

SISTEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO PARA A OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS NA DISTRIBUIÇÃO RODOVIÁRIA: UMA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Luís Henrique Licre*

luis.licre@gmail.com

Maria Valéria Pereira de Araújo**

RESUMO: O presente trabalho tem por objetivo analisar os softwares de roteirização existentes no mercado brasileiro, com ênfase para a distribuição urbana e rodoviária, analisando o Tempo de Existência, Plataformas Operacionais, Tamanho Máximo do Problema, Especificações computacionais e Funcionalidades. Um problema real de roteirização é definido por três dimensões fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As decisões dizem respeito à alocação de um grupo de clientes, que devem ser visitados, a um conjunto de veículos e seus respectivos motoristas, envolvendo também a programação e o seqüenciamento das visitas. Como objetivos principais, o processo de roteirização visa propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo manter os custos operacionais e de capital tão baixos quanto possível. Deve obedecer a certas restrições. Dentre as mais comuns estão as de completar as rotas com os recursos disponíveis, mas cumprindo totalmente os compromissos assumidos com os clientes, respeitar os limites de tempo impostos pela jornada de trabalho dos motoristas e ajudantes e de respeitar as restrições de trânsito. Com base nas análises realizadas concluímos que os sistemas atualmente disponíveis são específicos para cada tipo de operação e devem ser analisados nesta ótica, ou seja, para cada tipo de projeto logístico um sistema diferente poderá ser utilizado, sendo que não serão todos os sistemas que atenderão a um projeto específico.

Palavras-Chave: Roteirização. Veículos. Distribuição.

ABSTRACT: This study aims to examine the routing software in the Brazilian market, with emphasis on road and urban distribution, analyzing the Time of Existence, Operating Platforms, Maximum Size of the Problem, Computational Specifications and Features. A real problem of routing is defined by three dimensions: decisions, objectives and constraints. The decisions concern the allocation of a group of customers to be visited, a combination of vehicles and their drivers, also involving the planning and sequencing of the visits. Main objectives, the process of routing is intended to provide a high level of service to customers, but at the same time keeping capital and operational costs as low as possible. Must adhere to certain restrictions. Among the most common are the routes to supplement the available resources, but fully complying with its commitments to customers, respect the time limits imposed by the working hours of drivers and helpers and to respect the traffic restrictions. Based on the analysis performed we conclude that the systems currently available are specific to each type of operation and should be viewed from this perspective, ie, for each type of logistics project a different system may be used and will not be all systems that meet a specific project.

Keywords: Routing. Vehicles. Distribution.

*Concluinte do curso de MBA de Logística Empresarial da Faculdade Natalense para o Desenvolvimento do RN

**Doutora em Administração

INTRODUÇÃO

A logística de transporte busca a melhor forma de transferir uma mercadoria do seu ponto de origem ao seu destino final, com preço, qualidade e tempo compatíveis com as necessidades dos consumidores (NOVAES, 2001). A distribuição física é uma parte da logística percebida diretamente pelo cliente, e isso a torna extremamente importante. A disponibilidade do produto atribuindo-lhe as utilidades de tempo e de lugar, são atributos importantes para sua valoração econômica. Os fornecedores, clientes e consumidores finais estão separados geograficamente e os produtos percorrem distâncias cada vez maiores para atender às demandas. No caso de produtos perecíveis, vencer esta distância em tempo hábil é uma questão vital.

A distribuição de produtos pode ocorrer por meio de distintos modais, combinados ou não. Os mais comuns são o rodoviário, ferroviário, aéreo, aquaviário e dutoviário. No caso do Brasil, cerca de 70% do transporte é feito por meio do modal rodoviário (NOVAES, 2001). O transporte rodoviário por caminhão possui capacidade de se ajustar mais facilmente às variações na demanda. Firms individuais podem entrar ou sair da atividade em uma região, ajustando o seu investimento às unidades transportadas por rodovia, que são razoavelmente estáveis com respeito ao volume de carga. Por outro lado, o mesmo não acontece com outras modalidades de transporte, como a ferroviária e hidroviária, cuja capacidade de ajustamento do investimento à demanda é muito lenta, resultando em variações do custo fixo por unidade transportadora. Por outro lado o modal rodoviário é mais adequado ao transporte de mercadorias em distâncias inferiores a 700 quilômetros. Além dessa distância o modal ferroviário ou aquaviário seriam os mais indicados economicamente.

Um problema real de roteirização é definido por três dimensões fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As decisões dizem respeito à alocação de um grupo de clientes, que devem ser visitados, a um conjunto de veículos e seus respectivos motoristas, envolvendo também a programação e o seqüenciamento das visitas. Como objetivos principais, o processo de roteirização visa propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo manter os custos, operacional e de capital, tão baixos quanto possível. Deve obedecer a certas restrições. Dentre as

mais comuns estão as de completar as rotas com os recursos disponíveis, mas cumprindo totalmente os compromissos assumidos com os clientes, respeitar os limites de tempo impostos pela jornada de trabalho dos motoristas e ajudantes e de respeitar as restrições de trânsito.

O presente trabalho tem por objetivo analisar os softwares de roteirização existentes no mercado brasileiro, com ênfase para a distribuição urbana e rodoviária, analisando os seguintes pontos: Tempo de Existência, Plataformas Operacionais, Tamanho Máximo do Problema, Especificações computacionais (recomendado) e Funcionalidades.

Neste sentido a pesquisa bibliográfica será realizada em livros, teses, dissertações, artigos, revistas e jornais, como também através de entrevistas com empresas do ramo de transportes e fornecedoras de sistemas de roteirização.

1. PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO

Segundo Bodin et al. (1983), os problemas de roteirização podem ser classificados em três grupos principais: problemas de roteirização pura de veículos (PRV), problemas de programação de veículos e tripulações (PRVT); e problemas combinados de roteirização e programação de veículos.

O problema de roteirização pura de veículos é primariamente um problema espacial, onde as condicionantes temporais não são consideradas na geração dos roteiros para coleta e/ou entrega. Em alguns casos, a restrição de comprimento máximo da rota pode ser considerada. Nesse tipo de problema, existe um conjunto de nós e/ou arcos que devem ser atendidos por uma frota de veículos. O objetivo é definir uma seqüência de locais (a rota) que cada veículo deve seguir a fim de se atingir a minimização do custo de transporte.

Os problemas de programação de veículos e de tripulações podem ser considerados como problemas de roteirização com restrições adicionais relacionadas aos horários em que várias atividades devem ser executadas. Bodin et al. (1983) classificam os problemas desta categoria em dois grupos: programação de veículos e programação de tripulações. Estes dois tipos de problemas são essencialmente semelhantes, embora o problema de programação de tripulações envolva restrições mais complexas como horário de parada para almoço e outros aspectos de natureza trabalhista. Exemplos de problemas dessa natureza:

programação de veículos com um único depósito e com múltiplos depósitos; programação de veículos com restrições de comprimento de caminho; programação de veículos e tripulações no transporte público.

Quando ocorrem aplicações com restrições de janelas de tempo (horário de atendimento) e de precedência de tarefas (coleta deve preceder a entrega e ambas devem estar alocadas ao mesmo veículo), o problema pode ser visto como um problema combinado de roteirização e programação de veículos. O problema de roteirização e programação de veículos com janelas de tempo, PRPVJT, é uma importante variação do PRV. No PRPVJT, um número de pontos para atendimento tem uma ou mais janelas de tempo durante o qual o serviço pode ser executado. Por exemplo, o proprietário de um restaurante pode desejar que as entregas de produtos sejam feitas entre 8:00 horas e 9:00 horas. Assim, qualquer rota que envolva esta tarefa deve assegurar que o tempo de entrega esteja dentro dos limites de tempo especificados.

Problemas combinados de roteirização e programação de veículos freqüentemente surgem na prática e são representativos de muitas aplicações do mundo real. Por exemplo, na roteirização e programação de ônibus escolares para atendimento de um conjunto de escolas; na definição de roteiros e programação de serviços de coleta de lixo e de varrição de ruas; na roteirização de entregas em atacadistas, problema comum de roteirização logística, na qual se precisam associar os clientes (paradas) a serem atendidos a determinados veículos e numa seqüência ótima, que minimize o custo total, respeitando as janelas de atendimento.

2. A IMPORTÂNCIA DA ROTEIRIZAÇÃO DAS ENTREGAS

O objetivo da logística é a minimização dos custos de movimentação de produtos no tempo (estoques) e no espaço (transportes). Para tanto, foram desenvolvidas diversas ferramentas para auxiliar os gestores nesta atividade, entre elas, a ferramenta de roteirização que é um sistema que define itinerários a serem percorridos por veículos que atendam um depósito ou centro de distribuição.

Pela conceituação de Ghisi *et al apud* Rago (2002), roteirização de carga é o processo de programação da distribuição da carga em rotas ou roteiros de entrega, realizando o cruzamento de informações de volume/peso da carga, capacidades dos veículos e locais de entrega, a fim de obter o melhor resultado em termos de

ocupação dos caminhões e cumprimento dos prazos de entrega. Neste sentido, a roteirização pode ser de rota fixa, onde o sistema distribui as cargas a serem transportadas por uma rota previamente estipulada e caracterizada pelos números do CEP (código de endereçamento dos correios) e rota dinâmica, onde é sugerido a melhor rota de entrega em função da análise de informações sobre a carga a ser transportada, capacidades dos veículos, informações de ruas, estradas e locais de entrega.

Na discussão sobre as principais funcionalidades de um *transportation management system* (TMS), Ghisi *et al apud* Marques (2002) relaciona três grupos principais de funcionalidades: monitoramento e controle, apoio à negociação e auditoria de frete e, planejamento e execução.

Quanto à funcionalidade de planejamento e controle, o autor destaca a existência de soluções capazes de determinar as rotas e modais a serem utilizados, seqüenciar as paradas dos veículos e o tempo estimado de cada uma delas, preparar os documentos necessários para o despacho dos veículos e verificar a disponibilidade dos mesmos. Neste sentido, a funcionalidade de roteirização envolve a definição de rotas e a programação dos veículos, considerando uma série de restrições operacionais.

Os softwares roteirizadores, segundo Ghisi *et al apud* Marques (2002), operam baseados em algoritmos avançados de otimização e modelos bem robustos, geralmente com objetivo de minimizar o custo total da operação.

A determinação do tamanho da frota é outra funcionalidade disponível nos TMS como ferramenta de administração diária das necessidades de transporte. Neste sentido, o TMS pode indicar uma maior ou menor necessidade de veículos dado um aumento ou decréscimo da demanda de transportes.

Quanto aos benefícios proporcionados pelos softwares roteirizadores, Ghisi *et al apud* Rago (2002) cita a redução dos custos de transporte com o aumento da ocupação dos veículos, bem como do sincronismo de fluxos dos produtos desde a separação de pedidos até o carregamento dos mesmos, com conseqüente elevação do nível de serviço aos clientes.

Além da redução nos custos de transportes e a melhoria do nível de serviço, Ghisi *et al apud* Marques (2002) cita outros benefícios proporcionados pelas ferramentas de TMS, em que os roteirizadores estão inseridos: Melhor utilização dos

custos de transportes; Melhoria na composição de cargas (consolidação) e rotas; Menor tempo para planejar a distribuição e a montagem de cargas; Disponibilidade de dados acurados dos custos de frete mostrados de várias formas, como por exemplo, por cliente ou por produto; Acompanhamento da evolução dos custos com transportes; Disponibilidade de informações on-line e o Suporte de indicadores de desempenho para aferir a gestão de transportes;

Outras vantagens devem ser consideradas como: Integração com sistemas corporativos das empresas; Redução de gastos com pessoal de apoio e motoristas; Bloqueio virtual de trechos de rodovias impossibilitados ao trânsito de veículos e criação de rotas alternativas; Aumento da segurança no transporte, sendo possível sua interligação a sistemas de rastreamento e a Possibilidade de integração da malha viária e urbana, eliminando limites de roteirização.

3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Os Sistemas de Informações Geográficas – SIG podem ser definidos como uma coleção organizada de *hardware*, *software*, dados geográficos e alfanuméricos, projetados para eficientemente capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar informações referenciadas geograficamente. Constitui-se basicamente em um mapeador temático automatizado, onde as informações obtidas são organizadas em camadas (*layers*) e tais características se unem à potencialidade dos bancos de dados automatizados. Ainda, um SIG pode ser considerado como um tipo de sistema de informação que envolve de forma sistêmica e interativa bancos de dados, tecnologia e pessoal, sendo capaz de realizar análises espaciais, armazenar, manipular, visualizar e operar dados georeferenciados para obtenção de novas informações (CÂMARA, 1994).

Os SIG combinam os avanços das cartografias automatizadas, dos sistemas de manipulação de bancos de dados e do sensoriamento remoto com o desenvolvimento metodológico em análise geográfica, para produzir um conjunto distinto de procedimentos analíticos que auxiliam no gerenciamento e na atualização constante das informações disponíveis. O SIG oferece o ferramental operacional que auxilia e agiliza procedimentos de planejamento, gerências e tomadas de decisões, e que por isso vem sendo utilizado de forma cada vez mais promissora em diferentes áreas (CALIJURI & ROHM, 1995).

De particular interesse para a Logística e os Transportes são os chamados SIG-T, Sistema de Informação Geográfica para Transportes, que incorporam, além das funções básicas de um SIG, rotinas específicas para soluções de problemas de logística, de pesquisa operacional e transportes em geral. Essas rotinas resolvem, por exemplo, diversos tipos de problemas de roteirização de veículos, atuando na fase preliminar de preparação dos dados, na resolução do problema em si de roteirização e programação de veículos e na elaboração das rotas, tanto na forma de relatórios quanto na forma gráfica. Algumas características do módulo de roteirização do SIG-T utilizado nesse trabalho, são apresentadas a seguir (PELIZARO, 2000):

- *Múltiplos depósitos.* É possível determinar antes da roteirização quais as paradas serão atendidas por um determinado depósito; ou deixar que o próprio sistema se encarregue de alocar as paradas ao depósito mais adequado;
- *Janela de tempo rígida.* É definida para todas as paradas em função de restrições de horários de atendimento e também ao depósito, em função do seu horário de funcionamento, ou em função da jornada de trabalho do motorista;
- *Tempo fixo de serviço.* Corresponde ao montante de tempo requerido em cada parada, independente da quantidade de produto (ou serviço) demandada. É considerado, por exemplo, como um tempo de espera em filas para descarregar o veículo, ou o tempo para colocar o veículo em uma doca de descarga e verificar a mercadoria;
- *Tempo por unidade.* Tempo necessário para descarregar (ou carregar) cada unidade da mercadoria demandada;
- *Restrição de comprimento total da rota.* Esta restrição é dada em função do tempo máximo permitido para realizar uma rota;
- *Frota heterogênea de veículos.* Pode considerar veículos de diferentes capacidades.

4. OS SISTEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO

Hall e Partyka *et al apud* Cunha (2005) realizaram a mais recente pesquisa conhecida para identificar as principais características de 20 diferentes *softwares* de roteirização disponíveis no mercado americano.

Em particular no mercado brasileiro, até a alguns anos atrás havia apenas uma opção disponível de *software* de roteirização (o Trucks, não relacionado no trabalho dos autores). Mais recentemente tornaram-se disponíveis no mercado vários outros, tais como o Truckstops, o RoadShow, o RouteSmart, todos desenvolvidos por empresas estrangeiras e relacionados no levantamento.

As informações levantadas abrangeram: o ano que cada produto foi lançado; as plataformas em que ele pode ser processado (Windows, Mac, Unix, etc.) e os requisitos mínimos de *hardware*; o número máximo de paradas, de veículos e de terminais que podem ser considerados; possíveis interfaces com Sistemas de Informações Geográficas (SIG); se permitem roteirização em nós e arcos; consideração de janelas de tempo rígidas (não podem ser violadas) ou flexíveis (penalidade pela violação); e implantações mais significativas.

Destacam ainda a importância de roteiros que podem ser alterados dinamicamente, quando os veículos estão na rua, em função de novas solicitações de atendimento que são recebidas e tem que ser inseridas na programação de algum veículo. É o caso, por exemplo, de alguns sistemas de transporte de passageiros do tipo “*dial-a-ride*”. É também a realidade da maioria das empresas de carga expressa, do tipo “*courier*” (como, por exemplo, a FedEx ou a DHL) em que as coletas se dão num curto período de tempo após a solicitação, por veículos que já estão nas ruas.

Muitos dos pacotes disponíveis no mercado brasileiro são bastante sofisticados e poderosos em termos de recursos e de possibilidades de consideração de diversos tipos de restrições, e foram bem testados e validados em diferentes tipos de problemas. Por outro lado, sua implantação tem exigido, às vezes, investimentos e recursos significativos, além de tempo para a preparação de bases de dados e para treinamento para utilização, até que estejam em condições operacionais para a sua efetiva utilização no dia-a-dia das empresas.

Um aspecto importante a ser destacado é que, embora a maioria dos modelos se proponham a otimizar a roteirização, na prática nem sempre os algoritmos conseguem levar em consideração todas as parcelas dos custos de operação, que compreendem não só os custos variáveis com a distância percorrida, como também os custos fixos dos veículos e os custos horários da tripulação (incluindo a decisão

de utilizar ou não horas extras da tripulação para reduzir a necessidade de frota e a quilometragem percorrida).

Em muitos casos, as heurísticas embutidas nos *softwares* produzem soluções que correspondem a algum tipo de sub-otimização, buscando prioritariamente minimizar a frota e, em seguida, a distância total percorrida. Isso decorre do fato de que as heurísticas clássicas em que se apóiam os softwares, tais como as heurísticas de economias (Clarke e Wright, 1964), de varredura (Wren e Holiday, 1972; Gillet e Miller, 1974) e outras do tipo agrupa-primeiro e roteiriza depois (Fisher e Jaikumar, 1981) se baseiam em medidas de distâncias ou tempos de viagem e não consideram outras parcelas de custo.

Mais recentemente, em particular na última década, o esforço de pesquisa vem sendo direcionado ao desenvolvimento das chamadas meta-heurísticas. Elas englobam as estratégias e técnicas mais recentes e avançadas, não tradicionais, que são baseadas em sistemas especialistas, métodos de busca e, principalmente, procedimentos iterativos com alguma inteligência no processo de busca.

A consideração em separado de diversos métodos nesta categoria foi proposta por Souza (1993) e é decorrente do fato de que suas características são diferentes dos métodos heurísticos tradicionais. A idéia é explorar de maneira mais inteligente as regiões mais promissoras do espaço de soluções.

No caso da roteirização de veículos, segundo Laporte *et. al.* (2000), a busca tabu (do inglês *tabu search*) corresponde a meta-heurística com resultados mais promissores. Entretanto, os autores destacam que, embora a qualidade das soluções obtidas através de meta-heurísticas seja muito superior às das heurísticas convencionais, os tempos computacionais ainda são elevados, o que dificulta a sua incorporação às aplicações comerciais. Adicionalmente, segundo os autores, as meta-heurísticas são muito dependentes do contexto e requerem ajuste fino de parâmetros de processamento caso a caso, o que também inviabiliza sua utilização em *softwares* comerciais.

Assim, questões como o uso de mais veículos pequenos percorrendo uma distância total menor *versus* menos veículos grandes percorrendo uma distância total maior não são possíveis de serem avaliadas no processo de otimização dos roteiros.

A definição dos roteiros em que é mais vantajoso o uso de frota própria ou é melhor utilizar serviços de terceiros, de modo a otimizar o custo total (da utilização da frota própria e do total de frete pago a terceiros) é outro aspecto em que as especificidades da realidade brasileira na contratação de terceiros, particularmente nas operações de coleta e distribuição urbanas, não conseguem ser representadas nos *softwares* de roteirização disponíveis no mercado.

Isso ocorre porque, no Brasil, os fretes pagos nem sempre são calculados com base na distância percorrida pelos veículos. Nas contratações de terceiros para serviços de coletas e entregas urbanas, a prática mais comum é o pagamento segundo a quantidade total transportada pelo veículo (medida pelo peso, volume, número de caixas, etc.) e segundo o número de paradas do roteiro. Nas grandes cidades, usualmente a contratação pode prever ainda valores diferenciados de fretes unitários por região ou por área a ser atendida, de modo a considerar uma maior “*dificuldade*” espacial (loais mais distantes, na periferia, com sistema viário deficiente, com entregas mais dispersas, etc.). Há situações em que o frete de todas as entregas é calculado com base na entrega mais distante ou “*difícil*”.

O problema ocorre porque nenhum software de roteirização disponível no mercado permite considerar esse tipo particular de estrutura de custo, desvinculada da distância efetivamente percorrida, levando a soluções onde os custos com a distância e com a frota própria sejam minimizados, o que não necessariamente corresponde à solução de menor custo quando há terceiros realizando parte dos atendimentos.

Os pacotes comerciais também não consideram, na definição dos roteiros, o problema do arranjo da carga em cada veículo. Em entregas (e coletas) cujas cargas apresentem dimensões muito diversas (grandes e pequenos pesos e/ou volumes), como as encontradas, por exemplo, em entregas de lojas de departamento e de supermercados (por exemplo, geladeiras ao lado de batedeiras portáteis), o arranjo das cargas dentro do veículo pode ser decisivo para a otimização da distribuição. Em outras palavras, o conjunto de roteiros de menor distância total pode levar a um baixo aproveitamento do espaço de carga dos veículos, como também à impossibilidade de carregamento do veículo, ou a arranjos, por exemplo, em que cargas que estão na parte da frente de uma carroceria baú tenham que ser retiradas ou movimentadas para que outras cargas possam ser descarregadas,

acarretando aumentos não previstos nos tempos de parada. Tal tipo de restrição pode até inviabilizar o cumprimento dos roteiros programados.

5. CARACTERIZAÇÃO DE ALGUNS SISTEMAS DISPONÍVEIS NO MERCADO

No Brasil atualmente são comercializados diversos sistemas de roteirização, sendo a maioria deles ainda desenvolvida no exterior, com heurísticas de solução que geralmente não são disponibilizadas pelos seus desenvolvedores. As principais características sobre estes produtos estão descritas a seguir.

O sistema **Trucks** é um dos sistemas mais antigos disponível no mercado nacional e o que se tem maiores registros de utilização. É um sistema complexo que requer a montagem, bem como a edição e atualização de uma rede viária realizada a partir de uma mesa digitalizadora. Com o mapa digitalizado, a malha viária é desenhada (acompanhando o contorno das ruas), e nela os clientes podem ser localizados no nível de quarteirão. A partir daí, este sistema define as rotas, excluindo trechos que apresentem barreiras naturais ou artificiais (congestionamentos, obras, acidentes, etc.), definindo velocidades de tráfego nas ruas, cadastrando todos os clientes, reduzindo o tempo de processo como um todo. Além disso, todas estas rotas podem ser visualizadas na tela de um microcomputador sobre a malha viária da cidade. Segundo seu fabricante, este sistema indica as rotas levando em conta parâmetros como:

- Horários de recebimento das mercadorias de cada veículo;
- Taxas de descarga;
- Velocidades médias por trecho;
- Distância média entre pontos.

Além disso, este sistema pode ainda tomar como referência rotas com pernoite, tempo de trabalho do motorista e custos de horas extras, bem como obter, como resultado final, uma estatística da roteirização, incluindo o custo total de cada rota.

O **Truckstops** parece utilizar como estratégia de solução, segundo CUNHA (1997), um método de geração de roteiros iniciais através de uma heurística do tipo vizinho mais próximo, roteiros estes que podem ser melhorados através de uma

heurística de intercâmbios de clientes dentro de um mesmo roteiro e entre veículos. Segundo seu fabricante, este sistema trabalha com três tipos básicos de dados:

- Informações de paradas – nomes, endereços, números de identificação, latitude e longitude;
- Informações dos veículos – fatores de custo (\$/milha, \$/h e \$/h extra), regras de trabalho, origem e destino;
- Informações gerais – *Defaults* e dados não específicos de paradas ou veículos individuais.

Além desses, pode-se inserir dados geográficos tais como: mapas (detalhados ou não); barreiras geográficas naturais (rios, lagos, etc.) ou não (serviços de infra-estrutura, desvios, etc.) e dados de redes urbanas ou rodoviárias. Este sistema é capaz de trabalhar com mais de 1700 clientes e permite ao usuário: indicar paradas e obter as melhores programações de rotas para cada veículo da frota; ajustar prioridades de carregamento; indicar todos ou alguns veículos como transportadores autônomos; consolidar paradas localizadas nos mesmos pontos, prédios ou alamedas; particionar grandes carregamentos para um único veículo; redespachar, se necessário, veículos de modo a suprir de forma mais eficiente a demanda de clientes.

Segundo o fabricante, este sistema apresenta uma versão totalmente em português, sendo disponibilizado nas versões 32-bit (recomendada para grandes operações, onde os problemas de roteamento apresentam mais de 3000 pontos de parada), 16-bit e LAN.

O **RoadShow** parece ser um sistema bastante flexível, possibilitando a tomada de decisões baseada em custo reais de distribuição, considerando variáveis como tempo, tráfego, condições das ruas, entre outras. Segundo seu fabricante, utilizando-se o *mouse*, é possível criar, editar e atualizar a malha viária (nós e *links*), assim como modificar (ex. devido à adição de um novo cliente) suas rotas, recalculando e mostrando a nova rota, além das implicações de custo decorrentes de tais modificações. Nesse sistema, o mapa de operação, sobre o qual são exibidas as rotas, é *scanneado* do mesmo mapa usado por despachantes e motoristas, ou seja, com todos os detalhes importantes da região em questão, garantindo, assim, que as rotas não passem por barreiras naturais ou artificiais.

Comercializado no Brasil desde 1993, este sistema trabalha com janelas de tempo rígidas ou flexíveis, definindo a frequência de atendimento e selecionando os dias mais adequados ao atendimento. Outra peculiaridade é o uso de dois monitores simultaneamente: um para representação gráfica do mapa *scanneado* e dos roteiros, e o outro contendo informações detalhadas do que está sendo exibido graficamente. Devido ainda a sua interface gráfica, o **Roadshow** pode mostrar, além de mapas contendo rotas, paradas e caminhos a serem percorridos, planilhas de cálculo de rotas com detalhes de custo para até quatro rotas.

O **TransCAD** é um sistema utilizado para armazenar, mostrar, gerenciar e analisar dados de transporte, combinando um SIG e um sistema de modelagem de capacidades de transporte em uma plataforma integrada (SIG-T). Trabalhando com todos os modais de transporte, este sistema, quando aplicado a modelos de roteamento e logística, pode ser utilizado por diferentes setores (públicos ou privados) em aplicações tais como:

- Operações de coleta e entrega;
- Planejamento da distribuição;
- Manutenção de facilidades/oportunidades (*Facility maintenance*);
- Coleta e entrega porta-a-porta;
- Varrição de ruas ou remoção de neve;
- Coleta de lixo sólido e reciclável;
- Cálculo de distâncias percorridas.

Segundo seu fabricante este sistema apresenta métodos de resolução que se baseiam na clássica heurística de "Economias" desenvolvida por Clarke & Wright (1964), para roteirização de pontos, e na heurística do Problema do Carteiro Chinês Misto, sugerida por Edmonds e Johnson (1973), melhorada por Frederickson (1979) e Christofides *et al.* (1984), e também usada por Gendreau, Laporte & Zhao no *Windy Postman Problem*, em roteamento de arcos (Melo, 2000).

O **RouteSmart** é um sistema utilizado especialmente no contexto de roteamento e programação de veículos em áreas urbanas, considerando fatores e restrições comumente encontrados nesse ambiente, porém quase nunca tratados (devido à dificuldade que introduzem) na programação manual. Suas aplicações estão ligadas a entregas domiciliares; bebidas, cigarros, jornais ou qualquer outro produto; fretamento de funcionários; coleta e distribuição para atacadistas; visitas de

assistência técnica, vendedores, etc.; transporte de valores; e muitos outros. A partir da relação de clientes a atender e parâmetros dos tipos de veículos utilizados, este sistema determina os roteiros de coleta ou entrega e seus respectivos horários da frota, a fim de atender um conjunto de clientes ou tarefas, minimizando os custos totais de distribuição e atendendo a restrições do tipo:

- Capacidade de cada tipo de veículo em peso e/ou volume;
- Coleta e entrega simultânea (*backhaul*);
- Equipamentos especiais dos veículos para realizar os atendimentos;
- Faixa de horário de atendimento;
- Horas extras, duração máxima da jornada e horário de almoço;
- Tempos de viagem e de atendimento;
- Veículo máximo por cliente.

Sua otimização considera as parcelas de custo variável com distância percorrida, custo do tempo e custo fixo por veículo utilizado, cujos valores unitários podem ser fornecidos pelo usuário. Além disso, este sistema ainda fornece a seqüência de tarefas e os respectivos horários de atendimento para cada veículo da frota.

O **ArcLogistics Route**, segundo seu fabricante (ESRI), é capaz de atribuir paradas a veículos, além de construir seqüências de paradas considerando fatores como tempo, custo, capacidade e produtividade de veículos. Esse sistema pode ser utilizado em várias aplicações, a saber:

- Operações governamentais (estaduais e locais), permitindo redução de custos e melhoria de serviços, ao mesmo tempo, adequando-se a questões políticas e regulamentares;
- Gerenciamento de frotas de veículos, fornecendo suporte à tomada de decisão referente tanto à geração quanto ao planejamento de rotas de entrega (comercial e residencial);
- Operações relacionadas à saúde pública, possibilitando maior eficiência tanto em serviços de transporte (emergência/transferência) de pacientes, feitos por ambulâncias, como em coletas de material destinado a exames laboratoriais;
- Telecomunicações, auxiliando companhias públicas ou privadas na redução de custos, ao mesmo tempo, mantendo/aumentando níveis de infra-estrutura, manutenção e serviços.

Além disso, seus modelos matemáticos e ferramentas computacionais permitem a adequação às necessidades operacionais da empresa (tipos de veículos, modelos de distribuição, custo operacionais, informações customizadas). Dentre suas principais características tem-se sua adequação ao *Open Database Connectivity* (ODBC), com o que a base de dados do sistema pode ser diretamente integrada ao SAP R/3; e o aplicativo *Seagate Crystal Reports*, que gera resumos de informações de rota de alta qualidade (mapas onde podem ser visualizadas rotas e seqüências de paradas, mãos de ruas etc.), além de manifestos de motoristas. O quadro I faz um resumo de mais algumas características de sistemas disponíveis comercialmente no mercado nacional.

Quadro I – Resumo de características de alguns sistemas de roteirização disponíveis no mercado.

Produto	Fabricante	Ano de introd. no mercado mundial	Plataformas Operacionais				Tamanho máximo do problema			Especificações computacionais (Recomendado)			
			Windows 2000 / NT	Mac/ Mac OS	Web/ Unix	Outros	Número de paradas	Número de veículos	Número de terminais	Hardware	Velocidade Processador	Memória RAM	Hard Disk
ArcLogistics Route	ESRI www.esri.com	1999	s / s	n / n	n / n	Windows 95, 98	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	Pentium	233 MHz	128 MB	1 GB
Roadshow	Descartes Systems Group www.descartes.com	1985	s / s	n / n	n / n		32.000		256	Pentium II ou III	300+ MHz	64 MB	9 GB
RouteSmart Route Optimization	RouteSmart Technologies www.routesmart.com	1989	n / s	n / n	n / n		Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	Pentium III		256 MB	1 GB
TransCAD Transportation GIS	Caliper Corporation www.caliper.com	1988	s / s	n / n	n / s	Windows 95, 98	Ilimitado	32.000	32.000	Pentium	400+ MHz	128 MB	50 MB
TruckStops for Windows	Microanalytics www.bestroutes.com	1984	s / s	n / n	n / n	Windows 95, 98	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	Pentium		16 MB	50 MB

Produto	Produto é disponibilizado como parte de um <i>suite</i> que inclui						Gráficos		Janelas	Tempo	Frota que em geral utiliza o produto		
	Tela eletrônica On-board	Mensagens via rádio	Rastreamento de veículos em tempo real	Scanner código de barras	Sistema de gestão da cadeia de suprimentos (Gestão de estoques)	Process. Pedidos cliente	Rotas de nós / arcos	Rotas em tempo real	Rígida/ Flexível	Entrega/ Coleta local	Long-haul LTL / TL	Serviço de frotas/ Courier	
ArcLogistics Route	n	n	n	n	n	n	s / s	s	s / s	s	n / n	s / s	
Roadshow	s	s	s	s	s	n	s / n	s	s / s	s	n / n	s / s	
RouteSmart Route Optimization	n	n	n	s	n	n	s / s	n	s / n	s	n / n	n / s	
TransCAD Transportation GIS	n	n	n	n	n	n	s / s	n	s / n	s	n / n	n / s	
TruckStops for Windows	n	n	n	n	n	n	n / n	n	s / n	s	s / s	s / s	

Produto	Informações de preços				Outras características
	Licença p/ único site (50 rotas)	A licença inclui mapas da região?	Custo p/ hora de instalação (S/hora)	Tempo de suporte (horas) necessário a instalação (50 rotas)	
ArcLogistics Route	\$8.995	s	150	Nenhum	Interface de integração com ERP SAP R/3
Roadshow					Opera com distâncias e custos reais de distribuição
RouteSmart Route Optimization	Valor inicial \$10.000				Sistema que se adapta aos mais variados tipos e padrões de roteamento (flexibilidade)
TransCAD Transportation GIS	\$9995, s/ limite de no. de rotas	s	150	0 - 8	Roteamento de alta densidade e com precisão de ruas: 1º SIG - T distribuído no Brasil; utiliza uma heurística baseada em "Economias" e PCC Misto (Acréscimo de arcos e Arestas) inclui muitas ferramentas de planejamento logístico para distribuição e localização de <i>sites</i> . Compatibilidade com SIG NavTech para 2001
TruckStops for Windows	Valor inicial \$7900	n	Não incluído no valor do sistema	4 - 6 semanas	Códigos especiais, viagens de muitos dias e muitas viagens a múltiplos destinos

Fontes: Lionheart Publishing (2000); Melo *et al.* (1999)

* (s - Sim; n - Não)

No entanto, tanto a aquisição quanto a manutenção deste tipo sistema, assim como da sua base de dados, geram significativos custos, caracterizando-se como pontos negativos à sua utilização. A prática mostra que sistemas mal implantados e mal gerenciados constituem uma fonte incessante de problemas e prejuízos.

Neste sentido o que se percebe é que a maioria dos casos de insucesso são ocasionados por falta de um bom planejamento e gerenciamento de implantação ou por falta de orientação e até mesmo por falta de uma maior quantidade de informação em relação às características dos produtos disponíveis no mercado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Roteirização, quando aplicada corretamente pode ser uma ferramenta muito poderosa no controle da distribuição em geral, com, a redução de custo, a efetivação das entregas e o melhor relacionamento com os clientes, pois, permite atender melhor os diferentes tipos de exigências.

Nos mais diversos setores produtivos de uma economia a distribuição de seus produtos representa parte significativa dos custos administráveis. Para minimizar esse custo, gerando maior eficácia, conseqüentemente maior rentabilidade, as empresas procuram na logística, soluções para melhorar seus processos, dentre eles o da distribuição e captação de produtos.

Com base neste conceito foram analisados os roteirizadores TruckStops, RoadShow, TransCAD, RouteSmart e ArcLogistics Route nos quesitos de Tempo de Existência, Plataformas Operacionais, Tamanho Máximo do Problema, Especificações computacionais e Funcionalidades, conforme as conclusões a seguir.

6.1. Tempo de existência

Neste quesito o software TruckStops é o mais antigo sistema que se tem conhecimento, em uso desde o ano de 1984, seguido pelo sistema RoadShow de 1985, TransCAD de 1988, RouteSmart de 1989 e ArcLogistics Route de 1999.

6.2. Plataformas operacionais

Com base nas informações de domínio público sobre os sistemas de roteirização em uso no mercado nacional no quesito Plataformas Operacionais o sistema mais flexível é o TransCAD que funciona em Windows 95/98/2000/NT e Unix, seguido pelos sistemas TruckStops e ArcLogistics Route que funcionam em Windows 95/98/2000/NT. O sistema RoadShow funciona em Windows 2000/NT e o RouteSmart apenas em Windows NT.

6.3. Tamanho máximo do problema

No quesito tamanho máximo do problema que se refere ao número máximo de paradas calculadas por sistema, número máximo de veículos considerado por sistema e número máximo de terminais permitido por software, os sistemas mais flexíveis e sem limites para o tamanho máximo do problema são TruckStops, RouteSmart e ArcLogistics Route. O TransCAD é ilimitado para o número de paradas, porém limita em 32000 o número de veículos e de terminais. Já o RoadShow limita em 32000 o número de paradas, não informa o limite do número de veículos e limita em 256 o número de terminais.

Sabemos que dificilmente uma empresa tenha para uma única rota mais de 256 terminais ou que é impossível um único veículo realizar em uma única rota mais de 32000 entregas ou coletas, porém a limitação gera uma inflexibilidade que deve ser considerada no estudo para a aquisição de tal sistema.

6.4. Especificações computacionais (recomendado)

Estes sistemas são relativamente pesados e precisam de computadores avançados para que possam funcionar da forma adequada, para que seja analisada a velocidade real dos cálculos das rotas sem gerar a dúvida de que o tempo gasto no cálculo é de responsabilidade do computador ou do software.

Os dados disponíveis são de 1999, ou seja, muito aquém da tecnologia disponível atualmente, porém podemos perceber uma tendência de qual sistema necessita de um computador mais completo e potente frente aos outros. Neste

sentido vamos classificar como melhor software neste quesito o sistema que necessitar de um menor investimento em tecnologia, ou seja, que funcione com um computador mais simples.

Com base na regra acima o TruckStops é o sistema que menos exige investimento em tecnologia, tendo como requisito básico um processador Pentium, 16MB de RAM e 50MB de HD. Em seguida temos o ArcLogistics Route que necessita de um processador Pentium de 233MHz, 128MB de Ram e 1GB de HD, o TransCAD com um processador Pentium 400MHz, 128MB de Ram e 50MB de HD, o RoadShow com um processador Pentium II ou III de 300MHz, 64MB de Ram e 9GB de HD e por ultimo RouteSmart com um processador Pentium III, 256MB de Ram e 1GB de HD.

6.5. Funcionalidades

Por fim vamos discorrer a cerca do principal quesito quando avaliamos um software deste tipo, que são as funcionalidades, ou seja, as regras para a montagem de uma rota, considerando a composição da suíte dos produtos, os gráficos, as janelas de tempo e o tipo de frota que utiliza o sistema.

A suíte dos sistemas é composta por *Tela eletrônica on-board, Mensagem via rádio, Rastreamento de veículo em tempo real, Scanner código de barras e Sistema de Gestão da Cadeia de Suprimentos (Gestão de Estoque)*.

No sub-quesito Suíte o software RoadShow é o mais completo, pois disponibiliza todos os módulos analisados. Em seguida temos o RouteSmart que dispõe de apenas um modulo, o *Scanner código de barras*. Os outros três sistemas não detêm nenhum modulo da suíte analisada.

Na análise do sub-quesito Gráficos o sistema ArcLogistics Route é o que disponibiliza o maior numero de opções com rotas de nós e arcos e rotas em tempo real. Em seguida temos o RoadShow que dispõe de gráficos para as rotas de nós e rotas em tempo real. Em terceiro temos os sistemas RouteSmart e TransCAD que dispõem dos gráficos das rotas de nós e arcos, porém não dispõem dos gráficos das rotas em tempo real e por ultimo o TruckStops que não disponibiliza nenhum tipo de apresentação gráfica.

Com relação a análise do sub-questo Janela de Tempo iremos analisar se as mesmas são flexíveis, rígidas ou ambas. Os sistemas ArcLogistics Route e RoadShow apresentam ambas as funções de Janelas de Tempo, tanto as flexíveis, como as rígidas. Os outros três sistemas, RouteSmart, TransCAD e TruckStops dispõem apenas de Janelas de Tempo Rígidas. Esta é uma importante função, pois caso o usuário necessite incluir um novo ponto de atendimento durante a viagem do veículo, não será possível se o sistema não for flexível neste item. Para alguns setores como a distribuição de cigarros a rigidez neste ponto eliminaria a participação de um determinado software de roteirização em uma análise de implantação.

No ultimo sub-questo analisado, dentro do quesito Funcionalidades, será feita a comparação do tipo de frota que em geral utiliza estes sistemas. Neste item serão analisados três tipos de frotas, sendo: Entrega/Coleta local; Longa Distância; Serviço de frotas/correio.

Todos os sistemas são utilizados atualmente por frotas de Entrega/Coleta Local. Em Longa Distância, apenas o sistema TruckStops é utilizado. Em Serviço de Frotas (exemplo: empresas de iluminação pública), apenas os sistemas ArcLogistics Route, RoadShow e TruckStops são utilizados e em serviços de correio todos os cinco sistemas são utilizados.

6.6. Conclusão

Com base nas análises acima podemos afirmar que o sistema TruckStops é o sistema mais utilizado no mercado e o mais simples de aplicação, porém o mesmo é rígido, não possui gráficos e nem um pacote de suíte que o integre a outros sistemas e serviços logísticos como o rastreador via satélite e o scanner de código de barras. Com isto, com base nas complexas operações logísticas atuais este sistema está aquém do mercado.

Os sistemas TransCAD e RouteSmart são muito parecidos, atendem a alguns quesitos, porém também não são dinâmicos e não podem ser integrados a outros hardwares e softwares das suítes, com exceção do RouteSmart que pode ser integrado ao scanner de código de barras. Ambos ficam limitados a operações mais simples e a projetos de pequeno porte.

No que tange a flexibilidade do sistema do ponto de vista da Janela de Tempo e a várias opções gráficas o sistema ArcLogistics Route é um bom exemplo e deve ser considerado em todo projeto piloto de médio e grande porte. Porém, o sistema mais complexo, que detém uma ampla suíte de aplicativos, gráficos e é flexível com a alteração das Janelas de Tempo é o RoadShow. Este sistema, dos cinco sistemas analisados, é o mais completo e que deverá fazer parte dos testes e projetos de todas as grandes corporações que necessitem de um sistema deste tipo.

Por fim podemos concluir que há no mercado um tipo específico de sistema de roteirização para cada operação de transporte e que a escolha deverá ser feita após um longo período de testes teóricos e práticos no dia a dia de cada empresa ou instituição.

REFERÊNCIAS

Bodin, L.D. (1990). Twenty years of routing and scheduling. *Operations Research*, 38(4), 571-579.

Calijuri, M. L., Rohm, S. A., 1995. *Sistemas de Informações Geográficas*. Universidade Federal de Viçosa.

Caliper Corp. (1996). *Routing and Logistics with TransCAD 3.0 for Windows*.

Caliper Corp. (1996) *TransCAD – The Premier GIS for Transportation, Logistics, and Operations Research*.

Câmara, G., 1994. *Anatomia de um SIG. Fator Gis*, Curitiba, n.4, jan./mar.

Cunha, C.B. (1997). *Uma Contribuição para Problemas de Roteirização de Veículos com Restrições Operacionais*. Tese de D.Sc., EPUSP, São Paulo, SP, Brasil.

ESRI (2000). *ArcLogistics Route*, disponível em <http://www.esri.com> (08/10/01).

Golden, B.L. & Bodin, L. (1986). Microcomputer-based vehicle routing and scheduling software. *Computers and Operations Research*, 13(2/3), 277-285.

Laporte, G.; Gendreau, M.; Potvin, J. Y.; Semet, F. Classical and Modern Heuristics for the Vehicle Routing Problem. *International Transactions in Operational Research*, v. 7, n. 4/5, 2000.

Lionheart Publishing (2000). disponível em:
<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/VehicleRouting/vrss.html> (08/10/01).

Logit (1997). *ROTAcerta – Sistema de Roteamento e Programação de Veículos*.

Lopez, I. (1996). Na Rota da Eficiência e Economia. Revista Tecnológica, 11, 20-27.

Melo, A.C.S.; Gianarelli, P.C.; Gomes, E.G. & Ferreira Filho, V.J.M. (1999). Sistemas de Roteirização de Veículos e Gestão da Cadeia de Suprimentos: Uma abordagem analítica. XXXI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO, p.690-704, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

Melo, A.C.S. (2000). Avaliação do Uso de Sistemas de Roteirização de Veículos. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Microanalytics, Inc. (1999). TruckStops Routing & Scheduling System. Disponível em <http://www.bestroutes.com>

Microanalytics, Inc. (2001). TruckStops Routing & Scheduling System,. Disponível em <http://www.bestroutes.com/truckstops/tech.html>

Novaes, A. G. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição. Rio de Janeiro: Elsevier – Editora Campus, 2001.

Pelizaro, C. Avaliação de Desempenho do Algoritmo de um Programa Comercial para Roteirização de Veículos. 2000. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.

Roadshow International, Inc. (1996). Sumário do Produto.