

## **Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta suporte a estudos de localização e roteirização**

**Sílvia Maria Santana Mapa (UNIFEI) silvinhamapa@yahoo.com.br**

**Renato da Silva Lima (UNIFEI) rslima@unifei.edu.br**

### **Resumo**

*Os problemas de localização e roteirização são problemas complexos, por envolverem, na maioria das vezes, um grande número de variáveis e grandes volumes de dados. Com o advento de novas tecnologias de informação, que permitem tratar os sistemas logísticos de forma efetivamente integrada, surgiram os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O objetivo do presente artigo é identificar o SIG como sistema de apoio às decisões espaciais de localização e roteirização. Estes sistemas permitem analisar e comparar um alto número de alternativas e escolher a que se adapta melhor à estratégia organizacional. Em sua estrutura, o artigo faz um breve levantamento bibliográfico sobre os temas logísticos de localização, roteirização e Sistemas de Informação Geográfica, apresentando alguns casos de sucesso de aplicação do SIG a atividades de planejamento. Depois de apresentadas algumas aplicações de SIG, conclui-se que estes sistemas transformam os dados em informações imediatamente úteis, permitindo a tomada de decisões espaciais e identificando o SIG como um sistema de apoio à decisão espacial (SADE). Espera-se que cada vez mais este sistema seja adotado por empresas, públicas e privadas, garantindo maior eficiência na tomada de decisões e na busca de maior competitividade.*

*Palavras-chave: Sistemas de Informações Geográficas; Localização; Roteirização.*

### **1. Introdução**

Problemas de localização de instalações envolvem escolher o melhor local para uma ou mais instalações de um conjunto de locais possíveis. Existem também problemas de localização de instalações onde a meta é minimizar a distância entre as instalações e a demanda a que elas atendem. De forma geral, os estudos de localização lidam com a melhor distribuição das instalações para fornecer um alto nível de serviço, minimizar custos de operação, ou maximizar lucros. O que se pretende obter é uma solução, se possível ótima, que minimize o custo total de instalações e transportes. Para isto, é preciso considerar as compensações (*trade-offs*) existentes entre decisões relacionadas ao número e localização espacial das instalações e compará-las com relação ao custo de transporte.

Segundo Ballou (2001), o transporte absorve, em média, a porcentagem mais elevada de custos que qualquer outra atividade logística. Um sistema de transporte eficiente e barato contribui para aumentar a concorrência no mercado, diminuindo os preços das mercadorias. Uma das modalidades de decisões em transporte se expressam sob a forma de roteirização. O problema de roteirização de veículos se dá quando são conhecidas as localizações espaciais precisas dos centros de oferta e demanda. A partir daí, procura-se os melhores trajetos que um

veículo deve percorrer, a fim de minimizar tempos ou distâncias totais percorridas. Resolver o problema de roteirização de veículos envolve determinar quantos veículos serão necessários para servir os destinos, desenvolver uma rota e uma programação para cada um. Por haver muitas variações do problema, ele pode ser de difícil resolução.

Os problemas de localização e roteirização são problemas complexos, por envolverem um grande número de variáveis e grandes volumes de dados. Com o advento de novas tecnologias de informação, que permitem tratar os sistemas logísticos de forma efetivamente integrada, surgiram os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Estes sistemas permitem analisar e comparar um alto número de alternativas e escolher a que se adapta melhor à estratégia da organizacional. Problemas de localização e roteirização são problemas cujas abordagens podem ser auxiliadas pelo uso de ferramentas computacionais como os SIGs. Este sistema armazena, manipula e gerencia dados geográficos, executando operações sobre os mesmos, e gerando informações que permitem a tomada de decisões espaciais.

O objetivo do presente artigo é justificar o uso de Sistemas de Informações Geográficas como sistema de apoio à decisão espacial, aplicado a problemas de localização e roteirização. A importância de um estudo de localizações decorre dos altos investimentos envolvidos e dos impactos sobre os custos logísticos, por ser uma decisão, na maioria das vezes, definitiva. Segundo Ballou (2001), os custos de transportes representam de um a dois terços dos custos logísticos totais, fato que estimula a correta tomada de decisões. Alguns casos de sucesso utilizando-se SIG aplicado a problemas típicos de logística podem vir a incentivar tomadores de decisões a adotarem tais ferramentas de apoio, motivados pela busca de maior competitividade.

A ferramenta SIG tem enorme aplicação a problemas de localização, seja de fábricas, centros de distribuição, pontos comerciais ou planejamento público. No estudo de roteamento de veículos é fundamental, pois, além de fazer análises e gerar mapas temáticos utilizando mapas digitalizados que contêm rodovias e ferrovias, permitem ao usuário visualizar as rotas que foram geradas. Uma grande vantagem da ferramenta computacional é a facilidade de representação visual, ampliando o entendimento de especialistas e usuários. Hoje em dia dispõem-se no mercado de um número razoável de softwares com aplicações em transportes, os denominados SIG-T. Estes possuem rotinas logísticas de localização de facilidades, roteirização e programação de veículos, aplicações em monitoramento e controle do tráfego, oferta e demanda de transportes, prevenção de acidentes, dentre outras.

O presente trabalho está estruturado em forma de capítulos. Além da introdução, o capítulo 2 faz um breve levantamento bibliográfico sobre estudos de localização. O capítulo 3 apresenta a revisão bibliográfica de problemas de roteirização e programação de atividades, seguido pelo capítulo 4 que faz uma revisão sobre Sistemas de Informações Geográficas. No capítulo 5 tem-se a conclusão, seguida das referências bibliográficas utilizadas.

## **2. Problemas de localização**

De forma geral, os estudos de localização tratam do problema de minimizar os custos de uma rede logística, estando esta sujeita às restrições de capacidade das instalações, e devendo atender a determinada demanda para satisfação de certos limites de nível de serviço. Os dados de entrada para análise são as previsões de demanda para cada produto, as limitações de capacidade as taxas de produção, as prováveis localizações das instalações, as possíveis localizações entre elas e os respectivos custos de transporte de cada modal.

O objetivo da localização de instalações, também conhecido como localização de facilidades, é encontrar o melhor arranjo para as instalações, a fim de minimizar custos logísticos, como

por exemplo, ao se localizar o mais próximo possível da demanda, com o intuito de reduzir custos em transportes. Outra abordagem é a de reduzir ao máximo os custos com instalações, seja pela escolha de uma localização devido ao custo financeiro, ou pela quantidade de instalações a serem implantadas.

O termo facilidades é utilizado para designar fábricas, depósitos, escolas, hospitais, etc. Em geral, as facilidades podem tanto ser selecionadas como novos centros a serem abertos, como também serem escolhidas no subconjunto de centros existentes.

As estratégias de localização são de suma importância, visto que a economia obtida ao deixar de construir uma unidade reduzirá as chances de oferta deste serviço, denotando, desta forma, a difícil conciliação entre o fator economia e a satisfação das necessidades demandadas. Ressalta-se, ainda, que os custos em transporte envolvam não somente custo monetário, bem como aspectos relacionados ao tempo de percurso, distância percorrida, oportunidade de escolha, dentre outros, que possuem diferentes influências para distintas classes de demanda.

Segundo Lorena *et al.* (2001), as aplicações de problemas de localização de facilidades ocorrem nos setores público e privado. No caso de setores públicos, procura-se maximizar a satisfação dos clientes em detrimento dos custos necessários para o alcance de tal objetivo. Exemplos de aplicações em setores públicos são: localização de escolas, postos de saúde, unidades do corpo de bombeiros, postos de despacho de ambulâncias e viaturas de polícia, pontos de ônibus, áreas de lazer, aterros sanitários, entre outros. No caso do setor privado, onde custos fixos estão envolvidos, as aplicações envolvem, em geral, a localização de fábricas, depósitos, torres de transmissão, lojas de franquias, centros de distribuição, etc.

Owen e Daskin (1998) fizeram uma revisão de literatura sobre os modelos de localização. Eles classificaram os problemas de localização de acordo com os seguintes modelos: estático-determinísticos, dinâmicos e estocásticos. Dentre os modelos estático e determinístico de localização de instalações, podem-se citar:

- Problema das p-medianas: O objetivo é encontrar a localização de p-facilidades tal que a distância total entre as demandas e as instalações seja minimizada;
- Problema da máxima captura: É o problema das p-medianas modificado. O objetivo é maximizar o número de novos clientes capturados, levando em consideração a presença de concorrentes;
- Problema de cobertura de conjuntos: É muito utilizado na localização de serviços de emergência. Baseia-se na distância ou tempo de viagem máximos aceitáveis, buscando a minimização do número de facilidades necessárias para garantir certo nível de cobertura a todos os clientes. Assume um conjunto finito de localizações.
- Problema de máxima cobertura: recursos disponíveis são utilizados para atender o máximo possível de clientes cobertos pelo serviço dentro de uma distância aceitável, localizando um número fixo de instalações. Assume um conjunto finito de localizações.
- Problema de p-centros: É um problema *minimax* cujo objetivo é minimizar a máxima distância entre os pontos de demanda e a facilidade mais próxima. Deseja-se cobrir toda a demanda procurando localizar certo número de facilidades, desde que minimize a distância coberta. Quando a localização da facilidade está restrita ao nó da rede, tem-se o problema de centro de vértice. Caso se permita a localização em qualquer lugar da rede, o problema é de centro absoluto.

- Problema de localização de facilidades a custo fixo: Problemas que possuem um custo fixo (aquisição, construção) associado à localização de cada área potencial. É próximo aos problemas de p-medianas.
- Problema de localização-alocação: Localizam-se as instalações por um dos métodos já citados e alocam-se fluxos entre as facilidades e as demandas, simultaneamente.
- Problema de anti-mediana: o objetivo é maximizar a distância média entre pontos de oferta e de demanda.
- Problema de anti-centro: o objetivo é maximizar a distância mínima entre pontos de oferta e de demanda.
- Problema da p-dispersão: o objetivo é maximizar a distância mínima entre qualquer par de facilidades.

Ainda, segundo os mesmos autores, com relação aos modelos dinâmicos e estocásticos, estes lidam explicitamente com as incertezas inerentes à localização de instalações, que podem ser problemas extremamente difíceis de serem resolvidos. A natureza estratégica de problemas de localização de facilidades requer que um modelo razoável considere alguns aspectos de incertezas futuras. Desde que a localização ou realocação de facilidades envolve um alto investimento, espera-se que seu período de operação seja longo. Assim, o problema de localização de facilidades envolve um longo horizonte de planejamento. Os modelos dinâmicos podem ser divididos em determinísticos ou estáticos, por lidarem com informações incompletas ou errôneas. Estes modelos lidam com a localização de uma única facilidade ou de múltiplas facilidades.

Já os modelos estocásticos tratam as incertezas de inúmeros parâmetros do sistema, como tempos de viagem, custos de construção, quantidade ou locais de demanda. Este modelo pode ser dividido em duas outras categorias: abordagem probabilística ou planejamento do cenário. Nos modelos probabilísticos, há a explícita consideração da distribuição de probabilidade associada às variáveis aleatórias. Na abordagem do planejamento do cenário, considera-se um conjunto de possíveis valores futuros para as diversas variáveis, geradas pelos tomadores de decisão.

Um exemplo sobre localização pode ser visto em Pizzolato e Fraga da Silva (1997), no qual o principal objetivo foi alocar os pontos de oferta (escolas) o mais próximo possível dos clientes (alunos), de forma a reduzir a distância total percorrida entre a escola e residência do aluno. Para isto, faz-se uso de um modelo de localização baseado no problema das p-medianas, com arcos não capacitados. O trabalho foi aplicado a duas cidades do estado do Rio de Janeiro, Nilópolis e Nova Iguaçu. Para realizar a pesquisa, usou-se de mapas divididos em blocos do censo, e informações da distribuição espacial dos estudantes. A população analisada compõe-se de pessoas cujas idades variam entre 7 a 14 anos, enquadradas no sistema de escola primária. Como resultado do estudo feito, uma proposta de localização ideal foi citada, obtendo-se uma nova solução melhor que a localização real, revelada pela melhor distribuição das escolas no mapa. Com o modelo de localização, são apresentadas as áreas com carência de vagas em escolas, propondo aumento da capacidade destas, seja pela expansão ou construção de novos prédios, ou pela ativação de espaços inutilizados, ou pela contratação de novos professores. Por outro lado, escolas com excesso de capacidade podem ter seus recursos realocados a outras áreas adjacentes, para que haja equilíbrio entre oferta e demanda.

Caracterizados por um alto nível de complexidade e pelo intensivo uso de dados, os estudos de localização atualmente dispõem de novas tecnologias de informação, que permitem tratar os sistemas logísticos de forma efetivamente integrada. Conforme Fleury *et al.* (2000), desde

a década de 70 já estavam desenvolvidas as bases para as aplicações computacionais de estudos de localização de instalações. Todavia, os problemas de dimensões práticas, de larga escala, estavam basicamente restritos à comunidade acadêmica ou aos órgãos governamentais, pela utilização de computadores *mainframes*. Foi muito recentemente, depois da ampla utilização de computadores pessoais dotados de processadores de alta velocidade, que se expandiu o uso comercial de ferramentas computacionais aplicadas ao problema de localização.

A abordagem de modelos de localização de facilidades tem sido proposta, atualmente, como ferramentas de auxílio à decisão espacial, principalmente quando uma base de dados geograficamente referenciada se encontra disponível. Nestes casos, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são muito importantes na coleta e análise desses dados, pois integram uma sofisticada interface gráfica a uma base de dados georeferenciados, constituindo-se em poderosas ferramentas de análise e planejamento espacial. Problemas complexos de localização de facilidades podem ser tratados com SIGs, levando-se em conta várias informações espaciais e, também, sócio-econômicas (LIMA, 2003).

Conforme Naruo (2003), o procedimento de localização de facilidades é primordial, pois garante que as análises subsequentes de roteirização e programação de veículos se apoiem na melhor opção de localização, quando abordadas de forma integrada.

### **3. Problemas de roteirização de veículos**

A tarefa de roteirização e programação são realizadas após determinadas as localizações das instalações, sendo esta análise de grande importância nas decisões de planejamento logístico. Para Ballou (2001), os custos de transporte variam tipicamente entre um terço e dois terços do total dos custos logísticos, sendo assim, o transporte é geralmente o elemento mais importante dentre as atividades logísticas. Reduzir o custo dos transportes e melhorar o serviço ao cliente, através da busca dos melhores trajetos que um veículo deve fazer em uma rede viária, o qual minimizará o tempo e/ou distância, é um problema freqüente de decisão. Todavia, as decisões de transporte se expressam em uma variedade de formas, entre as principais estão a roteirização e a programação.

Bodin *et al.* (1983) fazem uma revisão bibliográfica acerca dos temas roteirização e programação de atividades. Todos os sistemas de roteirização e programação possuem essencialmente as mesmas saídas: para cada veículo ou tripulante, uma rota e um programa são providenciados. A rota especifica a seqüência de locais a serem visitados, e o programa identifica os tempos nos quais as atividades nestes locais serão realizadas. Conforme os mesmos autores, os problemas de roteirização podem ser divididos em três grupos principais: roteirização pura de veículos, programação de veículos e tripulações, e combinação de roteirização e programação de veículos, os quais serão mais bem detalhados a seguir.

- **Roteirização pura de veículos**

São problemas espaciais, onde os condicionantes temporais não são considerados e nem há relação de precedência entre as atividades envolvidas. Neste tipo de problema existe um conjunto de nós e/ou arcos que devem ser atendidos por uma frota de veículos. O objetivo é construir um conjunto de rotas viáveis e de baixo custo para cada veículo. Os principais problemas de roteirização pura de veículos estão sintetizados na Tabela 1.

Problema	Descrição
Caixeiro viajante	Consiste em determinar uma rota de custo mínimo que visite todos os nós uma única vez. Pode ser classificado como um problema de cobertura de nós.
Carteiro chinês	Consiste em determinar uma rota de custo mínimo que passe por todos os arcos pelo menos uma vez. É um problema de cobertura de arcos.
Carteiro chinês capacitado	É uma generalização do carteiro chinês, onde há restrição de capacidade dos veículos.
Múltiplos caixeiros viajantes	É uma generalização do caixeiro viajante na qual se considera mais de um caixeiro viajante, que iniciam e terminam suas rotas em um local comum. Não há restrições sobre o número de nós que cada um pode visitar, exceto que cada caixeiro visite no mínimo um nó.
Roteirização com um único depósito e vários veículos	É o problema clássico de roteirização de veículos (PRV). É uma generalização do problema do caixeiro viajante, onde a frota de veículos parte de um depósito central e atende todos os nós, com o objetivo de minimizar a distância total percorrida pela frota.
Roteirização com vários depósitos e vários veículos	É uma generalização do problema anterior, com múltiplos depósitos ao invés de apenas um. Neste problema, cada veículo é alocado a um único depósito, originando e terminando a viagem no mesmo local.
Roteirização com depósito único, vários veículos e demanda estocástica	É idêntico ao PRV, exceto pela demanda não ser conhecida com certeza, podendo ser originada de uma distribuição de probabilidades específica.

Fonte: Adaptado de Bodin *et al.* (1983).

Tabela 1 – Problemas clássicos de roteirização pura

- Programação de veículos e tripulações

Podem ser considerados como problemas de roteirização, com restrições adicionais de tempo, em que várias atividades devem ser realizadas. Assim, os condicionantes temporais devem ser considerados explicitamente no tratamento do problema.

Bodin *et al.* (1983) consideram a programação de veículos e a programação de tripulações problemas essencialmente semelhantes, embora os problemas de programação de tripulações envolvam restrições mais complexas, como restrições operacionais e trabalhistas. Estes dois tipos de problemas interagem entre si: a especificação da programação dos veículos definirá certas restrições na programação das tripulações e vice-versa. Idealmente, ambos os problemas deveriam ser resolvidos simultaneamente, mas modelos que incorporam ambos os problemas em um único problema de otimização são geralmente mais complexos. Consequentemente, muitas estratégias de solução adotam procedimentos seqüenciais que resolvem um problema primeiro e então o outro, com algum mecanismo de interação entre ambos. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos problemas básicos de programação de veículos, enquanto a Tabela 3 diz a respeito à programação de tripulações.

Problema	Descrição
Um único depósito	Consiste no particionamento dos nós de uma rede em um conjunto de rotas, de forma a minimizar os custos (distância ou tempo) envolvidos. Cada rota corresponde à programação de um veículo.
Restrições de tamanho de rota	Há considerações de restrições de tempo e distância máxima de viagem, que podem representar, na prática, a necessidade de reabastecimento e manutenção da frota.
Múltiplos tipos de veículos	Consideram as diferentes características dos veículos para realizar as tarefas, tal como suas diferentes capacidades.
Múltiplos depósitos	São problemas em que veículos realizam tarefas a partir de diferentes depósitos. Os veículos devem sair e chegar ao mesmo depósito, e para o tamanho da frota de cada depósito deve-se especificar mínimos e máximos.

Fonte: Adaptado de Bodin *et al.* (1983).

Tabela 2 – Problemas clássicos de programação de veículos

Souza *et al.* (2003) apresentaram o problema da programação de tripulações aplicado ao setor público de transportes, fazendo uma abordagem através de técnicas heurísticas. Como resultado, foi gerado um conjunto de tarefas para cada tripulante (jornadas de trabalho), atendendo todas as restrições operacionais e trabalhistas da empresa, de forma a minimizar os custos operacionais totais envolvidos. Com relação à solução obtida por tentativa e erro adotada pela empresa, a solução heurística foi capaz de reduzir o número de tripulações, bem como as horas extras pagas e o tempo ocioso, principais itens na planilha de custos.

Problema	Descrição
Programação de pessoal para um local fixo	O problema divide o dia de trabalho em T períodos e especifica uma demanda para cada trabalhador, relacionado a cada período de tempo. O objetivo é cobrir todas as tarefas através de um conjunto de programas associados aos trabalhadores.
Programação de veículos e tripulações em transporte público	Consiste em determinar, em etapa inicial, a alocação ótima de veículos a um conjunto de viagens programadas de linhas, e em etapa subsequente, determinar as jornadas de trabalho das tripulações.
Programação de tripulação no transporte aéreo	É semelhante à programação de tripulações em veículos, uma vez que as tabelas de horários de partida e chegada das rotas aéreas nos diversos pontos são definidas a priori e, portanto, conhecidas e determinadas.
Programação de pessoal em turnos de revezamento	Consiste na programação diária variando de um dia para o outro, havendo rodízio de turno de pessoal, em função de restrições trabalhistas.

Fonte: Adaptado de Bodin *et al.* (1983).

Tabela 3 – Problemas clássicos de programação de tripulações

- Combinação de programação e roteirização de veículos

Quando existe a ocorrência de aplicações com restrições de janelas de tempo (horário de atendimento) e de precedência de tarefas. O problema de roteirização e programação de veículos com janelas de tempo, PRPVJT, é uma importante variação do problema de

roteamento de veículos (PRV). No PRPVJT, um número de pontos para atendimento tem uma ou mais janelas de tempo durante o qual o serviço pode ser executado. Estes problemas combinados de roteirização e programação de veículos freqüentemente surgem na prática e são representativos de muitas aplicações do mundo real.

Um exemplo prático de programação e roteirização de veículos podem ser encontrados em Eibl *et al.* (1994), cujo objetivo é a aplicação de softwares para se obter maior controle dos custos de transporte em um grande grupo de cervejaria, situada na Inglaterra. Segundo estes autores, as principais restrições da programação são: 1) janelas de tempo dos consumidores; 2) restrições de capacidade e volume dos veículos; 3) restrições trabalhistas da jornada de trabalho dos motoristas e seus ajudantes. Os autores concluem que, com a aplicação de softwares de programação e roteirização, lucros foram alcançados pela redução de veículos, incluindo economias de seus custos de operação e manutenção, inclusive mão-de-obra de motoristas e seus ajudantes, que foram realocados dentro da organização. Além disto, o tempo de amortização do software utilizado é de apenas um ano, incentivando investimentos neste sentido.

Uma aplicação da integração entre localização e roteirização pode ser encontrada em Petersen (1999), que analisa a aplicação estratégica dentro de um depósito. Políticas de armazenagem e roteirização definem a localização de itens na área do depósito até a consolidação de carga ao veículo. A atividade que consome maiores custos em um depósito típico é o método de separação de pedidos e coleta dos itens (*picking*), que é afetado por diversos fatores, tais como: a demanda pelos itens, a configuração do depósito, a localização dos itens dentro do depósito, o método de seleção e consolidação das mercadorias e a roteirização dos operadores para determinar a seqüência dos itens a serem despachados. Os resultados alcançados pelo autor conduzem gestores a adotarem melhores políticas de localização e roteirização dentro dos depósitos, a fim de obterem redução de custos ao longo destas operações.

Hoje se dispõe, no mercado, de um número razoável de softwares de roteirização, que ajudam as empresas a planejarem e programarem os serviços de distribuição física. Diversos veículos são hoje equipados com rastreadores, muitas vezes dispondo de receptores GPS (*Global Positioning System*), que fornecem a latitude e a longitude do caminhão em tempo real. O GPS, combinado com uma base geográfica de dados (SIG) e comunicação por satélite, permite ao despachante localizar o veículo, na rede viária, a qualquer instante. Essa facilidade permite alocar o veículo mais próximo e disponível a uma tarefa emergencial. Também é usada largamente na alocação dos veículos para apanha em tempo real de pacotes e encomendas (NOVAES, 2001).

#### **4. Sistemas de Informações Geográficas**

Segundo Fleury *et al.* (2000), a idéia inicial de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ou do inglês *Geographic Information Systems* (GIS), nasceu na Suécia. Entretanto, o primeiro SIG foi desenvolvido no Canadá, em 1962, doravante denominado CGIS (*Canada Geographic Information Systems*). Ele objetivava a realização de inventários de terras em âmbito nacional, envolvendo diferentes aspectos sócio-econômicos e ambientais. O SIG só se tornou totalmente aplicável na década de 70, e seus conceitos foram bastante difundidos somente na década passada.

Antes do advento dos SIGs, a análise e manutenção de entidades em um contexto espaço-temporal era executada de forma analógica, onde o processamento e a apresentação dos dados eram feitos através de mapas e cartas (forma mais antiga e ainda mais comum). A produção de mapas é um processo caro, cujos elementos, em geral, são armazenados de forma



georeferenciada, segundo um sistema de coordenadas (latitude, longitude e elevação em relação ao nível do mar). Com a sobreposição de mapas em folhas transparentes é possível se fazer uma correlação desses dados. No entanto, este é um processo oneroso. Com o aparecimento dos SIGs, foi possível diminuir gastos com essa produção, armazenamento e atualização manuais de mapas (DUTRA, 1998).

Atualmente, existem softwares que permitem o uso de tais informações para auxiliar na tomada de decisão espacial. Kliskey (1995) aponta a importância da informação no contexto da gestão estratégica. A informação tem o poder de reduzir as incertezas e auxiliar na tomada de decisões. A informação espacial, ou geográfica, aplicada à gestão estratégica, provê uma base geográfica referenciada e representações gráficas. Sua importância está na análise de informações relevantes, como, por exemplo, a melhor localização de recursos ou roteirização de atividades. É dentro deste contexto que os SIGs são inseridos como sistema de apoio à decisão espacial (SADE). Além de suportar uma base de dados espaciais, os SIGs têm a capacidade de transformá-las em novas informações (LIMA, 2003).

A capacidade de SIG habilita a interação entre diversos tipos de informações, provenientes de diferentes fontes. O principal elemento da integração de informações através de um SIG é a ligação que se faz entre dados não-espaciais, ou dados de atributos, a dados espaciais, ou geográficos. Os dados espaciais são a representação de objetos sob três formas básicas: pontos, linhas e áreas. Os atributos são necessários para completar com informações não-espaciais de cada objeto espacial e, normalmente, são armazenados na forma de tabelas, com informações alfanuméricas quantitativas e qualitativas. Por exemplo, um ponto pode representar a interseção (nó) de duas vias (arcos), e os atributos são informações, como a presença ou não de uma fábrica, cliente ou depósito neste ponto. No caso de uma fábrica, atributos como a quantidade produzida, a frota de veículos, o número de funcionários, custos, entre outros, podem e devem estar associados (NARUO, 2003).

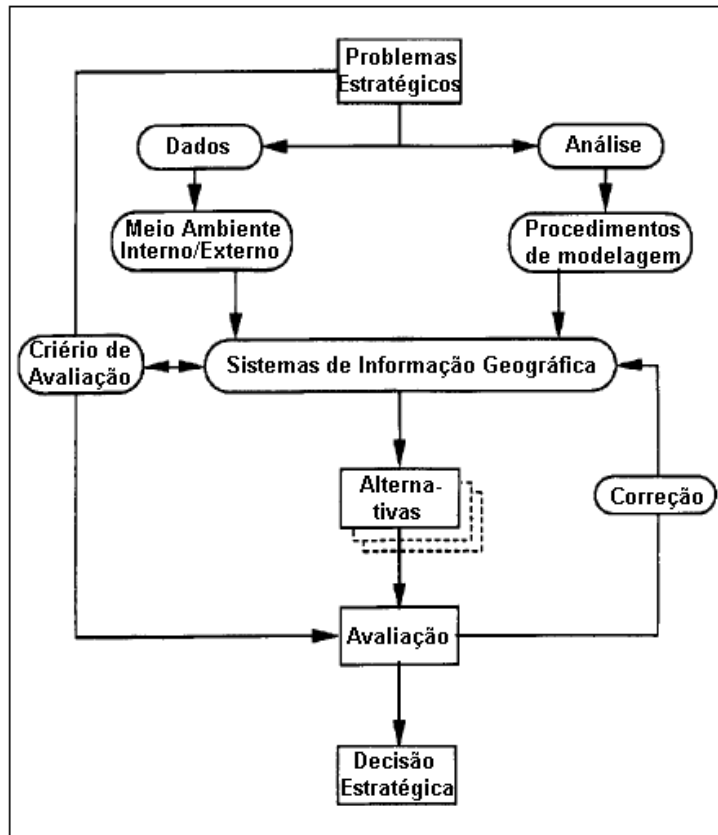
Conforme Fleury *et al.* (2000), um SIG completo consiste em pelo menos cinco componentes: software, hardware, dados geográficos, pessoal qualificado e um objetivo organizacional, para facilitar o processo de tomada de decisão. A aplicação de um SIG é observada em diversos campos: ambiental, florestal, planejamento urbano, geografia, agronomia, engenharia, processamento de dados, pesquisa operacional, arquitetura e urbanismo, gerenciamento de serviços, engenharia de transportes, entre outros (RORATO, 2003).

Segundo Novaes (2001), uma meta das empresas fornecedoras de roteirizadores é tornar os softwares mais fáceis de serem utilizados pelos despachantes. Para isso, é necessário se ter uma representação analítica adequada da rede viária e dispor de uma base de dados geocodificados dos endereços dos clientes. Infelizmente, de acordo com Fleury *et al.* (2000), o uso de GIS no Brasil tem como limitante, na maioria das vezes, escassez de bases de dados confiáveis e atualizadas, tanto em relação a dados espaciais (mapas digitalizados), quanto a dados demográficos e sócio-econômicos. Essa situação é muito séria no Brasil, em que pesem os esforços de algumas entidades e empresas, que vêm tentando suplantar tais deficiências. Falta, por parte da administração pública, uma política que incentive e estabeleça regras e responsabilidades no que diz respeito à preparação e disponibilização de um banco de dados.

Para escolher um software adequado às condições reais da empresa, o ideal é definir uma ou mais situações para testar os sistemas disponíveis no mercado. Muitas vezes, a empresa constata a inadequação do software após tê-lo adquirido, com prejuízos apreciáveis (NOVAES, 2001).

Dentro deste contexto e da logística, o SIG tem diversas aplicações. Yeh e Chow (1996) posicionam o SIG como um sistema de apoio à decisão espacial (SADE), pois provê um conjunto de espaços de soluções baseados em diferentes cenários, os quais se podem variar os

objetivos, restrições e parâmetros do modelo, permitindo assim que os tomadores de decisões façam suas escolhas. Segundo Kliskey (1995), no processo de planejamento, a aplicação do SIG pode ser situada no nível de decisão estratégica, como ilustra a Figura 1 a seguir.



Fonte: Adaptado de Kliskey (1995)

Figura 1 – Posicionamento do SIG no processo de planejamento

Hoje em dia dispõem-se no mercado de um número razoável de softwares com aplicações em transportes, os denominados SIG-T. Estes possuem rotinas logísticas de localização de facilidades, roteirização e programação de veículos, aplicações em monitoramento e controle do tráfego, oferta e demanda de transportes, prevenção de acidentes, dentre outras.

Um caso prático de aplicação de Sistemas de Informação Geográfica aplicados ao planejamento de facilidades públicas é apresentado por Yeh e Chow (1996). Os autores propõem uma integração entre modelos heurísticos de localização-alocação e uma ferramenta SIG para prover um espaço de soluções onde devem estar localizadas áreas para jogos, passeios e lazer. Os autores concluem, a partir de informações espaciais advindas do SIG, que a região que estava mais bem suprida de áreas de lazer era justamente aquela cujo acesso era mais difícil, pois as áreas se localizavam fora da região de soluções obtidas pelo método “*buffer zones*” do SIG.

Outro exemplo de SIG aplicados à logística urbana é citado por Naruo (2003). O autor propõe o uso de Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta de apoio à decisão durante a localização de aterros para disposição final de resíduos sólidos, além de um estudo de roteirização e programação da frota de veículos. O estudo é aplicado a uma área de proteção ambiental composta por vários municípios, sendo proposto um consórcio intermunicipal para

captação de recursos financeiros. A rotina logística de localização do SIG-T definiu para cada situação, onde estariam localizados os aterros e quais clientes seriam atendidos por eles, ao menor custo logístico, representado pela menor distância total entre os aterros e seus respectivos clientes. Com relação à roteirização, a heurística da rotina demonstrou ser flexível para realizar ajustes e análises complexas, embora necessitasse de alguns ajustes. Um aspecto importante da ferramenta SIG é a capacidade de oferecer a visualização espacial gráfica das soluções obtidas, ampliando o entendimento de especialistas e usuários.

Lima (2003) propõe um estudo de localização e transporte que permite otimizar a distribuição espacial dos serviços de educação e saúde, buscando minimizar os custos de deslocamento dos usuários. Este trabalho enquadra-se essencialmente na tipologia dos problemas de localização de equipamentos pontuais, tendo como característica específica a preocupação com os critérios de acessibilidade e cobertura da população (demanda) aos equipamentos urbanos de educação e saúde (oferta). Com a utilização de SIG-T tornou-se possível realizar análises e pesquisas apoiadas na distribuição espacial das informações. Para alimentar o SIG, é necessário transformar as referências espaciais alfanuméricas dos sistemas de informações em posições geográficas corretas, representáveis graficamente. Como consequência, o endereço urbano se transformou na forma de referência espacial mais importante para efetivar a ligação dos sistemas de informação tradicionais com os SIGs.

## 5. Conclusão

Para se fazer um planejamento eficaz, é útil ter uma visão dos objetivos da empresa, privada ou pública, ter conceitos e princípios para mostrar como alcançá-los, além de possuir ferramentas que ajudem a escolher cursos alternativos de ação.

A importância de um estudo de localizações decorre dos altos investimentos envolvidos e dos impactos sobre os custos logísticos, por ser uma decisão, na maioria das vezes, definitiva. Segundo Ballou (2001), os custos de transportes representam de um a dois terços dos custos logísticos totais, fato que estimula a correta tomada de decisões e justifica a abordagem logística destes tópicos.

Os problemas de localização e roteirização são problemas complexos, principalmente por envolverem um grande número de variáveis e grandes volumes de dados, conforme pode ser visto na revisão bibliográfica dos temas. Como os Sistemas de Informação Geográfica permitem analisar e comparar um alto número de alternativas e escolher a que se adapta melhor à estratégia pretendida, conclui-se que a abordagem destes problemas pode e deve ser feita através deste sistema.

Alguns casos de sucesso utilizando-se SIG aplicados a problemas típicos de logística podem incentivar tomadores de decisões a adotarem tais ferramentas de apoio, motivados pela busca de maior competitividade. Por este motivo, foram apresentados alguns casos de sucesso na implantação desta ferramenta a problemas de localização de facilidades e roteirização. Uma característica importante e vantajosa do SIG é sua capacidade de fazer análises e gerar mapas temáticos, possuindo facilidade de representação visual e ampliando o entendimento de especialistas e usuários.

Depois de apresentadas algumas aplicações de SIG, conclui-se que os Sistemas de Informações Geográficas transformam os dados em informações imediatamente úteis. Este sistema é capaz de gerar informações que permitem a tomada de decisões espaciais, identificando o SIG como um sistema de apoio à decisão espacial (SADE).

## Referências

- BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial*. 4. ed. Tradução: Elias Pereira. Porto Alegre, Bookman, 2001. 532p.
- BODIN, L. D.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, M. Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art. *Computers and Operations Research*, v.10, n. 2, p. 63-211, 1983.
- EIBL, Peter G.; MACKENZIE, Roddy; KIDNER, David B. Vehicle Routeing and Scheduling in the Brewing Industry: A Case Study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 24, n. 6, p.27-37, 1994.
- FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. *Logística Empresarial: a perspectiva brasileira*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 372p.
- KLISKEY, Andrew D. The role and functionality of GIS as a planning tool in natural-resource management. *Compt., Environ. and Urban Systems*, v. 19, n. 1, p.15-22, 1995.
- LIMA, R. S. *Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes*. 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- LORENA, L. A. N.; SENNE, E. L. F.; PAIVA, J. A. C.; PEREIRA, M. A. Integração de modelos de localização a Sistemas de Informações Geográficas. *Gestão e produção*, v. 8, n. 2, p. 180-195, 2001.
- NARUO, M. K. *O estudo do consórcio entre os municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando Sistemas de Informações Geográficas*. São Carlos. 283p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- NOVAES, Antônio Galvão. *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. Editora Campus, Rio de Janeiro: Elsevier, 2001. 409p.
- OWEN, S. H.; DASKIN, M.S. Strategic facility location: a review. *European Journal of Operational Research*, n.111, p. 423-447, 1998.
- PETERSEN, Charles G II. The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 19, n. 10, p.1053-1064, 1999.
- PIZZOLATO, Nélio D.; SILVA, Hamilton B. Fraga da. The location of public schools: evaluation of Practical Experiences. *International Transactions in Operational Research*, v. 4, n. 1, p. 13-22, 1997.
- RORATO, R. J. Alternativas de transporte rodo-marítimo na distribuição de cargas frigoríficas no Brasil. São Carlos. 213p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- SOUZA, M.J.F.; CARDOSO, L.X.T.; RODRIGUES, M.M.S.; MAPA, S.M.S.; SILVA, G.P. *Metaheurísticas aplicadas ao Problema de Programação de Tripulações no Sistema de Transporte Público*. In XXVI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional. São José do Rio Preto, 2003.
- YEH, A. G.-O.; CHOW, M. H. An integrated GIS and location-allocation approach to public facilities planning – a example of open space planning. *Computers, Environmental and Urban Systems*, v.20, n.4-5, p. 339-350, 1996.