

## Roteirização em problema de transporte: um estudo de caso na empresa Arroz Vasconcelos

DOI: 10.5935/2447-8539.201900014

WALTER RODRIGUES ANDRADE; VICTOR LÚCIO DA SILVA SILVANO; NIKE ANDERSON DA SILVA SILVANO; CAIO CÉSAR CALDERON DE ALMEIDA

e-mail: [walter.andrade@imepac.edu.br](mailto:walter.andrade@imepac.edu.br)

### Resumo

Dada a atual complexidade na gestão da cadeia de suprimentos, devido a globalização e evolução acentuada das tecnologias de comunicação, as organizações buscam otimizar seus recursos de modo a serem competitivas no mercado. Sendo assim, o presente trabalho é um estudo de caso realizado em uma empresa de beneficiamento e distribuição de alimentos localizada na cidade de Araguari, com a finalidade de encontrar alternativas para o planejamento das atividades logísticas, voltadas para a roteirização da logística de distribuição. Para resolver esse problema de transporte foi utilizado o método do caixeiro viajante, por meio da ferramenta VRP *Spreadsheet Solver*, desenvolvida em VBA (*Visual Basic for Applications*) por Erdogan (2017). Foi definido um dia do ano como estudo de caso, onde foi realizado o roteamento, obtendo as rotas que minimizam as distâncias percorridas e, conseqüentemente, os custos logísticos, podendo ser replicada nas operações de roteirização da empresa.

### Palavras-chave:

### Abstract

Given the current complexity in supply chain management, due to globalization and the marked evolution of communication technologies, organizations seek to optimize their resources in order to be competitive in the market. Therefore, the present work is a case study carried out in a food processing and distribution company located in the city of Araguari, with the purpose of finding alternatives for planning logistical activities, aimed at routing distribution logistics. To solve this transportation problem, the traveling salesman method was used, using the VRP *Spreadsheet Solver* tool, developed in VBA (*Visual Basic for Applications*) by Erdogan (2017). A day of the year was defined as a case study, where the routing was carried out, obtaining the routes that minimize the distances traveled and, consequently, the logistical costs, which can be replicated in the company's routing operations.

### Keywords:

## INTRODUÇÃO

Os sistemas de distribuição física de produtos são complexos e difíceis de se planejar uma vez que envolve cálculos matemáticos complexos para solucionar os problemas e tomar as decisões. Existe muitas variáveis envolvidas e formas para expressar, entre as principais formas estão a roteirização e a programação de veículos.

Na prática existem vários exemplos de aplicações que podem ser mencionadas tais como: distribuição de comida, entrega a domicílio, entrega de produtos advindo de compras pela internet, etc. O problema de roteirização classifica-se em atender um número determinados de clientes geograficamente dispersos.

Segundo Giacomelli e Pires (2016) nos registros mais antigos da história da humanidade, os produtos mais utilizados não eram produzidos perto dos lugares onde se consumia e não estavam disponíveis durante todo o ano. Eram abundantes em certas épocas e o costume era consumir os produtos em seus lugares de origem ou armazená-los para utilizarem posteriormente. Não existia sistemas desenvolvidos de transportes e armazenamento, então o volume de mercadorias deslocadas só podia ser aquilo que o usuário pudesse levar utilizando sua própria força, e os bens perecíveis eram armazenados por um tempo muito curto. Com todos estes limitadores as pessoas eram forçadas a viverem perto da fonte produtora e a consumirem apenas aquilo que era produzido no lugar em que viviam.

De acordo com Belfiore, Costa e Fávero (2006) a organização de sistemas de distribuição física de produtos é um dos principais desafios para os estudiosos da área de transportes, em decorrência da complexidade que envolve cálculos matemáticos na resolução de problemas e na tomada de decisões.

Ante o exposto, o objetivo desse estudo é aplicar o método de roteirização na logística de distribuição de uma indústria alimentícia localizada no Triângulo Mineiro, com foco na otimização desse processo. Para tanto foram definidos os seguintes objetivos específicos: i) coleta de dados de entregas, veículos e localização geográfica; ii) modelagem do problema de transporte; iii) definição de modelo de roteirização; iv) aplicação do modelo de roteirização e; v) análise dos resultados.

Conforme Naruo (2003) geralmente as decisões de transporte e de distribuição física tem vários aspectos que devem ser levados em conta, entre elas estão a roteirização e a programação de veículos. Quando já se tem um sistema já organizado, com demanda, oferta e os recursos necessários, a roteirização e programação de veículos se torna basicamente operacional, onde a tomada de decisão por trajetos melhores se tornam um desafio cotidiano.

Para Galvão *et al.* (1997) um dos componentes do roteamento de veículos de entrega dos sistemas de distribuição física consiste em obter rotas que diminuam os custos de distribuição de uma frota de veículos que operam de um ou mais CD's (Centro de Distribuição), sempre levando em conta as restrições da operação de entrega específica.

A classificação dos problemas de roteirização pode ser de forma a determinar rotas ótimas para os veículos estacionados em um ou mais domicílios, com o objetivo de atender a um conjunto de clientes espalhados geograficamente (CUNHA, 2000)

Bonassa e Da Cunha (2011) explicam que a programação ou sequenciamento de veículo se dá pela sequência de pontos que um veículo precisa percorrer, seguindo horários preestabelecidos de chegada e partida. Geralmente estas soluções são feitas de forma manual pelas empresas ou através de técnicas simples.

Para Hillier e Lieberman (2013) o chamado problema de designação linear, pode ser considerado um problema especial de transporte, que está na verdade relacionado a casos especiais de fluxo de custo mínimo, estes problemas tendem a requerer uma quantidade alta de restrições e variáveis, sendo assim um aplicativo de computador simples do método simplex não é o mais indicado devido ao longo tempo de processamento, para tanto foi desenvolvido outros métodos para resolução destes problemas de designação.

O método do caixeiro viajante propõe determinar a menor rota a ser percorrida entre uma serie de cidades, onde cada cidade é visitada uma única vez e retorne à cidade de origem, reduzindo o tempo necessário para a viagem e os possíveis custos com transporte e combustível.

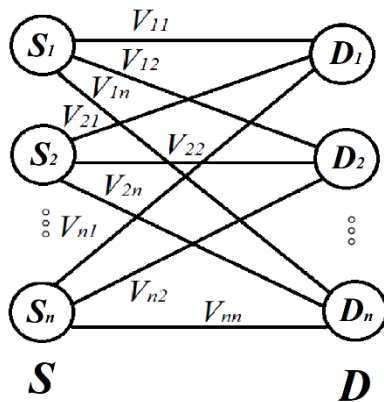
O método do caixeiro viajante pode ser explicado como um conjunto de bifurcações  $S$  e  $D$ , de um grafo bipartido  $G$  e os subconjuntos  $S$  e  $D$ , onde cada componente do conjunto  $S$  tem um custo para sua designação a um componente do conjunto  $D$ , e este custo é indicado por  $v_{ij}$ . Na figura 1 encontra-se a representação de um grafo bi-partido com os arcos representando custos para as designações entre as bifurcações dos conjuntos mencionados.

De acordo com Junior *et al.* (2013) as empresas têm dado cada vez mais atenção para a otimização das atividades logísticas, buscando melhorar o nível de serviço disponibilizado aos clientes e reduzir custos. A logística estuda o armazenamento e movimentação de materiais, para que esteja no local certo na hora certa e na quantidade certa, de forma a reduzir custos, elevar a qualidade do nível de serviço e das informações.

Segundo Ballou (2007), uma das maiores preocupações do setor de logística é elevar a eficiência, potencializando a utilização dos equipamentos e pessoal de transporte, pois o transporte, geralmente

representa entre um e dois terços dos custos logísticos totais.

Figura 1 - Problema de Designação Linear



Fonte: Adaptada (FREDERICK S. HILLIER, 2013)

A representação pode ser traduzida nas equações 1, 2 e 3.

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} = s_i \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ij} = d_j \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$X_{ij} \geq 0$  para todo  $i$  e  $j$

Como recurso para a gestão das atividades logísticas, este artigo busca identificar o papel da roteirização como ferramenta para o gerenciamento dos custos logísticos e melhoria do nível de serviço. Com a roteirização pode-se otimizar os veículos, coordenar as rotas de entrega, aumentar a eficiência operacional, diminuir o consumo de combustível por quilômetro rodado, gastos com manutenção corretiva e troca de pneus, aumentar o gerenciamento das informações, assim, diminuindo os custos logísticos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Bowersox *et al.* (2014) afirma que a roteirização de veículos é a objetivação de visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento, através do planejamento de processos que determinam um ou mais roteiros ou sequencias de paradas a serem cumpridas por veículos de uma frota.

Então surge o seguinte problema: A roteirização promove a diminuição de custos logísticos e melhoria

do nível de serviço em uma indústria de transformação que atua na fabricação de produtos alimentícios?

Este estudo parte das seguintes hipóteses: a roteirização teria um peso relevante para a redução dos custos logísticos e para a melhoria do nível de serviço; e com o auxílio de metodologia de roteirização seria possível a otimização dos resultados. O estudo dos processos de roteirização ajuda a compreender como a empresa atende seus clientes, fazendo com que a mercadoria chegue no local certo, na hora certa e na quantidade certa, com o menor custo possível.

Foi definido como estudo de caso uma indústria alimentícia localizada no Triângulo Mineiro, que é líder no mercado de alimentação básica, produzindo e comercializando alimentos de altíssima qualidade e que atua nos mercados de beneficiamento de alimentos e logística (transporte e armazenamento de grãos).

Segundo Yin (2016) o estudo de caso é uma metodologia estratégica para a pesquisa em ciências humanas, por permitir ao investigador um aprofundamento em relação ao fenômeno estudado, pois revela problemas difíceis de serem identificados “a olho nu”.

Em relação à revisão da literatura foram realizadas pesquisas em revistas e livros da área de logística empresarial, artigos e trabalhos científicos publicados em periódicos científicos e documentos em meios eletrônicos.

Segundo Oliveira (2007) dentro do contexto contemporâneo a pesquisa do estudo de caso é uma estratégia que busca examinar um fenômeno.

No estudo em questão foi feito o levantamento das entregas realizadas no dia dois de fevereiro na cidade de Araguari-MG, saindo de um único depósito e entregando em trinta e seis destinos diferentes percorrendo cada um uma única vez e retornando para o destino de origem. Foram usados dois tipos de veículos com capacidade de 4.500 kg e de 13.500 kg num total de 33 veículos com uma velocidade média de 40 km/h. Todos os alimentos são distribuídos por frota própria, através dos CD's da empresa.

O estudo de caso em questão é descritivo quali-quantitativo com modelagem e simulação, por descrever o comportamento das variáveis envolvidas no fenômeno estudado ajudando o entendimento do problema pesquisado, conforme proposto por Martins, Mello e Turroni (2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fenato (2008) afirma que o método do caixeiro viajante possui diversas aplicações em nosso cotidiano, pois as empresas que atuam na logística buscam um método

que facilite a entrega de suas mercadorias, e ressalta que o método proposto pelo caixeiro viajante de visitar uma única vez um cliente e retornar ao posto de partida, criando roteiros que visam minimizar os custos logísticos se mostra interessante para as empresas. Assim, a distância euclidiana entre os pontos e o percurso fechado chamado também de ciclo hamiltoniano busca o menor custo de todos possíveis no percurso.

Primeiramente foi realizado levantamento dos dados de pedidos e entregas do ano de 2017 e a compreensão do processo de faturamento e das entregas realizadas pela empresa. Logo após iniciou-se o processamento dos dados coletados para melhor entendimento e organização das tarefas, para assim definir a ferramenta a se utilizar para otimização da logística de distribuição.

A ferramenta escolhida para realização do estudo foi o modelo desenvolvido por Erdogan (2017) que aplica VBA (*Visual Basic for Applications*), que é uma linguagem de programação incorporada no *software Microsoft Excel*, por se tratar de linguagem mais acessível e também por ser de código aberto, não incorrendo em nenhum custo adicional para a empresa.

A modelagem e simulação são, respectivamente, o processo de criar e experimentar um sistema físico por intermédio de um modelo matemático computadorizado.

Para as fases em que se faz necessário o contato com o objeto de estudos para realização da pesquisa, os pesquisadores têm acesso à empresa, o que possibilitou o levantamento de dados tais como: detalhes da frota de caminhões, nomes e localizações dos clientes, *mix* dos produtos e quantidades de pedidos a ser entregues de janeiro a junho de 2017.

A pesquisa foi aplicada a uma dada realidade, que neste caso será a empresa de transformação que atua na fabricação de alimentos, essa aproximação entre a academia e as empresas proporciona relação de “ganha-ganha”, pois possibilita a transferência de tecnologia e um processo de ensino orientado às necessidades mercadológicas e também aprimorar a eficiência logística e do transporte de cargas buscando ampliar o nível de serviço e resultado econômico da empresa.

Segundo Erdogan (2017) o programa de Problemas de Roteamento de Veículos (VRP) *Spreadsheet Solver* têm como objetivo solucionar problema de roteamento de veículos, apesar de sua natureza operacional, o VRP *Spreadsheet Solver* é considerado estar no domínio acadêmico da Pesquisa Operacional e não no Gerenciamento de Operações, ocorrendo devido à dificuldade inerente de resolver um problema de roteamento de veículos, não apenas devido à complexidade dos algoritmos da solução associada,

mas também a considerações práticas sobre a implementação da solução.

O código do solucionador, usando o VBA, é um código aberto e pode ser entendido e modificado por programadores de nível médio. O *VRP Spreadsheet Solver* possui funções internas para consultar um serviço da internet de GIS (Sistema de Informação Geográfica), fornecido gratuitamente, a partir do qual as distâncias, tempos de condução e mapas podem ser recuperadas gerando um melhor aproveitamento.

Após a simulação do roteamento dos transportes obteve-se a resposta de quais veículos deveriam ser usados e a sequência de entregas por veículo que minimiza as distâncias percorridas.

Pode-se observar no quadro 1 as coordenadas dos clientes fornecidos pelo sistema após simulação de acordo com a inserção do endereço. Alguns dados como a localização, nome, endereço, latitude e longitude foram ocultados para não expor a carteira de clientes da empresa. Já os dados de valor da retirada e lucro, que dependem dos valores das NF's (Nota Fiscal), não foram disponibilizados pela empresa por motivos de segredos de mercado.

Embora o principal objetivo do estudo seja minimizar custos, e para isso depende dos valores de NF, acredita-se que minimizando as distâncias percorridas também minimiza os custos logísticos.

O quadro 2 apresenta os parâmetros de entradas dos veículos, onde a empresa possui dois tipos de veículos, com capacidade de carga de 4.500 Kg e 13.500 Kg, respectivamente. Além das capacidades outros parâmetros devem ser considerados como os custos fixos e variáveis por viagem, a distância limite para entrega por veículo, o tempo de operação do veículo considerando os horários de trabalho dos motoristas e a quantidade de veículos por tipo. Além disso deve-se saber se os veículos retornam para o CD após a entrega ou se existem carga de retorno, sendo que nesse caso os veículos retornam ao CD, visto que as entregas são todas realizadas na cidade de Araguari e os veículos são considerados de carga leve.

Após a parametrização do sistema com todas as variáveis envolvidas foi realizado o cálculo do problema de transporte, onde foram necessários apenas 6 veículos, da frota de 32, para realizar as entregas do dia na cidade de Araguari. É possível verificar a sequência de entregas por veículo, as distâncias a serem percorridas, os horários de partida e chegada e a carga transportada.

O lucro não é possível calcular por não ter disponível os dados de NF, desta forma o lucro líquido é apresentado com resultado negativo pois considera apenas os custos, sem, no entanto, ter os dados de receita.

Quadro 1 - Coordenadas dos Clientes

LOCALIZAÇÃO ID	NOME	ENDEREÇO	Latitude (y)	Longitude (x)	INÍCIO	FIM	DEVE SER VISITADO?	TEMPO DE SERVIÇO	VALOR DA RETIRADA	VALOR DA REMESSA	LUCRO
0	Deposito	1	1	1	00:00	23:59	Localização inicial	0:00	0	0	0
1	Cliente 1	2	2	2	00:00	23:59	Deve ser visitado	0:00	0	16463	0
2	Cliente 2	3	3	3	00:00	23:59	Deve ser visitado	0:00	0	10800	0
3	Cliente 3	4	4	4	00:00	23:59	Deve ser visitado	0:00	0	8	0
4	Cliente 4	5	5	5	00:00	23:59	Deve ser visitado	0:00	0	180	0
5	Cliente 5	6	6	6	00:00	23:59	Deve ser visitado	0:00	0	90	0
6	Cliente 6	7	7	7	00:00	23:59	Deve ser visitado	0:00	0	227	0
7	Cliente 7	8	8	8	00:00	23:59	Deve ser visitado	0:00	0	270	0
8	Cliente 8	9	9	9	00:00	23:59	Deve ser visitado	0:00	0	3295	0
9	Cliente 9	10	10	10	00:00	23:59	Deve ser visitado	0:00	0	100	0

Fonte: VRP Spreadsheet solver v3.2 adaptada de (ERDOĞAN, 2017)

Quadro 2 - Parâmetros de Entrada do Veículo

Deposito inicial	Tipo de veículo	capacidade	Custo fixo por viagem	Custo fixo por distância	Multiplicação da duração	Distância limite	Hora do início do trabalho	Prazo de condução	Tempo limite de trabalho	Retorno para o deposito	Quantidade veículos
Deposito	T1	4500	170,00	3,99	1,00	560,00	08:00	9:00	10:00	Deposito	10
	T2	13500	182,00	2,90	1,00	560,00	08:00	9:00	10:00	Deposito	23

Fonte: VRP Spreadsheet solver v3.2 adaptada de (ERDOĞAN, 2017)

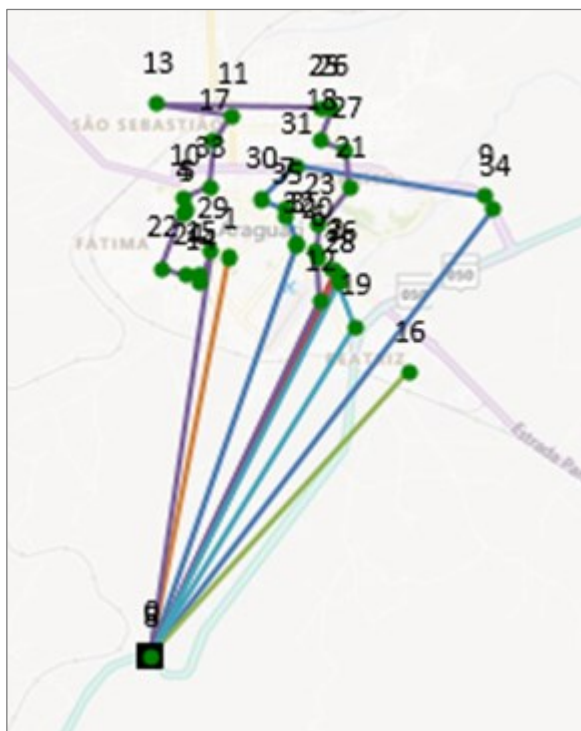
Quadro 3 - Distribuição de Carga por Veículo

Veículo	V12 (T2)	Paradas	9	Lucro líquido	-289,95			
Parar contagem	Nome da localidade	Distância percorrida	Tempo dirigindo	Tempo de chegada	Hora de partida	Tempo trabalhar	Lucro arrecadado	Carga
0	Deposito	0,00	0:00		08:00	0:00	0	13018
1	Cliente 34	18,60	0:22	08:22	08:22	0:22	0	12136
2	Cliente 9	18,96	0:24	08:24	08:24	0:24	0	12036
3	Cliente 31	22,95	0:32	08:32	08:32	0:32	0	1438
4	Cliente 30	24,23	0:38	08:38	08:38	0:38	0	1338
5	Cliente 7	24,88	0:41	08:41	08:41	0:41	0	1068
6	Cliente 35	25,25	0:43	08:43	08:43	0:43	0	108
7	Cliente 32	26,23	0:47	08:47	08:47	0:47	0	8
8	Cliente 3	26,32	0:48	08:48	08:48	0:48	0	0
9	Deposito	37,23	1:06	09:06		1:06	0	0



Na figura 2 têm-se o roteamento, com a sequência de entregas por veículo desde a saída do depósito até o seu retorno. Cabe aqui salientar que o roteamento não apresenta o caminho a ser percorrido devido a restrições quanto a parametrização do sistema com os sistemas de GPS (*Global Positioning System*), que neste caso foi utilizado o Bing Maps.

Figura 2 – Roteamento



Fonte: VRP Spreadsheet solver v3.2 adaptada de (ERDOĞAN, 2017)

Ainda sobre o resultado do estudo de roteamento é possível perceber que, conforme proposto pelo método do caixeiro viajante, o veículo sempre irá para o destino mais próximo, até o seu limite de capacidade. Neste caso os veículos retornam ao depósito após as entregas, mas é possível realizar o roteamento considerando que o veículo após realizar suas entregas, pegue uma carga de retorno, que pode ser uma transferência de mercadorias entre CD's da mesma empresa ou até mesmo fretes para terceiros.

## CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados, percebe-se a otimização dos recursos, proporcionando realizar entregas em menor tempo ao cliente aliado ao melhor uso da frota, que desta forma reduz o número de caminhões utilizados no transporte devido ao acomodamento das cargas nos caminhões e consequentemente em uma

minimização do custo. Apesar de não obter informações referentes às notas fiscais para comparação, ficou claro que o uso da ferramenta VRP *Spreadsheet Solver* pela empresa em estudo proporciona redução dos custos das logística de distribuição e têm potencial para melhorar os níveis de serviço e aumentar sua competitividade.

Como o processo atual de roteirização da empresa é realizado de forma manual a utilização da ferramenta proposta tornará esse processo mais assertivo uma vez que se utiliza de um método matemático para estudo do problema de transporte. Desta forma o objetivo proposto pelo estudo foi alcançado, uma vez que o estudo de roteamento realizado para apenas uma cidade pode ser ampliado para até 200 pontos de entrega e analisando os dados de demanda da empresa percebeu-se que essa quantidade atende todos os dias do período analisado.

Como proposta para trabalhos futuros poderão ser realizadas análises que envolvam as receitas de modo a demonstrar a minimização dos custos logísticos de forma direta e poderá se utilizar de outros métodos de roteamento mais robustos que envolvam análise numérica de modo a reduzir ainda mais os custos logísticos da empresa.

## REFERÊNCIAS

- BALLOU, R. H. . *Gerenciamento da cadeia/logística empresarial*. 5º ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- BELFIORE, P. P.; COSTA, O. L. DO V.; FÁVERO, L. P. L. Problema de estoque e roteirização: revisão bibliográfica. *Production*, v. 16, n. 3, p. 442–454, 2006.
- BONASSA, A. C.; DA CUNHA, C. B. Sistema de apoio à decisão para a otimização da roteirização da separação manual de peças em armazém utilizando planilhas eletrônicas. *Gestão e Produção*, v. 18, n. 1, p. 105–118, 2011.
- BOWERSOX, John C. et al. *Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- CUNHA, Claudio Barbieri da. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. *Transportes*, [s.l.], v. 8, n. 2, p.188-212, 2 jul. 2000. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v8i2.188>.
- ERDOĞAN, G. An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. *Computers and Operations Research*, v. 84, p. 62–72, 2017.
- FENATO, A. J. Um Modelo de Caixeiro Viajante Generalizado para Minimizar o Tempo de Preparação de uma Máquina Tubeteira. 2008.

GALVÃO, R. D. *et al.* Roteamento de veículos com base em sistemas de informação geográfica. **Gestão & Produção**, v. 4, n. 2, p. 159–174, 1997.

GIACOMELLI, G.; PIRES, M. R. S. **Logística e Distribuição**. Porto Alegre: SAGAH, 2016.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J.. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

JUNIOR, C. *et al.* O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará. **Anais, XX Congresso Brasileiro de Custos – Uberlândia, MG, Brasil, 18 a 20 de novembro de 2013** p. 16, 2013.

MARTINS, Roberto Antonio; MELLO, Carlos Henrique Pereira; TURRIONI, João Batista. **Guia para elaboração de monografia e tcc em engenharia de produção**. São Paulo: Atlas, 2014. 224 p.

NARUO, M. K. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas**. 176f. 2003Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2023.

OLIVEIRA, D. DE P. R. DE. **Administração de processos: Conceitos/ metodologia/ Práticas**. [s.l.] Atlas, 2007.

YIN, R. K. **Pesquisa Qualitativa do Início ao Fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.