância Percorrida (Km)	Tempo em Trânsito (Min)	Horário de Chegada	Horário de Partida		Coletado	Entregue
0	CD Santo André COOP	0,00	0:00	7:00	8:00	0:00	11	0
1	Unidade M. Francisco	2,76	0:06	8:06	8:31	0:31	0	11
2	CD Santo André COOP	5,73	0:13	8:38	-	0:38	0	0

Como pode ser observado, para o Truck 1 a distância total diária percorrida é de 5,73 km com 38 minutos rodados por dia. É possível verificar que as janelas de tempo e as demandas foram plenamente atendidas, assim como a capacidade de 16 paletes do veículo.

Tabela 2 – Relatório de Solução para o Truck 2

Veículo: Truck 2		Paradas: 3		Janela de Atendimento		Tempo Rodando	Demanda (Paletes)	
Parada	Local	Distância Percorrida (Km)	Tempo em Trânsito (Min)	Horário de Chegada	Horário de Partida		Coletado	Entregue
0	CD Santo André COOP	0,00	0:00	7:00	8:00	0:00	16	0
1	Unidade Campestre	2,81	0:05	8:05	8:50	0:50	0	12
2	Unidade Olímpico	7,30	0:16	9:01	9:31	1:31	0	4
3	CD Santo André COOP	13,38	0:30	9:45	-	1:45	0	0

Para o Truck 2, a distância total diária percorrida é de 13,38 km com 1 hora e 45 minutos rodados diariamente. Novamente, demandas e janelas de tempo foram plenamente atendidas, assim como a capacidade de 16 paletes do veículo.

Tabela 3 - Relatório de Solução para o Bitruck Sider

Veículo: Bitruck Sider		Paradas: 4		Janela de Atendimento		Tempo Rodando	Demanda (Paletes)	
Parada	Local	Distância Percorrida (Km)	Tempo em Trânsito (Min)	Horário de Chegada	Horário de Partida		Coletado	Entregue
0	CD Santo André COOP	0,00	0:00	7:00	8:00	0:00	28	0
1	Unidade Oswaldo Cruz	5,10	0:13	8:13	8:43	0:43	0	10
2	Unidade Barcelona	7,18	0:19	8:49	9:19	1:19	0	10
3	Unidade Pq. Das Nações	12,17	0:31	9:31	10:16	2:16	0	8
4	CD Santo André COOP	15,94	0:40	10:25	-	2:25	0	0

Para o Bitruck Sider, a distância total diária percorrida é de 15,98 km com 2 hora e 25 minutos rodados diariamente. Novamente, demandas e janelas de tempo foram plenamente atendidas e a capacidade de 28 paletes do veículo.

Com essas informações em mãos, foi possível estimar o custo total mensal por cada veículo, de acordo com as tabelas a seguir.

Tabela 4 – Custo Mensal com o Truck 1

Custos - Truck 1	
Km Rodados por Dia	5,73
Custo Variável / Km	R\$ 6,20
Custo Variável Total / Viagem	R\$ 35,54
Custo Fixo por Viagem	R\$ 399,94
Viagens no Mês	30
Custo Total Mensal	R\$ 13.064,35

4 Considerações finais

O transporte rodoviário de cargas é parte vital para o funcionamento da economia brasileira. Em um mercado tão acirrado como é o mercado de transportes de cargas no Brasil, é de suma importância para as empresas terem um rigoroso controle dos seus custos e nível de serviço, uma vez que a concorrência é predatória e não dá espaços para problemas de gestão. Com base no trabalho que foi realizado, conclui-se que a utilização da aplicação em Excel *VRP Spreadsheet Solver* se mostrou eficiente, atendendo as exigências de janela de tempo, jornada de trabalho, demanda e capacidade dos veículos que prestam o serviço de transporte para a COOP.

Com a implementação da ferramenta descrita ao longo do artigo espera-se uma redução de tempo trabalho de entrega dos paletes entre os pontos de destinos dos supermercados, comparando as maiores rotas apontadas pela empresa, conseqüentemente reduzindo os custos. Visto que, alguns caminhos que estavam programados foram notados desvios e alguns GAP's ao planejamento do método "Menor Caminho" para atender as necessidades pois, o senso de urgência e imprevistos envolvendo a escolha dos veículos não eram feitos de maneira planejada e sim de maneira eventual e com o uso da ferramenta é possível ordenar priorizando a menor distância evitando que se percorra maiores distâncias entre as entregas.

Conclui-se que, o sistema é eficaz para atender ao objetivo estabelecido visto que, a maior preocupação era apenas para realização das entregas sem nenhum planejamento da operação. Posteriormente, será necessária uma nova análise para comprovar as melhorias trazidas a companhia.

Para futuros trabalhos referentes ao tema de roteirização de veículos com restrições operacionais, sugere-se o estudo com maiores restrições e custos extras que envolvem a complicada atividade de transporte de cargas. Ainda, é sugerido o uso deste roteirizador em cursos de logística, nas matérias voltadas para métodos quantitativos, pesquisa operacional e gestão de transporte de cargas e roteirização, uma vez mostrada a sua aplicabilidade e facilidade de uso.

Referências bibliográficas

ARTHUR, A.W, TROTTA, F (2019). **O problema de roteirização de veículos: conceitos, estratégias e métodos de solução. Um exemplo aplicação de um software comercial no sistema de coleta dos correios.**

BOTELHO, H.L, PEREIRA, A.J, SILVA, R.C, SILVA, C.A.M (2017). **Uma análise da roteirização de veículos em uma empresa da cadeia produtiva do aço.**

CALHEIROS, A. S. Z (2017). **O problema do caixeiro viajante com passageiro**

CRESWELL, J. W, CRESWELL, J. D (2021). **Métodos de Pesquisa.** Porto Alegre, editora Grupo a Educação S.A.

ERDOĞAN, G. (2017). **An open-source spreadsheet solver for vehicle routing problems.** Computers & Operations Research, v. 84, p. 62-72.

GAMA, B.M (2011). **Roteirização de veículos: Implementação e melhoria do método de Clarke e Wright.**

LAPORTE, G. (2009). **Fifty years of vehicle routing.** Transportation Science, v. 43, n. 4, p. 408-416.

LAZZARI, G.S (2018). **Problema de roteirização de veículos: Um estudo de caso em uma transportadora.**

MOREIRA, L. A, M, JUNIOR, F.M, TOLOI, C. R (2018). **O transporte rodoviário no Brasil e suas deficiências.**

PLANO NACIONAL DE LOGISTICA E TRANSPORTE. **Relatório Executivo.** Disponível em: http://www2.transportes.gov.br/PNLT/Sumario_Executivo.pdf. Acesso em: 05 abril 2021.

PRESTES, A.N. (2016). **Uma análise experimental de abordagens heurísticas aplicadas ao Problema doo Caixeiro Viajante.** Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências Exatas. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN.

TAHA, H.A (2007). **Pesquisa operacional.** 8. ed. Pearson.

VIEIRA, S. L. R. (2017). **Roteirização de veículos em centros urbanos: Uma proposta de modelo matemático aplicado ao serviço delivery de bicicleta.** Universidade federal do Espírito Santo.