LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

GESTÃO DE INSUMOS PARA MERENDA ESCOLAR UTILIZANDO UMA HEURÍSTICA DE ROTEIRIZAÇÃO DE ENTREGAS

Victor Amorim Porto Farias
Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste
Rodovia BR-104, Km 59, Av. Marielle Franco, s/n, Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55014-900
victor.porto@ufpe.br

José Leão e Silva Filho
Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste
Rodovia BR-104, Km 59, Av. Marielle Franco, s/n, Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55014-900
ze.leao@ufpe.br

Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente
Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste
Rodovia BR-104, Km 59, Av. Marielle Franco, s/n, Nova Caruaru, Caruaru - PE, 55014-900
tharcylla.clemente@ufpe.br

RESUMO

No nordeste brasileiro, o número de oferta de vagas em escolas públicas tem atraído muitos estudantes que, em especial, estudam em escolas que oferecem merenda. Para uma boa gestão dos insumos para a merenda escolar, é fundamental a aplicação da logística, que envolve a distribuição dos alimentos. É realizada a explanação de um estudo de caso em uma gestão municipal no interior de Pernambuco. Para isso, realizou-se uma nova proposta de programação das rotas de distribuição de alimentos para merenda escolar, baseada na heurística do Vizinho Mais Próximo e do algoritmo Clark Wright para problemas de roteirização de veículos. A nova programação apresentou uma redução no número de caminhões utilizados, além da redução da distância total. Por fim, o estudo teve como objetivo evitar que carros menores fossem solicitados para suprir a falta de alimentos, minimizando ainda mais os custos.

PALAVRAS CHAVE. Roteirização de Veículos, Distribuição de Alimentos, Gestão de Merenda Escolar.

Tópico: PO na Administração e Gestão da Produção

ABSTRACT

In the Northeast of Brazil, the number of vacancies in public schools has attracted many students who, in particular, study in schools that offer school meals. For a good management of inputs for school meals, it is essential to apply logistics, which involves the distribution of food. The explanation of a case study in a municipal administration in the interior of Pernambuco is carried out. To this end, a new proposal was made for programming food distribution routes for school meals, based on the Nearest Neighbor heuristic and the Clark Wright algorithm for vehicle routing problems. The new schedule presented a reduction in the number of trucks used, in addition to a reduction in the total distance. Finally, the study aimed to prevent smaller cars from being requested to make up for the lack of food, further minimizing costs.

KEYWORDS. Vehicle Routing. Food Distribution. School Meal Management.

Paper topic: OR in Administration and Production Management

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

1. Introdução

O Brasil possui 47,3 milhões de estudantes, considerando todas as etapas educacionais, distribuídos em 178,5 mil escolas [Inep 2024]. De acordo com a Secretaria de Comunicação Social [2023], Pernambuco é o estado brasileiro com maior percentual de estudantes do ensino médio em instituições de ensino integral, sendo esse percentual de 62,5% (2022), onde em 2021 esse índice era de 58,5%. Ainda de acordo com a secretaria, a proporção de matriculados no ensino fundamental também apresentou um crescimento (de 3,9% para 7,8%).

Nesse sentido, devido à alta demanda de alimentos nas escolas pernambucanas, que vem apresentando um aumento no número de alunos matriculados, a distribuição de insumos para a merenda escolar é de suma importância, onde o papel da logística é essencial por estar diretamente relacionada ao fluxo dos produtos até as escolas. A quantidade de alimentos deve chegar e suprir corretamente à demanda das escolas, pois uma escola não ter o que ofertar em um dia, pode trazer impactos negativos e em pequena e larga escala. A logística não envolve apenas a locomoção dos veículos até o seu destino, mas envolve também o planejamento dos recursos, para saber além da quantidade, quando enviar e de que forma enviar. Estudos recentes apresentam resultados que envolvem a distribuição de insumos para merenda escolar com impactos significativos. Mcloughlin et al. [2020] mostraram como escolas gerenciaram a distribuição de refeições durante a pandemia da COVID-19, enfatizando como elas trabalham para melhorar a distribuição desses alimentos, já Granillo-Macías [2021] abordou em seu estudo a otimização da logística de distribuição e entrega de alimentos em um programa de alimentação escolar, utilizando modelos matemáticos que incluem distância de transporte e roteirização de veículos por meio de diferentes *clusters*.

As decisões de distribuição e transporte são expressas de diversas formas, sendo as principais a roteirização e programação de veículos [Toigo et al. 2007]. Técnicas de pesquisa operacional estão muito presentes na resolução de problemas de transporte, onde são utilizadas desde a minimização de custos de transporte florestal [Lachini et al. 2018] como para resolver problema de logística em transporte rodoviário de cargas [de Lima et al. 2018].

Com isso, este estudo tem como objetivo elaborar um plano de rotas que atenda a demanda das escolas municipais de uma cidade do interior pernambucano, de modo que não deixe faltar os alimentos das refeições diárias dos estudantes, além de minimizar a distância total e o tempo de percurso. Este estudo apresenta uma programação de roteirização e programação de distribuição de insumos escolares com base na heurística do Vizinho Mais Próximo (VMP) e auxílio do algoritmo Clark Wright para Problema de Roteamento de Veículos (*Vehicle Routing Problems* - VRP), onde o intuito é melhorar o plano de rotas atual.

2. Base conceitual

O estudo pretende implementar um algoritmo de roteirização para lidar com o problema de distribuição de insumos para merenda escolar, onde a busca do algoritmo foi para trabalhar com as questões logísticas, envolvendo distância, duração do percurso, demanda, entre outros fatores.

2.1 Distribuição de Insumos para Merenda

A logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências do cliente [Ballou 2006], se tornando parte vital para se obter eficiência nos processos. Com base no estudo de Figueiredo e Arkader [1998], a logística evoluiu de um tratamento mais estrito, voltado para a distribuição física de materiais e bens, para um escopo mais abrangente, em que se considera a cadeia de suprimentos como um todo e as atividades de compra, administração de materiais e distribuição.

A distribuição de insumos para merenda escolar, em geral, é feita por meio do planejamento, controle e armazenamento dos produtos, onde esse gerenciamento tem início na saída dos produtos do seu centro de distribuição (CD), até chegar às escolas. O desafio é levar a quantidade e variedade de alimentos no tempo certo, com o acondicionamento correto, para suprir as necessidades dos alunos dependentes de merenda. Todo esse processo requer a aplicação da logística e gestão dos produtos.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

Chopra et al. [2011] afirmam que a utilização de CD pode gerar uma economia na cadeia de suprimentos quando os fornecedores estão longe dos locais de compra e os custos de transporte são elevados. O CD serve como um ponto de abastecimento que proporciona agilidade no tempo de resposta numa eventual necessidade de reposição [Barros 2005]. Esse fluxo de insumos, que vai ocorrer entre os CD e as escolas, requer um gerenciamento com aplicação da logística. Um dos processos no qual a logística está inclusa é na área de roteirização, que está ligada ao transporte.

2.2 Modelo de Roteirização de Veículos

De acordo com Gilbert [2016], após a descoberta do problema de roteamento por Dantzig e Ramser [1959], houve um número expressivo de obras sobre o assunto. Isso se deve ao fato de que a roteirização de veículos vem apresentando sua importância, principalmente no século 21, onde a frota de veículos vem aumentando em escala mundial [Marín e Queiroz 2000]. A roteirização permite que o processo de saída e entrega de um produto ocorra, no qual pode ser entendida como uma otimização da programação operacional de um ou mais veículos [Damian 2018], e quando essa roteirização não é eficiente, pode ocorrer redução no nível de serviço da organização [Menchik 2010].

Os problemas de roteirização de veículos (*Vehicle Routing Problems* – VRPs), que são de natureza combinatória, pertencem a uma categoria ampla de problemas de pesquisa operacional conhecida como problemas de otimização de rede [Belfiore et al. 2006], sendo classificado como uma extensão do problema do caixeiro viajante (*Traveling Salesman Problem* – TSP) [Dutra et al. 2022]. Nessa categoria, encontram-se problemas clássicos, como problema de fluxo máximo, problema do caminho mínimo, problema de transporte e problema de designação [Golden et al. 1981]. Um dos primeiros estudos a trabalhar com VRPs foi Clarke e Wright [1964], onde os autores afirmam que encontrar a rota ideal de uma frota de caminhões, de um depósito central até vários pontos de entrega, pode exigir uma seleção entre um grande número de rotas possíveis, se o número de pontos de entrega também for grande.

Em adição, a roteirização de carga é o processo de programação da distribuição da carga em rotas ou roteiros de entrega, realizando o cruzamento de informações de volume/peso da carga, capacidades dos veículos e locais de entrega, a fim de obter o melhor resultado em termos de ocupação dos caminhões e cumprimento dos prazos de entrega [Rago 2002].

Segundo Laporte [1992], os problemas de roteirização de veículos são solucionados a partir de algoritmos exatos que resultam em soluções ótimas para o problema. Lenstra e Kan [1981] analisaram a complexidade de VRPs e concluíram que esses problemas são NP-*hard* (entre eles, o TSP e o clássico VRP), pois não são resolvidos em tempo polinomial. Já Bodin [1990] afirma que muitos dos problemas descritos na literatura modelam de forma simplificada os problemas reais.

Entre as heurísticas abordadas nos VRPs, o presente estudo se propõe a desenvolver a heurística do VMP, onde de acordo com Goldbarg e Luna [2000], explicam a heurística da seguinte forma: Partindo da origem, adiciona-se a cada passo o vértice ainda não visitado, cuja distância para o próximo vértice não visitado seja a menor. Assim que todos os vértices forem visitados, é feita uma conexão entre o último e o primeiro vértice, finalizando o processo.

2.3 Algoritmo de Clarke Wright para o VRP

A heurística é baseada em uma estimativa da redução de custo ao servir dois clientes sequencialmente na mesma rota, em vez de duas rotas separadas [Wilhelm 2019]. Sendo i a última escola de uma rota e j a primeira de outra rota, a economia associada é definida como mostra a Equação 1.

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}. \qquad \text{eq.1}$$

Onde se S_{ij} for positivo, ter i e j consecutivamente em uma rota é lucrativo, onde C_{ij} é o custo da viagem partindo de uma escola i a uma escola j e 0 representa o CD. O algoritmo proposto pelo presente estudo é descrito como segue.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

Algoritmo Clarke Wright para o VRP
INICIALIZAÇÃO
01: ***Rotule*** *os clientes como nós (1, ..., n) e denomine o CD de nó 0*
02: ***Determine*** *os custos C_{ij} para viajar entre todos os pares de escolas e o CD i = 0, 1, ..., n, j = 0, 1, ..., n*
03: ***Selecione*** *o armazém como o nó central*
04: ***Calcule*** *as economias $S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$, para i = 1, ..., n, i≠j.*
05: ***Crie*** *n rotas de veículos 0-i-0 para i = 1, ..., n.*
06: ***Ordene*** *as economias, S_{ij}, da maior à menor.*
07: ***Fim***
PROCESSO DE VERIFICAÇÃO
08: ***Se*** *i e j não estão em nenhum roteiro* ***Faça****:*
09: *Criar um roteiro com i e j → 0-i-j-0*
10: ***Senão*** *(i, ou j, ou ambos estão em algum roteiro)*
11: ***Se*** *somente um nó, ou i, ou j, está em um roteiro*
12: ***Então Se*** *este nó é um extremo de um roteiro*
13: *Agregar (i, j) ao roteiro*
14: ***Senão:*** *Abandonar a aresta (i, j)*
15: ***Senão*** *os dois nós estão em algum roteiro*
16: ***Fim Se***
17: ***Fim Se***
18: ***Fim Se***
19: ***Se*** *i e j estão em roteiros diferentes* ***Faça***
20: ***Então Se*** *i e j são extremos de seus roteiros*
21: *Unir os dois roteiros*
22: ***Senão****: Abandonar a aresta (i, j)*
23: ***Senão*** *i e j estão no mesmo roteiro*
24: ***Adicionar*** *rota em rotas_geradas*
25: ***Fim Se***
26: ***Fim Se***
27: Abandonar aresta (i, j)
28: ***Se*** *houver nós desconectados do CD* ***Faça****:*
29: ***Para*** *cada nó desconectado i:*
30: ***Criar*** *um roteiro individual: 0 – nós desconectados – 0*
31: ***Fim Para***
32: Fim Se
EXIBIÇÃO DO ROTEIRO
33: ***Para*** *cada roteiro em rotas_geradas:*
34: ***Imprimir*** *roteiro*
35: ***Fim Para***

Fonte: Adaptado de Wilhelm [2019]

Após ordenar as economias, assumimos a aresta (i, j) a partir do topo da lista da economia. Então, executa-se procedimento específico para verificar se os nós i e j já estão em alguma outra rota e por isso possuem restrições para compartilharem da mesma rota. Na verificação, é averiguado se há a possibilidade de conectar os dois nós, além de averiguar se as restrições de tempo e capacidade estão sendo atendidas.

3. Metodologia de Pesquisa

A Figura 1 apresenta o procedimento sequencial que guiou a pesquisa ao problema proposto. A etapa inicial compreende uma análise do que é abordado nos estudos relacionados ao tema de gestão de insumos escolares, com o objetivo de direcionar essa pesquisa. Com base nesse direcionamento, a coleta e análise dos dados necessários para a pesquisa é feita. A coleta dos dados é realizada com base em entrevistas aos gestores que trabalham no centro de distribuição, onde são feitas as coletas dos alimentos para distribuição. As informações são passadas em formato de

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

documento, onde mostram os quais são e os gêneros dos alimentos, as rotas utilizadas, disponibilidade e capacidade dos caminhões, entre outros.

Com base nas informações obtidas, é que vem a etapa de definição e aplicação do método heurístico que se adeque ao problema, dentre vários que são abordados em problemas de roteirização. O método escolhido foi o do VMP, que foi aplicado por meio do *Google Maps*. Com isso, ocorre a análise e delimitação do problema em questão, onde é visto a situação real, suas limitações e o que pode ser feito para alcançar os objetivos propostos.

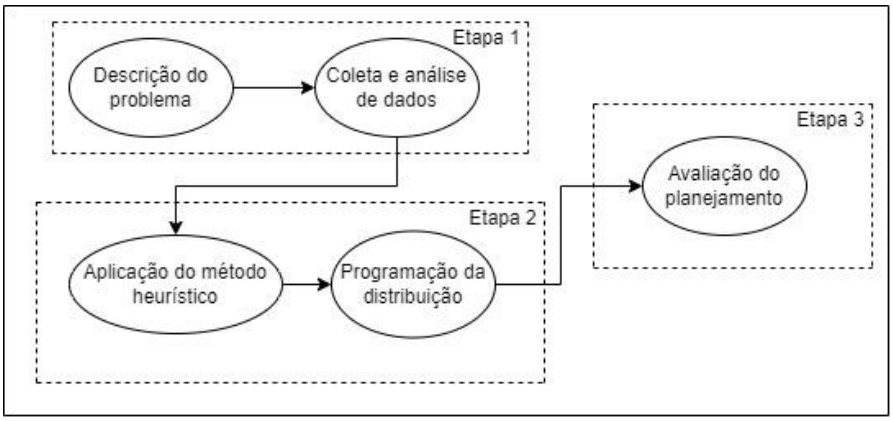


Figura 1 – Etapas do estudo

Posteriormente é apresentada uma programação da distribuição dos alimentos para as escolas, com o intuito de mostrar uma melhor eficiência em relação ao planejamento atual, reduzindo o número de rotas, gerando uma menor distância e atendendo a demanda. Por fim, as análises do que foi melhorado são vistas na avaliação desse planejamento, onde são feitos comparativos.

4. Estudo de Caso

O presente estudo examina um caso da logística de distribuição de insumos alimentares para as escolas municipais de uma cidade do interior de Pernambuco. A correta distribuição de alimentos é fundamental para garantir que as necessidades nutricionais dos alunos sejam atendidas, o que depende diretamente de entregas pontuais e precisas. No entanto, o processo atual de distribuição apresenta diversas ineficiências devido à falta de um planejamento estruturado. Isso não só resulta em uma logística desorganizada, como a torna ineficiente. O presente estudo foca na melhoria do planejamento de roteirização dos veículos de entrega, a fim de que a programação seja eficiente e capaz de entregar a quantidade demandada no tempo correto.

4.1 Etapa 1

Esse estudo de caso foi feito em escolas municipais de uma cidade do interior de Pernambuco, totalizando 144 escolas localizadas na zona urbana e rural dessa cidade. Um dos deveres de cada escola é fornecer a quantidade certa de alimentos nas refeições dos alunos, atendendo as necessidades nutricionais e dependendo das entregas em dia. Cada escola é dividida em 3 categorias: Creches (CMEI); ensino fundamental (localizados na zona rural e urbana) e ensino fundamental integral (ETI). As creches são os alunos entre 4 e 5 anos de idade, e o ensino fundamental são para alunos de 6 a 15 anos. O que vai diferenciar entre os tipos de escolas é o quantitativo de refeições, impactando na demanda.

O CD é de onde saem os alimentos, contando com a disponibilidade de 06 caminhões de mesmo porte para locomoção dos insumos para as escolas, no qual essa distribuição é centralizada, onde os motoristas seguem o planejamento do gerente administrativo que trabalha no CD e ao fim da rota, voltam ao CD. A decisão do ordenamento de entrega das escolas é do motorista. São distribuídos um total de 39 alimentos, que são divididos em 3 categorias: Gêneros secos (GS),

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

hortifrúti (H) e proteínas (P). Na Tabela 1 é feita a divisão dos alimentos por tipo, o peso do lote que é pedido cada alimento e quanto é demandado por aluno. A administração atual do local atribui a categoria GS para os alimentos que não são nem H nem P, independente de qual alimento seja.

A distribuição deve levar em consideração a capacidade máxima de cada caminhão, que é de 4 toneladas, onde essa capacidade não pode ser ultrapassada em nenhuma hipótese. Também deve ser levado em consideração que as demandas de cada escola variam de acordo não só com o nível de escolaridade, mas também com o quantitativo de alunos matriculados. Outro fator que vai influenciar nas rotas é a questão da distância, no qual 63 escolas (43,75%) estão localizadas na zona urbana e 81 escolas (56,25%) estão localizadas na zona rural, no qual elas são divididas em pequeno, médio e grande porte, onde é notável que a maioria é de pequeno porte. Um total de 92 escolas (63,89%) são de pequeno porte, 32 (22,22%) de médio porte e 20 (13,89%) de grande porte.

Embora haja mais escolas na zona rural, a quantidade de alunos é mais baixa. As escolas da urbana contam com 36.185 alunos ativos (76,27%), enquanto as escolas da zona rural contam com 11.257 (23,73%). Isto chama a atenção para o fato de que há mais unidades escolares em uma distância maior do CD, porém a demanda é maior nas áreas mais próximas ao CD. Além disso, é importante considerar o nível de escolaridade dos alunos, onde alunos do fundamental consomem mais nas refeições do que os do CMEI, por exemplo.

Alimentos	**Lote (kg)**	**Quantidade por aluno**		**Tipo**	**Alimentos**	**Lote (kg)**	**Quantidade por aluno**		**Tipo**
		(CMEI)	**(Fund.)**				**(CMEI)**	**(Fund.)**	
Açúcar	30	7	5	GS	Abacaxi	1,4	100	130	H
Amido de milho	8	15	30	GS	Alho	0,004	1	3	H
Aveia	5	15	30	GS	Alface	0,3	5	40	H
Arroz	30	20	50	GS	Banana prata	0,1	100	90	H
Bolacha doce/salgada	7	15	30	GS	Batata doce	0,2	80	80	H
Canela	0,5	0,2	2	GS	Cebola	0,2	5	5	H
Colorau	2	0,5	0,5	GS	Cenoura	0,15	7	40	H
Cominho	2	0,5	0,5	GS	Coentro	0,1	0,5	2	H
Extrato de tomate	6	5	10	GS	Inhame	1	80	50	H
Farinha de mandioca	30	10	30	GS	Laranja	0,1	100	70	H
Feijão	20	25	30	GS	Maçã	0,08	80	80	H
Flocos de milho	15	25	60	GS	Mamão	0,6	80	100	H
Leite de coco	6	5	45	GS	Macaxeira	0,6	100	55	H
Leite em pó	5	10	30	GS	Melancia	10	100	145	H
Macarrão	12	20	50	GS	Polpa para suco	0,2	20	80	H
Pão	0,05	50	50	GS	Tomate	0,25	5	30	H
Óleo de soja	20	1	7	GS	Carne bovina	-	50	95	P
Sal	30	0,5	3	GS	Carne moída	-	50	95	P

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

Vinagre	9	0,5	10	GS	Frango	-	50	95	P
					Ovos	1,5	50	50	P

Tabela 1 – Produtos distribuídos

O CD não conta com nenhum método estruturado para programar as entregas. O gerente administrativo do CD decide de forma empírica quais escolas aquele caminhão específico vai atender naquela rota, sabendo que alimentos tipo GS devem ser entregues em toda a rede mensalmente, tipo H e P (CMEI e ETI's) semanalmente e nas demais escolas, quinzenalmente. Um ponto a ser considerado é que sempre tem estoque disponível no CD. Atualmente, sempre há um carro menor que faz pequenas reposições, e o ideal é que não precise desse custo extra. A entrega é iniciada com o estoque disponível no CD, no qual supõe-se que o fornecedor não atrasa as reposições. As entregas são feitas de segunda a sexta, entre os horários de 07h às 12h e 13h às 16h.

A Tabela 2 lista as rotas que geralmente são feitas, apresentando os tipos de escolas, quantitativo de escolas que fazem parte daquela rota, a quantidade de alunos e a distância do percurso. Todas as ETI são localizadas na zona urbana e as demais escolas que não se enquadram em CMEI e ETI, são divididas em "zona rural (ZR)" e "zona urbana (ZU)".

CMEI	ETI	Zona Rural		Zona Urbana
Rota 1	**Rota 1**	**1° DIS Rota 1**	**2° DIS Rota 1**	**Rota 1**
05 escolas 982 alunos **22,2 km**	05 escolas 2.763 alunos **17,4 km**	08 escolas 1.373 alunos **71 km**	10 escolas 712 alunos **111 km**	04 escolas 5.825 alunos **15,1 km**
Rota 2		**1° DIS Rota 2**	**2° DIS Rota 2**	**Rota 2**
05 escolas 838 alunos **37,2 km**		09 escolas 201 alunos **59 km**	07 escolas 2.568 alunos **77,7 km**	04 escolas 2.657 alunos **45,2 km**
Rota 3		**1° DIS Rota 3**	**2° DIS Rota 3**	**Rota 3**
06 escolas 1.221 alunos **40,7 km**		04 escolas 1.439 alunos **40,4 km**	06 escolas 653 alunos **97,7 km**	06 escolas 5.444 alunos **21,3 km**
Rota 4	**Rota 2**	**3° DIS Rota 1**	**4° DIS Rota 1**	**Rota 4**
05 escolas 1.179 alunos **13,8 km**	03 escolas 1.971 alunos **17,5 km**	08 escolas 488 alunos **53,2 km**	07 escolas 320 alunos **55,4 km**	05 escolas 4.597 alunos **29,4 km**
Rota 5				**Rota 5**
05 escolas 1.362 alunos **26,3 km**		**3° DIS Rota 2**	**4° DIS Rota 2**	07 escolas 6,477 alunos **35,4 km**
Rota 6		09 escolas 732 alunos **71,2 km**	08 escolas 451 alunos **82,5 km**	**Rota 6**
05 escolas 1.078 alunos **54,1 km**				03 escolas 2.111 alunos **16,5 km**

Tabela 2 - Rotas atuais

Com o planejamento atual, um caminhão que sai para fazer uma rota, só faz outra rota em outro dia, ou seja, é apenas uma rota por dia cada caminhão. Por algumas rotas serem mais demoradas e outras mais rápidas, deve ser feito o gerenciamento para não ficar caminhão ocioso ou ainda faltar alimentos. O que vai levar ser levado em consideração para determinar a quantidade que cada caminhão vai levar, quando levar e qual a melhor rota, vai ser: Quantidade de alunos; tipo de escola (CMEI ou fundamental); distância entre as escolas e tempo gasto de uma escola a outra

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

(tempo de descarregamento). As ETI são escolas que possuem 3 refeições ao dia, enquanto que nas creches, são 5 refeições ao dia. As demais escolas possuem 1 refeição ao dia.

A Equação 2 representa a forma como foi utilizada no estudo para calcular a quantidade de alimentos que a escola irá demandar no mês.

$$T = N_i * R * D \quad \text{eq. 2}$$

Onde T é a quantidade total do respectivo alimento, N é o número total de alunos que há naquela escola (i = 1, 2; onde 1 = CMEI, 2 = Fundamental). R é o número de refeições que o aluno faz na escola e D é o número de dias letivos que a escola irá funcionar.

A Equação 3 é aplicada na situação em que o caminhão realizou a entrega em todos os pontos de interesse, mas ele saiu com mais carga para aproveitar sua capacidade, permitindo que sua rota seja esticada, realizando a entrega em outras escolas. A função de custo para priorizar as escolas que gerem um menor custo é:

$$C = L * P * Xj \quad \text{eq.3}$$

Onde C é o custo, L é a distância entre o ponto atual e a próxima parada, P é o pedido (demanda) da escola e X (j = 0,1; onde 1 = Assume valor 1, 0 = Caso contrário) é uma variável inteira, que varia de acordo com a viabilidade de atender a próxima escola, sendo definida pela demanda da escola. Se a demanda for menor do que a capacidade do caminhão, assume valor 1, se for maior que a capacidade, assume valor zero. Esse custo faz parte do custo que deve ser encontrado para o algoritmo de Clark Wright para o VRP.

4.2 Etapa 2

Após analisar a distância total percorrida pelos caminhões entre os pontos de entrega, foi feito nesse estudo uma programação seguindo o Método do Vizinho Mais Próximo (VMP), utilizando o algoritmo Clark Wright para o VRP, auxiliando na junção de outras escolas em uma mesma rota. Com isso, é possível utilizar a capacidade máxima dos caminhões, fazendo com que além de entregar o que irá ser necessário de maneira mais precisa, haja menos rotas, sejam utilizados menos caminhões e minimizando a distância total percorrida para atender a demanda. Por meio da aplicação do algoritmo, a nova programação evita que um outro caminhão faça a entrega ou ainda seja necessário um carro terceirizado para entregar alimentos faltantes. Com isso, foi construído um plano de rotas, contando com o início e fim da rota no CD.

O planejamento das rotas conta com todos os pontos de entrega necessários, respeitando a programação de entrega dos alimentos, utilizando o VMP com o auxílio do algoritmo Clark Wright para o VRP, pelo fato de poder considerar o ponto de início e término do percurso o mesmo, que cada escola deve ser visitada apenas uma vez e agregando escolas na mesma rota. O tempo de descarregamento dos produtos é de aproximadamente 10 minutos nas escolas de zona rural e de aproximadamente 20 minutos para as demais escolas.

As rotas foram propostas nesse estudo considerando o número de escolas, tipo das escolas, quantidade de alunos, quantidade necessária para suprir a demanda, capacidade da frota, dias disponíveis para entrega e o tempo de entrega e descarregamento.

Para entendimento de como as rotas foram elaboradas, foi pensado na primeira semana, como sendo a semana com maior fluxo e demanda, onde os alimentos que são entregues mensalmente devem ser todos entregues naquela semana, os alimentos que são entregues semanalmente também devem ser entregues e é feita a suposição de que os alimentos que tem periodicidade quinzenal também são entregues nessa primeira semana. Irão ser estabelecidas as rotas e as escolas das rotas de acordo com a capacidade que os caminhões possuem e o fluxo de alimentos que deve ocorrer entre zona urbana (ZU) e zona rural (ZR), tentando minimizar o número de caminhões e a distância total percorrida, atendendo as mesmas escolas.

Como exemplo, considerando a rota 1 (CMEI), conta com um total de 05 escolas, totalizando 982 alunos. Levando em consideração o açúcar, seriam necessários 6.874 gramas de

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

açúcar (6,87kg). Como o fardo contém 30kg de açúcar, é quase 5 vezes a mais do que o necessário de açúcar, então uma sugestão seria entregar apenas os 7 pacotes necessários (7kg) e os demais, entregar em outras escolas, se houver disponibilidade de tempo. Ou seja, não é necessário entregar os fardos completos, há a flexibilidade de entregar apenas o necessário. Com base nisso, a Tabela 3 apresenta a programação de uma semana das rotas, onde são apresentadas as toneladas (ton), os tipos de alimentos que cada caminhão vai levar, o tempo gasto na rota (respeitando as 8h disponíveis) e a distância percorrida.

<table>
<tr><th colspan="8">1° semana</th></tr>
<tr><th>Caminhão</th><th>Dias</th><th>Segunda</th><th>Terça</th><th>Quarta</th><th>Quinta</th><th colspan="2">Sexta</th></tr>
<tr><td rowspan="6">1</td><td rowspan="2">Tipos de alimentos</td><td>1,1 ton GS
1,3 ton H/P
Rota 1 CMEI</td><td>0,3 ton GS
1,8 ton H/P
Rota 5 CMEI</td><td>2,2 ton H/P
Rota 3 ZU</td><td>0,5 ton H/P
Rota 4 ZU</td><td>0,6 ton GS
0,9 ton H/P
1°DIS Rota 1 ZR</td><td rowspan="2">0,4 ton GS
0,5 ton H/P
3°DIS Rota 2 ZR</td></tr>
<tr><td>0,9 ton GS
0,7ton H/P
Rota 2 CMEI</td><td>1,2 ton GS e
0,7 ton H/P
Rota 6 CMEI</td><td>1,8 ton GS
Rota 1 ZU</td><td>3,0 ton GS
0,5 ton H/P
Rota 5 ZU</td><td>0,1 ton GS
0,1 ton H/P
1°DIS Rota 2 ZR</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Escolas</td><td>05 escolas
Rota 1 CMEI</td><td>05 escolas
Rota 5 CMEI</td><td>02 escolas
Rota 3 ZU</td><td>01 escola
Rota 4 ZU</td><td>08 escolas
1°DIS Rota 1 ZR</td><td rowspan="2">09 escolas
2°DIS Rota 2 ZR</td></tr>
<tr><td>05 escolas
Rota 2 CMEI</td><td>05 escolas
Rota 6 CMEI</td><td>02 escolas
Rota 1 ZU</td><td>07 escolas
Rota 5 ZU</td><td>09 escolas
1°DIS Rota 2 ZR</td></tr>
<tr><td>KM</td><td>29,4</td><td>64,1</td><td>19,2</td><td>27,4</td><td colspan="2">195</td></tr>
<tr><td>Tempo</td><td>4h24min</td><td>5h30min</td><td>2h00min</td><td>3h40min</td><td colspan="2">7h55min</td></tr>
<tr><td rowspan="6">2</td><td rowspan="2">Tipos de alimentos</td><td>0,4 ton H/P
Rota 2 CMEI</td><td>0,7 ton GS
Rota 6 CMEI</td><td rowspan="2">1,0 ton GS
3,0 ton H/P
Rota 1 ZU</td><td rowspan="2">3,8 ton H/P
Rota 5 ZU</td><td colspan="2">0,7 ton GS
1,0 ton H/P
1°DIS Rota 3 ZR</td></tr>
<tr><td>1,3 ton GS
1,6 ton H/P
Rota 3 CMEI</td><td>1,3 ton GS
1,7 ton H/P
Rota 2 ZU</td><td colspan="2">0,2 ton GS
0,3 ton H/P
3°DIS Rota 1 ZR</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Escolas</td><td>01 escola
Rota 2 CMEI</td><td>01 escola
Rota 6 CMEI</td><td rowspan="2">03 escolas
Rota 1 ZU</td><td rowspan="2">05 escolas
Rota 5 ZU</td><td colspan="2">04 escolas
1°DIS Rota 3 ZR</td></tr>
<tr><td>06 escolas
Rota 3 CMEI</td><td>04 escolas
Rota 2 ZU</td><td colspan="2">08 escolas
3°DIS Rota 1 ZR</td></tr>
<tr><td>KM</td><td>49,8</td><td>42,7</td><td>13,8</td><td>19,3</td><td colspan="2">79,9</td></tr>
<tr><td>Tempo</td><td>3h45min</td><td>3h01min</td><td>1h32min</td><td>2h39min</td><td colspan="2">4h19min</td></tr>
<tr><td rowspan="6">3</td><td rowspan="2">Tipos de alimentos</td><td>1,3 ton GS
1,5 ton H/P
Rota 4 CMEI</td><td rowspan="2">2,6 ton GS
1,4 ton H/P
Rota 3 ZU</td><td>0,8 ton H/P
Rota 1 ZU</td><td>1,0 ton GS
1,4 ton H/P
Rota 6 ZU</td><td colspan="2">0,1 ton GS
0,2 ton H/P
4°DIS Rota 1 ZR</td></tr>
<tr><td>1,2 ton GS
Rota 5 CMEI</td><td>2,2 ton GS
1,0 ton H/P
Rota 4 ZU</td><td>1,5 ton H/P
Rota 4 ZU</td><td colspan="2">0,2 ton GS
0,3 ton H/P
4°DIS Rota 2 ZR</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Escolas</td><td>05 escolas
Rota 4 CMEI</td><td rowspan="2">06 escolas
Rota 3 ZU</td><td>01 escola
Rota 1 ZU</td><td>03 escolas
Rota 6 ZU</td><td colspan="2">07 escolas
4°DIS Rota 1 ZR</td></tr>
<tr><td>04 escolas
Rota 5 CMEI</td><td>05 escolas
Rota 4 ZU</td><td>03 escolas
Rota 4 ZU</td><td colspan="2">08 escolas
4°DIS Rota 2 ZR</td></tr>
<tr><td>KM</td><td>29,9</td><td>15,5</td><td>25,1</td><td>28,7</td><td colspan="2">94,5</td></tr>
<tr><td>Tempo</td><td>4h21min</td><td>2h36min</td><td>2h55min</td><td>3h04min</td><td colspan="2">5h34min</td></tr>
<tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

	Tipos de alimentos	1,2 ton GS 2,8 ton H/P 2°DIS Rota 2 ZR	0,6 ton H/P 2,8 ton GS Rota 2 ETI	3,9 ton GS Rota 1 ETI	2,7 ton H/P Rota 1 ETI	0,6 ton H/P 2°DIS Rota 2 ZR	0,3 ton GS 0,8 ton H/P 2°DIS Rota 3 ZR
					1,3 ton H/P Rota 2 ETI	0,3 ton GS 0,9 ton H/P 2°DIS Rota 1 ZR	
	Escolas	07 escolas 2°DIS Rota 2 ZR	03 escolas Rota 2 ETI	05 escolas Rota 1 ETI	05 escolas Rota 1 ETI	01 escola 2°DIS Rota 2 ZR	06 escolas 2°DIS Rota 3 ZR
					01 escola Rota 2 ETI	10 escolas 2°DIS Rota 1 ZR	
	KM	**102**	**17,5**	**17,9**	**22,3**	**186,8**	
	Tempo	3h29min	1h40min	2h29min	3h03min	6h51min	

Tabela 3 - Programação primeira semana

Como pode ser visto na Tabela 3, é possível entregar o que é demandado com precisão utilizando apenas 04 caminhões e que há uma quantidade menor de rotas, visto que algumas escolas de rotas diferentes foram mescladas em uma rota só por meio do Clark Wright para o VRP. Porém, uma avaliação é necessária para saber se houve uma redução na distância percorrida ao todas as escolas terem sido atendidas com o uso de menos rotas e 02 caminhões a menos.

4.3 Etapa 3

Com base no novo planejamento das rotas, é visto que há a possibilidade de realizar as entregas em toda a rede utilizando 04 caminhões na semana que é demandado maior quantidade de produtos. Nas demais semanas, como não vai haver entrega de alimentos GS em toda a rede e de algumas escolas que possuem periodicidade quinzenal de alimentos tipo H e P, vai sobrar ainda mais folga para os 04 caminhões, podendo reduzir mais um caminhão. Essa redução dos caminhões minimiza o custo da operação, reduzindo gasto com mão de obra, combustível, manutenção dos caminhões, entre outros gastos.

Com esse novo plano de rotas, também é melhor aproveitado a capacidade dos caminhões. Como exemplo do aproveitamento da capacidade total dos caminhões, percebe-se que um caminhão faz a entrega que toda a Rota 1 – CMEI com 2,4ton de carga, sobrando 1,6ton da sua capacidade, onde foi proposto para o mesmo completar o que falta para sua capacidade e entregar na Rota 2 – CMEI., conectando as rotas. Por fim, há outra redução dos gastos ao ver que a distância total percorrida foi menor, como mostra na Tabela 4, que apresenta as diferenças entre as distâncias das rotas atuais e as rotas propostas.

	Rota atual (km)	**Rota proposta (km)**	**Diferença**	
CMEI	194,3	181,2	**13,1**	**6,74%**
ETI	69,8	57,7	**12,1**	**17,33%**
Zona Urbana	234,7	183,16	**51,54**	**21,96%**
Zona Rural	719,1	658,2	**60,9**	**8,46%**
Toda a rede	1217,9	1080,26	**137,64**	**11,30%**

Tabela 4 – Economia de quilometragem

Importante salientar que na programação atual, em várias rotas são necessárias mais de uma viagem para atender a demanda das escolas da rota, e é nesse ponto que o estudo buscou melhorar a eficiência das entregas. A economia seria ainda menor com a ideia do algoritmo se calculado nas semanas seguintes, onde a demanda é menor e a programação é feita utilizando a capacidade máxima dos caminhões, além de que em várias rotas, o total de 08 horas disponíveis no dia não é preenchido.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

5. Considerações Finais

É notável como a logística é importante para melhorar os serviços de entrega em todo o país, principalmente quando se trata de assuntos que impactam bastante no meio social. A logística deve ser pensada com base na melhoria constante dos serviços de entrega, buscando ferramentas de apoio se adequando ao contexto.

Com base nisso, o presente estudo de caso teve como objetivo criar uma nova programação de rotas, mostrando a quantidade de caminhões que seriam necessários no máximo para atender toda a demanda, mostrando a quantidade de alimentos que deve ser levada para as escolas além de mostrar que as rotas podem ser alongadas por meio do algoritmo Clark Wright para VRP, permitindo conectar escolas de outras rotas em uma rota só.

Esse algoritmo foi aplicado auxiliando a heurística VMP, onde essa heurística foi o que ordenou as escolas da rota definida, que se baseia nas distâncias de uma escola a outra. O *software Google Maps* foi o que auxiliou o presente estudo de caso na elaboração e na determinação da distância e tempo médio de deslocamento.

Com base na economia da distância, foi percebido que o ganho maior foi para as escolas localizadas na zona urbana, tendo uma economia de percurso de mais de 20%, já as rotas com menor economia foram as da zona rural e CMEI, que já era esperado pois as localidades dos pontos da zona rural são mais distintas e as CMEI são mais próximas uma da outra em comparação com outros tipos, deixando menos espaço para otimizar. O estudo contribui para a economia do uso de caminhões, distância total do percurso, garantia de entrega dos alimentos necessários e evitar o uso de carros menores.

Como sugestões para trabalhos futuros, uma delas é realizar uma comparação com outras metodologias e técnicas de roteirização. Outra sugestão é adaptar a heurística para lidar com variações sazonais na demanda.

Referências

Ballou, R. H. (2006). The evolution and future of logistics and supply chain management. *Production*, *16*, 375-386.

Barros, M. C. D. (2005). Warehouse Management System (WMS): conceitos teóricos e implementação em um centro de distribuição. *Rio de Janeiro: PUC-Rio*.

Belfiore, P. P., Fávero, L. P. L., & Alvarez, R. A. G. (2006). Problema de roteirização de veículos com frota heterogênea: revisão da literatura. *XXXVIII Simp. Brasileiro de Pesquisa Operacional*.

Bodin, L. D. (1990). Twenty years of routing and scheduling. *Op. research*, *38*(4), 571-579.

Chopra, S., Meindl, P., & Gonçalves, M. A. (2011). Gestão da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operações.

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, *12*(4), 568-581.

Damian, T. (2018). *Gestão de empresa: tópicos especiais em gestão empresarial*. Paco Editorial.

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *M. science*, *6*(1), 80-91.

de Lima, M. A. R., Fernandes, D., & Oliva, F. A. (2018). A utilização da Pesquisa Operacional para resolver problema de logística em transporte rodoviário de cargas. In *Colloquium Exactarum. ISSN: 2178-8332* (Vol. 10, No. 4, pp. 01-08).

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br

Dutra, Q. F. S., Ronconi, D. P., & Junqueira, L. (2022). Problema de roteirização de veículos com frota heterogênea fixa, janelas de tempo, entregas fracionadas e limitação de acesso. *LIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*.

Figueiredo, K., & Arkader, R. (1998). Da distribuição física ao supply chain management: o pensamento, o ensino e as necessidades de capacitação em logística. *Rev. Tecnologística*, *33*, 16.

Granillo-Macías, R. (2021). Logistics optimization through a social approach for food distribution. *Socio-Economic Planning Sciences*, *76*, 100972.

Gilbert, H. C. (2016). Modelagem e solução do problema de roteirização de veículo de entregas na cidade de Ouro Preto. *Universidade Federal de Ouro Preto*.

Goldbarg, M. C., & Luna, H. P.. Otimização Combinatória e Programação Linear: modelos e algoritmos. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

Golden, B., Ball, M., & Bodin, L. (1981). Current and future research directions in network optimization. *Computers & Operations Research*, *8*(2), 71-81.

Inep – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Censo, Escolar – Brasil, 2024. Disponível em: http://www.gov.br/inep/pt-br/assuntos/noticias/censo-escolas/mec-e-inep-divulgam-resultados-do-censo-escolar-2023. Acesso em: 07 de junho de 2024.

Lachini, E., FIEDLER, N. C., da SILVA, E. F., VIEIRA, G. C., de SOUZA, L. A., & do CARMO, F. C. D. A. (2018). Pesquisa operacional na minimização de custos de transporte florestal. *Brazilian Journal of Biometrics*, *36*(2), 473-488.

Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European journal of operational research*, *59*(3), 345-358.

Lenstra, J. K., & Kan, A. R. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, *11*(2), 221-227.

Marín, L., & Queiroz, M. S. (2000). A atualidade dos acidentes de trânsito na era da velocidade: uma visão geral. *Cadernos de Saúde Pública*, *16*, 7-21.

Menchik, C.R. (2010). Gestão estratégica de transportes e distribuição. *Curitiba: IESDE Brasil S.A.*

McLoughlin, G. M., McCarthy, J. A., McGuirt, J. T., Singleton, C. R., Dunn, C. G., & Gadhoke, P. (2020). Addressing food insecurity through a health equity lens: a case study of large urban school districts during the COVID-19 pandemic. *Journal of Urban Health*, *97*, 759-775.

Rago, S. F. (2002). Estratégias para distribuição e transportes (II). *Revista Log&Mam–Logística*.

Secretaria de Comunicação Social – SCS. Educação, Pernambuco – Brasil, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/. Acesso em: 07 de junho de 2024.

Toigo, R., VALLE, A., & Lavratti, F. B. (2007). Sistema de Roteirização de Entregas. *Revista Hífen*, *31*(59/60).

Wilhelm, V. E. Problema de roteamento de veículos. Servidor de pastas da UFPR, 2019. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~volmir/PO_II_13_VRP.pdf. Acesso em: 07 de junho de 2024.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193412
https://proceedings.science/p/193412?lang=pt-br