

OTIMIZAÇÃO DE ROTEIRO EM EMPRESA DO RAMO AGRÍCOLA POR MEIO DO CAIXEIRO-VIAJANTE

ROUTE OPTIMIZATION IN AN AGRICULTURAL COMPANY THROUGH THE TRAVELING SALESMAN

Suellen Priscila Rex¹, Higor Geórgenes Mallmann², Ivete Linn Ruppenthal³

¹ Faculdade Horizontina – FAHOR, curso de Engenharia de Produção, Avenida dos Ipês, 565, Bairro Eldorado, 98.920-000 - Horizontina – RS – Brasil. E-mail: sr003198@fahor.com.br

² Faculdade Horizontina – FAHOR, curso de Engenharia de Produção, Avenida dos Ipês, 565, Bairro Eldorado, 98.920-000 - Horizontina – RS – Brasil. E-mail: hm002811@fahor.com.br

³ Faculdade Horizontina – FAHOR, curso de Engenharia de Produção, Avenida dos Ipês, 565, Bairro Eldorado, 98.920-000 - Horizontina – RS – Brasil. E-mail: ruppenthalivetel@fahor.com.br

RESUMO

Neste estudo objetivou-se determinar a rota otimizada para deslocamento entre 15 unidades, dividida em duas divisionais de uma empresa do ramo agrícola. Com o estudo buscou-se responder a problemática de qual é a melhor rota para realizar visitas às 15 unidades visando a minimização da distância percorrida. Para isso, foi aplicado o problema do caixeiro-viajante, o qual foi modelado como um problema de programação inteira binária, para determinar a melhor rota para cada uma das divisionais. Esta pesquisa, quanto aos seus objetivos classifica-se como exploratória e quantitativa. Os métodos de procedimentos são o estudo de caso e a pesquisa descritiva. Os dados foram coletados por meio da observação e entrevista informal e, tratados utilizando o suplemento Solver do Excel para a solução do problema. Considerando que o gestor deve sair da cidade de origem, visitar cada cidade uma única vez e retornar à origem, com a modelagem do problema do caixeiro-viajante foi possível determinar a melhor rota para cada uma das duas divisionais e, através da aplicação do suplemento Solver do Excel, encontrou-se a melhor rota para a divisional I, que totaliza 765,4 quilômetros, e para a divisional II, onde serão percorridos 655,3 quilômetros. Estas rotas otimizadas trazem inúmeros benefícios para a empresa, entre elas destaca-se que com a minimização da distância percorrida, pode haver redução do custo e do tempo de deslocamento e também, haverá uma melhor organização do gestor.

Palavras-chave: Ramo agrícola, Minimização de distância, Otimização, Rota, Caixeiro-Viajante.

ABSTRACT

This study aimed to determine the optimal route for traveling between 15 units, divided into two divisions of an agricultural company. The study sought to answer the problem of what is the best route to visit the 15 units in order to minimize the distance traveled. To this end, the traveling salesman problem was applied, which was modeled as a binary integer programming problem, to determine the best route for each of the divisions. This research, in terms of its objectives, is classified as exploratory and quantitative. The procedural methods are case study and descriptive research. The data was collected through observation and informal interviews and treated using Excel's Solver add-in to solve the problem. Considering that the manager must leave the city of origin, visit each city only once and return to the origin, by modeling the traveling salesman problem it was possible to determine the best route for each of the two divisions and, by applying Excel's Solver, the best route was found for division I, which totals 765.4 kilometers, and for division II, where 655.3 kilometers will be traveled. These optimized routes bring several benefits to the company, among them is that with the minimization of the distance traveled, there may be a reduction in cost and travel time and also, there will be a better organization of the manager.

Keywords: Agricultural sector, Distance Minimization, Optimization, Route, Traveling Salesman.

1. INTRODUÇÃO

Quando se fala em controle de informações em uma empresa pode-se imaginar que se trata basicamente de reuniões, análise de indicadores ou conversas com os colaboradores. Porém, quando se trata de uma empresa que possui várias unidades localizadas em determinada região, esse controle e gestão de informações podem ir além. Os gestores corporativos, além de serem responsáveis por esses pontos citados anteriormente, ainda precisam realizar visitas em todas as unidades da empresa, a fim de verificar os mais variados aspectos do andamento da empresa e suas atividades. Portanto, em uma rotina com tantas tarefas e tão pouco tempo hábil, é necessário um planejamento prévio e organizado de sua rota, para que consigam cumprir com inteligência e eficácia, o planejamento e obrigações com a empresa e suas unidades.

A empresa onde o estudo foi realizado abrange 213 municípios da região noroeste do Rio Grande do Sul, com 18 lojas (unidades). Por ser uma grande região a empresa é dividida em duas divisionais, a divisional I é composta pelas seguintes unidades: Matriz em Cruz Alta, filiais em Horizontina, Santo Ângelo, Ijuí, Tupanciretã, Palmeira das Missões e Arroio do Tigre, Express em Três Passos, Ibirubá, Frederico Westphalen. A divisional II é composta pelas unidades de Passo Fundo, Erechim, Casca, Carazinho, Tapejara, Espumoso, Sarandi e Soledade.

O presente estudo buscou se basear em uma problemática real, onde o gestor responsável pelo departamento corporativo de serviços de uma empresa do ramo agrícola, precisa realizar periodicamente visitas às unidades. A empresa possui 18 filiais, porém apenas 15 possuem o departamento de serviços, ou seja, ele precisa visitar as 15 filiais que possuem o departamento que ele é responsável, estas, estão distribuídas em duas divisionais. O gerente realiza as visitas mensalmente, visitando primeiro as unidades da divisional I e depois da divisional II.

Diante do contexto, o objetivo geral deste estudo é determinar a rota otimizada para deslocamento entre 15 unidades, dividida em duas divisionais. O problema da empresa consiste de um conjunto de cidades que o gestor precisa visitar, onde este sai da cidade de origem, deve visitar todas as cidades somente uma vez e retornar a origem. Assim, buscou-se responder à seguinte questão: Qual é a melhor rota para realizar visitas às 15 unidades visando a minimização da distância percorrida?

Para atingir o objetivo e responder a problemática, foi utilizado o problema do caixeiro-viajante, por meio de um modelo de programação inteira binária, a fim de minimizar a distância percorrida visando o maior aproveitamento possível dos recursos, e consequentemente reduzir custos e perdas de tempo com deslocamentos desnecessários entre as unidades. Inicialmente, foi necessário coletar as distâncias entre as cidades para que fosse possível elaborar uma matriz, para posteriormente aplicar o problema do caixeiro-viajante. Após isso foi possível, por meio do suplemento Solver do Excel, estabelecer a melhor rota.

Este artigo está estruturado em capítulos, onde no primeiro consta a introdução apresentando a contextualização do estudo, o objetivo e o problema de pesquisa. No capítulo 2 está exposto o referencial teórico onde estão relacionados os conceitos estudados e analisados. No capítulo 3 constam os materiais e métodos, classificando a pesquisa quanto aos métodos e procedimentos utilizados. Já no capítulo quatro encontram-se os resultados e as análises do estudo e por fim, a conclusão referente ao estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Deslocamento ou logística entre unidades

Os deslocamentos e transportes de materiais ou informações são definidos como Logística ou Gestão Logística, que é a parte da cadeia que é responsável pelo fluxo direto ou inverso entre as operações de armazenagem de produtos, serviços ou informações. Daudt *et al.* (2010) falam que

logística, de acordo com vários pesquisadores, busca demonstrar como empresas podem alcançar de maneira mais rentável, o atendimento aos clientes de forma personalizada e no prazo esperado.

De acordo com Campos (2001, *apud* Oliveira; Pizzolato, 2002), logística é planejar, implementar e controlar de forma eficiente o fluxo e estocagem de produtos finais, bem como serviços e as informações relacionadas, abrangendo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender as necessidades dos consumidores.

Assim, na empresa alvo do estudo é preciso que o gestor faça visitas em todas as unidades da empresa as quais estão espalhadas pela região. Desse modo, é de suma importância criar um fluxo de informações e controles e estabelecer um planejamento das visitas, auxiliando na gestão eficiente do negócio.

2.2. Pesquisa operacional

A pesquisa operacional fornece soluções matemáticas para situações que requerem otimização. É um estudo que utiliza métodos científicos para resolver problemas de tomada de decisão e obter os melhores resultados de acordo com a política da empresa. Por meio da programação linear, a pesquisa operacional ajuda a tornar a matemática compatível com as informações e objetivos do problema (Shamblin; Stevens JR, 1979).

A pesquisa operacional envolve um conjunto de técnicas para auxiliar as pessoas a tomarem decisões. Mais que uma disciplina acadêmica, a pesquisa operacional é amplamente empregada como abordagem gerencial de resolução de problemas nos mais diversos setores da sociedade mundial (Longaray, 2013).

Ainda, o mesmo autor pondera que, o sucesso da pesquisa operacional no âmbito empresarial é atribuído principalmente à objetividade das técnicas aplicadas, que têm a potencialidade de traduzir, de forma clara, objetiva e estruturada, as situações problemáticas vivenciadas no dia a dia das organizações. Belfiore e Fávero (2013) consideram que a Pesquisa Operacional utiliza métodos científicos, por meio de modelos matemáticos, estatísticos e algoritmos computacionais, para a tomada de decisão.

2.2.1. Programação linear

A Programação Linear (PL) objetiva encontrar a melhor solução possível para problemas que possuam seus modelos representados por expressões lineares. A função da PL constitui-se basicamente na maximização ou minimização de uma função linear, designada de função objetivo, respeitando um sistema linear de igualdades ou desigualdades, denominadas de restrições do modelo matemático. Assim, o problema procura estabelecer os valores das variáveis de decisão que maximizam ou minimizam a função objetivo, respeitando as restrições do modelo (Marins, 2011).

A programação linear inteira é uma variação da programação linear, que é apropriada para a resolução de problemas que envolvem em sua estrutura programação mistas, ou seja, que possuam características inteiras e não-inteiras, e é indicada principalmente para problemas que compreendam escolhas que possam ser representadas por variáveis binárias (zero e um) (Caixeta Filho, 2004).

Segundo Belfiore e Fávero (2013) um problema é considerado programação inteira quando todas as variáveis de decisão são discretas. Já os problemas onde todas as variáveis de decisão são binárias, é classificado de programação binária. Assim, quando se tem em um mesmo modelo, variáveis discretas e binárias, está-se diante de um problema de programação inteira binária.

Frequentemente, no dia a dia os gestores se deparam com decisões sobre se devem ou não realizar determinada ação, como por exemplo, se deve realizar determinado investimento ou não, comprar ou não determinado insumo, acrescentar ou não uma nova linha de produção, entre outras decisões (Hillier; Liebermann, 2013).

2.2.2. O problema do caixeiro-viajante

O problema do caixeiro-viajante (PCV) refere-se a um problema de programação binária, o qual também pode ser modelado como um problema de programação em redes. Este problema consiste em um problema de otimização associado à determinar caminhos denominados hamiltonianos. Sua origem é atribuída a Willian Rowan Hamilton, que sugeriu um jogo com o objetivo de encontrar uma rota por meio dos nós de um dodecaedro, de forma que o início e o fim da rota fosse no mesmo nó, sem repetir uma visita. “Considere $G = (N, A)$ um grafo não orientado em que N é o conjunto de n cidades e A é o conjunto de arcos entre as cidades. Assim, o objetivo do PCV é encontrar, no grafo $G = (N, A)$, o caminho hamiltoniano de menor custo que inicia em uma determinada cidade, visita todos os nós uma única vez, e retorna à cidade de origem” (Belfiore; Fávero, 2013, p. 300).

Silveira *et al.*, (2011) corroboram afirmando que o problema do caixeiro-viajante nasceu pela necessidade de se atender a passagem por todos os pontos (vértices) que seriam locais e ao final retornar ao local de partida sem ter de repetir a passagem por nenhum ponto. A principal finalidade de se aplicar essa ferramenta é definir a menor rota entre quaisquer locais por onde se precise passar.

Pode-se afirmar que, o problema do caixeiro-viajante “consiste em determinar um único roteiro com o menor custo possível que permita ao caixeiro-viajante (ou veículo) visitar todos os nós (cidades ou clientes) de uma rede, uma única vez”, e depois retornar ao nó de origem (Belfiore; Fávero, 2013, p. 300).

2.2.2.1 Modelagem do problema do caixeiro-viajante

Há várias maneiras para modelar o problema do caixeiro-viajante. Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954) *apud* Belfiore e Fávero (2013), modelaram o PCV como um problema de programação binária, conforme consta a seguir.

Parâmetros do modelo:

c_{ij} custo ou distância da cidade i para a cidade j , $i = 1, \dots, n$ e $j = 1, \dots, n$.

Variáveis de decisão:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o caixeiro - viajante vai diretamente da cidade } i \text{ para a cidade } j, i \neq j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Formulação matemática:

$$F_{obj} = \min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in N \quad (4)$$

Conforme Belfiore e Fávero (2013), este modelo corresponde a um problema de programação binária, onde a função objetivo procura minimizar o custo ou a distância total da rota percorrida. A primeira (1) e segunda (2) restrições garantem que cada nó seja visitado apenas uma vez. Neste caso, deve-se considerar S um subgrafo de G em que $|S|$ representa o número de nós desse subgrafo. Neste sentido, a terceira (3) restrição impede a formação de sub-rotas. E por fim, a quarta (4) restrição estabelece que as variáveis de decisão devem ser binárias.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A empresa objeto deste estudo atua no ramo agrícola e está localizada na região noroeste do Rio Grande do Sul. Com este estudo, buscou-se otimizar a distância de deslocamento de trajeto entre as 15 unidades da empresa, buscando reduzir a distância percorrida, visitando todas as unidades uma única vez.

Esta pesquisa, quanto aos seus objetivos se classifica como exploratória e quantitativa. Em relação a pesquisa exploratória ela possui como objetivo proporcionar mais dados e informações sobre o assunto estudado, facilitando a delimitação do tema pesquisado e fixação dos objetivos. A mesma por ser flexível permite o estudo por diferentes ângulos e aspectos (Prodanov; Freitas, 2013).

A pesquisa quantitativa pode ser definida como um meio para testar teorias objetivas, testando a relação entre as variáveis. Por sua vez, essas variáveis são medidas, para que os dados numéricos possam ser analisados por procedimentos estatísticos (Creswell, 2010). A pesquisa classifica-se como quantitativa, pois foi realizado um levantamento quantitativo das distâncias em Km entre as unidades, a fim de minimizar a distância da rota percorrida.

Quanto aos procedimentos, caracteriza-se como estudo de caso, pois é específico para a empresa estudada, ou seja, visitas realizadas a unidades da empresa, não se aplicando a outros casos devido a sua especificidade. O mesmo consiste em coletar e analisar dados sobre determinado assunto, estudando vários aspectos. Alguns requisitos básicos são necessários, entre eles destacam-se severidade, objetivação, originalidade e coerência (Prodanov; Freitas, 2013).

Também se caracteriza como pesquisa descritiva, uma vez que foram descritas e verificadas a caracterização da empresa em questão, suas filiais e suas necessidades em relação ao deslocamento de um determinado gerente entre as filiais. Para Prodanov e Freitas (2013) se apresenta com apenas o registro e descrição dos fatos pelo pesquisador, sem interferir neles. Suas premissas mais importantes são observar, registrar, analisar e ordenar dados e fatos, a fim de interpretá-los corretamente.

As técnicas de coleta de dados utilizadas foram a observação e a entrevista informal. Os dados coletados foram as informações referente a empresa em estudo, filiais, quais são as filiais de cada divisional, qual a periodicidade das visitas, e ainda a distância entre cada uma das unidades através do *Google Maps*. Ainda, realizaram-se entrevistas com o gestor que necessita realizar essas visitas periodicamente, visando identificar se há alguma preferência por rota ou alguma informação relevante para o estudo.

As técnicas de análise dos dados foram o *Software Excel* e a análise de conteúdo. O *Excel* foi a principal ferramenta utilizada para encontrar as melhores rotas para as duas divisionais da empresa, visto que através do suplemento Solver e utilizando um modelo de programação inteira binária, a ferramenta apresentou o caminho a ser percorrido e a distância total mínima. Já a análise de conteúdo foi utilizada para analisar e interpretar os dados coletados por meio da observação e da entrevista.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A empresa objeto deste estudo está localizada na região noroeste do Rio Grande do Sul e atua na comercialização de equipamentos agrícolas, peças de reposição e presta serviços de mão de obra especializada para seus clientes. De acordo com os dados obtidos com a pesquisa, a empresa possui 15 unidades pelas quais o gestor precisa passar para resolver assuntos de interesse da organização. O problema consiste de um conjunto de cidades (unidades), onde o gestor sai da cidade de origem, neste caso Cruz Alta, visita todas as unidades somente uma vez e retorna à Cruz Alta. Para melhor organizar os dados, as cidades foram identificadas com siglas, conforme se pode visualizar no Quadro 1.

Quadro 1 - Cidades em que estão localizadas as unidades e abreviações

ABREVIÇÃO	CIDADE
UHZ	HORIZONTINA
USA	SANTO ÂNGELO
UCA	CRUZ ALTA
UIJ	IJUÍ
UTU	TUPANCIRETÃ
UPM	PALMEIRA DAS MISSÕES
USR	SARANDI
UER	ERECHIM
UES	ESPUMOSO
UAT	ARROIO DO TIGRE
UCC	CASCA
UPF	PASSO FUNDO
UTA	TAPEJARA
USO	SOLEDADE
UCZ	CARAZINHO

Para uma melhor organização do gestor, essas cidades (unidades) estão divididas em duas divisionais, sendo a divisional I e a divisional II. Cada uma dessas divisões contempla um número de cidades, e o cálculo desenvolvido procura estabelecer a melhor rota para a divisional I e para a divisional II. Cabe destacar que, para as duas divisionais a cidade de partida é Cruz Alta que é a matriz das unidades, ou seja, por mais que Cruz alta pertença a divisional I, é dela que se parte também para atender a divisional II, retornando a Cruz Alta no final do percurso, visitando cada unidade uma única vez.

A divisional I é composta pelas unidades localizadas em Cruz Alta, Horizontina, Santo Ângelo, Ijuí, Tupanciretã, Palmeira das Missões, Arroio do Tigre e ainda as Express de Três Passos, Ibirubá e Frederico Westphalen que não farão parte do cálculo de rotas, pois essas não possuem o departamento de serviços. Desse modo, buscou-se a melhor rota a ser percorrida para atender a divisional I através do desenvolvimento do problema do caixeiro-viajante no *Software Excel*.

Assim, primeiramente foi elaborada uma matriz com todas as cidades da divisional I, e suas respectivas distâncias, ou seja, foi feito um levantamento da distância entre cada cidade da divisional. Por exemplo, entre Horizontina e Cruz Alta (*ij*) a distância é de 143 km e, a rota inversa (*j* a *i*), é a mesma distância.

Após, foi elaborado o modelo matemático para posterior solução. Destaca-se que este modelo é de programação inteira binária, uma vez que parte das variáveis é discreta, e parte das variáveis é binária. Pode-se observar a modelagem do problema no Quadro 2, apresentado a seguir.

Quadro 2 – Modelo do problema da divisional I

	Unidades	UCA	UHZ	USA	UIJ	UTU	UPM	UAT	
D_{ij}	UCA	999999	143	86	45,1	68,9	96,4	114	FO
	UHZ	143	999999	101,3	96,1	209,3	133,2	254,4	765,4
	USA	86	101,3	999999	49,7	153,8	149,9	198,9	
	UIJ	45,1	96,1	49,7	999999	112,8	103,9	157,9	
	UTU	68,9	209,3	153,8	112,8	999999	163,1	159,1	
	UPM	96,4	133,2	149,9	103,9	163,1	999999	208,1	
	UAT	114	254,4	198,9	157,9	159,1	208,1	999999	R2
X_{ij}	UCA	0	0	0	1	0	0	0	1
	UHZ	0	0	0	0	0	1	0	1
	USA	0	1	0	0	0	0	0	1
	UIJ	0	0	1	0	0	0	0	1
	UTU	1	0	0	0	0	0	0	1
	UPM	0	0	0	0	0	0	1	1
	UAT	0	0	0	0	1	0	0	1
F_{ij}	UCA	0	0	0	6	0	0	0	6
	UHZ	0	0	0	0	0	3	0	3
	USA	0	4	0	0	0	0	0	4
	UIJ	0	0	5	0	0	0	0	5
	UTU	0	0	0	0	0	0	0	0
	UPM	0	0	0	0	0	0	2	2
	UAT	0	0	0	0	1	0	0	1
Restrições	R1	1	1	1	1	1	1	1	
	R3		4	5	6	1	3	2	
			1	1	1	1	1	1	
	R4	0	0	0	6	0	0	0	
		0	0	0	0	0	6	0	
		0	6	0	0	0	0	0	
		0	0	6	0	0	0	0	
		6	0	0	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	0	6	
		0	0	0	0	6	0	0	
		0	0	0	0	0	0	0	

Pode-se observar no Quadro 2 que nas colunas e linhas D_{ij} consta a matriz com as distâncias (Km) entre as unidades. A função objetivo (FO) busca minimizar a distância total da rota. Foram acrescentadas as variáveis de decisão X (X_{ij}) e as variáveis de decisão do fluxo (F_{ij}). As restrições das variáveis do X_{ij} serão binárias e do F_{ij} serão inteiras. As restrições foram elaboradas de forma com que cada nó j fosse visitado uma única vez (R1), e cada nó i fosse visitado uma única vez (R2). A restrição 3 (R3) impede que haja formação de sub-rotas, considerando todas as combinações possíveis de sub-rotas. Já a restrição 4 (R4) representa que o fluxo deverá ser menor ou igual ao número de cidades menos 1. A representação do problema foi inserida no Solver, conforme demonstrado na Figura 1.

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para: ☐ Máx. ☒ Mín. ☐ Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

- \$C\$16:\$C\$22 <= \$C\$26:\$C\$32
- \$C\$16:\$I\$22 = número inteiro
- \$C\$23 = 1
- \$C\$9:\$I\$15 = binário
- \$D\$16:\$D\$22 <= \$D\$26:\$D\$32
- \$D\$23 = 1
- \$D\$25 = 1
- \$E\$16:\$E\$22 <= \$E\$26:\$E\$32
- \$E\$23 = 1
- \$E\$25 = 1
- \$F\$16:\$F\$22 <= \$F\$26:\$F\$32
- \$F\$23 = 1
- \$F\$25 = 1

☒ Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Método de Solução

Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda Resolver Fechar

Figura 1 – Parâmetros do Solver

Pode-se visualizar na Figura 1 que o objetivo do problema é minimizar a função objetivo, foram inseridas as células variáveis do problema (X_{ij} e F_{ij}), além das restrições a que o modelo deverá obedecer. Ainda, utilizou-se o método Simplex como solução, uma vez que é um problema linear.

Através da aplicação do Solver buscou-se uma rota que minimizasse as distâncias percorridas entre todas as unidades que compõem a divisional I e após a aplicação do Solver o mesmo apresentou uma solução inteira binária (Quadro 02), sendo que o número 1 indica qual cidade deve ser visitada por vez. O resultado encontrado para que a menor distância percorrida fosse de 765,4 (FO) quilômetros foi: De Cruz Alta (origem) para Ijuí; Ijuí para Santo Ângelo; Santo Ângelo para Horizontina; Horizontina para Palmeira das Missões; Palmeira das Missões para Arroio do Tigre; Arroio do Tigre para Tupanciretã; e, de Tupanciretã para Cruz Alta (origem).

A seguir na Figura 2, tem-se o roteiro ilustrado através do *Google Maps*, apresentando uma distância total percorrida de 765,4 km, saindo da unidade de origem (Cruz Alta) visitando cada unidade uma única vez e retornando à origem.



Figura 2 - Rota da divisional I

A divisional II é formada pelas cidades de Sarandi, Erechim, Espumoso, Casca, Passo Fundo, Tapejara, Soledade e Carazinho, considerando também, a unidade de origem Cruz Alta, sendo assim buscou-se a melhor rota a ser percorrida para atender a divisional II através do desenvolvimento do problema do caixeiro-viajante no *Excel*, da mesma forma como foi realizado para a divisional I. Para isso, primeiramente foi elaborada uma matriz com todas as cidades da divisional, e suas respectivas distâncias.

Após foi elaborado o problema como programação inteira binária, considerando que a função objetivo deve minimizar a rota a ser percorrida. Na sequência, foram estruturadas as restrições do problema, conforme descrito anteriormente para a divisional I. Pode-se observar no Quadro 3 a modelagem do problema do caixeiro-viajante da divisional II, o qual foi resolvido pelo Suplemento Solver do *Excel*.

Quadro 3 – Modelo do problema da divisional II

	Unidades	USR	UER	UES	UCC	UPF	UTA	USO	UCZ	UCA	
D_{ij}	USR	999999	90,4	119,1	158,9	85,8	135,5	114,5	44,9	148,1	FO
	UER	90,4	999999	161,5	142,7	81,6	67,7	157,1	124,9	221,3	655,3
	UES	119,1	161,5	999999	126,3	80,7	133,3	41,4	56,6	87,5	
	UCC	158,9	142,7	126,3	999999	66	64	101,8	110,7	193,6	
	UPF	85,8	81,6	80,7	66	999999	52,9	76,3	47,1	148	
	UTA	135,5	67,7	133,3	64	52,9	999999	129,1	96,9	193,3	
	USO	114,5	157,1	41,4	101,8	76,3	129,1	999999	76,6	128,9	
	UCZ	44,9	124,9	56,6	110,7	47,1	96,9	76,6	999999	117,1	
	UCA	148,1	221,3	87,5	193,6	148	193,3	128,9	117,1	999999	R2
X_{ij}	USR	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	UER	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	UES	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	UCC	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	UPF	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	UTA	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	USO	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	UCZ	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	UCA	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
F_{ij}	USR	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8
	UER	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7
	UES	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	UCC	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5
	UPF	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4
	UTA	0	0	0	6	0	0	0	0	0	6
	USO	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
	UCZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	UCA	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Restrições	R1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	R3		8	3	6	5	7	4	1	2	
			1	1	1	1	1	1	1	1	
	R4	0	8	0	0	0	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	8	0	0	0	
		0	0	0	0	0	0	0	0	8	
		0	0	0	0	8	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	0	8	0	0	
		0	0	0	8	0	0	0	0	0	
		0	0	8	0	0	0	0	0	0	
		8	0	0	0	0	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	0	0	8	0	

Conforme desenvolvido também para divisional I com a aplicação do Solver, o resultado encontrado para a otimização da distância a ser percorrida da divisional II foi a rota, conforme segue: De Cruz Alta (origem) para Carazinho; Carazinho para Sarandi; Sarandi para Erechim; Erechim para Tapejara; Tapejara para Casca; Casca para Passo Fundo; Passo Fundo para Soledade; Soledade para Espumoso; Espumoso para Cruz Alta (origem). Observa-se na função objetivo (FO) que nesta divisional, a distância total percorrida será de 655,3 km.

Na Figura 3 tem-se a representação do roteiro, o qual está ilustrado através do *Google Maps*, onde parte-se da matriz Cruz Alta, visitando todas as unidades uma única vez e retornando a cidade de origem.

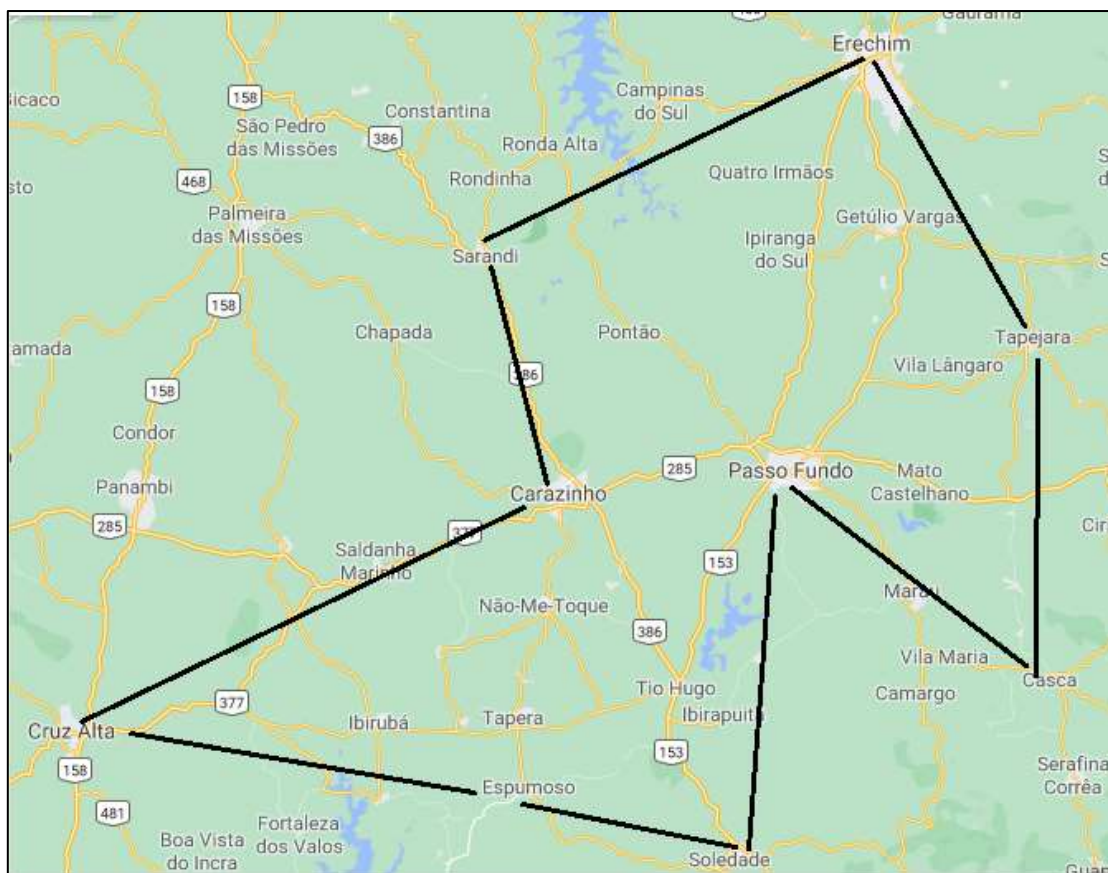


Figura 03 - Rota da divisional II

Através da aplicação do Solver e a determinação das rotas ideais, foi possível obter um maior planejamento da rota que o gestor deve percorrer, visto que até então a empresa não possuía nenhuma forma pré-estabelecida de atendimento das unidades. Pode-se afirmar que, com este estudo, se adotado pela empresa, pode trazer resultados significativos uma vez que a distância total percorrida seja minimizada, podendo desta forma reduzir custos com tempo de deslocamento, economia de combustível e desgaste dos veículos, proporcionando ao gestor prestar um atendimento ainda melhor para seus colaboradores e clientes.

5. CONCLUSÃO

As empresas necessitam constantemente reduzir seus custos para serem mais competitivas no mercado. A boa gestão de custos visa aumentar os lucros e a rentabilidade, para ser competitiva e principalmente para garantir a permanência no mercado. Com isso, fica evidente que é necessário haver um planejamento de todas as atividades e processos, inclusive de deslocamentos externos da empresa, por mais que pareça uma atividade simples, envolve muito tempo e custos. Neste sentido, a aplicação do problema do caixeiro-viajante se mostrou de grande valia para que fosse possível encontrar a solução para a necessidade do gerente corporativo de serviços de uma empresa do ramo agrícola.

O objetivo geral deste trabalho que era determinar a rota otimizada para deslocamento entre 15 unidades, dividida em duas divisionais de uma empresa do ramo agrícola, visando minimizar a distância total percorrida foi alcançado com sucesso, uma vez que, com a aplicação do problema do caixeiro-viajante, foi possível determinar a melhor rota que o gestor deverá percorrer para visitar todas as unidades uma única vez, e com isto obter menores custos e menor gasto de tempo com os deslocamentos. Para a divisional I, a melhor rota foi de Cruz Alta para Ijuí, Ijuí para Santo Ângelo,

Santo Ângelo para Horizontina, Horizontina para Palmeira das Missões, Palmeira das Missões para Arroio do Tigre, Arroio do Tigre para Tupanciretã e de Tupanciretã voltando para Cruz Alta totalizando 765,4 quilômetros. Já para a divisional II, a melhor rota é de Cruz Alta para Carazinho, Carazinho para Sarandi, Sarandi para Erechim, Erechim para Tapejara, Tapejara para Casca, Casca para Passo Fundo, Passo Fundo para Soledade, Soledade para Espumoso e de Espumoso retornando para Cruz Alta e totalizando 655,3 quilômetros percorridos.

Pode-se afirmar que a pesquisa operacional possui técnicas para melhoria contínua e redução de custos. Como sugestão para a empresa, seria determinar a melhor rota atendendo às 15 unidades em uma única rota, porém para isso haverá a necessidade de utilizar outro *Software* para o cálculo, uma vez que o solver não consegue realizar o cálculo nessa condição, visto que o mesmo apresenta um limite de 100 restrições e 200 variáveis.

6. REFERÊNCIAS

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAIXETA FILHO, José Vicente. **Pesquisa Operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2 Ed. São Paulo: Atlas, 2004.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto**. In: Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto. 2010.

DAUDT, Tatiane V. F.; SANTOS, Vilma S.; OLIVEIRA, Edson A. A. Q. **Aplicação da técnica cross docking na logística de expedição em busca da redução de tempo de movimentação de materiais**. XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Universidade do Vale do Paraíba, 2010. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/0205_0734_01.pdf Acesso em: 23 mar. 2021.

HILLIER, Frederick S. LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. Tradução Ariovaldo Griesi; revisão técnica Pierre J. Ehrlich. 9.Ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LONGARAY, André Andrade **Introdução à pesquisa operacional** / André Andrade Longaray. São Paulo: Saraiva, 2013.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.

OLIVEIRA, Patricia F.; PIZZOLATO, Nélcio D. **A eficiência da distribuição através da prática do cross docking**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba, PR. 2002. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR11_0487.pdf. Acesso em: 27 fev. 2021.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SHAMBLIN, James E.; STEVENS JR, G. T. **Pesquisa operacional: uma abordagem básica**. São Paulo: Atlas, 1979.

SILVEIRA, L. R.; TANSCHKEIT, R.; VELLASCO, M. **Algoritmos genéticos com inspiração quântica aplicados a problemas de otimização combinatória de ordem**. X SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. 2011. Disponível em: <https://fei.edu.br/sbai/SBAI2011/86344.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2021.