

PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS APLICADO À COLETA DE GÊNEROS ALIMENTÍCIOS: UM ESTUDO DE CASO

Sandro Luiz da Paixão Xavier

Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, e-mail: spaixaox@yahoo.com.br

José Lassance de Castro Silva

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, e-mail: lassance@pesquisador.cnpq.br

Bruno de Castro Honorato Silva

Faculdade Integrada do Ceará, Fortaleza-CE, Brasil, e-mail: brunonorato@hotmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta metodologias na resolução do problema de roteamento de veículos que realizam coletas de doações de gêneros alimentícios em várias empresas doadoras cadastradas num projeto social sem fins-lucrativos do Serviço Social do Comércio (SESC), *Projeto Amigos do Prato*. Analisa o caso do SESC Fortaleza-Ce, unidade operacional do SESC Ceará, que servirá como base para as demais unidades do Departamento Regional do Ceará. A designação de rotas é obtida como solução de um problema de roteamento de veículos, visando minimizar custos com deslocamentos de veículos, levando em consideração as restrições do problema. Propõe duas heurísticas construtivas, sendo uma delas bastante utilizada na literatura e a segunda a do Vizinho mais Próximo. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, demonstrando a importância de processos de otimização neste tipo de problema e projetando uma redução de deslocamento significativa por ano para a dimensão deste estudo de caso.

Palavras-chave: Otimização, Problema de Roteamento de Veículos, Heurística.

Abstract

This work presents methodologies on the resolution of problems related to vehicle routing that collect donations of foodstuff in many registered companies in a social project without lucrative ends on SESC Ceará, *Projeto Amigos do Prato*. Analyze the case of SESC Fortaleza, operational unit of SESC Ceará, that will serve of base to other units of the Regional Department of Ceará State. The route's designation is obtained as a solution to the problem of vehicles routing, to lower the cost with vehicle's displacement, taking in consideration the problem's restriction. This work proposes two constructive heuristics being one enough used in the literature and another the Nearest Neighbor. The results obtained are very satisfying demonstrating the importance of optimization's process in this kind of problem and projecting a significant reduction of displacement by year for the dimension of this case study.

Key-words: Optimization, Vehicle Routing Problem, Heuristics.

1. Introdução

O *Mesa Brasil SESC – Amigos do Prato* é um programa de segurança alimentar e nutricional sustentável que atua desde 2001, redistribuindo alimentos excedentes próprios para o consumo. O programa é uma ponte que busca alimentos onde sobra e, entrega em comunidades carentes, onde falta, contribuindo para diminuir a desigualdade social no país.

O Mesa Brasil consolida o compromisso social e institucional do SESC em uma ação social efetiva para atender a maior parcela possível da população que vive em situação de risco sócio-econômico e cultural.

As entidades envolvidas no Projeto são o Mesa Brasil SESC (*MBS*), entidades doadoras e entidades filantrópicas ou beneficiadas. Atualmente, as entidades doadoras estão localizadas em cinco cidades do Ceará: Fortaleza, Crato, Sobral, Iguatu e Juazeiro do Norte.

No Projeto, o MBS de cada cidade fica responsável por recolher, realizar triagens e repassar os alimentos doados, funcionando no modo Banco de Alimentos, onde os veículos do programa vão até as entidades doadoras, recolhem os alimentos e levam para os depósitos do MBS de suas respectivas cidades, para posteriormente ser feita a triagem dos alimentos. Finalizando o fluxo, as entidades beneficiadas vão até o Banco de Alimentos, do MBS, receber suas respectivas doações. Como formas de gerenciar os deslocamentos realizados pelo MBS foram elaboradas rotas respeitando alguns critérios que serão apresentados adiante.

A classe de Problemas de Roteamento de Veículos tem um papel importantíssimo na área de gerenciamento de distribuição e logística e, os custos associados com operações de veículos têm uma grande representatividade no custo total da logística (BARBAROSOGLU; OZGUR, 1999). Um bom gerenciamento de transporte pode melhorar uma considerável parte dos custos de transporte de uma companhia privada (TAN; LEE; ZHU, 2001). De acordo com Bodin (1983) *apud* Herer e Levy (1997), a distribuição física dos produtos contribui com cerca de 20% do valor final do item. No entanto, o Problema de Roteamento de Veículos (*PRV*) é um problema combinatório de difícil resolução computacional (BARBAROSOGLU; OZGUR, 1999). Diversos problemas relacionados ao tema Roteamento de Veículos têm sido pesquisados nos últimos 30 anos (GOLDBARG; LUNA, 2005).

Neste trabalho iremos aplicar técnicas existentes na Pesquisa Operacional para resolver o problema de geração de rotas.

O presente trabalho está dividido em cinco seções, a primeira descreve a introdução da pesquisa. Na seção 2, descreve-se o problema que suscitou o estudo em questão. A seção 3 descreve os experimentos computacionais, com a aplicação de heurísticas ao problema proposto. Por fim, as conclusões e sugestões para trabalhos futuros são descritas na seção 4, enquanto que na seção 5, são descritas as referências bibliográficas utilizadas para o estado da arte.

2. Descrição do Problema

Um grande número de aplicações reais já mostrou que a introdução de técnicas de otimização e programação matemática para a gestão efetiva da distribuição de bens e serviços, no planejamento do processo de distribuição, traz reduções consideráveis no custo total de transporte, geralmente entre 5% e 20%. O impacto desta redução como um todo é significativo para a economia, tendo em vista que o custo de transporte está relacionado diretamente no processo produtivo e representa de 10% a 20% do custo final dos produtos.

Dentre os fatores que contribuíram para o aumento no custo operacional destacam-se o alto custo associado aos benefícios da mão-de-obra empregada, os altos custos envolvidos na manutenção da frota de veículos e o aumento do nível de serviço exigido pelos clientes. O Problema de Roteamento de Veículos surge como uma boa opção para dar um suporte às empresas no tocante a distribuição dos seus produtos. O PRV apresenta uma enorme dinamicidade, foi proposta a subdivisão desta classe de problemas a fim de se estudar de maneira específica algumas destas situações presentes em instâncias reais. Uma delas é a consideração da capacidade de carga do veículo e o tempo em que os clientes podem ser atendidos (janela de tempo), tendo apenas um depósito central de mercadorias, ficando conhecido como Problema de Roteamento de Veículos com Janela de Tempo (*PRVJT*).

O PRVJT pode ser formulado da seguinte maneira: Um conjunto de veículos idênticos, representado pelo conjunto $V = \{1, \dots, M\}$, necessita realizar entregas em uma região. Os n clientes dentro desta região estão representados pelo conjunto C , que são vértices de um grafo $G = (C, A)$, com A sendo o conjunto de arestas. Adicionalmente, incluem-se dois outros vértices, os vértices 0 e $n+1$ que representam o depósito central de onde partirão e chegarão todos os veículos, respectivamente. São dados os ts_i , t_{ij} e c_{ij} que representam respectivamente o tempo de serviço usado para descarregar a encomenda no cliente i , o tempo e a distância necessários para ir do cliente i ao cliente j . Em se tratando de veículos com o mesmo padrão de velocidade, podemos adotar $t_{ij} = c_{ij}$. Cada cliente i tem uma demanda, ou seja, uma quantidade de encomenda q_i . Além disso, cada cliente deverá ser atendido por um único veículo, não sendo permitido a divisão de uma encomenda por dois ou mais veículos. Quanto à janela de tempo, dada pelo intervalo $[a_i, b_i]$, indica que a partir do instante inicial a_i é permitido o início da entrega ou coleta no cliente i . Caso a chegada do veículo no cliente i se dê antes do instante a_i , o veículo deverá esperar. O veículo nunca poderá chegar depois do instante b_i , pois viola a restrição de tempo do problema. Este tipo de restrição de tempo é conhecido na literatura como janela de tempo rígida ou *hard time window*. Os veículos são idênticos e possuem uma capacidade máxima de carga Q . O PRVJT consiste fazer a entrega da demanda de todos os clientes minimizando a distância total percorrida.

O modelo matemático do PRVJT leva em consideração os dados descritos no parágrafo anterior e as seguintes variáveis:

a) r_{jv} é o instante de chegada do veículo v ao cliente j , $j=1, 2, \dots, n$;

b) X_{ijv} é uma variável binária definida por

$$X_{ijv} = \begin{cases} 1, & \text{se na rota do veículo } v \text{ ele vai diretamente do cliente } i \text{ ao cliente } j \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad , \text{ com } v \in V \text{ e } (i, j) \in A;$$

c) $K = 10^4 \times \text{Max}\{t_{ij}\}$ é um número bastante grande.

Assim, modelamos o problema da seguinte forma:

$$\text{(PRVJT) : Minimizar } z = \sum_{v=1}^M \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} c_{ij} X_{ijv} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{v=1}^M \sum_{j=1}^{n+1} X_{ijv} = 1, \forall i \in C \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=1}^n X_{ijv} = Q, \forall v \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{0jv} = 1, \forall v \in V \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ihv} - \sum_{j=1}^n X_{hjh} = 0, \forall v \in V, h \in C \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{i(n+1)v} = 1, \forall v \in V \quad (6)$$

$$r_{iv} + ts_i + t_{ij} - K(1 - X_{ijv}) \leq r_{jv}, \forall i, j \in C, v \in V \quad (7)$$

$$a_i \leq r_{iv} \leq b_i, \forall i \in C, v \in V \quad (8)$$

$$X_{ijv} \in \{0,1\}, \forall i, j \in G, i \neq j, v \in V \quad (9)$$

Onde: A Função objetiva (1) minimiza a distância a ser percorrida para realizar a entrega das encomendas de cada cliente; O grupo de restrições do tipo (2) faz com que somente um veículo faça a entrega de um cliente; Em (3) é dado o limite da capacidade de ocupação de cada veículo, não ultrapassar Q unidades; O grupo de restrições do tipo (4) obriga cada veículo usado na entrega iniciar sua rota pelo depósito, enquanto que (6) dar-se-á o retorno ao depósito. As restrições do tipo (5) fazem com que o veículo usado na entrega do cliente i dirija-se para um outro cliente ou retorne ao depósito central. As restrições (4), (5) e (6) trata de traçar uma rota para cada veículo usado na entrega; O grupo de restrições (7) determina que o instante de chegada de um veículo v a um cliente j só poderá ocorrer depois do instante finalizado da entrega do cliente imediatamente anterior a j . A constante K torna o grupo de restrição (7) verdadeira para qualquer valor de X_{ijv} ; As restrições dos tipos (8) e (9) determinam os possíveis valores para as variáveis do modelo conforme definidas anteriormente.

Encontrar solução para o *PRVJT* implica em obter simultaneamente a solução de vários problemas tais como o Problema do Caixeiro Viajante e o Problema da Mochila, sendo conseqüentemente considerado *NP-Difícil* (GAREY e JOHNSON, 1979). Dado que o espaço de busca das soluções dos problemas *NP-Difíceis* não pode ser explorado integralmente em tempo hábil, técnicas de otimização (heurísticas e meta-heurísticas) são utilizadas para buscar soluções dos problemas.

O Mesa Brasil do SESC Fortaleza, estudo de caso deste trabalho, realiza coletas de doações de gêneros alimentícios, tendo para isso, que percorrer rotas pré-estabelecidas onde o depósito é o próprio SESC Fortaleza. As rotas são percorridas pelos veículos do próprio SESC de acordo com os planejamentos pré-estabelecidos em diários de bordo.

No planejamento das rotas são levados em consideração: os tipos de gêneros alimentícios, a existência de rotas específicas para padarias e para os demais tipos de gêneros alimentícios, a capacidade dos veículos, os dias de semana que os doadores estão disponíveis para doações e a localização geográfica dos doadores em relação ao depósito do SESC.

Existem três tipos de veículos para o transporte e que variam em capacidade de armazenamento e consumo de combustível em quilômetros por litro (*km/L*). O menor deles, que é uma Kombi, tem uma capacidade de meia Tonelada e consumo de 8 *km/L* (transporte mais usado nas rotas das padarias), o mediano, que é uma *Iveco*, possui a capacidade de três Toneladas e consumo de 5 *km/L* (usado na maioria das rotas sistemáticas) e o de maior dimensão, que é um caminhão, que possui a capacidade de sete toneladas e o consumo de 3 *km/L* (usado só para eventuais viagens de apoio às outras unidades do SESC Ceará). A janela de tempo poderia adotar intervalos bastante longos devido haver bastante tempo para receber/distribuir os produtos.

No que diz respeito aos tipos de gêneros alimentícios coletados pelo SESC pode-se citar: Produtos de panificadoras; Produtos hortifrutigranjeiros; e Produtos de açougues. A Tabela 1, dada abaixo, especifica a relação de rotas diárias específicas para cada dia da semana.

Tabela 1 - Tipos de Rotas do SESC Fortaleza.

Rota	Dia da Semana
Rota Padarias	Segunda-feira
Rota Padarias	Sexta-feira
Rota 01	Segunda-feira
Rota 01	Terça-feira
Rota 01	Quarta-feira
Rota 01	Quinta-feira
Rota 01	Sexta-feira
Rota 02	Segunda-feira
Rota 02	Terça-feira
Rota 02	Quarta-feira
Rota 02	Quinta-feira
Rota 02	Sexta-feira

As *Rotas Padarias* englobam doadores de produtos de panificadoras de acordo com o dia de disponibilidade, podendo-as serem nas segundas-féias ou nas sextas-feiras. Dentre os bairros dos doadores destas rotas pode-se citar: Dionísio Torres, Aldeota, Monte Castelo, Joaquim Távora, Meireles e Varjota. Para exemplificar, a Tabela 2 abaixo apresenta a lista de doadores da Rota Padarias disponíveis em dias de segundas-feiras.

Tabela 2 – Rota Padarias (Segunda-Feira).

Doadores
SESC Fortaleza (Depósito)
Pão na Massa
Pão no Ponto
Padaria Santa Cecília
Panificadora Monte Carlos
Panificadora Oficina do Pão
Millapane
Ricopane
Panettute
Arte Pão
SESC Fortaleza (Depósito)

As Rotas 01 englobam doadores dos bairros: Dunas, Papicu, Meireles, Edson Queiroz, Cidade dos Funcionários, Dionísio Torres, Aldeota, Centro e São João do Tauape. Enquanto as Rotas 02 abrangem doadores dos bairros: Farias Brito, Messejana, Passaré, Cidade dos Funcionários, Ancuri, Maraponga, Demócrito Rocha, Damas, Antonio Bezerra, José Walter e Cristo Redentor. A Figura 1, dada a seguir, mostra o mapa da cidade de Fortaleza com seus bairros.

2.1. Métodos de Resolução do Problema

Como visto anteriormente o PRV pertence à classe de problemas NP-Difícil, com isso métodos exatos existentes são demasiados lentos e apenas praticáveis para problemas de pequenas instâncias (BARBAROSOGLU; OZGUR, 1999). Assim, métodos mais comuns e eficientes fundamentam-se em heurísticas (SCHUTZ; PIRES, 2003).

Com estas razões justifica-se o uso de heurísticas na resolução do PRV com o propósito de encontrar boas soluções viáveis em um tempo computacional aceitável. Após pesquisa e análise de algumas heurísticas de resolução aplicadas na resolução do PRV, encontradas na literatura, foram implementadas as heurísticas de Clarke e Wright (1964) e a heurística do *Vizinho mais Próximo*, descritas adiante.

2.2. Heurística de Clarke e Wright

A heurística de Clarke e Wright (CW), bastante utilizada na prática (CORDEAU *et al.*, 2002), foi originalmente desenvolvida para resolver problemas clássicos de roteamento de veículos (LIU; SHEN, 1999), podendo ser aplicada em problemas cujo número de veículos é uma variável de decisão e trabalha igualmente bem, tanto para problemas com matriz de distâncias assimétrica, onde a distância do cliente A para o cliente B pode ser diferente da distância do cliente B para o cliente A, como para matriz simétrica (LAPORTE *et al.*, 2000).



Figura 1 – Mapa de bairros do município de Fortaleza.

A heurística baseia-se na noção de economias que pode ser definida como o custo da combinação, ou união, de duas ou mais sub-rotas existentes. Trata-se de uma heurística iterativa de construção baseada numa função gulosa de inserção.

Segundo Liu e Shen (1999) cada cliente é inicialmente servido por um veículo. Seja c_{ij} o custo da viagem de um cliente i a um cliente j , podendo também ser utilizado d_{ij} (distância percorrida) ou t_{ij} (tempo de deslocamento) em vez de c_{ij} . Duas rotas contendo clientes i e j podem ser combinadas desde que i e j estejam ou na primeira ou na última posição de suas respectivas rotas. À medida em que as rotas vão sendo expandidas rumo a uma solução de melhor qualidade é possível realizar testes relativos às restrições do problema (GOLDBARG; LUNA, 2005). O algoritmo de Clarke e Wright pode ser utilizado tanto na versão seqüencial quanto na versão paralela (LAPORTE; SEMET 2002 *apud* GANHOTO, 2004). Enquanto a versão seqüencial percorre várias vezes a lista de economias na tentativa de expandir uma única rota antes de iniciar a expansão da próxima, a versão paralela percorre a lista de economias apenas uma vez, tentando realizar a expansão de uma ou mais rotas até que a lista seja esgotada (GANHOTO, 2004).

2.3. Heurística do Vizinho Mais Próximo

Segue uma definição da Heurística do *Vizinho Mais Próximo* (VMP), conforme Estevam (2003), partindo de um nó (posição geográfica de um cliente ou do depósito) inicial qualquer, visita-se o vizinho mais próximo deste nó e, a cada iteração, a partir do novo nó, visita-se o vizinho mais próximo dele, de forma que cada nó só possa ser visitado uma única vez. Não havendo mais nós a serem visitados, finaliza-se a rota retornando para o ponto de partida. A seguir são descritas as etapas da heurística VMP:

- (a) A partir de um conjunto de nós (clientes e depósito), escolha o nó depósito para iniciar

- a rota;
- (b) Adicione na rota o nó mais próximo ao último nó adicionado e que não ainda esteja na rota;
- (c) Repita a etapa (b) até que todos os nós pertençam à rota; e
- (d) Finalize a rota juntando o último nó ao primeiro nó da rota.

2.4. Geração dos Dados

Dada a inexistência de dados referente a distância entre os atores do problema prático usamos o sítio <http://www.map24.com> para confeccionar os valores da matriz D , onde foi possível pesquisar distâncias entre nós (doadores e o depósito), informando como entrada dois endereços: um de origem e um outro de destino.

Foram encontradas algumas dificuldades neste levantamento de dados, como: a falta de endereços de doadores, principalmente aqueles do interior do estado do Ceará (sítios ou fazendas); a inexistência de endereços exatos no mapeamento do sistema, tendo que ser utilizada em algumas vezes apenas dados mais abrangentes como CEPs (*Código de Endereço Postal*), que diminui a apuração de distâncias; e o processo de pesquisa, manual e muito demorado.

3. Experimentos Computacionais

Foram realizados experimentos computacionais nas 12 (doze) rotas praticadas pelo SESC apresentadas na Seção 2. Para cada rota, preservando seus respectivos conjuntos de doadores, foram sugeridas duas novas rotas, uma através da heurística de CW e a outra através da heurística VMP. Assim, pode-se escolher a melhor técnica para cada uma das 12 (doze) rotas, onde o critério de escolha se resume na rota, ou ordem de visita nos doadores, que apresentou a menor distância em quilômetros.

Para os experimentos foi desenvolvido um programa, denominado *OtimizaRota*, implementado em linguagem *Delphi*, da Borland, onde disponibiliza-se os seguintes recursos:

- Cadastro de Doadores e suas respectivas demandas;
- Cadastro de Rotas e o depósito de cada;
- Associação de Rotas e Doadores onde são definidos os doadores de cada rota;
- Cadastro da Matriz de Distâncias entre doadores e depósitos;
- Cadastro de Veículos (dimensões, consumo e capacidade); e
- Execução das Heurísticas de Clarke e Wright e Vizinho Mais Próximo.

No programa computacional, executam-se as heurísticas selecionando o tipo de rota desejada e em seguida clica-se numa das heurísticas através dos botões “Gera rota(s) CW” ou “Gera Rota(s) VMP”. Devido as dificuldades encontradas trabalhou-se apenas com a matriz de distâncias entre doadores de rotas sistemáticas do SESC Fortaleza, que somam 42 doadores, dando uma matriz distância de ordem 42×42 .

Uma forma de contornar esta dificuldade seria utilizar um Sistema de Posicionamento Georreferenciado (*GPS*), para o levantamento de coordenadas geográficas dos doadores e clientes, e depois ser utilizado o referido software, descrito anteriormente, para então se obter a matriz distância.

3.1. Resultados

A Tabela 3, dada a seguir, compara as soluções praticadas pelo SESC com as soluções propostas pelas heurísticas. Lembrando que as soluções estão sendo avaliadas pelo total de quilômetros rodados.

As colunas da Tabela 3 SESC, CW e VMP mostram as suas respectivas quilometragens para cada rota, enquanto a coluna Economia mostra a redução de quilometragem possível se aplicada à melhor das soluções encontradas. Os dados descritos em **Negrito**, para cada linha desta tabela, representam a indicação da melhor solução encontrada proposta pelos três métodos. No geral VMP obteve o melhor desempenho global, com um total de 489,61 Km rodados, enquanto em segundo lugar ficou CW com 504,83 Km rodados. Adotando as melhores soluções encontradas, para serem praticadas, tem-se uma economia de 157,48 Km rodados que equivale a

25,7% de economia da quilometragem usada pelo SESC. Portanto, neste sentido já valeu o esforço feito com estas duas técnicas quando usadas na resolução do problema.

Tabela 3 – Resultados dos experimentos computacionais.

Rotas	SESC	CW	VMP	Economia
Rota Padarias (Segunda-Feira)	38,39	20,89	24,15	17,50
Rota Padarias (Sexta-Feira)	44,91	28,15	22,75	22,16
Rota 01 (Segunda-Feira)	43,46	33,74	39,76	9,72
Rota 01 (Terça-Feira)	66,22	34,47	40,19	31,75
Rota 01 (Quarta-Feira)	43,46	33,74	39,76	9,72
Rota 01 (Quinta-Feira)	65,61	41,21	44,81	24,40
Rota 01 (Sexta-Feira)	56,03	35,33	42,21	20,70
Rota 02 (Segunda-Feira)	54,24	71,28	57,80	0,00
Rota 02 (Terça-Feira)	41,51	51,62	41,51	0,00
Rota 02 (Quarta-Feira)	40,25	47,46	40,25	0,00
Rota 02 (Quinta-Feira)	75,91	57,14	54,38	21,53
Rota 02 (Sexta-Feira)	42,04	49,80	42,04	0,00
Total	612,03	504,83	489,61	157,48

Observou-se que para as Rotas 02, geralmente não há uma grande redução de custos em relação à solução praticada pelo SESC, os experimentos mostraram que na maioria das rotas destes tipos que esta sendo praticada coincidiu com a sugerida pela heurística VMP. Isto se deve ao fato das heurísticas não garantir a solução ótima do problema específico. Por outro lado, nas demais Rotas: Rotas Padarias e Rotas 01; houve significativa redução de deslocamento, destacando-se a heurística de Clarke e Wright, individualmente.

Também foram observados que dentro das Rotas Padarias, Rota 01 e Rota 02 destacaram-se, respectivamente, com melhores economias na Rota Padaria (Sexta-Feira), Rota 01 (Terça-Feira) e Rota 02 (Quinta-Feira), sinalizando que para estas configurações (lista de visitas de doadores por rotas) foi possível chegar a bons resultados. É conveniente que sejam realizadas negociações com os doadores no sentido de remontar as listas de visitas de doadores por rotas (um novo diário de bordo) de forma que as demais rotas também possam maximizar suas economias. Outra vantagem na resolução do problema através do programa é o planejamento no acompanhamento das entregas e distribuição dos produtos por rotas.

Tabela 4 – Total de distâncias a serem economizadas por períodos.

Período	SESC	CW	VMP	Economia
Semanal	612,03	504,83	489,61	157,48
Mensal	2.448,12	2.019,32	1.958,44	629,92
Anual	29.377,44	24.231,84	23.501,28	7.559,04

A Tabela 4, dada acima, informa a totalização dos deslocamentos praticada por cada método e a economia realizada usando as melhores soluções encontradas por período: semanal, mensal e anual.

A Tabela 5, dada a seguir, mostra uma representação da equivalência de consumo por litros de combustível a ser economizado, levando em consideração o consumo médio dos tipos de veículos disponíveis no SESC Fortaleza.

Tabela 5 – Equivalência do consumo de combustível a ser economizado.

Veículos (Consumo/Litro)	Economia (Litros/ano)
Kombi (8 km/L)	944,880
Iveco (5 km/L)	1.511,808
Caminhão (3 km/L)	2.519,680

4. Conclusões

No presente trabalho foram aplicadas heurísticas para a resolução de um problema real com o objetivo de automatizar o processo de decisão com o intuito de buscar boas soluções, compará-los com os métodos usados atualmente, de tal forma que fosse possível mensurar a otimização dos recursos gerando economias.

Observou-se também que embora os métodos usados para resolver o problema procuram minimizar as distâncias percorridas, com base em critérios pré-definidos, em alguns casos coincidiram com a mesma ordem de visita de doadores já definidas pelo SESC.

Em relação ao problema real, considerando que os veículos do SESC Fortaleza percorrem uma distância anual de aproximadamente 29.377 km, nota-se que a distância percorrida após aplicação das heurísticas pode ser economicamente viável e reduzida em 25,7 %. Este percentual justifica a aplicação destas técnicas utilizadas, visto que os resultados obtidos trouxeram melhores resultados. Assim, a implementação e aplicação deste programa, fruto deste trabalho, proporcionará uma considerável redução de custos para o SESC Ceará, onde acreditamos que os mesmos índices poderão crescer mais ainda quando aplicados também nas demais unidades operacionais do Departamento Regional do SESC Ceará.

4.1 Propostas de Trabalhos Futuros

Com o objetivo de disponibilizar recursos de grande importância para eliminar as limitações encontradas na confecção dos dados e melhorar ainda mais os resultados apresentados, propõem-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

Tendo em vista as dificuldades na geração de dados, uma recomendação importante para a continuidade deste trabalho é a implementação de novas funcionalidades no sistema que permita o cadastro de coordenadas de localização geográfica, latitude e longitude de doadores e, com base nestes dados, uma funcionalidade de geração de matriz de distâncias automática. Com isso, além da disponibilidade de matrizes de distâncias com dados mais realistas possíveis, torna-se possível a roteirização de doadores das unidades do SESC de Sobral, Crato, Juazeiro do Norte, Iguatu e de outros municípios que não puderam ser incluídos na matriz de distâncias em virtude das dificuldades encontradas na confecção de dados.

Uma continuidade desse trabalho envolverá também experimentos de novos métodos com o objetivo de explorar melhores soluções para as Rotas, principalmente para aquelas que não obtiveram melhorias com as heurísticas aplicadas, especialmente para as das rotas 02.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da UFC, UECE, FIC e CNPq (processo 311682/2006-5).

5. Referências Bibliográficas

- Barbarosoglu, G. e Ozgur, D.** (1999), A tabu search algorithm for the vehicle routing problem, *Computers and Operations Research*, Vol. 26: 255-270.
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A. e Ball, M.** (1983), Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art, *Computers and Operations Research*, Vol. 10 (2): 63-212.
- Clarke, G. e Wright, J. W.** (1964), Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, *Operations Research*, Vol. 12: 568-581.
- Cordeau, J., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. e Semet, F.** (2002), A Guide to Vehicle Routing Heuristics, *Journal of the Operational Research Society*, 53: 512-522.

- Estevam, J. B.**, *Heurísticas para o problema de roteamento de veículos capacitados – PRVC visando aplicação no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*, Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2003.
- Ganhoto, M. A.**, *Abordagens para Problemas de Roteamento*, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2004.
- Garey, M. R. e Johnson, D. S.**, *Computers and Intractability: A guide to the Theory of NP-Completeness*, W. H. Freeman, San Francisco, 1979.
- Goldbarg, M. C. e Luna, H. P. L.** (2005), *Otimização Combinatória e Programação Linear*, 2o ed., Editora Campus, Rio de Janeiro.
- Herer, Y. T. e Levy, R.** (1997), The metered inventory routing problem: an integrative heuristic algorithm, *International Journal of Production Economics*, 51: 69-81.
- Laporte, G. e Semet, F.**, *Classical Heuristics for the Capacitated VRP*, In: P. Toth and D. Vigo, editors, *The Vehicle Routing Problem*, Philadelphia, 2002.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J., e Semet, F.** (2000), Classical and modern heuristics for the Vehicle routing problem, *International Transactions in Operational Research*, 7: 285-300.
- Liu, F. H. e Shen, S.Y.**, A Method for Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Types and Time Windows, *Report of Department of Industrial Engineering and Management National Chiao Tung University*, Taiwan, 23(4): 526-536, 1999.
- Schutz, G. e Pires, F. M.**, Uma abordagem para o problema da otimização de rotas de veículos baseada em operadores genéticos, *Investigacion Operativa*, 23 (2): 197-209, 2003.
- Tan, K.C., Lee, L.H. e Zhu, K.Q.** (2001), Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows, *Artificial Intelligence in Engineering*, 281-295.