

Uma aplicação da heurística de Clark e Wright para captação de produtos de agronegócios

Débora da Silva Lobo, Homero Fernandes de Oliveira,
Weimar Freire da Rocha Jr., Ricardo Silveira Martins

TRANSLOG./ UNIOESTE / *Campus* Toledo,
Rua da Faculdade, 645. 85903-000, Toledo, PR

E-mail: dlobo@unioeste.br, homero2@uol.com.br, wrocha@unioeste.br, ricleimartins@uol.com.br

Luiz Carlos Takao Yamaguchi, Paulo do Carmo Martins

EMBRAPA/ GADO DE LEITE

Rua Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, Cep. 36.038-330, Juiz de Fora MG

E-mail: pmartins@cnpgl.embrapa.br; takao@cnpgl.embrapa.br.

Resumo

Esta pesquisa foi desenvolvida e aplicada objetivando determinar uma boa roteirização para a coleta de produtos agropecuários nas propriedades produtoras. Foi desenvolvido um modelo matemático usando a heurística de Clark e Wright (CW), com o objetivo de minimizar a distância total percorrida pela frota, com uma *proxy* de custos de transporte, sujeito às restrições de produção e capacidade de armazenamento das propriedades e do tipo de caminhão acessível a elas e às vias de acesso. Os principais resultados proporcionados pela aplicação do software desenvolvido a partir do modelo dizem respeito à grande economia obtida sobre a forma empírica utilizada anteriormente e às vantagens existentes sobre os modelos importados que foram desenvolvidos para solucionar problemas aplicados ao meio urbano.

Introdução

Os novos procedimentos adotados referentes às operações logísticas deram-se, em geral, de modo empírico. Com a pressão permanente de produtos importados quase sempre subsidiados na origem e o distanciamento da produção em relação aos principais centros de consumo, as empresas reconhecem a necessidade de incorporação de novas ferramentas que reduzam o custo de captação de produtos na origem e otimizem as linhas, os veículos e busquem acabar com os entrepostos.

Para alguns setores, a introdução do conceito de logística de transporte possibilita o fechamento de entrepostos, a redução de rotas de coleta e o aumento da quantidade de carga transportada por caminhão, redundando em significativas economias nos custos de transporte [2] e em ganhos em qualidade [4].

No Brasil, somente as maiores empresas, estão implantando procedimentos de otimização, dada a inexistência de ferramentas que considerem as características nacionais. Essas empresas estão se valendo de softwares importados customizados (dentro de suas restrições originais de aplicabilidade de cada setor) e destinados originalmente à captação de lixo urbano ou a distribuição de gás de cozinha e utilizando no setor do agronegócio.

O objetivo geral desta pesquisa foi, então, o registro dos procedimentos e dos resultados obtidos pelo desenvolvimento e implementação de um software para captação de produtos de uma Cooperativa Agropecuária, gerando ferramenta de gestão ágil e segura (software especialista), que possibilitou aprimorar o processo de captação do produto junto às propriedades, nos aspectos custos de captação, frota e pagamento ao transportador, considerando as inconstâncias ditas pela oscilação da produção nas propriedades ao longo do ano (safra e entressafra) e a freqüente entrada e saída de produtores na atividade, como estratégia de sustentabilidade da Cooperativa, com repercussão no desenvolvimento regional, haja vista o potencial de geração de renda e emprego da atividade.

Material e Métodos

A abertura dos mercados e as conseqüentes expansões das oportunidades de negócios e da competição são forças das mais vigorosas no impulsionamento da logística. Aplicado aos interesses empresariais, o aprimoramento da logística tem sido usado como uma eficiente ferramenta na busca da competitividade. Num ambiente em que boa parte das adequações estruturais internas já foram implementadas, resta às empresas buscarem a otimização ao longo da cadeia. Vista dessa maneira, a logística apóia as decisões empresariais sobre *o que, como e quanto* produzir, entendida, na literatura econômica, como a tríade de problemas econômicos básicos. Assim, iniciativas que visam a otimização logística devem trabalhar com um conjunto de informações referentes às quantidades a serem movimentadas, suas origens, seus destinos e as necessidades e especificidades dos ativos do transporte, dentro dos prazos adequados e das condições necessárias de armazenagem.

Uma primeira fase do desenvolvimento da pesquisa consistiu em visitas técnicas a Cooperativa e operadores (transportadores) para que fosse bem entendido o processo empírico desenvolvido pela empresa nas condições atuais. Constatou-se que o produto é vendido na modalidade FOB, num volume médio diário superior a 400.000 unidades de medida (*um*), sendo a coleta organizada de forma empírica e

com a ajuda dos motoristas.

Os veículos utilizados atualmente são toco (capacidade de 8.500 *unidades*), truck (capacidade de 12.300-13.500 *unidades*) e carreta (capacidade de 19.000-26.500 *unidades*) e as rotas são basicamente fixas, com pequenas alterações no período de pico da safra.

A primeira atividade da pesquisa consistiu, então, na formação do banco de dados das propriedades. Foram estabelecidas as variáveis relevantes no caso, a saber: posicionamento geográfico; formas e capacidade de armazenamento; avaliação das condições de acesso de veículos. Foram visitadas 461 propriedades para o levantamento de tais informações.

Outro fator importante para o planejamento está no fato da produção ser bastante diferente entre um produtor e outro. Existem propriedades com produção de até 200 *unidades* por dia, já outros chegam a produzir mais de 14.000 *unidades* por dia. E por último, como fator a ser considerado na roteirização da coleta está o fato de que alguns produtores necessitam que a coleta seja efetuada diariamente, enquanto que outros podem ter a coleta a cada 48 horas, em função da relação produção diária e capacidade de armazenamento da propriedade.

Constatou-se, no início do processo de modelagem, na consulta a literatura especializada, que algumas características do processo, tais como restrição dos veículos na origem, não viabilizavam o conhecimento de outras experiências que pudessem auxiliar no processo.

Por outro lado, a dispersão geográfica das propriedades e a ausência de um sistema de georeferenciamento das estradas rurais constituíam-se numa dificuldade adicional que tornavam singular o problema e afastavam das experiências de problemas conhecidos.

Assim, dentro dessas adversidades, iniciou-se o processo procurando facilitar o problema da dispersão geográfica agregando os produtores em 5 agrupamentos, sendo dois deles por critérios de especificidade do veículo para coleta, carretas.

Como uma caracterização geral dos agrupamentos, enquanto regiões de produção, dois são agrupamentos compostos de pequenos produtores, em geral, e distantes também da “base operacional”, considerada a sede administrativa da Cooperativa. Estes aspectos implicarão resultados ruins nos aspectos custo, distância e densidade da coleta nestas áreas. Já as áreas destinadas a carretas reúnem grandes produtores, implicando alta densidade da coleta, uma vez que estão localizados muito próximos da base. O último agrupamento é o que reúne mais produtores, porém com grande diversidade tecnológica e de produção diária. Reúne também diversidades quanto a avaliação de acesso de veículos às propriedades.

Num passo intermediário, o conjunto foi testado

utilizando a metodologia de p-medianas, mas os resultados obtidos para os agrupamentos apresentavam alta dispersão no número de produtores. Dessa forma, a roteirização que se seguiria ficaria prejudicada considerando que há a possibilidade de até três tipos de caminhão para coleta em cada um dos agrupamentos, implicando em caminhões rodando com capacidade de carga muito abaixo da capacidade total.

Para cada agrupamento, foi gerada uma matriz de distâncias entre os produtores, a partir do princípio da distância euclidiana. A distância real foi resultante da correção pelo parâmetro 2,00. Embora a literatura indicasse para distâncias rodoviárias e meios urbanos o parâmetro 1,3 constatou-se, pelo confronto dos resultados com a quilometragem tirada empiricamente, que a especificidade local, tais como circunstâncias de relevo e de características de estrada rural, não referendavam a sugestão de outros estudos.

A escolha da heurística contemplou as limitações do modelo, quanto às restrições ao tipo de caminhão e ao fato de haver coletas diárias e em dias alternados; os estudos de casos documentados; e os algoritmos disponíveis (Método de ganhos de Clark & Wright) e redes neurais.

A heurística utilizada foi a das economias de Clarke e Wright (CW). Segundo [3], esta heurística é bastante conhecida e ainda muito utilizada como parte de outros procedimentos, foi originalmente desenvolvida para resolver o problema clássico de roteamento de veículos. Baseia-se na noção de economias, que pode ser definido como o custo da combinação, ou união, de duas subrotas existentes. Trata-se de uma heurística iterativa de construção baseada numa função gulosa de inserção. O algoritmo é bastante apropriado para o problema em questão, uma vez que permite a limitação do tipo do caminhão e por não requerer grande capacidade computacional, sendo de fácil implementação.

Inicialmente, cada cliente é servido por um veículo, constituindo rotas entre o depósito e cada cliente. Seja c_{ij} o custo de viagem partindo de um cliente i a um cliente j , podendo ser dado em distância percorrida ou tempo de deslocamento. Segundo definição de [1], duas rotas contendo os clientes i e j podem ser combinadas, desde que i e j estejam ou na primeira ou na última posição de suas respectivas rotas e que a demanda total das rotas combinadas não ultrapasse a capacidade do veículo.

Em cada iteração, todas as combinações de rotas possíveis são analisadas através de

$$s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}, \quad (1)$$

onde: 0 representa o depósito. As duas rotas que renderem a maior economia de combinação são unidas. Por ser sempre escolhida a maior economia dentre as possíveis, a função de escolha é dita gulosa. Como a cada nova combinação de subrotas as economias são novamente calculadas e atualizadas para a próxima combinação de subrotas,

o método é dito iterativo [1].

Para melhor se entender este método, pode-se dizer que na escolha de dois pontos i e j para constituir a seqüência de um roteiro, procura-se selecionar o par com maior valor do ganho T_{ij} . Há combinações, no entanto, que violam as restrições de tempo, capacidade, etc, não sendo por isso factível. O método explora esse conceito, sendo descrito a seguir:

1. Calcular os ganhos $e_{i,j}$ para todos os pares i, j ($i \neq j, i \neq d$ e $j \neq d$);

2. Ordenar os pares i, j na ordem decrescente dos valores do ganho $T_{i,j}$;

3. Começar pelo par i, j com maior ganho $T_{i,j}$ e proceder na seqüência obtida em (2);

4. Para um par de nós i, j , correspondente ao K -ésimo elemento da seqüência (2) verificar se i e j estão ou não incluídos em um roteiro já existente:

a) Se i e j não foram incluídos em nenhum dos roteiros já abertos, então criar um novo roteiro com os nós i e j ;

b) Se exatamente um dos pontos i ou j já pertence a um roteiro pré-estabelecido, verificar se esse ponto é o primeiro ou último do roteiro (adjacente ao nó d , depósito). Se isso ocorrer, acrescentar o arco i, j a esse roteiro. Caso contrário, passar para a etapa seguinte, saltando o par i, j ;

c) Se ambos os nós i e j já pertencem a dois roteiros pré-estabelecidos (roteiros diferentes), verificar se ambos são extremos dos respectivos roteiros (adjacentes ao nó d). Nesse caso fundir os dois roteiros em um só. Caso contrário, passar para a etapa seguinte, pulando o par i, j ;

d) Se ambos os nós i e j pertencem a um mesmo roteiro, ir para a etapa seguinte;

e) Continuar o processo até que a lista completa de “ganhos” seja exaurida. Se sobrar algum ponto não incluído, em nenhum roteiro, deverão ser formados roteiros individualizados, ligando o depósito a cada ponto e retornando à base.

Este é o algoritmo para identificar se os pontos i e j estão incluídos numa rota.

Se i e j não estão em nenhum roteiro **Então**

Criar um roteiro com i e j

Senão

Se i ou j estiver em um roteiro **Então**

Se este nó é um extremo de um roteiro **Então**

Agrega i e j ao roteiro

Senão

Abandonar o par i e j

Senão

Se i e j estão em roteiros diferentes **Então**

Se i e j são extremos de seus roteiros **Então**

Unir os dois roteiros

Senão

Abandonar o par

i e j

Senão

Abandonar o par i e j

Resultados da otimização

O modelo desenvolvido gera informações para dois dias de coleta, o que implica “visitar” todas as propriedades no período. Chama-se a atenção para a alta estabilidade dos resultados, o que tem implicações logísticas importantes.

Como resultados obteve-se que a coleta sai organizada em 37 rotas diárias implicando rodar 2,5 mil km diariamente, captando um volume médio de 435 mil *unidades* e visitando 260 produtores.

Os veículos teriam a ocupação bastante razoável, com ressalva para o caso de um agrupamento “Carretas 1”, que agrega rotas e produtores que representam um volume relativamente pequeno diante da capacidade de transporte das carretas.

As rotas são razoavelmente curtas (baixa quilometragem), sinalizando para a economicidade da coleta comparativamente a outras regiões brasileiras que trabalham com o mesmo produto. Como o volume médio coletado nas propriedades também é alto, a densidade média é extremamente elevada para a realidade brasileira, com destaques para os resultados do agrupamento “Carretas 2” (846,72 *um/km* – dia 1 e 913,09 *um/km* dia 2).

Quanto a gestão da frota, constata-se as vantagens de economias de custos para a coleta com carretas, pois implicam, além do transporte de maiores quantidades (9 rotas captam pelo menos 188 mil *um/dia*), o acesso às propriedades mais bem localizadas quanto ao posicionamento das rodovias principais e secundárias com pavimento asfáltico.

Foram feitas quatro simulações com configurações de veículos diferentes. O chamado modelo **original** refere-se aos resultados obtidos pelo processo de modelagem, na forma real. O modelo **truck** refere-se a uma simulação, considerando-se que a coleta poderia ocorrer apenas com a utilização de trucks e carretas (portanto, sem modelo *toco*), procurando dimensionar as vantagens econômicas de se aumentar a capacidade média dos veículos utilizados. O modelo **toco** se refere a uma outra simulação, considerando-se que a coleta poderia ocorrer apenas com a utilização de *tocos* e carretas (portanto, sem modelo *truck*), procurando dimensionar as vantagens econômicas de se otimizar algumas linhas que resultavam em coleta com grande capacidade ociosa dos veículos. O modelo **48 h** considerava que todos os produtores tinham capacidade de armazenamento igual ou superior a dois dias de produção, implicando a viabilidade da coleta a cada dois dias (48 h), o que poderia apresentar grande vantagem do custo da coleta.

A Tabela 1 oferece uma visão geral da quilometragem média diária rodada, para as diferentes regiões, indicando a economicidade proporcionada pelo uso do software, uma vez que

antes da implantação registravam-se 5.000 km diariamente.

Áreas	Modelos			
	Original	Truck	Toco	48 h
Dia 1				
Área 1	434,9	394,4	438,1	355,5
Área 2	268,8	268,8	299,9	219,7
Área 3	1553,3	1514,8	1624,7	1385,6
Carretas 1	183,0	183,0	183,0	90,1
Carretas 2	90,7	90,7	90,7	86,1
Total	2530,7	2451,7	2636,4	2137,0
Dia 2				
Área 1	364,9	333,4	360,4	295,8
Área 2	269,6	227,2	370,8	185,7
Área 3	1298,2	1280,4	1336,4	1145,8
Carretas 1	572,1	572,1	572,1	281,7
Carretas 2	311,1	311,1	311,1	295,8
Total	2815,9	2724,2	2950,8	2204,8

Tabela 1: Quilometragem total diária percorrida, segundo os modelos simulados, por agrupamento, dias 1 e 2

Fonte: Dados de Pesquisa

Para todos os casos, registra-se as vantagens da coleta 48 h para todos os parâmetros. Porém, a viabilização deste sistema implica alto custo de capital para a aquisição e preparação das instalações para aumentar a capacidade de armazenamento nas propriedades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão da logística em uma Cooperativa Agropecuária. A ênfase no processo de racionalização foi dada nos aspectos custos de captação, frota e pagamento ao transportador, considerando as inconstâncias ditadas pela oscilação da produção nas propriedades ao longo do ano (safra e entressafra) e a freqüente entrada e saída de produtores na atividade, como estratégia de sustentabilidade da Cooperativa.

Os procedimentos metodológicos da pesquisa envolveram a formação do banco de dados das propriedades, constando do posicionamento geográfico; armazenamento, capacidade; avaliação das condições de acesso de veículos; e horário. No processo de modelagem, constatou-se, na consulta à literatura especializada, que algumas características do processo, tais como restrição dos veículos na origem, não viabilizavam o conhecimento de outras experiências que pudessem auxiliar no processo.

Por outro lado, a dispersão geográfica das propriedades e a ausência de um sistema de

georeferenciamento das estradas rurais constituíam-se numa dificuldade adicional que tornavam singular o problema e afastavam das experiências de problemas conhecidos.

Para cada agrupamento, foi gerada uma matriz de distâncias entre os produtores, a partir do princípio da distância euclidiana. A distância real foi resultante da correção pelo parâmetro 2,00, após comparações das rotas produzidas e das respectivas quilometragens reais aferidas, embora a literatura indicasse para distâncias rodoviárias e nos meios urbanos o parâmetro 1,3.

A escolha da heurística contemplou as limitações do modelo, quanto às restrições ao tipo de caminhão e ao fato de haver coletas diárias e em dias alternados, tendo sido utilizada a das economias de Clarke e Wright (CW).

Os resultados gerados proporcionam a possibilidade de um gerenciamento eficiente da logística, à medida que são racionalizados os custos da coleta e a frota utilizada. A racionalização diária das rotas permite a transparência quanto aos resultados econômicos da frota, viabilizando alternativas de gerenciamento quanto a destinação dos veículos, busca de negócios complementares no período de entressafra e utilização de parcerias com autônomos para a redução do volume de capital imobilizado nos ativos (caminhões) de alta especificidade.

As principais vantagens oferecidas pelo modelo desenvolvido em relação às sistemáticas empíricas e aos modelos comerciais importados e que foram originalmente desenvolvidos para solucionar problemas de otimização de captação de lixo urbano ou de distribuição de gás de cozinha, podem ser enumeradas conforme se segue:

1. Foi desenvolvido especificamente para solucionar o problema de otimização da gestão logística de captação de leite, em nível de propriedades;
2. Permite otimização com frota diversificada;
3. Permite avaliação específica das condições das propriedades; e
4. Permite gerar relatórios específicos de acordo com o interesse da Castrolanda

Por outro lado, sinalizou-se para a economicidade da coleta à medida que seja ampliada a capacidade de armazenamento nas propriedades, sejam utilizadas mais carretas na coleta e bi-trens no transporte de longa distância.

Referências

- [1] F.H. LIU; S.Y. SHEN, A Method for Vehicle Routing Problem with Multiple Vehicle Types and Time Windows. *Proc. Natl. Sci. Council.*, 23 n. 4, (1999) 526-536.
- [2] R.S. MARTINS, C.V. SANTOS, S. R.

TEIXEIRA, Alterações da rede logística e expansão do mercado de leite longa vida no Brasil. *Organizações rurais e agroindustriais*, 1, n.2 (1999) 55 – 69.

[3] A. G. NOVAES, “Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição”, Rio de Janeiro: Campus, 2001.

[4] F.F. SOBRINHO; G.H. COUTINHO; J.D. COURA. “Coleta de leite a granel”. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 1995 (Monografia).