

# **BASES CARTOGRÁFICAS PARA NAVEGAÇÃO COM GPS**

LUIZ FELIPE FERREIRA

Instituto Militar de Engenharia - Deptº de Eng. Cartográfica  
Pça Gen.Tibúrcio 80 - DE/6  
Praia Vermelha - Rio de Janeiro - RJ - 22290-270  
felipe@taurus.ime.eb.br

## **RESUMO**

A elaboração de sistemas automatizados para navegação autônoma e controle de frotas integra várias áreas do conhecimento, entre elas a de Engenharia de Sistemas, na concepção plena do sistema em si; de Computação, na definição de estruturas de dados e rotinas de apresentação gráfica compatíveis com desempenho em tempo real; de Cartografia, na representação do espaço onde a ação se desenvolverá; de Geodésia, no estabelecimento de sistemas de posicionamento que permitam a localização do móvel; de Comunicações, proporcionando os meios para conectar o móvel à central de monitoramento e/ou de informações e de Transportes, na análise dos fluxos de tráfego e desenvolvimento da navegação. Equipes multidisciplinares são fundamentais ao sucesso destes projetos. O presente trabalho consiste na revisão dos principais aspectos relacionados ao desenvolvimento do Projeto Carta Eletrônica de Navegação Terrestre em curso no Instituto Militar de Engenharia desde 1992. Não é objetivo descrever detalhadamente o projeto ou as etapas concluídas e sim abordar conceitos consolidados durante sua realização na tentativa de prover uma contribuição à pesquisas similares. Conclui-se demonstrando que apesar de paradoxal - devido à necessidade de disponibilização de bases cartográficas digitais, confiáveis e atualizadas e à carência deste tipo de informação no cenário nacional - os sistemas de navegação com GPS podem contribuir significativamente na minimização do problema.

## **ABSTRACT**

The development of automatized systems to autonomous navigation and fleet control needs the integration of various knowledge areas as well as Systems Engineering in the entire system conception; Computing, in data structures definition and procedures to graphic presentation compatible with real time performance; Cartography, representing the region where the action occurs; Geodesy, to provide the positioning system that permits the vehicle location; Communication, providing the ways to connect the vehicle to the monitoring and/or information base and

Transports, to analyse traffic flows and the navigation as itself. These projects success is only possible with team-work. This paper is a review of the main aspects related to the development of the Electronic Chart to Terrestrial Navigation Project, at Instituto Militar de Engenharia, since 1992. There is no intention to describe in details the project or the concluded fases but to approach consolidated concepts during its development trying to give some contribution to similar researches. The conclusion shows that in spite of the paradox - the need of a digital, reliable and up to date cartographic map and the lack of this kind of information in Brasil - navigation systems with GPS can significantly contribute to minimize it.

### 1) Sistemas Gráficos Computacionais - SGC

Os Sistemas para Projeto ou Desenho Assistido por Computador - CAD (*Computer Aided Design*); CADD (*Computer Aided Design & Drafting*) -, são largamente empregados em engenharia e arquitetura. Quando aplicados em áreas específicas, implementando funções dedicadas, recebem nomes particulares. Como exemplos, na área de interesse, tem-se: CAMp - (*Computer Aided Mapping*) - e SIC - Sistemas de Informação Cartográfica.

Em essência, são Sistemas Gráficos Computacionais (Sena, 1989) que atendem necessidades específicas para as quais foram desenvolvidos, automatizando algum tipo de tarefa típica - neste caso, desenho, mapa ou planta -, realizando procedimentos impossíveis de serem feitos por processos manuais, ou efetuando-os a um custo inferior, com maior qualidade ou em menor tempo.

### 2) Sistema de Informação Geográfica - SIG

Burrough (1990) define Sistema de Informação Geográfica - SIG, ou do original (*Geographical Information System - GIS*)- como um conjunto de ferramentas capaz de coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais com um objetivo particular. Para atingir este objetivo é fundamental descrever os objetos em termos de:

- a) sua posição espacial em algum sistema de coordenadas;
- b) seus atributos não espaciais;
- c) suas relações topológicas com outros elementos.

Em síntese, os SGC estão restritos à manipulação e visualização dos dados gráficos enquanto os SIG pressupõem operações mais amplas, permitindo análises e derivação de informações, a partir de bancos de dados gráficos e não gráficos.

### 3) Sistema de Posicionamento Global - GPS

Seeber (1993) apresenta o NAVSTAR-GPS - (*NAVigation System with Time and Ranging Global Positioning System*)- como um sistema de rádio-posicionamento,

baseado em satélites artificiais, capaz de fornecer posições espaciais e informações de tempo e navegação a usuários, adequadamente equipados, em qualquer ponto do globo terrestre, 24 horas por dia e independente das condições meteorológicas. E conclui: "O GPS é antes de tudo um sistema de navegação".

#### 4) Mapas e Cartas

Dent (1985) classifica os mapas em:

- a) de propósito geral ou de referência, quando seu objetivo é apenas apresentar o posicionamento ou localização espacial das feições do mundo ou de parte dele. Feições características representadas nestes mapas são: linhas de costa, lagos, limites administrativos, rodovias e edificações;
- b) de propósito especial ou temáticos, quando construídos para apresentar atributos particulares ou relações entre atributos. Ilustram "as características estruturais de uma determinada distribuição geográfica". Podem ser quantitativos ou qualitativos. Como exemplos cita-se: distribuição de população e renda, precipitação pluviométrica, índices de criminalidade ou ocorrências de doenças, tipos de vegetação e turísticos.

Essencialmente, esta classificação adota por critério a ênfase no posicionamento da feição, no primeiro caso, e no valor do seu atributo, no segundo.

Tyner (1992) distingue os de propósito especiais dos temáticos, ressaltando não haver completa concordância entre os cartógrafos sobre os termos ou categorias propostas.

- a) de propósito geral, quando não há ênfase de um tipo de feição sobre outros. Apresentam uma variedade de fenômenos geográficos proporcionando uma visão geral da região. São empregados para referência, planejamento e localização;
- b) de propósito especial, quando desenvolvidos para um tipo de usuário muito específico (geológico, de solos, mapas cadastrais) que normalmente está familiarizado com o assunto mas não com a área. Mapas de Navegação, os quais incluem todos os tipos de mapas criados para definição de rotas (cartas náuticas e aeronáuticas bem como mapas rodoviários) são incluídos nesta categoria apesar de alguns autores considerarem esta modalidade em uma categoria específica;
- c) temáticos, que possuem uma grande variedade de terminologias (assunto específico. Estatísticos, de distribuição, de dados). Normalmente apresentam uma distribuição ou relacionamento simples com outras informações servindo apenas como fundo para auxiliar na localização do assunto que esta sendo apresentado.

Robinson et alii (1995) seguem a classificação proposta por Dent apresentando um terceiro tipo de documento cartográfico.

cartas, quando especialmente desenvolvidas para atender requisitos de navegação, incluídos aqui, com restrições, os mapas rodoviários.

Estes autores concluem pela não existência de classes "puras" e afirmam que: "Mapas são para serem vistos (*looked at*) enquanto Cartas são para se trabalhar sobre (*worked on*)."

Para Oliveira (1983), que apresenta 194 entradas para o termo Carta e 235 para o termo Mapa, uma Carta é a

- a) "Representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa de distâncias, direções e a localização geográfica de pontos áreas e detalhes.";
- b) "Representação plana, geralmente em média ou grande escala, de uma superfície da Terra, subdividida em folhas, de forma sistemática, obedecendo um plano nacional ou internacional.";
- c) "É empregado no Brasil, também como sinônimo de mapa em muitos casos."

Resta uma pequena diferenciação devida à menção ao corte sistemático.

Será assumida a classificação simplificada de Dent - Básicos ou de Referência e Temáticos - em conjunto com a diferenciação de Oliveira - Mapa, o todo em uma única folha ou arquivo; Carta, quando houver um corte regular e sistemático do todo a ser representado.

## 5) Base Cartográfica para Navegação

Neste contexto será utilizado o termo Base Cartográfica como referência ao conjunto mínimo de representações das feições necessárias à realização da navegação ou do monitoramento de viaturas, ou seja, o conjunto de informações básicas e fundamentais para localizar o móvel na região de interesse. Em síntese, corresponde à representação - explícita ou implícita - da malha viária, através da definição geométrica dos eixos das estradas, ruas, caminhos, trilhas ou características do terreno - rigidez do solo, declividade máxima, outras -. Embora simplificada, esta Base Cartográfica possui características de um Mapa de Referência.

O Mapa Digital, neste caso, corresponde ao somatório da Base Cartográfica com:

- a) informações complementares e úteis à navegação tais como limites administrativos, linhas de costa, delimitação de zonas urbanas, postos de abastecimento e alimentação e unidades de atendimento hospitalar;
- b) atributos das feições representadas tais como capacidade de escoamento, tipo de pavimento ou quantidade de pistas e faixas;
- c) dados temáticos sobre condições de tráfego ou estado de conservação das vias.

## 6) O Ciclo de Abstração

O emprego de meios digitais para aquisição, armazenamento, manipulação, análise e exibição de objetos e informações é uma realidade incontestada. Independentemente da aplicação final a que se destina um dado sistema, haverá um processo de abstração idêntico a todos os casos.

“Não apenas é fácil mentir com mapas como é essencial. Para retratar significativos relacionamentos de um mundo 3-D e complexo, em uma simples folha de papel ou tela de computador, um mapa precisa distorcer a realidade. Como um modelo em escala, um mapa precisa utilizar símbolos que são na maioria das vezes proporcionalmente muito maiores ou espessos que as feições por eles representadas. Para evitar esconder informações críticas em um nevoeiro de detalhes, o mapa precisa oferecer uma visão seletiva e incompleta da realidade. Não há escapatória para o paradoxo cartográfico: Para apresentar uma imagem útil e confiável, um mapa acurado precisa contar pequenas mentiras.” (Monmonier, 1991).

O seguinte ciclo de abstração foi proposto por Peuquet (1984):

- a) realidade é o problema, objeto ou situação que de fato existe no mundo real e que se deseja solucionar ou representar em meio computacional;
- b) modelo de realidade advém do estabelecimento de restrições com o intuito de isolar o problema, objeto ou situação de variáveis arbitradas como insignificantes ao contexto;
- c) modelo de dados consiste na interpretação realizada pelo ser humano a respeito de um determinado problema, objeto ou situação. Consiste no conjunto de entidades e dos relacionamentos que as envolvem. Deve estar desvinculado de qualquer convenção ou restrição de representação em meio computacional;
- d) estrutura de dados corresponde à representação explícita do Modelo de Dados. Oktaba (1992) define Estrutura de Dados como a representação de dados, geralmente complexos, na memória do computador. A Estrutura descreve a forma como os diversos elementos do Modelo estão vinculados refletindo a devida organização de registro no meio computacional;
- e) estrutura de arquivos é a forma final de representação. Corresponde a uma implementação particular da Estrutura e consiste na descrição dos registros físicos que comporão os arquivos de armazenamento.

As tres primeiras fases do processo de abstração correspondem a "O QUE" deve ser representado, ao passo que as duas últimas, ao "COMO" será representado.

## 7) Carta Eletrônica de Navegação Terrestre - CENT

Wells & Lee (1992) destaca a poderosa combinação das tecnologias GIS-GPS onde a força encontra-se centrada nas diferenças: no I, de *information* e no P, de *positioning*. Este mesmo autor assim resume suas considerações:

" Um GIS com um GPS pode andar.

Um GPS com um GIS pode pensar.

Um pensador andarilho não conhece fronteiras. "

A partir dos conceitos abordados, Ferreira (1993) propôs, inicialmente, o termo genérico Carta Eletrônica - CE -, para a exibição de feições cartográficas digitalizadas - Mapa Digital - simultaneamente com a posição geo-referenciada de um dado móvel, em monitor de vídeo e em tempo real. Em Ferreira (1995a) o termo é ampliado para Carta Eletrônica de Navegação Terrestre - CENT - para melhor descrever os objetivos pretendidos. Este sistema, em síntese, é um SIG, com saídas gráficas, associado ao GPS. O conjunto deve estar capacitado ao auxílio à decisão no deslocamento do móvel considerado - navegação. O termo Carta Eletrônica advém dos sistemas náuticos, precursores neste tipo de aplicação, e devido ao recorte do mapa digital em células, organizadas de acordo com as curvas de Morton (Ferreira, 1995b), para otimizar seu emprego em meio computacional.

## 8) Elementos de uma CENT

De acordo com Ferreira (1998) e Ferreira & Cintra (1998), um SIG dedicado à área de transportes, destinado a atividades de navegação e controle de veículos pressupõe duas entidades características que são o ambiente onde a ação ocorre, normalmente representado por um mapa digital com informações adequadas ao tipo de ação que irá ser desenvolvida e a ação em si, ou seja, o deslocamento do móvel durante sua progressão no terreno real.

Para a realização de um sistema desta natureza são, portanto, necessários os elementos espaciais e os temporais, para descreverem tanto o ambiente como a ação. Associados aos dados gráficos espaciais encontram-se os atributos que quantificam ou qualificam as feições selecionadas para caracterizar a aplicação fim. Acessoriamente são agregados os elementos de comunicação que podem otimizar, ou mesmo viabilizar determinadas ações e aplicações.

A seguinte classificação é proposta para estes elementos:

### a) Espaciais

Quanto à abrangência: regional; local; urbana.

Quanto à trajetória: fixa; variável; livre.

Quanto ao posicionamento: rede física; rádio-localização; *dead-reckoning*; sistemas globais.

### b) Temporais

Quanto à disponibilidade: pós-processado; tempo-real.

Quanto à frequência: baixa; média; alta.

- c) Atributos diferenciados de acordo com a aplicação.
- d) Comunicação  
 Quanto à abrangência: rede física; rádio; telefonia celular; satélite.  
 Quanto à informação: posições; correções diferenciais; informações de tráfego; supervisão e controle.

## 9) Os Elementos Espaciais

Os dados geométricos, descritores do ambiente ou região na qual se desenvolverá a navegação ou o acompanhamento do veículo, constituem parte do denominado mapa digital. Este conjunto de dados gráficos é composto por dois tipos de feição: um, correspondente à representação da rede de caminhos - vias explícitas ou não - sobre a qual o veículo se desloca - base cartográfica - e outro, às informações auxiliares.

Sena (1989) discorre sobre três formas de exibição das informações gráficas:

- a) mapas analógicos, obtidos a partir da digitalização via scanners e que se apresentam de forma visual muito próxima à habitual;
- b) mapas vetoriais, simplificados onde apenas os eixos das vias são representados;
- c) mapas virtuais, correspondendo à uma variação dos mapas vetoriais onde são representadas as larguras das vias, contrações e outros.

Ferreira (1993), ao propor uma estrutura de dados para o armazenamento do mapa digital, aponta para a construção de um multigrafo dirigido - com indicação do sentido de fluxo - onde as arestas correspondem aos eixos das vias, podendo-se associar pesos às arestas que corresponderão à largura das vias, facilitando a exibição forçada do móvel sobre a aresta considerada (*map matching* - Etak, 1991; Hasegawa *et alii*, 1999) e volume de tráfego. Para as informações auxiliares, um conjunto de linhas não conectadas - contornos de morros, limites municipais, linhas de costa, outros. Finalmente, pontos associados a símbolos cartográficos na representação dos demais objetos, sejam de natureza pontual ou planar. Esta forma simplificada de representação é fundamental para reduzir ao mínimo os relacionamentos topológicos codificados explicitamente (Woo, 1985) e necessários para a realização de transformações e análises - p.ex. caminhos mínimos, estimativas de chegada e alocação de centros. O emprego de fotografias aéreas ou imagens de satélite como “pano de fundo”, podem auxiliar o navegador.

O segundo tipo de elemento espacial corresponde à posição do veículo em um dado instante de tempo. Esta posição deverá ser fornecida - obtida diretamente ou transformada - no mesmo sistema de coordenadas em que a base cartográfica foi produzida de modo a permitir sua perfeita integração. Outro aspecto importante

refere-se à realimentação do sistema, isto é, uma navegação realizada em área não cartografada ou desatualizada poderá vir a constituir-se na base de uma futura navegação ou, em passagens subseqüentes, na sua atualização - digitalização 1:1.

A posição espacial ou localização do veículo não possui característica estática como a base cartográfica. Uma navegação constituir-se-á em uma sucessão de posições ao longo do tempo, ou seja,  $S(t)$ . Surge assim uma diferenciação básica no procedimento de coleta deste elemento espacial em relação ao proposto para a base. Esta diferença consiste no fato de interessarem, basicamente, posições pontuais associadas à variável tempo, coletadas a uma taxa - intervalo de tempo - que é função da aplicação e que será denominada freqüência de aquisição dos dados ou posições. Normalmente este intervalo de tempo é determinado pela comparação dos custos envolvidos na aquisição da informação posicional com aqueles decorrentes de um controle ineficaz. Envolvem, entre outros, roubo e recuperação de cargas, evasão em áreas de risco e necessidade de manobras. As aplicações podem ser classificadas como de baixa (1 a 2 posição/hora), média, com intervalo de minutos e de alta freqüência - 1 Hz ou maior.

Para otimizar o processo entre a coleta das posições e sua exibição final, deve ser adotado, na construção desta base cartográfica específica, o sistema geodésico WGS-84 e representação em coordenadas curvilíneas. Embora as transformações não demandem grande esforço computacional, podem vir a constituir-se problema face a freqüência com que são realizadas.

Um outro tipo de elemento necessário a um sistema de controle de viaturas corresponde aos atributos das feições representativas da malha viária e dos veículos que estão sendo controlados. Compreendem as informações alfa-numéricas que estão associadas logicamente aos elementos da base cartográfica. São obtidos através da denominada operação de reambulação onde são coletados os topônimos das vias, capacidade de escoamento, quantidade de faixas, larguras, características das vias, do que está sendo transportado ou destinos - produtos em lojas de departamentos, tipo de restaurantes, quantidade de leitos ou especialidade de hospitais, tipo de solos em rotas não pavimentadas, passagens a vau, capacidade de cargas em pontes e facilidades em rodovias, entre muitos outros. A quantidade e tipo de informações estão diretamente vinculados à aplicação fim e constituir-se-á na base de dados não espacial da componente SIG do sistema.

#### 10) Requisitos de Precisão

Ferreira (1998) propôs tabelas de precisões em função de aplicações típicas, do tipo de área onde ocorrerá a navegação, pela maior ou menor quantidade de elementos (prédios, obstruções) e número de vias que possam proporcionar ambigüidade na localização do veículo ou destino procurado. A proposta foi baseada em similares encontradas na bibliografia (McLellan et alii, 1991 e NTIA,



1994). Procurou-se fixar limites mínimos e máximos aceitáveis para a aplicação, considerando eventuais alternativas de orçamentos, de forma a viabilizá-las.

Mesmo considerando a existência de tecnologia, nos dias atuais, para o desenvolvimento de sistemas para navegação, Catling (1994) aponta alguns obstáculos que vem dificultando a sua plena implementação, entre os quais:

- a) aspectos legais de responsabilidade sobre requisitos de segurança, principalmente nos sistemas de direção automática de viaturas;
- b) definição de uma infraestrutura de comunicação uniforme, abrangente e confiável - *beacons*, telefonia celular, satélites;
- c) produção de mapas precisos e exatos, dotados dos atributos necessários para proporcionar uma navegação não ambígua.

A questão da navegação e do controle de veículos passa necessariamente pela disponibilidade de uma base cartográfica confiável e compatível com a finalidade, em termos de precisão e detalhes a serem representados. Passa também pela compatibilização e integração das coordenadas do mapa com as do sistema de posicionamento adotado. O aspecto importante é que, qualquer que seja a modalidade de sistema para gerenciamento de tráfego ou auxílio à navegação a ser implementado, é fundamental a disponibilidade de bases cartográficas atualizadas, em meio digital e formato vetorial - requisito para a codificação da topologia.

A solução deste problema deve considerar algumas deficiências inerentes à nossa realidade tais como a falta de mapas adequados em escala e atualização.

Em experiência piloto (Ferreira & Oliveira, 1996; Ferreira, 1993) ficou demonstrado que o desenvolvimento de um sistema de exibição de bases digitais e sua conexão a um sistema de posicionamento, via comunicação serial, não é tarefa complexa ou que demande grande esforço computacional. No entanto, para que um sistema de navegação entre efetivamente em operação é necessário contar com uma adequada base cartográfica da região em questão.

Em Ferreira (1998) procura-se operacionalizar uma metodologia, proposta através de uma série de trabalhos experimentais, no sentido de comprovar a efetiva aplicabilidade de tecnologias e métodos de digitalização. De modo a permitir uma avaliação das bases cartográficas foi desenvolvida uma metodologia para quantificação de discrepâncias entre duas representações de uma mesma feição, denominada Método dos Retângulos Equivalentes - MRE. Uma vez estabelecido um método confiável para quantificar o afastamento relativo entre duas bases cartográficas foi desenvolvido um programa computacional para o aprimoramento da integração entre as mesmas, isto é, redução da discrepância média entre as feições para limites aceitáveis na navegação e controle de frotas. Concretamente, os trabalhos de natureza experimental foram conduzidos no intuito de estabelecer limites de discrepâncias prático-operacionais. Abordaram as principais modalidades de digitalização vetorial de feições cartográficas lineares e mapas de lineamentos rodoviários obtidos por intermédio da técnica do GPS diferencial - DGPS. Foram

avaliados os elementos estáticos - qualidade da base cartográfica perante o DGPS - e os elementos cinemáticos - repetibilidade do DGPS em situação operacional de navegação.

### 11) Considerações finais

Do exposto conclui-se que o desenvolvimento de sistemas automatizados para navegação e controle de veículos é relativamente recente - menos de 20 anos - e, principalmente em aplicações terrestres, ainda não consolidado. Apesar de ter experimentado um crescimento vertiginoso nesta última década, o futuro é, sem dúvida, promissor para pesquisas e investimentos.

Diversas alternativas de implementação se mostram viáveis mas todas dependem da qualidade das informações cartográficas que irão compor o mapa utilizado no controle. Para diversas aplicações pode-se relaxar os parâmetros de precisão especificados na literatura sem prejuízos humanos ou materiais. No entanto, existem casos críticos. São situações de atendimento médico de urgência ou operações militares onde a vida humana se encontra em jogo. Para atender aos diversos casos deve-se conhecer, a priori, a qualidade do mapa digital que será empregado.

As possibilidades de combinação dos elementos são inúmeras e requerem soluções, caso a caso, em função da abrangência da área a ser navegada, do tipo de veículo, frequência de acompanhamento, tipo de informação a ser transmitida em cada sentido, autonomia operacional e custos envolvidos. Ao associar-se estes conceitos tem-se, desde a necessidade de elaboração das bases cartográficas com baixa frequência e pós-processamento até o monitoramento de aeronaves em tempo real e muito alta frequência. Estes arranjos diferenciados demandarão soluções técnicas diversas e custos compatíveis com a complexidade das mesmas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURROUGH,P.A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford. Clarendon Press. 1990. 194 p.
- CATLING,I. Advanced Technology for Road Transport: IVHS and ATT. London. Artech House. 1994. 376 pp.
- DENT,B.D. Principles of Thematic Map Design. Reading. Addison Wesley Pub. Co. 1985. 398 pp.
- ETAK NAVIGATION AND DIGITAL GEOGRAPHY. Map Base File Definition version 2.0. Part # 74-1762, february, 1991. 29 pp.
- FERREIRA,L.F. Avaliação e Integração de Bases Cartográficas para Cartas Eletrônicas de Navegação Terrestre. São Paulo. 1998. 183 p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

- FERREIRA,L.F. Conjecturas sobre uma Carta Eletrônica de Navegação Terrestre. Rio de Janeiro. Revista Militar de Ciência e Tecnologia XII (3) out/dez 1995. pp 73-82.
- FERREIRA,L.F. A Data Structure for Terrestrial Electronic Chart. Sydney - Australia. 7th World Conference on Transport Research. july 16-21, 1995.
- FERREIRA,L.F. Estrutura de Dados para Carta Eletrônica Terrestre. Rio de Janeiro. 1993. 152 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia.
- FERREIRA,L.F. & CINTRA,J.P. Navegação e Controle de Frotas: Uma Visão Geral SAE Technical Paper Series 982925 P. 1998. 11 pp.
- FERREIRA,L.F. & OLIVEIRA,L.C. Protótipo de uma Carta Eletrônica de Navegação Terrestre. Curitiba. Anais do 2º Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento. GIS Brasil 96. 6 a 10 de maio 1996. pp 484-491.
- HASEGAWA,J.K.; GALO,M. MONICO,J.F.G. & IMAI,N.N. Sistema de Localização e Navegação apoiado por GPS. Recife. Anais Congresso Brasileiro de Cartografia. 5 a 9 de outubro de 1999. CD-ROM. 6 pp.
- McLELLAN,J.; KRAKIWSKY,E.; SCHLEPPE,J. Application of GPS Positioning to Management of Mobile Operations. In: Special Conference on Transportation and Application of GPS Positioning Strategy, Sacramento, 1991. Proceedings. New York, ASCE, 1991.
- MONMONIER,M. How to Lie with Maps. Chicago. The University of Chicago Press. 1991. 176 pp.
- NTIA - NATIONAL TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION ADMINISTRATION. A Technical Report to the Secretary of Transportation on a National Approach to Augmented GPS Services. Washington. 1994. 164 p. NTIA Special Publication 94-30.
- OKTABA, H. Curso: Tipos Abstractos de Datos y Estructura de Datos. Rio de Janeiro. XII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. 1992. pp.39-48.
- OLIVEIRA,C. Dicionário Cartográfico. 2ªEd. Rio de Janeiro. IBGE. 1983. 781 pp.
- PEUQUET,D.J. A Conceptual Framework and Comparison of Spatial Data Models. Cartographica. 21 (4), 1984. pp.66-113.
- ROBINSON,A.H.; MORRISON,J.L.; MUEHRCKE,P.C.; KIMERLING,A.J.; GUPTILL,S.C. Elements of Cartography. 6th edition. New York. John Wiley & Sons, Inc. 1995. 674 p.
- SEEBER,G. Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications. Berlin. Walter de Gruyter. 1993. 531 p.
- SENA,M.L. Maps that Move. Computer Graphics World. september, 1989. pp.101-106.
- TYNER,J. Introduction to Thematic Cartography. Englewood Cliffs. Prentice Hall. 1992. 299 pp.
- WOO,T.C. A Combinatorial Analysis of Boundary Data Structure Schemata. IEEE Computer Graphics & Application. march, 1985. pp.19-27.

WELLS,D.& LEE,Y.C. The use of GPS in GIS. Fredericton. University of New Brunswick, 1992. (Technical Report)

(Invited Paper, do I Colóquio Brasileiro de Geodésia. Recebido em 07/12/99.)