

ROTEIRIZAÇÃO DE ENTREGA DE PRODUTO QUÍMICO DE UMA EMPRESA DE SANEAMENTO NO ESTADO CEARÁ

Celiano Rocha da Silva¹
Adrícia Fonseca Mendes²

Resumo: O Problema de Roteamento de Veículos (PRV), presente no estudo, tem como método de resolução o uso do modelo desenvolvido por Fisher e Jaikumar (1981). O modelo é implementado em linguagem mosel no software Xpress da FICO versão student. O presente estudo tem como objetivo desenvolver uma alternativa de roteirização para o alocamento dos veículos que farão a entrega de produtos químicos a serem utilizados no tratamento da água da região do Baixo Jaguaribe Cearense (CE). Este trabalho, de caráter qualitativo, foi empregado como técnicas as pesquisas bibliográfica, exploratória e documental para obter as informações sobre as melhores rotas a serem implantadas na distribuição de produtos químicos de uma empresa que atua no segmento de saneamento básico. Com o estudo pode-se perceber que para as duas rotas de distribuição utilizadas pela empresa palco de estudo, a rota Praia possui distância muito superior ao trajeto percorrido na rota serra, sendo a solução ótima para as duas rotas encontradas ao se aplicar o Software Xpress.

Palavras- Chaves: Roteirização de veículos, Software Xpress, Rotas.

1. INTRODUÇÃO

A água potável para consumo se constitui em um recurso crucial e limitante, tanto à vida quanto ao desenvolvimento das sociedades. O acesso a esse recurso, nas cidades médias e grandes do Brasil, como o baixo Jaguaribe, estado do Ceará, torna-se cada vez mais complexo devido às demandas decorrentes das pressões da sociedade contemporânea, gerando vulnerabilidades a riscos de escassez de água (BRASIL, 1997).

Para Santos (2007), os serviços de saneamento básico, tratamento de água e esgotos se faz necessários, sendo considerados exercícios extremamente importantes dentro de uma sociedade. São práticas imprescindíveis para assegurar o bem estar da população, a saúde e a qualidade de vida, assim como o crescimento e desenvolvimento da humanidade.

Compreendendo a importância do saneamento básico para a humanidade, bem como a necessidade de um sistema logístico eficiente de distribuição de produtos químicos, o qual permitirá que os referidos produtos estejam disponíveis no lugar certo, no momento exato, na quantidade correta, com a devida qualidade e pelo melhor custo possível, o presente estudo tem como objetivo desenvolver uma alternativa de roteirização para o alocamento dos

veículos que farão a entrega de produtos químicos a serem utilizados no tratamento da água da região do Baixo Jaguaribe Cearense (CE).

A fim de alcançar o objetivo proposto, o Problema de Roteamento de Veículos (PRV), presente no estudo, tem como método de resolução o uso do modelo desenvolvido por Fisher e Jaikumar (1981). O modelo é implementado em linguagem mosel no *software* Xpress da FICO versão *student*.

A alternativa de roteirização proposta possibilitará a minimização das distâncias percorridas pelos referidos veículos e conseqüentemente o menor custo logístico possível com a entrega de tais produtos.

O presente artigo está dividido em cinco seções. Inicialmente, na corrente Introdução, é apresentado o tema de pesquisa, a formulação do problema e relevância do estudo, seus objetivos, além da organização das seções.

A seção 2 refere-se à revisão de literatura acerca do Sistema de Saneamento Básico-Tratamento de Água e Esgoto, Roteirização de veículos e Software Xpress. Já a terceira seção, descreve os procedimentos metodológicos da presente pesquisa, a qual utilizou do modelo de PRV proposto por Fisher e Jaikumar. A quarta seção apresenta os resultados da pesquisa, descrevendo as modelagens das rotas pesquisadas, bem como a solução ótima para a roteirização nas rotas.

Na quinta e última seção tem-se as considerações finais acerca do Problema de Roteamento de Veículos (PRV), o qual se comporta como uma estratégia tática que assessora na tomada de decisão e na busca pela otimização das rotas, bem como contribui para minimizar os custos com o processo de distribuição dos produtos químicos para tratamento de esgotos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Sistema de Saneamento Básico - Tratamento de Água e Esgoto

O saneamento básico, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) citado por Santos (2007), corresponde ao: “[...] controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre o seu bem-estar físico, mental ou social.” (SANTOS, 2007, p. 11).

A Lei do Saneamento Básico (Lei nº 11.445, 2007, pág 47) determina as diretrizes básicas nacionais para o saneamento, que o designa como o “conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de” abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais.

As diretrizes do saneamento básico de acordo com a Lei 11.445/07 são:

Abastecimento de água às populações, com a qualidade compatível com a proteção de sua saúde e em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto;

Coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura de águas residuárias (esgotos sanitários, resíduos líquidos industriais e agrícolas;

Acondicionamento, coleta, transporte e/ou destino final dos resíduos sólidos (incluindo os rejeitos provenientes das atividades doméstica, comercial e de serviços, industrial e pública);

Coleta de águas pluviais e controle de empoçamentos e inundações.

2.2 Roteirização de veículos

Morais (2007) entende a roteirização como uma metodologia aplicada aos transportes, visando assegurar o melhor trajeto percorrido na atividade de deslocamentos de produtos, assim otimizando as etapas de entrega e coleta dos produtos. A roteirização pode ser caracterizada por n clientes (representados numa rede de transportes por nós ou arcos) que deverão ser servidos por uma frota de veículos, sem apresentarem restrições ou a ordem em que deverão ser atendido (NOVAES, 2007).

O Problema de Roteamento de Veículo (PRV) foi sugerido primeiramente por Dantzig e Ramster em 1959, e constitui-se no alocamento de uma frota de veículos para o suporte de uma determinada demanda de consumidores distribuídos geográfica ou espacialmente (OLIVEIRA, 2007).

Para Novaes (2007), a grande maioria dos métodos de roteirização, foi intitulado com os nomes dos seus idealizadores. A exemplo podemos citar o sistema de roteirização como o método Clarke & Wright, criado em 1963, o qual tem sido bastante difundido, e através do mesmo, planeja-se o percurso a ser cumprido, sendo este da melhor eficácia possível, o que assegura ganhos significativos à empresa.

Contudo, à medida que se avançam as transformações nos diversos setores das empresas, a otimização dos serviços é necessária, acentuando e priorizando ações que

busquem aperfeiçoamentos e potencialização dos serviços oferecidos, sendo os roteiros uma medida eficiente, haja vista que acarretará em ganhos favoráveis à empresa. (NOVAIS, 2007).

Embora que, para que se tenha toda eficácia do sistema de roteirização faz-se necessário agregar um planejamento propício e bem dimensionado nos níveis estratégicos e táticos, estando bem definidas algumas questões, tais como, a composição da frota e o zoneamento, logo a roteirização pode ser compreendida como uma planificação conectada de uma frota de veículos, de forma otimizada, descrevendo os sítios que devem ser cobertos por uma rota (OLIVEIRA, 2011).

Nessa compreensão o processo de roteirização se apresenta como uma ferramenta essencial para a determinação de um ou mais roteiros ou sequência de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, tendo vista que busca reduzir o tempo gasto e a entrega dos produtos com a excelência na qualidade e assim deve utilizar um conjunto de pontos geograficamente precisos, em locais predeterminados, que necessitam de atendimento.

Wu (2007), corrobora ao afirmar que

A roteirização fundamenta-se em determinar um conjunto de rotas de menor custo que atenda às necessidades dos nós (que podem ser considerados pontos de ônibus, depósitos, etc.). Deve respeitar as restrições operacionais, tais como capacidade dos veículos, duração das rotas, janelas de tempo, duração da jornada de trabalho, entre outros. (WU, 2007, pág. 43).

Em consonância Laporte (2002) cita que problema de roteirização de veículos equivale em dimensionar roteiros de veículos que minorem o valor íntegro de suporte, cada um dos quais começando e finalizando no estoque ou base dos transportes, garantindo que cada local seja atendido rigorosamente uma vez e a diligência em qualquer rota não ultrapasse o limite do veículo que a contempla.

O autor supracitado deixa claro que na roteirização onde são delimitadas as vias para efetivação das rotas e apontada previamente às continências, para que o delineamento seja executado de modo preceptivo, já levando em considerações, quaisquer circunstâncias, abstendo, variáveis indesejáveis, que embaracem as empreendidas ações.

Trazendo mais conhecimentos para a discussão em torno da importância da roteirização de rotas de produtos, Belfiore (2013), comenta que é possível traçar um planejamento sistematizado e assim possibilitar dentro do espaço de tempo estratégias seguras para as rotas com o menor custo possível (minimizar custo total de viagem, distância total percorrida, número de veículos, etc.), iniciando e terminando no ponto de origem, de forma que as demandas atendam as suas expectativas.

A roteirização de veículos possibilita então, uma maneira de visitar uma série de clientes, com um menor custo possível, atendendo a todas as demais imposições do problema. A resolução deste tipo de problema pode gerar benefícios muito grandes em termos de redução de custos, e de redução do tempo de transporte (NOVAIS, 2007).

Para Oliveira (2011, pág. 123), a redução dos percursos deve ser uma máxima a ser conquistada pelas empresas que buscam a qualidade e se estabelecerem de forma positiva no mercado. A metodologia que vamos nos dispor neste estudo tem como propósito não solucionar o problema de roteirização, mas buscar encontrar caminhos e estratégias por meio da aplicação do conhecimento geográfico, associada à análise de diversas rotas independentes, realizando a combinação de informações através de um conjunto de operações, visando à redução dos percursos das rotas.

2.3 Software Xpress

De acordo com Rangel (1995) o Xpress é uma ferramenta computacional de modelagem matemática, pois apresenta comandos que auxiliam tanto a declaração como a manipulação de um modelo matemático (variáveis e restrições), e pode ser vista como uma linguagem de programação por possuir comandos para controle (loops e seleção) que possibilita a codificação de algoritmos e manipulação de sistemas de resolução. (RANGEL, 1995).

Ainda para Rangel (2005, pág. 55) o Xpress é uma ferramenta que se utiliza da “linguagem procedural e não declarativa, isto é, os comandos são compilados ao invés de interpretados.” Tendendo contudo a um resultado favorável na busca de soluções para o problema.

Contudo o autor diz que O Xpress é uma ferramenta que proporciona tomada de decisão para diversos tipos de problemas de alocação de recursos, utilizando algoritmos de modelagem e análise para avaliar os resultados da decisão, nos permitindo assim, quantificar o impacto das ações e decisões ao longo do processo.

3. METODOLOGIA

A empresa objeto do estudo é assente em todo o estado do Ceará, atuando em 151 municípios. Destes, um total de 304 localidades são beneficiadas com sistema de abastecimento de água. Já com sistema de esgotamento sanitário, a Companhia atende 73 cidades cearenses e 4 localidades, garantindo saúde e qualidade de vida a 4,52 milhões de cearenses.

O Vale do Jaguaribe está dividido em microrregiões, sendo palco desse estudo rotas que se localizam na microrregião do Baixo Jaguaribe (Figura 01). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE (2015), a população que constitui os vinte e um municípios que integram o Vale do Jaguaribe é de 549.356mil habitantes, estando desses, 313.662 habitantes nos 15 municípios que fazem o Baixo Jaguaribe.



Figura 01: Localização da microrregião do Baixo Jaguaribe
Fonte: Google Mapas.

A empresa responsável pelo tratamento de esgoto nas referidas cidades, dividiu as mesmas em duas rotas, denominadas de Rota Praia (Russas, Serra do Felix, Palhano, Itaiçaba, Jaguaruana, Aracati, Fortim e Canoa Quebrada) e Rota Serra (Russas, Tabuleiro do Norte, Alto Santos, Potiretama, Iracema, Jaguaribara, Ererê e Pereire).

Este trabalho, de caráter qualitativo, foi empregado como técnicas as pesquisas bibliográfica, exploratória e documental para obter as informações sobre as melhores rotas a serem implantadas na distribuição de produtos químicos de uma empresa que atua no segmento de saneamento básico

O PRV, tratado no presente estudo, teve como método de resolução o modelo desenvolvido por Fisher e Jaikumar (1981). O PRV foi resolvido para cada rota de entrega: praia e serra.

A formulação do modelo de Fisher e Jaikumar aplicada ao referido PRV é descrita pelas Equações x, x e x. A função objetivo (Equação 1 minimizará as distâncias percorridas pelos veículos nas rotas praia e serra.

$$\min z = \sum_{i,j} \left(c_{ij} \cdot \sum_k X_{ijk} \right) \quad (\text{Equação 01})$$

Na Equação 01,tem-se que:

A Equação 02 assegura que cada ponto de demanda seja atendido em especial por apenas um único veículo.

$$\sum_{k=1}^M Y_{ik} = 1, \quad i = 2, \dots, N \quad (\text{Equação 02})$$

Na Equação 03 assegura que a soma dos veículos que passa pela origem é igual ao total de veículos.

$$\sum_{k=1}^M Y_{ik} = M, \quad i = 1 \quad (\text{Equação 03})$$

A Equação 04 garante que as capacidades dos caminhões não sejam ultrapassadas.

$$\sum_{i=1}^N q_i \cdot Y_{ik} \leq Q_k, \quad k = 1, \dots, M \quad (\text{Equação 04})$$

A Equação 05 garante que os caminhões não interrompam suas rotas em uma localidade i.

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = \sum_{j=1}^N X_{ji} = Y_{ik}, \quad i=1, \dots, N \quad k=1, \dots, M \quad (\text{Equação 05})$$

A Equação 06 garante que o somatório dos percursos realizados pelos caminhões da localidade i para a localidade j, quando i=j, seja igual a zero.

$$\sum_k X_{ijk} = 0, \quad i = j = 1, \dots, N \quad (\text{Equação 06})$$

A Equação 07 impossibilita a ocorrência de sub rotas entre as localidades.

$$\sum_{i,j \in S} X_{ijk} \leq |S| - 1, \quad \forall S \subseteq \{2, \dots, N\}, \quad k=1, \dots, M$$

(Equação 07)

O presente estudo ,utilizou conforme os Quadro x, x e x, os seguintes parâmetros, constantes e variáveis propostas por Fisher e Jaikumar (1981) para desenvolvimento das equações supracitadas:

Índice	Descrição	Intervalo de Variação
i, j	Endereço do cliente. Local de origem e destino de um percurso.	$(1, \dots, N)$
k	Veículo que realizará o percurso	$(1, \dots, M)$

Quadro 1: Dados utilizados por Fisher e Jaikumar que descrevem seus índices.

Fonte: Adaptado de Vianna (2002).

Parâmetro	Descrição
N	Número total de clientes de coleta em um dia
M	Número total de veículos disponíveis
C_{ij}	Custo de percorrer o percurso i ao j . No caso estudado, este custo está relacionado à distância a ser percorrida de i a j .
Q_k	Capacidade máxima do veículo K (peso ou volume)
q_i	É a demanda do cliente i . No caso estudado, representa o peso necessário a ser transportado para cada cliente.

Quadro 2: parâmetros utilizados por Fisher e Jaikumar
(Adaptado de Vianna (2002))

Variável	Tipo	Descrição
X_{ijk}	Binária	Assume valores: • 1 : indica que o percurso i para j com o veículo k fará parte da solução. • 0 : caso contrário
Y_{ik}	Binária	Assume valores: • 1: indica que o veículo k visita o endereço i • 0 : caso contrário

Quadro 3: Variáveis utilizadas no modelo de Fisher e Jaikumar

Fonte: Adaptado de Vianna (2002).

Após a definição das variáveis a serem consideradas na modelagem, as variáveis, função objetivo e restrições foram implementadas no solver Xpress – MP. Para a referida implementação, o presente estudo foi baseado na pesquisa desenvolvida por Ferreira et al. (2013).

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

Os dados abaixo são referentes ao estudo de roteirização tomando como parâmetro duas rotas, cada uma delas, usando dois caminhões, sendo as rotas denominadas A e B, como apresentadas adiante. O processo de roteirização nessa pesquisa se comportou como estático, ou seja, os caminhões partiram do depósito com todas as demandas estabelecidas previamente, não sendo reconhecidas mudanças na planificação pré-determinada, desse modo, se o tempo previsto for insuficiente para o cumprimento das ações, essas serão assistidas no dia posterior. Como todo processo de roteirização estático, aplicaram-se alguns parâmetros, dentre os quais: os caminhões utilizados são do mesmo modelo, apresentando velocidade média constante, compreendendo um turno de trabalho fixo para ambos os motoristas e com uma janela de tempo também manente.

O Quadro 4 descreve a primeira rota determinada, Rota A- Rota Serra.

		Rota A – Lado Serra							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	Distância(Km)	Russas(Sede)	Tabuleiro do Norte	Alto Santo	Potiretama	Iracema	Jaguaribara	Ererê	Pereiro
1	Russas(Sede)	0	51	88	125	126	139	155	173
2	Tabuleiro do Norte	51	0	57	96	90	68	116	158
3	Alto Santo	88	57	0	39	33	38	59	87
4	Potiretama	125	96	39	0	27	78	40	67
5	Iracema	126	90	33	27	0	71	31	59
6	Jaguaribara	139	68	38	78	71	0	97	106
7	Ererê	155	116	59	40	31	97	0	31
8	Pereiro	173	158	87	67	59	106	31	0

Quadro04: Modelagem da Rota A – serra
Fonte: elaboração Própria

A Rota Serra, de acordo com o Quadro 4, apresenta em seu percurso oito cidades (Figura 1).

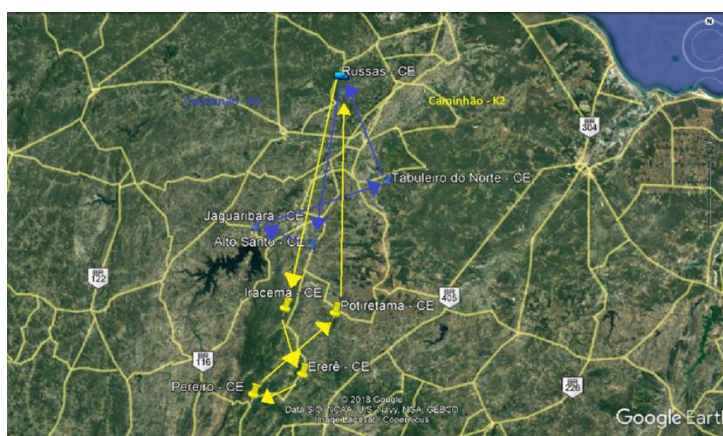


Figura 01 : Demonstração geográfica das rotas - Rota A (Serra)
Fonte: Google Earth

As distâncias entre as cidades que participam da rota A são expressas na quadro 5 , a qual também descreve o trajeto mais favorável economicamente, quando se aplica a solução ótima para a roteirização utilizando dois caminhões com capacidade de 3000 Kg.

CAMINHÃO 01		
ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA(KM)
RUSSAS	ALTO SANTO	88
ALTO SANTO	JAGUARIBARA	38
JAGUARIBARA	TABULEIRO	68
TABULEIRO	RUSSAS	51
SUBTOTAL		245
CAMINHÃO 02		
ORIGEM	DESTINO	DISTANCIA (KM)
RUSSAS	IRACEMA	126
IRACEMA	ERERE	31
ERERE	PEREIRO	31
PEREIRO	POTIRETAMA	67
POTIRETAMA	RUSSAS	125
SUBTOTAL		380
TOTAL		625

Quadro 5: distâncias percorridas - Rota A

Fonte: Elaboração própria

Assim a menor distância percorrida por um caminhão foi descrita quando se aplicou o xpress no desenvolvimento da modelagem, onde se encontrou a solução ótima descrita na Figura 2

```

A distancia minima : 625
A solucao otima para o PRV ::
O valor de x(1,3,1) eh:1
O valor de x(1,5,2) eh:1
O valor de x(2,1,1) eh:1
O valor de x(3,6,1) eh:1
O valor de x(4,1,2) eh:1
O valor de x(5,7,2) eh:1
O valor de x(6,2,1) eh:1
O valor de x(7,8,2) eh:1
O valor de x(8,4,2) eh:1

```

Figura 2 Solução ótima para rota A

Fonte: Elaboração própria; aplicação do Xpress.

Em relação à rota Praia, a rota B, são favorecidos sete destinos além do local de origem, que assim como na rota descrita anterior é a cidade de Russas. No Quadro 06 segue os percursos da referida rota.

		Rota B – Lado Praia							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Distância(Km)		Russas(Sede)	Serra do Felix	Palhano	Itaíçaba	Jaguaruana	Aracati	Fortim	Canoa Quebrada
1	Russas(Sede)	0	75	34	51	45	72	85	84
2	Serra do Félix	75	0	58	59	88	56	73	68
3	Palhano	34	58	0	17	32	45	54	57
4	Itaíçaba	51	59	17	0	26	30	39	42
5	Jaguaruana	45	88	32	26	0	54	63	66
6	Aracati	72	56	45	30	54	0	19	12
7	Fortim	85	73	54	39	63	19	0	31
8	Canoa Quebrada	84	68	57	42	66	12	31	0

Quadro06 ÷ Modelagem da Rota B – Praia

Fonte: Elaboração própria

A Rota Praia, de acordo com O Quadro 06 , apresenta em seu percurso seis cidades e dois distritos (**Figura 3**).

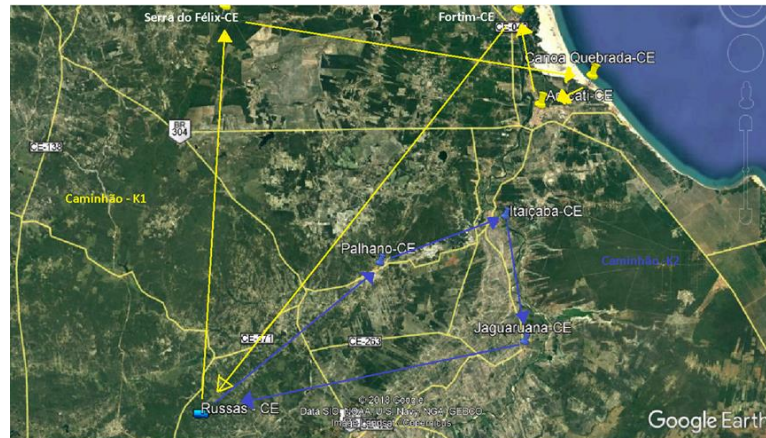


Figura 3: Demonstração geográfica das rotas - Rota A (Serra)

Fonte: Google Earth

As distâncias percorridas entre os destinos no trajeto da rota B, estão descritas no Quadro 07.

CAMINHÃO 01			
ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA(KM)	
RUSSAS	PALHANO	34	
PALHANO	ITAIÇABA	17	
ITAIÇABA	JAGUARUANA	95	
JAGUARUANA	RUSSAS	45	
SUBTOTAL		122	
CAMINHÃO 02			
ORIGEM	DESTINO	DISTÂNCIA(KM)	
RUSSAS	S. DO FELIX	75	
S. DO FELIX	CANOA Q.	68	
CANOA Q.	ARACATI	12	
ARACATI	FORTIM	19	
FORTIM	RUSSAS	85	
SUBTOTAL		254	
TOTAL		381	

Quadro 07: Distâncias percorridas - Rota B

Fonte: Elaboração própria

Assim a menor distância percorrida por um caminhão foi descrita quando se aplicou o xpress no desenvolvimento da modelagem, onde se encontrou a solução ótima descrita na Figura 4 .

```

A distancia minima : 381
A solucao otima para o PRV ::
0 valor de x(1,2,2) eh:1
0 valor de x(1,3,1) eh:1
0 valor de x(2,8,2) eh:1
0 valor de x(3,4,1) eh:1
0 valor de x(4,5,1) eh:1
0 valor de x(5,1,1) eh:1
0 valor de x(6,7,2) eh:1
0 valor de x(7,1,2) eh:1
0 valor de x(8,6,2) eh:1

```

Figura 4: Solução ótima para rota A
Fonte Elaboração própria; aplicação do Xpress

Posterior à determinação das variáveis insignes na modelagem, procedeu-se as determinações das rotas abordadas (Rota A e Rota B). Para tanto, as variáveis, função objetivo e restrições foram implementadas no solver Xpress – MP. A declaração das variáveis encontra-se nas Figuras 0 5 e 0 6.

Para a rota Serra, tem-se que:

```

model teste
uses "mxxprs"; !gain access to the Xpress-Optimizer solver
declarations

ori = (1..8)
des = (1..8)
cam = (1..2)
c: array (ori,des) of real !Distâncias entre as localidades
x: array (ori,des,cam) of mpvar ! variável de decisão que se refere ao percurso i para j
pelo caminhão k
y: array (ori, cam) of mpvar !variável de decisão que indica que o veículo k visita o
cliente i
q: array (ori) of real ! Demanda das localidades
Q: array (cam) of real !Capacidade dos caminhões

end-declarations

c:= [0, 51, 88, 125, 126,139, 155, 173,
51, 0, 57, 96, 90, 68, 116, 158,
88, 57, 0, 39, 33,38, 59, 87,
125, 96, 39, 0, 27, 78, 40, 67,
126, 90, 33, 27, 0, 71, 31, 59,
139, 68, 38, 78, 71, 0, 97, 106,
155, 116, 59, 40, 31, 97, 0, 31,
173, 158, 87, 67, 59, 106, 31, 0]

```

Figura 05 – Declaração das Variáveis- rota B
Fonte: Autoria Própria

Para a Rota Praia:

```

model teste
uses "mmxprs"; !gain access to the Xpress-Optimizer solver
declarations

ori = (1..8)
des = (1..8)
cam = (1..2)
c: array (ori,des)of real !Distâncias entre as localidades
x: array (ori,des,cam) of mpvar ! variável de decisão que se refere ao percurso i para j
pelo caminhão k
y: array (ori, cam) of mpvar !variável de decisão que indica que o veículo k visita o cliente
i
q: array (ori) of real ! Demanda das localidades
Q: array (cam) of real !Capacidade dos caminhões

end-declarations

c:: [0,75,34,51,45,72,85,84,
75,0,58,59,88,56,73,68,
34,58,0,17,32,45,54,57,
51,59,17,0,26,30,39,42,
45,88,32,26,0,54,63,66,
72,56,45,30,54,0,19,12,
85,73,54,39,63,19,0,31,
84,68,57,42,66,12,31,0]

Q:: [3000,3000]

q::[840,192,360,276,600,816,240,132]

```

Figura 0 6 – Declaração das Variáveis- rota B
Fonte: Autoria Própria

Após a declaração das variáveis utilizadas, as restrições do problema foram implementadas. Na Figura 0 7 são apresentadas as restrições para Rota A.

```

forall (i in 2..8)
r1(i):= sum (k in cam) y(i,k)=1 ! Esta restrição garante que cada cliente i seja visitado por apenas um veículo k
forall (i=1)
r2(i):= sum (k in cam) y(i,k)=2 ! Esta restrição garante que a origem i (localizada em Russas) receba a visita de todos
os caminhões
forall (k in cam)
r3(k):= sum (i in ori) q(i)*y(i,k) <= Q(k)!Esta restrição garante que as capacidades dos caminhões não seja
ultrapassada
forall (i in ori, k in cam)
r4(i,k):= sum (j in des) x(i,j,k)= y(i,k)! Esta restrição garante que os caminhões não interrompem suas rotas em um
cliente i
forall(j in des, k in cam)
r5(j,k):=sum (i in ori) x(i,j,k)= y(j,k)!Esta restrição garante que os caminhões não interrompem suas rotas em um
cliente j
forall (i in ori)
r7(i):= sum (k in cam) x(i,i,k)=0 !Esta restrição garante que o somatório dos percursos realizados pelos caminhões de
i pra um j, quando i=j, é igual a zero.
forall (i in 1..7, j in 2..8)
r611 (i,j):= x(i,j,1)+ x(j,i,1) <= 1 !impossibilidades de sub-rotas
forall (i in 1..7, j in 2..8)
r612 (i,j):= x(i,j,2)+ x(j,i,2) <= 1!impossibilidades de sub-rotas
forall (i in 1..6, j in 2..7, m in 3..8)
r621 (i,j,m):= x(i,j,1)+ x(j,m,1)+ x(m,i,1) <= 2 !impossibilidades de sub-rotas
forall (i in 1..6, j in 2..7,m in 3..8)
r622 (i,j,m):= x(i,j,2)+ x(j,m,2)+x(m,i,2) <= 2!impossibilidades de sub-rotas
forall (i in 1..5, j in 2..6, m in 3..7, n in 4..8)
r623 (i,j,m,n):= x(i,j,1)+ x(j,m,1)+ x(m,n,1)+ x(n,i,1) <= 3 !impossibilidades de sub-rotas
forall (i in 1..5, j in 2..6, m in 3..7, n in 4..8)
r624 (i,j,m,n):= x(i,j,2)+ x(j,m,2)+ x(m,n,2)+ x(n,i,2) <= 3 !impossibilidades de sub-rotas
forall (i in ori, j in des, k in cam)
x(i,j,k)is_binary
forall (i in ori, k in cam)
y(i,k)is_binary
distancia := sum(i in ori, j in des) c(i,j)*sum(k in cam)x(i,j,k)
minimize (distancia)
writeln ("A distancia minima : ", getobjval)
writeln ("A solucao otima para o PRV é:")
forall (i in ori, j in des, k in cam)
if getsol (x(i,j,k))= 1 then
writeln("O valor de x(", i, ",", j, ",", k,") eh:", getsol(x(i,j,k)))
end-if

```

Figura 0 7: restrição para a rota A

Contudo, após a determinação da função objetivo pode-se perceber que o Xpress proporcionou uma solução ótima para a rota dos dois caminhões em ambos os percursos, praia e serra.

5. CONCLUSÕES

No presente estudo foi possível propor uma alternativa de roteirização para o alocamento dos veículos que farão a entrega de produtos químicos a serem utilizados no tratamento da água da região do Baixo Jaguaribe Cearense (CE). O modelo de Fisher e Jaikumar (1981) se mostrou adequado para a resolução do PRV.

A distância total percorrida pelos caminhões para atender a rota B é de 381 km e para a rota A é de 625. Comparando-se a roteirização proposta com a distribuição atual adotada pela empresa foi possível verificar a redução das distâncias percorridas pelos referidos veículos e consequentemente o menor custo logístico possível com a entrega de tais produtos.

Posterior às averiguações dos resultados, concluímos que o estudo foi pertinente, haja vista, que se fez o uso das concepções e mecanismos da Pesquisa Operacional concomitantemente com o software Xpress-IVE. Dessa maneira, buscou-se a solução ótima, sendo a mesma coesa e adequada com o real, exibindo que a roteirização contribuirá para diminuir os custos operacionais, potencializando as rotas a serem percorridas e utilizando as menores distâncias nas rotas Serra e Praia do vale jaguaribano e, campo de estudo do presente trabalho.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, a principal dificuldade encontrada foi decorrente à linguagem computacional adotada no software Xpres, bem como o fato de ter sido utilizada a versão estudantil do referido software o qual limitou o estudo para apenas um tipo de produto, algumas localidades e um percentual da capacidade do caminhão. Dessa maneira, para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação desse estudo para os demais produtos da empresa, onde seria apresentado o verdadeiro impacto da otimização das rotas.

Nesse entendimento, percebe-se que fazendo o uso dos métodos de roteirização e consequentemente idealização das rotas, é possível empregar de forma melhor os recursos disponibilizados, dessa maneira, viabilizar entregas, vislumbrar áreas e rotas com melhor retorno financeiro, promover declínios de custos e elevar a qualidade do serviço oferecido.

REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas. 2007

ADAS, M. Geografia. 3. Ed. ver. Atual. São Paulo: Moderna, 1994.

BRASIL. Constituição (1988). Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº 9.795 de 27 de abril de 1999. Política Nacional de Educação Ambiental. Brasília, DF: Presidência da República - Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, 1999.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 – Lei das Águas. Brasília, DF: Presidência da República - Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, 1997.

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

CAMPOS, J. N. B. Água, sociedade e natureza: desenvolvimento científico e gestão de águas. In: CASSOL, Daniel. Privatização da água. Adital – Notícias da América Latina e Caribe. mar 2006.

COSTA, F. J. L. Estratégias de gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil: áreas de cooperação com o Banco Mundial. Brasília: Banco Mundial, 2007. 177 p. (Série Água Brasil, v.1).

CUNHA, A.; PEREIRA, L.; SANTOS, M.; RIBEIRO, M.; MARRANA, R. Disponibilidade de água doce: haverá água doce suficiente para as necessidades humanas deste planeta? Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. 2009.

DECLARAÇÃO DE HAIA. Água segura para o século XXI. Março de 2000.

DETONI, T.; DONDONI, P. C. Sustentabilidade: O comércio planetário da água. XII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 07 a 09 de novembro de 2005.

ENOMOTO, L. M. Análise da distribuição física e roteirização em um atacadista do Sul de Minas Gerais. 2005. 141 p.

FICO. Produtos e soluções em: < <http://www.fico.com/br/products/fico-collection-optimization#overview> >. 2018

GEO MUNDI. Fontes de Energia e Poluição. Disponível em: <<http://geomundi.cjb.net/>>. 2008.

LEITÃO, S. A. M. O direito da água: o desafio do milênio. In: HERMANS, M. A. A. Direito ambiental: o desafio brasileiro e a nova dimensão global. Brasília, DF: Brasília Jurídica: OAB, 2009. P. 425-435.

MENDONÇA, F. A.; SANTOS, L. J. C. Gestão da água e dos recursos hídricos no Brasil: avanços e desafios a partir das bacias hidrográficas: uma abordagem geográfica. Revista Geografia, Rio Claro, SP, v. 31, n. 1, p.103-117, 2006.

NOVAES, A. G. Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007

OLIVEIRA, T. P. Análise jurídica dos conflitos de uso da água na realidade brasileira: o caso da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Direito UNIFACS, v. 133, p. 111, 2011.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PRZYBYSZ, L.C.B. A gestão de recursos hídricos sob a ótica do usuário de saneamento: estudo de caso da Bacia do Alto Iguaçu. 2007.