DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ROTEAMENTO PARA SUPORTE A MUDANÇA DA ESTRATÉGIA DE COLETA DE LEITE A GRANEL

Thiago Henrique Nogueira
Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal de Viçosa
Campus de Rio Paranaíba, Cx Postal 22, Cep 38810-000, Rio Paranaíba-MG
Doutorando da Universidade Federal de Minas Gerais
thiago_ufmg@yahoo.com.br

William Azalim do Valle
Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Cep 30161-010, Belo Horizonte-MG
william-avalle@hotmail.com

Raiane Riberio Machado
Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa
Campus de Rio Paranaíba, Cx Postal 22, Cep 38810-000, Rio Paranaíba-MG
Doutoranda da Universidade Federal de Minas Gerais
raianemachado@ufv.br

RESUMO

O presente trabalho é o resultado de uma busca por melhorias no roteamento de veículos e, consequentemente, redução dos custos de suprimento de leite nas cooperativas. Neste artigo, realiza-se um estudo sobre a situação atual do setor de logística de tal segmento, apresentando também as complicações da coleta a granel, fator complexante nas decisões logísticas da empresa. A adaptação de um modelo de programação, nos moldes do problema do caixeiro viajante, é proposta para esse problema e, por fim, demonstra-se uma comparação dos resultados obtidos com a política já existente. É possível observar que o modelo aqui proposto garante resultados com menores custos, alcançando a solução ótima do problema.

PALAVRAS-CHAVE. Roteamento, Custo de Transporte, Leite.

Área Principal: Logística e Transportes.

ABSTRACT

This paper results from a research for better ways of routing vehicles, aiming the reduction of milk supplying costs on companies. A study about the actual situation of the logistics sectors in milk segment is done, presenting the problems with the bulk collection, which is a complicating factor in the logistic decisions of the company. A programming model, based on the travelling salesman problem, is proposed for this problem and then, finally, a comparison between the method that the company adopts and the solution presented here is performed. It is possible to see that this paper's model guarantees a result with lower costs in all cases, reaching the problem's optimum solution.

KEYWORDS. Routing, Transportation Cost, Milk.

Main area: Logistics & Transportation.

1. Introdução

Para Martins et al. (2004), as modificações do ambiente econômico global têm modificado o perfil dos consumidores, na qual passam a exigir novas reestruturações no modo organizacional das atividades produtivas das empresas. Tornando fundamental a aquisição e desenvolvimento de novas competências, bem como a ampliação das dimensões da competitividade, tornando-se global. Ferraes Neto (2001) afirma que a concorrência passa a acontecer entre cadeias produtivas e, não mais, entre empresas isoladas. Nesse contexto, as vantagens e os diferenciais competitivos são cada vez mais efêmeros, tornando a rapidez e flexibilidade como obrigatórios.

A cadeia produtiva do leite é considerada uma das mais importantes dentro dos sistemas agroindustriais brasileiros (VILELA; LEITE; RESENDE, 2002). De acordo com os dados da EMBRAPA (2006) o Brasil é responsável por 4,4% da produção mundial de leite, sendo o 7º maior produtor do mundo. De acordo com Vilela, Leite e Resende (2002) várias mudanças vêm ocorrendo no setor lácteo como: o aumento dos requerimentos de qualidade, aumento da demanda por produtos de maior valor agregado, racionalização da coleta por meio da granelização, concentração das indústrias, requerimento de escala e profissionalização da produção primária. Observa-se que a profissionalização do setor e a eficiência produtiva são critérios de sobrevivência na atividade. Nessa cadeia se tem buscado a adoção de uma série de novos conceitos tais como rastreabilidade, alianças mercadológicas, certificação e comercialização com marcas, visando se ajustar ao novo contexto competitivo. Para isso, a nova visão dos agentes se orienta pela busca um funcionamento harmônico dos segmentos a fim de atender satisfatoriamente o consumidor final que assume um novo perfil.

Hoje, para grande maioria dos setores econômicos do Brasil, buscar eficiência é alcançar competência logística, destacando-se as atividades de transporte. No setor dos lácteos, a coleta a granel, que ocorre principalmente por meio do transporte rodoviário, em estradas primárias e secundárias, apresenta-se como o principal gargalo do sistema logístico. Justo (2005) aponta que a importância do suprimento, um dos elementos-chave do sistema logístico, pode ser observada por meio dos custos inerentes e da qualidade do serviço prestado. Além disso, as decisões tomadas no suprimento tendem a ser complexas e oneram o sistema produtivo.

Segundo Ribeiro et al (2003), a logística é responsável pela movimentação geral dos produtos, que pode acontecer em três áreas: suprimento, apoio à produção e distribuição física; enfrentando problemas de tempo, custo, comunicação, movimentação e transporte de materiais e produtos. Afirma, ainda, que a meta estratégica é a melhoria na movimentação e armazenagem de materiais e de produtos, através da integração das operações necessárias entre as três áreas, avaliando sua eficiência em termos de seu custo total e do desempenho operacional. Portanto, conclui-se que, além de integrar a cadeia de suprimento, a logística auxilia na definição das metas estratégicas da empresa e no equacionamento de eventuais problemas operacionais. De acordo com Sobrinho, Coutinho e Coura (1995), o custo de transporte do primeiro percurso representa de 4 a 25% do preço final do leite, podendo chegar a 40% em algumas regiões. Essa diferença, atribuída à densidade de produção, expressa razão entre a quantidade produzida e a quantidade de quilômetros percorridos pelo veículo.

Assim, o presente trabalho utiliza dados e informações provenientes do setor de logística de uma cooperativa de produtores de leite, com o objetivo geral de estabelecer um modelo de utilização eficiente de frota, por meio de um planejamento do roteamento da coleta a granel do leite. Dessa forma, planeja-se minimizar custos totais (fixos e variáveis) e os tempos de movimentação. Com base no modelo, comparações entre rotas atuais e as propostas são realizadas, definindo suas respectivas viabilidades econômicas e, com isso, traçando a rota ótima para o transporte a granel de leite.

O roteamento de veículo, neste trabalho, é modelado baseando-se em alguns conceitos demonstrados na programação matemática do problema definido por Larsen (1999). São

adaptadas e inseridas algumas restrições, visando adequar os modelos praticados pela empresa nesse problema específico.

A apresentação deste trabalho se organiza como segue. A seção 2 mostra uma contextualização breve do setor de atuação da empresa. A seção 3 apresenta a revisão bibliográfica, com o foco específico no problema de roteamento de veículos. A seção 4 descreve a metodologia utilizada para a obtenção dos resultados. A seção 5 analisa os resultados comparativos entre os custos atuais e os propostos, aplicando a metodologia apresentada. As conclusões finais são realizadas na seção 6.

2. Contextualização

Nas últimas duas décadas, a produção de leite brasileira sofreu relevantes modificações. A estabilização econômica, devido ao Plano Real, permitiu um aumento significativo da produção primária, o que implicou na colocação do Brasil como um dos maiores produtores mundiais de leite. Paralelamente, a demanda por laticínios também cresceu rapidamente, obrigando o país a importar grandes quantidades de leite, se tornando um dos maiores importadores do mesmo (MARTINS et al, 2004).

Hunt et al. (2009) apresenta outra mudança importante no setor lácteo, que causou impactos substanciais em sua estrutura: a adoção de novos métodos de armazenamento e deslocamento dos produtos. Em setembro de 2002, o Ministério da Agricultura estabeleceu novos padrões de transporte e resfriamento do leite, por meio da Instrução Normativa 51 (SCHIAVI, 2010). As novas exigências contribuíram para que o padrão de qualidade no setor lácteo brasileiro se aproximasse dos padrões internacionais, aplicados no comércio mundial. No mercado nacional, esses novos padrões, como a difusão do leite UHT, ampliaram a participação dos grandes produtores de leite. Os avanços, na logística e no resfriamento, permitiram transportar o leite e seus derivados por distâncias mais longas, além de elevar o poder de mercado de grandes empresas nacionais e multinacionais, em detrimento de pequenas empresas e cooperativas processadoras de leite. Entre os produtores de leite, a introdução e a difusão de novos métodos de resfriamento e transporte (coleta granelizada), geraram pressões para se expandir a escala de produção, para compensar a instalação de novos tanques de resfriamento nas propriedades.

Esses novos métodos foram disseminados rapidamente, considerando que a coleta a granel é utilizada pela grande maioria dos produtores brasileiros atualmente. Esse processo consiste em recolher o produto cru em caminhões com tanques isotérmicos, diretamente do tanque de refrigeração dos produtores rurais. Ou seja, o leite é extraído, armazenado em recipientes resfriados na propriedade, aguardando o veículo que irá transportá-lo para os estabelecimentos de beneficiamento. Com isso, podem-se eliminar postos de resfriamento, considerando que, antigamente, a extração era feita e o leite encaminhado diretamente para esses postos. Assim, foi possível reduzir custos de coleta, aumentando a produtividade do sistema e a qualidade do produto.

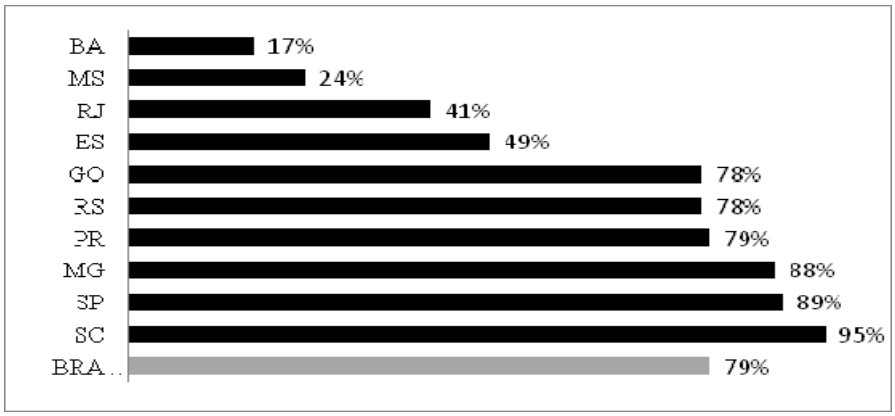
Uma característica marcante da coleta a granel é a necessidade de o tempo transcorrido entre a ordenha inicial e seu recebimento no estabelecimento, que vai beneficiá-lo, ser no máximo de 48 (quarenta e oito) horas (segundo dados do Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel). Por isso, a coleta deve ser planejada respeitando essa restrição, de tal forma que o produto não seja armazenado por mais de dois dias, considerando o tempo estocado na propriedade e no veículo de transporte.

Dessa forma, todas essas mudanças implicaram numa reestruturação no segmento industrial das empresas de lácteos. A aquisição das pequenas empresas regionais, por parte das grandes empresas do ramo, acarretou na estruturação de novas plantas, com capacidades de processamento bem maiores. Além disso, ocorreu uma racionalização da distribuição, com a

formação de novas rotas de coleta, mais oportunas em relação às novas tecnologias e a nova realidade.

No entanto, as empresas se deparam com muitos problemas na formulação de suas rotas, tais como definição das linhas de coleta e tamanho de frota. Muitas das decisões logísticas, de coleta e distribuição, das corporações que atuam no Brasil, são empíricas ou se baseiam em softwares customizados, que não representam a realidade na qual as mesmas estão inseridas. Devido a isso, a produtividade do sistema é negativamente afetada, com custos existentes de maneira desnecessária.

Pode-se perceber, assim, que a adoção em massa da coleta a granel, pelas empresas que atuam no Brasil, alterou consideravelemte as características relativas às decisões de suprimento e transporte. Dados, da tabela a seguir, demonstram a abrangência da utilização dessa tecnologia de coleta, que tende a se tornar um padrão.



Fonte: Nogueira Netto (2003)

Figura1: Porcentagem de granelização da coleta nos estados brasileiros 2002

Enfim, pode-se perceber o quanto se torna substancial a determinação de ferramentas logísticas para otimizar o sistema de coletas a granel. Por isso, apresenta-se aqui, neste artigo, um modelo para captação de leite nas propriedades produtoras por parte de uma cooperativa, que utiliza a coleta a granel. O modelo segue os moldes do problema do caixeiro viajante e visa minimizar os custos de suprimento e de transporte.

3. Revisão Bibliográfica

Introduzido por Dantzig e Ramser (1959), o roteamento de veículos é, conforme Ballou (1993) e Hiller (2005), um dos problemas mais impactantes no custo logístico. A resolução desses problemas requer diversas ferramentas de suporte à decisão. Existe uma vasta bibliografia, capaz de fornecer base teórica para o auxilio na modelagem e na obtenção de resultados satisfatórios para problemas de roteirização de veículos.

Em destaque, os seguintes problemas clássicos de roteamento: *General Pickup and Delivery Problem* (SAVELSVERGH et SOL, 1995), consiste em veículos com capacidade limitada, partindo de um depósito e retornando ao mesmo, sendo que, para efetuar o transporte, é necessário especificar previamente o tamanho da carga a ser transportada, o depósito onde ela se encontra e o seu destino. *Express Delivery Problem* **(**MONTANÉ, 1997), no qual o grande diferencial é o fato de o cumprimento da demanda ser composto pela fase de coleta e pela fase da entrega. Sendo assim, nesse problema, as rotas de coleta e entrega não coincidem necessariamente. *The Multiple Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup Points* (MIN, 1989), busca reduzir os esforços e custos em ambas as atividades (coleta e entrega), executando-as simultaneamente, em busca de sinergias. *Parallelization of the Vehicle Routing*

Problem with Time Windows (LARSEN, 1999), consiste em definir janelas de tempo para coleta com múltiplos veículos, considerando que esses podem ser homogêneos ou heterogêneos.

Segundo Laporte *et al.*(2000), o problema de roteamento de veículos pode ser definido como: dado um conjunto de *n* cidades (ou consumidores), cada qual com uma demanda *qi*, por um produto, e um depósito com *k* veículos de capacidade *Q*, deseja-se encontrar as rotas para os veículos, minimizando os custos de transporte (veículos, distância ou tempo) e obedecendo as restrições de capacidade de cada veículo e do sistema em análise.

A literatura apresenta algumas classificações do problema. Tais classificações são propostas de acordo com as características específicas dos principais problemas e de acordo com os níveis de complexidade de resolução. Os problemas de roteamento são do tipo *NP-hard* (GAREY e JOHNSON, 1979), portanto, de difíceis resolução computacional.

Conforme constata Znamensky *et al.*(1999), as principais características do problema de roteamento de veículos, que dificultam sua resolução por métodos exatos de resolução, são: *(i)* limitação da capacidade de transporte do veículo; *(ii)* restrições de precedência, ou seja, o veículo deve passar num determinado local de origem para depois passar em um local de destino; *(iii)* o tempo computacional de resolução deve ser compatível ao tempo disponível para a decisão; *(iv)* frota heterogênea (capacidade, velocidade, etc.) de veículos; *(v)* restrições temporais, como, por exemplo, o intervalo de horários para o atendimento de cada ponto de demanda.

A complexidade do problema de roteamento e a necessidade de resolução destes problemas, em tempo computacional compatível com a tomada de decisão, acarretaram no desenvolvimento de diversas pesquisas para solucioná-los. Nessas, destacam-se os métodos de otimização e as heurísticas. Os principais métodos de otimização utilizados são: programação dinâmica, relaxação lagrangeana e geração de colunas (WOLSEY, 1998). Enquanto, nas heurísticas, destacam-se busca tabu (NANRY e BARNES, 2000, CARICATO et al, 2002, e HO e HAUGLAND, 2004), algoritmo genético (CREPUT et al,2004, e JUNG e HAGHANI 2000), simulated annealing (REIMANN et al, 2002, e GHAZIRI e OSMAN, 2003) e outras buscas locais (HO e HAUGLAND, 2004).

Alguns exemplos, de aplicações reais do roteamento de veículos, podem ser vistos na literatura corrente. Em Santos *et al.*(2004), estuda-se a programação de horários de aulas em uma escola. Neste problema, consideram-se os professores, como veículos, e as turmas, como cidades clientes. Em Bodin *et al.* (1983), discute-se a aplicação em problemas que consideram restrições temporais e espaciais.

Em geral, na resolução de problemas exatos, a distância percorrida é o único objetivo a ser minimizado, sendo a distância e o tempo truncados. Este artigo obtém uma rota ótima que minimiza os custos de coleta de uma cooperativa de leite, utilizando, como base, a modelagem de Larsen (1999), com as devidas adaptações à realidade modelada.

4. O Problema abordado

A cooperativa, em análise, tem algumas peculiaridades no processo decisório. O problema estudado consiste na definição da frota de veículos a ser alocada na coleta de leite dos produtores, visando reduzir o custo de roteamento. Devido a questões regulatórias e internas, o leite deve ser coletado e entregue à cooperativa num prazo de 48 (quarenta e oito) horas, contadas a partir da disponibilidade do produto. Atualmente, para resolver essa problemática, realiza-se o planejamento somente considerando um horizonte de dois dias. Esta redução do horizonte de planejamento (sendo que as ofertas dos produtores são bem conhecidas e confiáveis no curto prazo – uma semana) leva a subutilização dos recursos.

Outro ponto, de grande impacto, é considerar somente a distância total, percorrida para definição das rotas. A empresa possui, atualmente, uma frota limitada e, por isso, apresenta contratação de fretes externos, tanto para coleta de leite, quanto para a distribuição de produtos.

Assim, o uso, de uma grande quantidade de caminhões, gera um custo fixo, sendo este relativo à necessidade de contratação de fretes externos, na ausência de caminhões próprios. Visando um problema que minimize os custos totais, fixos e variáveis, foi desenvolvido um modelo que considera questões econômicas e particulares da empresa.

O problema, aqui abordado, pode ser classificado como de roteamento e programação, pois o mesmo leva em consideração restrições relacionadas ao tempo total de coleta, ou seja, deve atender todos os clientes, em um período de tempo determinado. Em poucas palavras, resumi-se: *(i)* Denominação: Roteamento; *(ii)* Número de roteiros: dependente da oferta e do número de caminhões disponíveis; *(iii)* Localização dos clientes: nos nós; *(iv)* Frota: Heterogênea; *(v)* Limite de capacidade dos veículos: dependente do tipo do veículo (entre 25 e 35 mil litros); *(vi)* Número de bases: uma; *(vii)* Número de clientes (produtores): 9; *(viii)* Número de veículos analisados: 20; *(ix)* Tempo de permanência nas cidades: 1 hora; *(x)* Demanda: determinística; *(xi)* Relevância de restrições temporais: tempo máximo para coleta e entrega, ou seja, deve atender todos os clientes num intervalo de tempo pré-determinado.

O problema encontrado, no setor de logística, é que a rota percorrida para entrega de produtos deve ser traçada sem levar em conta o horizonte completo de tempo (existe informação confiável para 1 semana de suprimento), ou seja, não analisa, de forma completa, a possibilidade de alocação de caminhões ao longo de toda semana. Esta ineficiência leva a subutilização dos recursos, o que faz com que o setor acabe enviando para a mesma rota um número maior de caminhões, resultando em maiores custos.

Dada essa situação, este trabalho busca definir uma ferramenta de suporte a decisão, que, paralelamente, permita a redução dos custos e mude a estrutura de tomada de decisão para o planejamento das coletas (aumentar o horizonte de planejamento). Consideram-se algumas restrições temporais relacionadas às questões particulares da coleta do leite, além de determinar o número e os tipos de caminhões alocados no suprimento. Posteriormente, será realizada uma comparação de resultados com a situação atual da empresa.

Uma das grandes dificuldades, encontradas neste trabalho, foi como obter o seqüenciamento das coletas considerando um horizonte de tempo. Uma das abordagens clássicas é o modelo de Larsen (1999), o qual define o problema de roteamento com janela de tempo. No entanto, esse problema trabalha com janelas de tempo para cidades distintas. No caso particular, há um conjunto de demandas que podem, ou não, estar alocadas no mesmo produtor, ou seja, o mesmo produtor poderá ter diversas janelas produtivas. A tabela abaixo ilustra esse problema:

Produtor \ Dia	1	2	3	4	5
A	500	0	0	0	500
B	0	0	500	500	0

Tabela 1: Produtor e oferta de produtos ao longo de 5 dias

Na tabela 1, o produtor A tem oferta de leite nos dias 1 e 5, enquanto o produtor B tem oferta de leite nos dias 3 e 4. Para resolver essa questão, utilizou-se a lógica do pensamento da modelagem de Manne (1960), a qual define um conjunto de Jobs, que devem ser seqüenciados no tempo e podem, ou não, ter janelas de tempo. Portanto, determinou-se, a cada produtor, uma demanda em um dado dia como um nó a ser visitado pelo caminhão. Portanto, se há um produtor *i* com demandas em dois dias consecutivos, existirão dois nós distintos a serem visitados, *i* e *j*, mas com distância nula e janelas de tempo diferenciadas.

O problema de roteamento abordado consiste em: *(i)* **n:** número de pontos de demandas (nós) a serem visitados pelos veículos, os quais partem e retornam a uma base (cidade, depósito); *(ii)* **V:** número de veículos; *(iii)* $\mathbf{q_i}$**:** Oferta de leite no produtor *i*, ou seja, o que é coletado no nó *i*; *(iv)* **Qv**: Capacidade do caminhão *v*; *(v)* **Dij:** Distância em tempo do transporte do veículo entre os nós *i* e *j*; *(vi)* $\mathbf{P_i}$**:** Tempo de processamento da coleta na cidade *i*; *(vii)* ***C*ijv:** Custo por unidade métrica de deslocamento do veículo *v*; *(viii)* ***C*v:** Custo fixo da frota ser alocada a coleta (poderia

ser alocada a distribuição); *(ix)* ***M*:** Valor muito grande, usado para zerar variáveis na lógica matemática do modelo. *(x)* $\boldsymbol{R_i}$**:** Data de disponibilização do leite pelo produtor; *(xi)* **Dl:** tempo total máximo permitido pela rota; *(xii)* ***Vm*:** Velocidade média do veículo em unidades métricas por unidade de tempo; *(xiii)* **Xijv**: variável de decisão que define qual a seqüência da viagem pelos nós, com *i,j* = 1,2,...,n para cada veículo *v*. *(xiv)* $\mathbf{Y_v}$: variável de decisão que define se o veículo será utilizado ou não para o suprimento *(xv)* **Siv**: variável de decisão que define qual o tempo que o veículo *v* inicia o processo de coleta no produtor *i*. *(xvi)* **Minimizar o custo total do roteamento:** minimizar os custos fixos de alocação mais os custos variáveis relacionados ao deslocamento.

A função objetivo responsável pela busca do menor custo total (variável e fixo) pode ser definida como:

$$Minimizar \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{v=1}^{nv} (c_{ijv}\, x_{ijv} + c_f y_v)$$

Sujeito à:

a) Somente um veículo chega e sai de cada nó:

Chegada: $\sum_{j=1}^{n} \sum_{v=1}^{nv} x_{ijv} = 1$, (i=2,...,n)

Saída: $\sum_{i=1}^{n} \sum_{v=1}^{nv} x_{ijv} = 1$, (j=2,...,n);

b) Todos os veículos que chegam a uma cidade devem sair dela:

$\sum_{i=1}^{n} x_{ilv} - \sum_{j=1}^{n} x_{ljv} = 0$, (*l*=1,...,n) (v=1,...,nv);

c) Cada veículo, com sua capacidade própria (frota heterogênea), não deve coletar mais que sua capacidade:

$\sum_{i=1}^{n} q_i \sum_{j=1}^{n} x_{ijv} \leq y_v, Q_v,$ (v = 1, ... , nv);

d) A data da coleta deve ser superior a disponibilidade do produto:

$s_{iv} \geq R_i$, (i=1,...,n) (v=1,...,nv);

e) A soma da data da última de coleta no nó *j*,com o tempo de processamento da coleta em *j* e com o tempo gasto no deslocamento entre o nó *j* e a base, deve ser menor que 48 (quarenta e oito) horas da data do primeiro produto disponível no caminhão *v*. Estas restrições advêm da necessidade de um produto ser coletado e entregue em até 48 (quarenta e oito) horas da disponibilização do produto.

$s_{jv} + p_j + (D_{j1}/Vm) - M \sum_{k=0}^{n} (1 - x_{ikv}) \leq Dl + R_i$ (v=1...nv) (i=1..n);

f) A data de início de processamento numa cidade *j* pelo caminhão *v* deve ser superior a distância percorrida entre *i* e *j* mais o tempo de processamento em *i* mais a data de início do processamento em *i*:

$s_{jv} \geq s_{iv} + p_i + D_{ij}/Vm - M(1 - x_{ijv})$ (i=2,...,n) (j=2,...,n) (v=1,...,nv);

g) Todo veículo só deve passar numa dada cidade no máximo uma vez, portanto garante a não extrapolação da disponibilidade de veículos:

Chegada: $\sum_{j=1}^{n} x_{ijv} \leq 1$, (i=1,...,n) (v=1,...,nv)

Saída: $\sum_{i=1}^{n} x_{ijv} \leq 1$, (j=1,...,n) (v=1,...,nv);

h) Proíbe a formação de sub-rota entre duas cidades:

$x_{ijv} + x_{jiv} \leq y_v$, (i=1,...,n) (j=1,...,n) (v=1,...,nv);

i) Variáveis:

$x_{ijv} \in \{0,1\}$ e $y_{v,} \in \{0,1\}$;

$s_{iv} \geq 0.$

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos, avaliando o tempo computacional. Também será estimado o ganho na redução de custos totais em relação a algumas decisões praticadas pela empresa.

5. Resultado

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos com o modelo matemático definido. Para resolvê-lo, utiliza-se a linguagem de modelagem algébrica GAMS (BROOKE et al., 1992), com o solver CPLEX (versão 12). Para realização dos testes computacionais, foi utilizado um microcomputador com processador Intel 1.6 Mhz, com 4 Gb de memória RAM e sistema operacional Windows XP.

Inicialmente, para verificar a consistência do modelo, foram realizados diversos testes com exemplos simplificados. O tamanho do horizonte de tempo, o número de produtores e a oferta foram reduzidos, considerando que os parâmetros foram estimados, com o objetivo de demonstrar que os resultados se comportam de acordo com os valores esperados. Um exemplo das instâncias utilizadas será descrito a seguir.

Produtores	**Dia 1**	**Dia 2**	**Dia 3**
Produtor A - Oferta em litros	10.000	10.000	0
Produtor B - Oferta em litros	0	10.000	10.000
Produtor C - Oferta em litros	10.000	0	10.000
Distância entre as cidades (Matriz simétrica)	**Unidade: 100km**		
Base - A	5		
Base - B	10		
Base - C	15		
A-B	5		
A-C	10		
B-C	5		

Tabela 2 – Dados fictícios dos produtores e da base

A instância fictícia, ilustrada acima, contém 3 (três) produtores, com demandas distribuídas ao longo de 3 (três) dias de produção e com a matriz de distâncias simétrica.

Capacidade dos veículos	**Litros**
Veículo A	10.000
Veículo B	20.000
Veículo C	30.000
Custo Fixo	$100
Custo Variável por km	$1

Tabela 3 – Dados fictícios dos veículos

Essa instância contém, também, 3 (três) veículos com capacidades distintas. No entanto, utilizou-se, como aproximação para esta análise, um custo fixo e variável padrão para ambos os veículos. Ao executar o modelo, obteve-se a seguinte solução ilustrada a seguir.

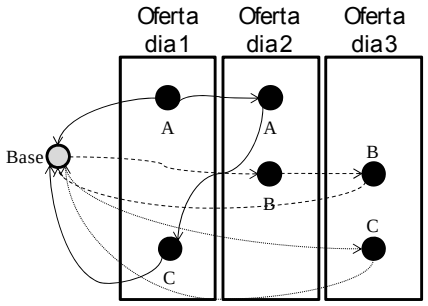


Figura 2 – Resposta do modelo para instância fictícia

O modelo utiliza três rotas para resolver o problema fictício, sendo estas "Base-AAC", "Base–BB" e "Base-C". Esse roteamento busca aproveitar a utilização de recurso ao longo dos 3 (três) dias do horizonte de tempo, o que é evidenciado pela rota "Base-BB". Nesta rota, o caminhão é orientado a pegar o montante do segundo dia, porém com uma visão do horizonte de tempo superior, de 3 (três) dias. Assim, o mesmo aguarda para coletar mais em B e, depois, se destina para base.

A solução é coerente com a realidade e viável, como foi descrito sumidamente na modelagem: as restrições temporais (produto deve chegar à base no máximo em 48 horas) são atendidas, evitando que um produto espere para ser coletado durante três (3) ou mais dias distintos. As restrições de proibição de formação de sub-ciclo são atendidas, conforme evidenciado na figura 1. As restrições de disponibilidade e capacidade de veículos também são atendidas, pois, nesse caso, os três veículos disponíveis foram utilizados devido à necessidade de coleta. Pelas análises realizadas, notou-se que o modelo é consistente com a realidade modelada.

A seguir, são apresentados os resultados da aplicação do modelo com dados reais. Os dados escolhidos retratam um mês típico, em que se evitou analisar interferências extremas. O modelo apresentado é rodado com informações advindas do IBGE (base de dados de latitude e longitude de cidades), do setor logístico da empresa e de dados de mercado (gasolina, pneu, dentre outros), objetivando a composição dos custos fixos e variáveis do roteamento dos veículos. Na realização dos testes reais, optou-se pela utilização dos 4 (quatro) principais produtores regulares, de modo a validar os ganhos esperados pela modelagem. As tabelas, a seguir, descrevem as principais informações fornecidas pela empresa.

Veículo	Capacidade	Custo	
		R$/Veículo(fixo)	R$/Km(variável)
Tipo A	25000 Lts	310,10	0,555
Tipo B	35000 Lts	403,10	0,721

Tabela 3 – Custo dos veículos fornecida pela empresa

A tabela anterior descreve os tipos de veículos distintos analisados, com seus respectivos custos fixos e variáveis. Como se percebe, a empresa basicamente trabalha com 2 tipos de veículos.

Distâncias(km)					
	Base	Cidade B	Cidade C	Cidade D	Cidade E
Base	0	287	524	673	253
Cidade B	287	0	358	710	366
Cidade C	524	358	0	700	463
Cidade D	673	710	700	0	435
Cidade E	253	366	463	435	0

Tabela 4 – Matriz de distâncias

A tabela 4 é uma matriz de distância, a qual descreve a distância entre os pares produtores-produtores e base-produtores.

Cidade	Oferta (Litros)
Cidade B	16.360,9
Cidade C	9.970,6
Cidade D	20.399,5
Cidade E	11.413,7

Tabela 5 – Oferta dos produtores média

A tabela 5 descreve a oferta média de litros de leite dos principais produtores analisados. Segundo informações da empresa, este valor descreve bem o comportamento da oferta de leite dos produtores analisados.

Diante das informações levantadas anteriormente, foram realizados diversos testes computacionais do modelo, confrontando os resultados obtidos com as decisões tomadas pela logística da empresa. O foco da análise será comparar, para diversos tamanhos de horizonte de tempo, a tomada de decisão. Por fim, demonstrar a comparação, de ambos os resultados, em horizontes de 2, 3, 4 e 6 dias. A tabela abaixo apresenta o resultado dessa comparação.

Dados / Horizonte	2 dias	3 dias	4 dias	6 dias
Decisão empresa (Custo em R$ Mil)	$ 7.830,20	$ 12.574,20	$ 15.660,40	$ 33.695,80
Modelo				
Resultado (Custo em R$ Mil)	$ 5.915,80	$ 7.958,00	$ 10.289,00	$ 13.911,10
Tempo Computacional(min)	0,23	2,87	1027,20	1083,33 (8% de *gap)*
% de Ganho	24%	37%	34%	59%

Tabela 6 – Resultados e Ganhos

Analisando esses dados, são percebidas as reduções substanciais de custos, ao utilizar o modelo aqui proposto. Mesmo com horizonte de tempo de dois dias, houve um ganho de 24%. Isso ocorre devido às considerações de custos fixos e variáveis nas decisões do modelo, visto que as decisões da logística da empresa não possuem um foco tão grande na razão desses custos.

O aumento do horizonte de tempo reflete, também, nos resultados. Quanto maior o número de dias, maior será a redução percentual de custos, pois mais combinações, que não são previstas pelo modelo da empresa, poderão ocorrer. Por exemplo, coleta de quantidades nos dias 2 e 3, no horizonte de 4 (quatro) dias. Isso ocorre porque, ao se planejar a coleta de dois em dois dias, fica impossibilitada a opção de ir ao segundo dia e esperar a coleta do terceiro.

Assim, para horizontes de tempo de 3 (três), 4 (quatro) e 6(seis) dias, as reduções percentuais de custo serão, respectivamente, 37%, 34% e 59%, com diminuições de R$7.958,00 , R$10.289,00 e R$13.911,10. Para intervalos de tempo tão pequenos, tais valores são muito relevantes, considerando, ainda, que se trata de apenas quatro cidades. Ou seja, ao aumentar o numero de cidades abrangidas pelo modelo, espera-se um ganho maior ainda.

Contudo, além das reduções de custos, o tempo computacional do modelo também deve ser considerado. O ganho conseguido com essa modelagem, demonstrado acima, necessita de um tempo computacional relevante para análise de 3 ou mais dias. Isso ocorre devido à altíssima complexidade do modelo, que, para considerar todas as restrições reais, mescla conceitos do problema de scheduling e do problema do caixeiro viajante. Assim, o custo computacional cresce rapidamente com o aumento do número de dias do horizonte de tempo. Além disso, quanto maior o número de propriedades nas quais ocorrerá coleta, maior será a dificuldade também, acarretando num maior tempo de máquina.

6. Conclusão

A utilização, da modelagem aqui proposta, resultou numa solução melhor do que a adotada pela empresa estudada, considerando que o menor ganho, num horizonte de tempo de 2 (dois) dias, foi de 24% e o maior ganho, para 6 (seis) dias, foi de 59%. Tal economia é relativa ao exemplo demonstrado neste artigo, sendo que, para um número maior de cidades, espera-se um ganho ainda maior. Isso é esperado porque as decisões logísticas, da cooperativa, são baseadas num cálculo matemático que prioriza os custos variáveis, em detrimento dos fixos, num horizonte de tempo de apenas dois dias. Assim, essas decisões dificilmente alcançariam o ótimo, ou uma solução próxima dele.

O modelo matemático, proposto neste artigo, garante a obtenção de uma rota ótima, considerando custos fixos e variáveis e horizontes de tempo maiores do que os utilizados nas decisões logísticas da empresa. Portanto, pode-se afirmar que há muitos benefícios na utilização de uma modelagem mais robusta, que auxilia esses problemas de suprimento. A difusão desses modelos seria de suma importância, pois possibilitaria melhores decisões dos setores de logística das empresas, sendo de grande valor para o sucesso dessas organizações.

Devido à limitação temporal, torna-se necessária a utilização de métodos que reduzam o tempo computacional do modelo, de tal forma que a qualidade da solução seja mantida. Visando trabalhos futuros, aconselha-se a utilização de técnicas de solução que possibilitem a redução do tempo computacional para tomada de decisão. Em primeiro momento, sugere-se a implementação de formulações fortes, de modo a possibilitar a criação de cortes na região de viabilidade do problema relaxado, proporcionando a resolução do problema em tempo hábil, sem perda de qualidade da solução.

Referências Bibliográficas

Ballou. R. H. *Logística Empresarial.* São Paulo: Atlas, 1993.

Bodin, L.D.; Golden B.; Assad A.; Ball E. M. Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art. *Computers and Operations Research*, Vol.10, n.2, p.63-67, 1983.

Brooke, A.; Kendrick, D.; Meeraus, A. GAMS: a user's guide (release 2.25). San Francisco: *The Scientific Press*, 1992.

Caricato, P.; Ghiani, G.; Grieco, A.; Guerriero, E. Parallel tabu search for a pickup and delivery problem under track contention. *Parallel Computing*: Vol. 29, nº 5, p. 631-639, 2003.

Creput, J.C.; Koukam, A.; Kozlak, J.; Lukasik, J. An evolutionary approach to pickup and delivery problem with time windows. In: *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3038, p.1135-1142, 2004.

Dantzig, G. B.; Ramser, J. H. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*. Vol. 6, nº 1, p. 80-91, 1959.

Embrapa. *Produção, industrialização e comercialização (produção).* Disponível em: <http://www.cnpgl.embrapa.br/producao/producao.php>. Acesso em: fevereiro. 2006.

Ferraes Neto, F. A logística como estratégia para a obtenção de vantagem competitiva. *FAE Business*: nº 1, p. 1 – 4, 2001.

Garey R. M., Johnson S. D. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP – Completeness.* Freeman, 1979.

Ghaziri, H. E Osman, I. H. A neural network algorithm for the traveling salesman problem with backhauls. *Computers and Industrial Engineering*: Vol. 44, nº 2, p. 267–281, 2003.

Hillier, F. S.; Lierberman, G. J. *Introduction to Operations Research.* New York: McGraw-Hill, 7ª Edição, 2005.

Ho, S. C. E Haugland, D. Tabu search heuristics for the probabilistic dial-a-ride problem. In:

The Ninth Meeting of the Nordic Section of the Mathematical Programming Society, 2004.

Hunt, D.; Shiki, S.; Ribeiro, R.; Biasi, D.; Faria, A. P. Comparação de indicadores de desempenho de produtores de leite localizados dentro e fora de assentamentos de reforma agrária no Triângulo Mineiro. *Econômia e Sociologia Rural*, Vol.47, nº.1, Jan./Mar. 2009.

Jung, S.; Haghani, A. A genetic algorithm for a pick-up and delivery problem with time windows. *Transport Research Rec* : Vol. 1733, p.1–7, 2000.

Justo, L. *MBA Em Gestão Estratégica De Transporte, Universidade católica de Salvador*. Disponível em: http://coppel.ucsal.br/logistica.htm. Acessado em 21/11/2005.

Laporte, G.; Gendreau, M.; Potvin, J.Y.; Semet, E. F. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem, *International Transactions in Operational Research*, Vol.7, n4-5, p.285-300, 2000.

Larsen, J. *Parallelization of the vehicle routing problem with time window*. Department of Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, Phd Thesis, 1999.

Manne, A. S. On the job-shop scheduling problem. *Operations Research*. Vol. 8, nº 2, p.219-223, 1960.

Martins, R. S.; Lobo, D. S.; Rocha, W. F. da; Oliveira, H. F. de; Martins, P. do C.; Yamaguchi, L. C. T. Desenvolvimento de uma ferramenta para a gestão da logística da captação de leite de uma cooperativa agropecuária. *Gestão e Produção*. Vol, 11, nº 3, p. 429-440, 2004.

Min, H. The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points *Transportation Research*: Part A, Vol. 3, Nº 5, P. 337-386, 1989.

Montané, F. A. T., Galvão, R. D. Determinação de rotas para empresas de entrega expressa. *Pesquisa Operacional* : Vol. 17, nº 2, p 107–135, 1997.

Nanry, W. P., Barnes J. W. Solving the pickup and delivery problem with time windows using reactive tabu search. *Transportation Research*: Part B, Vol. 34, p. 107-121, 2000.

Nogueira Netto, V. Inserção do Brasil no mercado internacional de lácteos. *Seminário Removendo Obstáculos para o Crescimento da Exportação de Lácteos do Brasil*, 1. Belo Horizonte, 2003.

Reimann, M.; Stummer, M.; Doerner, K. A savings based ant system for the vehicle routing problem. In: *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*. San Francisco: p.1317-1326, 2002.

Santos, H.G.; Ochi, L.S.; Souza, M.J.F. An Efficient Tabu Search Heuristic for the School Timetabling Problem. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 3059, p. 468-481, 2004.

Savelsbergh, M. W. P.; Sol, M. The General Pickup and Delivery Problem. *Transportation Science*. Vol. 29, Nº. 1, p. 17-29, 1995.

Schiavi, S. M. de A. *O setor lácteo. 2005*. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/PortalDPP/relatorio_setorial/impressao_relatorio.asp?lst_setor=14>. Acesso em: abril, 2010.

Sobrinho, F.F.; Coutinho, G.H.; Coura, J.D. *Coleta de leite a granel*. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Monografia, 1995.

Vilela, D; Leite, J; Resende, J. Políticas para o Leite no Brasil : passado, presente e futuro. *In: Sul – Leite: Simpósio sobre sustentabilidade da pecuária leiteira na região Sul do Brasil*. Maringá, PR:UEM/CCA/DZO-NUPEL, 2002.

Wolsey, L.A. *Integer Programming*. New York: Wiley, 1998.

Znamensky A.; Cunha, C.B. Um Modelo para o Problema de Roteirização e Programação do Transporte de Deficientes. *In: XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. São Carlos, 1999.