

SISTEMA ESPECIALISTA PARA GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Claudia Robbi Sluter

Universidade Federal do Paraná
Departamento de Geomática
Caixa Postal 19001
Centro Politécnico, Jardim das Américas
81531-990 Curitiba, Paraná
robbi@geoc.ufpr.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o protótipo do módulo geração de mapas temáticos, de um sistema computacional para elaboração de Planos Diretores. Sendo um sistema especializado para Planos Diretores é composto de 5 módulos principais, cujas funções são: armazenamento da base cartográfica, geração de mapas temáticos, consulta interativa e com animação de mapas, geração da síntese para o planejamento, e consulta ao Plano Diretor. Como o sistema é totalmente operado pelos urbanistas, usuários do sistema, para o desenvolvimento de cada Plano Diretor, estes devem gerar uma série de mapas temáticos. Sendo que os usuários, na maioria dos casos, não possuem formação sobre projeto cartográfico temático, o sistema deve auxiliá-los a construir os mapas temáticos de acordo com os princípios básicos da Cartografia Temática. Para tanto, a solução definida para este sistema foi automatizar algumas das decisões de projeto de mapas. Conseqüentemente, o módulo para geração de mapas temáticos tem características de sistema especialista, no que concerne aos princípios de projeto cartográfico temático. A automatização de algumas decisões de projeto cartográfico está presente tanto no projeto das interfaces como na modelagem conceitual, sendo os resultados implementados no protótipo do sistema. O desenvolvimento do sistema seguiu os fundamentos da Engenharia de Software e a metodologia de orientação a objetos. Os resultados do projeto das interfaces e implementação do protótipo para o módulo *geração de informações temáticas* são descritos neste artigo. Este protótipo foi implementado com o ambiente de programação Visual C++, num PC Pentium 200MHz, 32MB RAM e 2,1GB de disco rígido.

ABSTRACT

This paper presents a prototype of the thematic mapping module of a software system for Municipal Master Plan design. Because this system is designed for permitting urban planners, system's users, to develop every task in a Municipal Master Plan, the users can produce thematic maps. Since the users are not cartographers and, consequently, may not know the fundamentals of map design, the system has to provide them with tools for making maps in accordance with the principles of thematic map design. Providing users with these kind of tools demands that a level of knowledge about map design be embedded in the software. A level of knowledge means to automate some of the thematic mapping decisions. Then, the thematic mapping module has characteristics of an expert system. The level of knowledge was accomplished by interfaces design and conceptual model, and it was implemented in the module prototype. The system development was based on software engineering concepts, and object oriented methodology. The results of the interfaces design and the prototype implementation for the thematic mapping module are described in this paper. The prototype was implemented using Visual C++ software in a PC environment, with a configuration of Pentium 200MHz, 32 MB RAM and 2,1 GB hard disk.

Palavras chaves: visualização cartográfica, sistemas especialistas cartográficos, cartografia temática, planejamento urbano.

1. INTRODUÇÃO

O trabalho apresentado neste artigo é parte dos resultados alcançados no desenvolvimento de um sistema para visualização cartográfica para

planejamento urbano, especificamente o módulo do sistema denominado *geração de informações temáticas*. O desenvolvimento deste sistema está baseado em três condicionantes: é um sistema computacional, portanto seu desenvolvimento segue o paradigma da engenharia

de software; a concepção do sistema é baseada nos conceitos de visualização cartográfica; e o sistema é totalmente operado pelos usuários, neste caso urbanistas. Como os urbanistas, em sua maioria, não possuem formação em Cartografia Temática, o módulo *geração de informações temáticas* foi projetado e implementado de forma a conter um nível de inteligência, com o qual as decisões básicas de projeto cartográfico temático são automatizadas. A automatização de decisões necessárias na construção de mapas temáticos caracterizam este módulo como um sistema especialista.

Este sistema especialista é parte dos resultados da tese de doutorado “Sistema para Visualização de Informações Cartográficas para Planejamento Urbano” (Robbi, 2000). O desenvolvimento deste sistema foi realizado de acordo com o paradigma da engenharia de software, no qual a complexidade do sistema é tratada em diferentes níveis de abstração. Portanto, a primeira etapa consistiu do estudo sobre as necessidades dos usuários para um sistema computacional, neste caso, urbanistas desenvolvendo Planos Diretores. Na etapa seguinte foi estabelecido o modelo conceitual do sistema. Para a modelagem conceitual foi adotada a metodologia de orientação a objetos, especificamente as metodologias desenvolvidas por Jacobson (1992), e por Coad & Yourdon (1992). Finalmente, um protótipo foi implementado, a partir do software SPRING (INPE, 2001), visando apresentar as principais características e potencialidades do sistema projetado.

Apesar do sistema ter sido idealizado para atender a um objetivo específico, ou seja, desenvolvimento de Planos Diretores, durante os estudos sobre os tipos de mapas temáticos necessários às análises do espaço urbano, constatou-se que o conjunto de características dos fenômenos espaciais mapeados exige que o sistema permita a construção de qualquer tipo de mapa temático. Assim, o módulo *geração de informações temáticas* resultou suficientemente genérico, permitindo afirmar que este é um sistema especialista para geração de mapas temáticos. Para apresentar os resultados alcançados durante o desenvolvimento deste módulo, são descritos conceitos de visualização cartográfica e alguns importantes aspectos do desenvolvimento de um sistema especialista cartográfico. Neste artigo são apresentados os resultados alcançados com a *modelagem conceitual* relativa ao *modelo dos requisitos*, o qual contém o projeto das interfaces do sistema, e o conjunto de regras que caracterizam este sistema especialista.

2. VISUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Após anos de desenvolvimento de ferramentas computacionais para a automatização das tarefas convencionais de produção de mapas (Cartografia Assistida por Computador) e análises de fenômenos espaciais (Sistemas de Informações Geográficas), no final da década de 80 e início da década de 90 observou-se o surgimento de pesquisas voltadas a investigar em

Cartografia, propondo novos conceitos tais como mapas interativos. Na década de 90 a busca científica passa, então, a ser pelo desenvolvimento da própria cartografia, conceitos e fundamentos, tendo como base as potencialidades da tecnologia computacional. Neste contexto surge um novo campo de investigação da pesquisa cartográfica denominado de visualização cartográfica.

Na visualização cartográfica os mapas são entendidos como ferramentas de análises, tanto para planejadores como para cientistas (MacEachren e Kraak, 1997; MacEachren, 1999 e ICA, 1999). Este avanço da Cartografia é proporcionado pela utilização de técnicas de computação gráfica, de visualização científica e de sistemas de informações geográficas (Robbi, 2000). Se os mapas são ferramentas de análises, estes são utilizados tanto para estudar as características dos fenômenos geográficos, e sintetizar soluções, como também para apresentar resultados. Os mapas como ferramentas de análises são meios de visualização, sendo o processo de visualização cartográfica mais abrangente que o processo de comunicação cartográfica. MacEachren et al. (citado por DiBiasi et al., 1992, p.203) define visualização como “uma ação de cognição, uma habilidade humana de desenvolver representações mentais que nos permite identificar padrões e criar ou impor ordem”. Assim, a visualização de mapas, gerados e manipulados durante o processo de análise, proporciona o conhecimento sobre os fenômenos geográficos, pela análise das evoluções e interações destes fenômenos (Robbi, 2000).

Os estudos científicos que buscam a conceituação de visualização cartográfica resultaram em diferentes modelos, os quais representam o uso dos mapas nas diferentes etapas de um processo de análise. O modelo proposto por MacEachren (1994b) sistematiza estes estudos e define a visualização cartográfica num espaço tridimensional denominado de “(Cartografia)”³ (Figura 1) (MacEachren, 1999). Neste espaço os diferentes usos dos mapas são representados em três eixos: interatividade, audiência e propósito. A interatividade pode variar em diferentes graus, desde baixa até alta interatividade com o mapa. O propósito pode variar entre revelar o desconhecido até apresentar o conhecido. A audiência representa a variação entre o uso privado, e o uso público dos mapas, da mesma forma que no modelo apresentado por DiBiase et al. (citado em MacEachren, 1994a).

As variações de uso dos mapas, consequente da incorporação de técnicas de visualização científica à Cartografia, como apresentadas no modelo de DiBiase (citado em MacEachren, 1994a), são definidas de acordo com as diferentes fases dos processos de análise e planejamento, ou seja, exploração, síntese, confirmação e apresentação. Estas fases são agrupadas em dois domínios: privado e público. No domínio privado os mapas são utilizados pelo usuário, ou grupo de usuários, quando este analisa os mapas para adquirir conhecimento, tendo em vista a tomada de decisão, no caso de planejadores, ou a solução de problemas, em

estudos científicos. As conclusões alcançadas, tanto das atividades de planejamento quanto de estudos científicos, são definidas com um conjunto de informações, as quais incluem mapas. Estas informações são apresentadas, ou seja publicadas, nas fases relativas ao domínio público.

No modelo “(Cartografia)³” (Figura 1) observa-se que a variação entre visualização e comunicação é apresentada na diagonal do cubo. Esta variação é contínua pois representa a não existência de fronteiras

quanto ao uso dos mapas, somente extremos. Além disso, tanto a visualização como a comunicação estão presentes em qualquer fase do processo de visualização cartográfica, sendo a diferenciação dada pela ênfase a uma ou a outra. Se o uso do mapa está ocorrendo com uma alta interatividade, a audiência é privada e o propósito é revelar o desconhecido, a ênfase é de visualização. Por outro lado, se a interatividade é baixa, a audiência é o público, e o propósito é apresentar o conhecido, a ênfase é na comunicação.

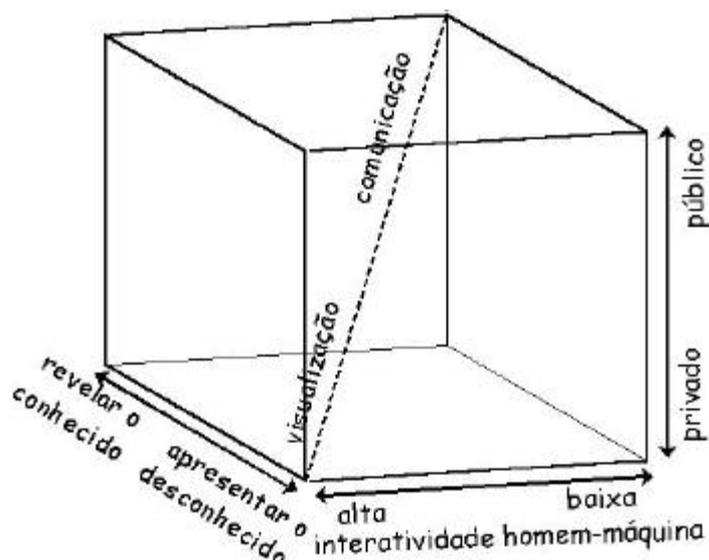


Figura 1 – “(Cartografia)³” – uma representação do ‘espaço’ de uso do mapa.
 Fonte: Adaptada de MacEachren (1994b, p.6)

Um importante aspecto da visualização cartográfica é a interatividade. Para que seja possível o conhecimento sobre os fenômenos espaciais e suas interações, e a partir deste conhecimento propor soluções, é necessário que o planejador ou cientista possa visualizar diferentes fenômenos, e diferentes características destes fenômenos com diferentes classificações, visualizar como os fenômenos interagem no espaço, criar cenários, e avaliar as soluções propostas. Neste nível de interatividade, o usuário deve poder gerar vários mapas temáticos, e proceder a consultas sobre os estes mapas. Portanto, com o mapa interativo, o processo de comunicação cartográfica no qual o usuário apenas recebe o produto concluído, resultado do projeto cartográfico desenvolvido pelo cartógrafo, deve ser redefinido.

Com os mapas interativos, os usuários são participantes ativos no processo de comunicação cartográfica (Robbi, 2000). Peterson (1995) apresenta um modelo de comunicação cartográfica para o mapa interativo (Figura 2), e o define como “uma forma de apresentação cartográfica assistida por computador que

tenta imitar a representação de mapas mentais. Porém, superam os mapas mentais por incluírem mais características do fenômeno e não conterem distorções ou enganos desses. O mapa interativo é uma extensão da habilidade humana de visualizar lugares e distribuições.”

O mapa interativo é uma interface entre o usuário e a realidade, e esta interface é digital. As ferramentas computacionais permitem que o usuário deixe de ser um elemento passivo no processo de comunicação cartográfica, e passe a interagir ativamente no processo de aquisição de conhecimento com o uso de mapas. No contexto de mapas interativos o cartógrafo projeta e implementa as ferramentas computacionais, que compõem um ambiente de utilização do mapas, e este ambiente é fornecido aos usuários. Os usuários, por sua vez, decidem como e quais informações serão por eles visualizadas. Portanto, na Cartografia Interativa os usuários podem produzir mapas, ou seja, decidir quais informações, como classificá-las, e como simbolizá-las tendo em vista a visualização.

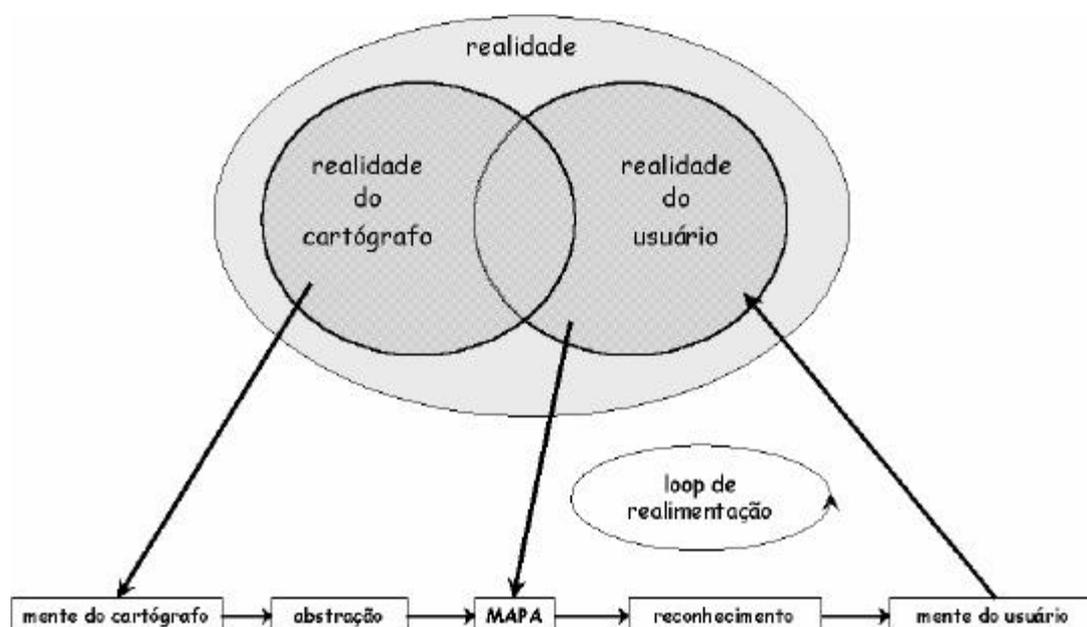


Figura 2 – Modelo de comunicação cartográfica para o mapa interativo.

FONTE: Adaptada de Peterson (1995, p.6)

Se os usuários não são cartógrafos, e os mapas interativos são utilizados para análise visual de informações geográficas, não é suficiente que programas computacionais permitam a escolha aleatória das formas e cores dos símbolos cartográficos. A possibilidade de aquisição de conhecimento na visualização de vários mapas só ocorre se as soluções gráficas proporcionarem a visualização eficiente dos fenômenos geográficos. Conseqüentemente, as ferramentas computacionais devem auxiliar o usuário a produzir mapas de acordo com os princípios de projeto cartográfico. Para isto, duas soluções são propostas na literatura: tutorias que orientem os usuários sobre as decisões a respeito da representação cartográfica (Green, 1993); ou sistemas especialistas que automatizem as decisões de projeto cartográfico (SU, 1995; Zhan e Battenfield, 1995 e Wang e Ormeling, 1996).

3. SISTEMA ESPECIALISTA PARA GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Os mapas temáticos estão relacionados a dois importantes aspectos do planejamento urbano: análise da atual situação da ocupação urbana; e definição de propostas para o desenvolvimento do município. Assim, o uso de mapas pelos urbanistas envolve todos os aspectos da visualização cartográfica, desde o uso privado no qual os urbanistas adquirem conhecimento sobre a realidade do município, passando pela fase de estabelecimento de possíveis soluções, análise das soluções propostas, até o uso público, quando a proposta do Plano Diretor é apresentada. Portanto, um conjunto de ferramentas para exploração, confirmação, síntese e apresentação das informações cartográficas deve estar

presentes num sistema para visualização cartográfica para planejamento urbano.

Um sistema para visualização cartográfica é um sistema de software, no qual os mapas digitais são interfaces entre o usuário do sistema e a realidade, neste caso, os fenômenos espaciais. O usuário pode gerar, consultar e manipular os mapas, e estas atividades são apoiadas em um conjunto de aplicativos (ferramentas) computacionais. Sendo um software, o sistema apresentado neste trabalho foi desenvolvido de acordo com conceitos da engenharia de software, segundo os quais a complexidade do sistema é tratada em diferentes níveis de abstração (Figura 3).

A primeira tarefa no desenvolvimento de um software é o conhecimento da realidade na qual o sistema está inserido, denominado de *domínio do problema*, a partir do qual são definidas as *responsabilidades do sistema*. A transformação das *responsabilidades do sistema* no software propriamente dito é realizada em diferentes etapas, correspondentes a diferentes níveis de abstração da realidade, cujos resultados são os modelos representados na Figura 3. O *modelo descritivo* é a descrição informal do *domínio do problema* e das *responsabilidades do sistema*. No *modelo conceitual*, o *modelo descritivo* é representado por conceitos formais, definidos de acordo com a metodologia e técnicas adotadas, como por exemplo, orientação a objetos. No *modelo operacional* são estabelecidas as estruturas de dados, e como estes são manipulados. O *modelo físico* corresponde à fase de implementação, onde são gerados os programas computacionais.

O *modelo descritivo* do sistema desenvolvido neste trabalho foi definido com estudos sobre a metodologia para elaboração de Planos Diretores adotada no Estado do Paraná. Como o sistema é

projetado para que o usuário crie os mapas temáticos, o módulo *geração das informações temáticas* é um dos principais resultados do desenvolvimento deste sistema. A aquisição de conhecimento pela visualização de mapas depende diretamente da qualidade com a qual os fenômenos espaciais são representados. Portanto, é fundamental que o sistema auxilie os urbanistas na

construção de mapas temáticos, de acordo com os princípios de projeto cartográfico temático. Para este sistema foi decidido pela solução por automatização de algumas decisões de projeto. Assim, o módulo para geração de mapas temáticos contém um nível de inteligência, e está sendo considerado um sistema especialista cartográfico.

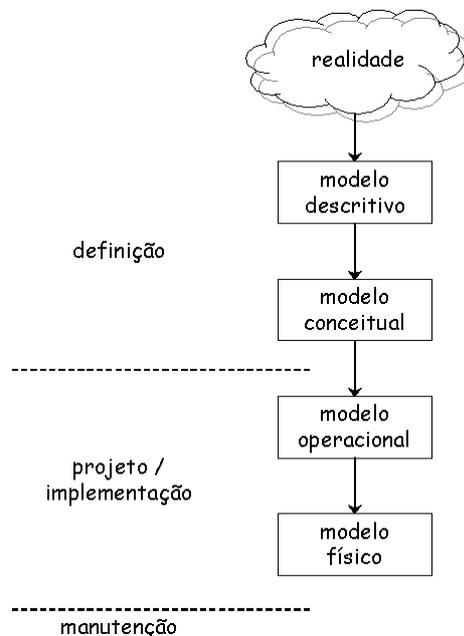


Figura 3 – Níveis de abstração.
Fonte: Nakanishi (1995)

3.1 Metodologia para Elaboração de Planos Diretores Adotada no Paraná

Sendo o sistema apresentado neste trabalho desenvolvido para planejamento urbano, especificamente Planos Diretores, o conhecimento do *domínio do problema* foi definido pelo estudo da metodologia para elaboração de Planos Diretores adotada do Estado do Paraná. Os Planos Diretores para os municípios do Estado do Paraná são elaborados nas seguintes etapas: *definição dos objetivos; levantamento de dados; diagnósticos e diretrizes; elaboração da proposta; e instrumentação legal e administrativa* (Instituto de Assistência aos Municípios do Estado do Paraná – FAMEPAR, s.d. a,b).

O conhecimento do espaço urbano e municipal é fundamentalmente baseado em análises espaciais das suas características físico-territoriais, socioeconômicas e urbanísticas. Portanto, a principal fonte de análise são mapas temáticos, acompanhados de textos analíticos que complementam as informações sobre o município. Os mapas temáticos são criados pelos próprios urbanistas em etapas de trabalho denominadas: *aquisição da base cartográfica; levantamento e reunião das informações; mapeamento das informações; e identificação das necessidades da população*. As informações temáticas mapeadas são referentes às

características anteriormente citadas, e podem ser detalhadas da seguinte forma:

- *Físico-territoriais*: geomorfologia, solos, geologia, clima, vegetação, hidrologia, e áreas de risco à ocupação;
- *Socioeconômicas*: população e condições sociais, contendo informações sobre PIB, atividades econômicas, emprego, escolaridade;
- *Urbanísticas*: parcelamento do solo, infra-estrutura urbana e equipamentos urbanos.

A sobreposição das informações temáticas e o estudo das inter-relações espaciais possibilita a definição das distribuições e concentrações, e potencialidades das diferentes regiões da cidade. Este conhecimento permite o estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento do município. As diretrizes são definidas com base na subdivisão do território em regiões. As regiões são estabelecidas pela visualização e análise dos mapas temáticos gerados na fase de mapeamento da situação atual do município.

Após o conhecimento da situação atual do município, e a definição de diretrizes para a ocupação e desenvolvimento, é gerado um conjunto de propostas direcionadas aos seguintes aspectos: *área administrativa; área financeira e tributária; desenvolvimento econômico; desenvolvimento e gestão*

ambiental; desenvolvimento social; estrutura urbana; e proposta de desenvolvimento urbano por áreas diferenciadas. Estas propostas devem ser apresentadas juntamente com mapas temáticos que representem as ações a serem realizadas pelo poder municipal. Portanto, com exceção das primeira e última etapas, ou seja, *definição dos objetivos e instrumentação legal e administrativa*, as demais são baseadas, ou tem como resultados, mapas temáticos.

3.2 O Modelo dos Requisitos

De acordo com a metodologia proposta por Jacobson (1992) para desenvolvimento de sistemas, a primeira etapa da *modelagem conceitual* é a definição do *modelo dos requisitos* (“*the requirements model*”). Esta metodologia foi adotada neste trabalho por apresentar mecanismos para definir sistematicamente as necessidades dos usuários. O *modelo dos requisitos* é construído com *diagramas de caso de usos*, os quais são constituídos por *atores* (“*actors*”) e *casos de usos* (“*uses cases*”). Na definição dos *atores* são descritos quem são e seus papéis no sistema. Os *casos de usos* representam as ações dos usuários quando utilizam o sistema, e os resultados que o sistema retorna (Jacobson, 1992). Para representar os *casos de usos*, nesta fase da modelagem é necessário projetar as interfaces, por intermédio das quais os usuários interagem com o sistema. Portanto, o *modelo dos requisitos* é composto por um conjunto de *diagramas de casos de uso*, e pelo conjunto de interfaces do sistema. Com o conjunto de interfaces é possível apresentar e discutir com os usuários o projeto do sistema, de forma que estes possam avaliar se o projeto condiz com suas necessidades e expectativas. Neste sistema para visualização de informações cartográficas os *atores* foram definidos como (Robbi, 2000):

- *Urbanista*: responsável técnico pela elaboração do Plano Diretor;
- *Sistema para Cartografia Digital (CAD)*: fornece a base cartográfica digital do município;
- *Equipe técnica*: responsável por trabalhos de secretariado, pesquisa em arquivos, trabalhos gráficos;
- *Comunidade*: participa na elaboração do Plano Diretor através de entrevistas a população;
- *Conselho*: participa no processo de elaboração do Plano Diretor e de sua implantação. A composição do conselho depende das necessidades do município, podendo ser integrantes os secretários municipais, os técnicos da prefeitura, vereadores, sindicatos, etc.

Os *casos de usos* foram definidos de acordo com as tarefas realizadas durante a elaboração dos Planos Diretores. As principais etapas de trabalho foram denominadas nesta modelagem de *casos de usos primários*, sendo estes (Robbi, 2000):

- *Armazenamento*: que permite o armazenamento da base cartográfica digital;

- *Geração das informações temáticas*: composto pelos aplicativos que permitem a criação de mapas temáticos, e o armazenamento de informações não-gráficas, gráficos e textos associados às feições e classes temáticas;
- *Consulta interativa e dinâmica*: contendo os aplicativos de consulta às informações temáticas, incluindo recursos de animação;
- *Geração da síntese para o planejamento*: aplicativos para geração de mapas e textos que representam e descrevem a proposta do Plano Diretor;
- *Consulta ao Plano Diretor*: visualização e atualização das informações durante a implantação e acompanhamento do Plano Diretor.

Estes *casos de usos primários* foram definidos como os principais módulos do sistema, e são apresentados na primeira interface do software, como ilustra a Figura 4.

3.3 Módulo Geração das Informações Temáticas

Para conhecer o espaço urbano, após a coleta dos dados incluindo a base cartográfica digital, o urbanista deve gerar os mapas temáticos que lhe permitam proceder às análises necessárias sobre as características dos fenômenos espaciais relacionadas com planejamento urbano. Portanto, a principal tarefa na fase de organização das informações sobre a situação atual do município é o mapeamento das informações temáticas. Como o conhecimento sobre os diferentes aspectos do município depende diretamente da qualidade das representações temáticas, foi decidido que um nível de inteligência sobre projeto cartográfico estaria embutido no sistema. Sendo uma solução por sistema especialista, na definição do *modelos dos requisitos* foi necessário estabelecer quais as decisões de projeto cartográfico seriam automatizadas, e quais as decisões seriam tomadas pelos usuários. Estas decisões de projeto estão relacionadas às tarefas realizadas pelo usuário, quando utiliza o sistema, e por isso estão também relacionadas com as ferramentas projetadas para as interfaces do sistema.

Para a geração de mapas temáticos, a automatização de algumas decisões de projeto cartográfico foi alcançada através de dois princípios. Primeiro, o sistema obriga o usuário a seguir uma sequência de etapas estabelecidas de acordo com as fases de um projeto cartográfico temático. As funções associadas com cada etapa de um projeto cartográfico são disponíveis, ou seja, são habilitadas pelo sistema, somente se o usuário conclui a etapa anterior do trabalho. Segundo, o conjunto de variáveis visuais disponíveis ao usuário, para cada mapa temático a ser criado, é definido com base na dimensão da primitiva gráfica, no nível de medida da variável representada, e no número de níveis de classificação do tema mapeado. As interfaces projetadas são apresentadas na sequência, conjuntamente com a descrição das tarefas realizadas pelos usuários.

Ao ativar o módulo geração das informações temáticas, a janela da Figura 5 é apresentada ao usuário. Para criar um mapa temático, o usuário deve realizar

as tarefas estabelecidas nos aplicativos organizados no menu *Mapa Temático*.

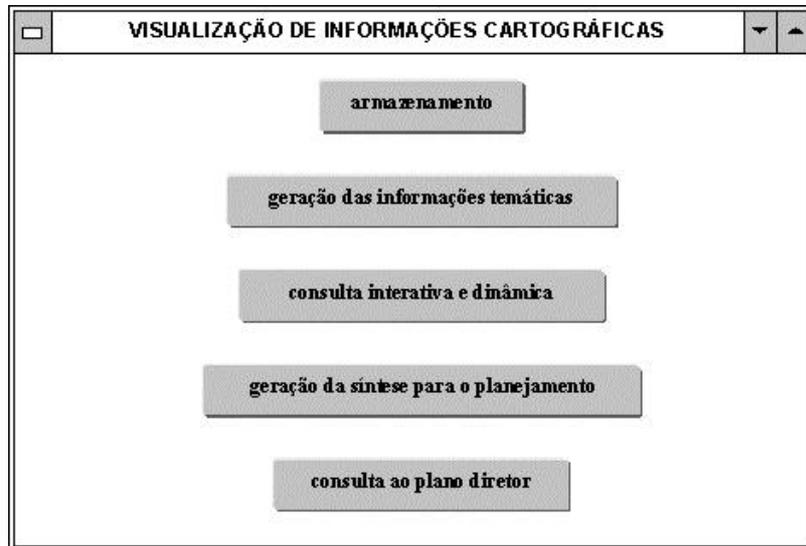


Figura 4 – Primeira janela apresentada quando o software é ativado
Fonte: Robbi (2000)

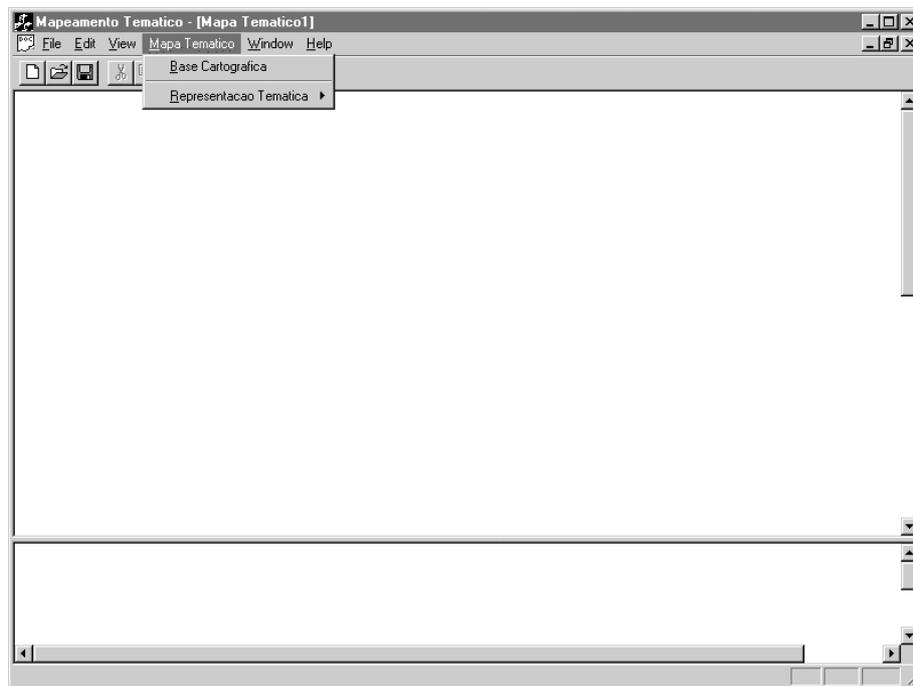


Figura 5 – Janela principal do aplicativo *geração de informações temáticas*, e menu *Mapa Temático*
Fonte: Robbi (2000)

Inicialmente o usuário deve ativar o aplicativo *Base Cartográfica*, o qual apresenta a interface da Figura 6. Nesta interface o usuário deve definir o município para o qual o Plano Diretor está sendo desenvolvido. A seguir o usuário escolhe a região de

trabalho, que pode ser: *urbana, município, região ou estado*. O usuário deve, então, definir o tema a ser representado, e finalmente selecionar as feições topográficas a serem representadas na base cartográfica do mapa temático.

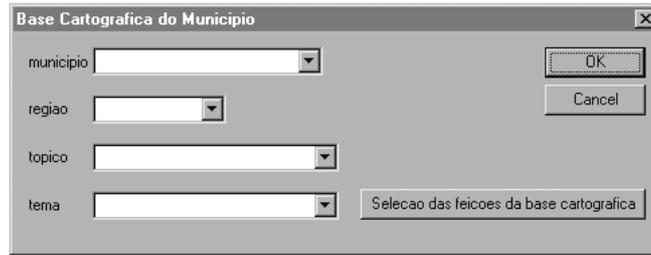


Figura 6 – Janela para definição do tema e feições da base cartográfica do município
 Fonte: Robbi (2000)

Após definidos o tema e a base cartográfica, o sub-menu *Características do Tema*, do sub-menu *Representação Temática*, é habilitado (Figura 7). Isto obriga o usuário a definir a dimensão da primitiva gráfica e o nível de medida da variável representada, antes de decidir sobre os símbolos gráficos (Figura 8). Se o usuário realiza esta etapa, o sub-menu *Classificação* é habilitado. Nesta interface o usuário deve definir as classes a serem representadas para o

tema proposto. Definir quais classes serão representadas, e a dimensão e nível de medida do tema, anteriormente ao projeto gráfico dos símbolos cartográficos é essencial para um projeto cartográfico eficiente (Figura 9). Se o tema exige que algumas classes sejam representadas com subclasses, o usuário pode defini-las com a interface ativada pelo sub-menu *Subclassificação* (Figura 10).



Figura 7 – Janela submenus *Características do Tema*; *Classificação*; *Subclassificação* e *Atributos Gráficos*
 Fonte: Robbi (2000)

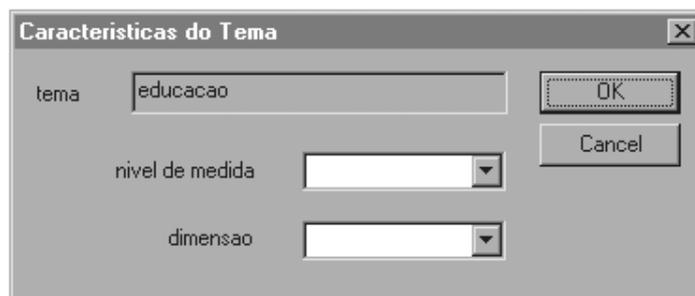


Figura 8 – Janela *Características do Tema*
 Fonte: Robbi (2000)

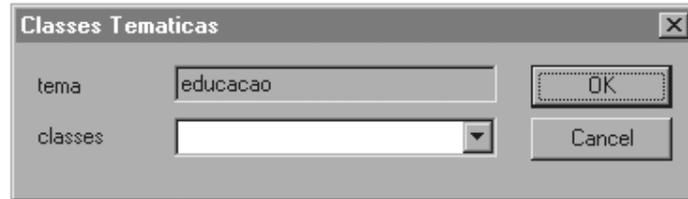


Figura 9 – Janela *Classificação*
 Fonte: Robbi (2000)

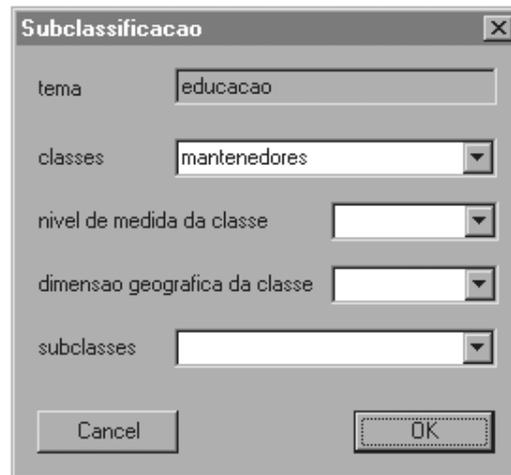


Figura 10 – Janela *Subclassificação*
 Fonte: Robbi (2000)

A última tarefa, antes da definição da simbologia propriamente dita, é a seleção da variável visual adotada para definir os símbolos cartográficos (Figura 11). As opções de variáveis visuais apresentadas pelo sistema são limitadas pelas informações anteriormente armazenadas pelo usuário. Com isto, o sistema evita que erros básicos, relacionados à inadequação da variável visual em relação à dimensão e ao nível de medida do tema representado sejam cometidos pelo usuário. Isto proporciona que os mapas criados estejam qualitativamente de acordo com os princípios de projeto cartográfico temático. Após

escolhida a variável visual, o usuário seleciona uma das classes definidas para representar o tema, e ativa o aplicativo *Seleção Símbolo* (Figura 11). Como as opções de variáveis visuais e características gráficas para definir os símbolos cartográficos são automatizadas, foi necessário definir um conjunto de regras a serem implementadas no sistema. Este conjunto de regras é resultado do estudo sobre os fenômenos mapeados pelos urbanistas, com os quais são realizadas as análises sobre o espaço urbano. Os resultados deste estudo e as regras modeladas e implementadas no sistema estão descritos no item 3.4.

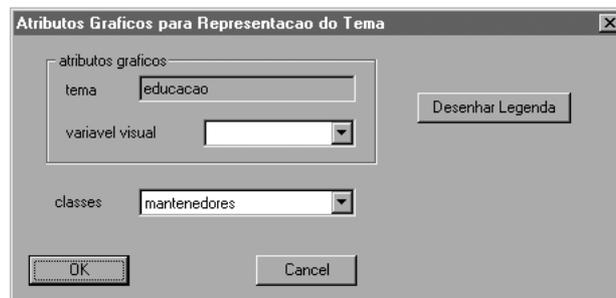


Figura 11 – Janela *Atributos Gráficos*
 Fonte: Robbi (2000)

3.4 Definição das Variáveis Visuais para o Mapeamento Temático

No trabalho de elaboração de Planos Diretores, as informações temáticas mapeadas podem ser classificadas em quatro grupos, de acordo com a dimensão espacial e número de níveis de classificação: *temas representados sem classes* (Figura 12); *temas representados com um nível de classificação* (Figura 13); *temas representados com dois níveis de classificação, onde todas as classes têm a mesma*

dimensão espacial (Figura 14); e *temas representados com dois níveis de classificação, sendo que diferentes classes são definidas com diferentes dimensões espaciais* (Figura 15). Assim, o sistema pode definir variáveis visuais e a respectiva simbologia para feições pontuais, lineares e de área, que podem ser caracterizadas nos níveis de medida nominal, ordinal e numérico. Portanto, com o sistema desenvolvido neste trabalho é possível a geração de qualquer tipo de mapa temático, considerando a representação temática bidimensional.

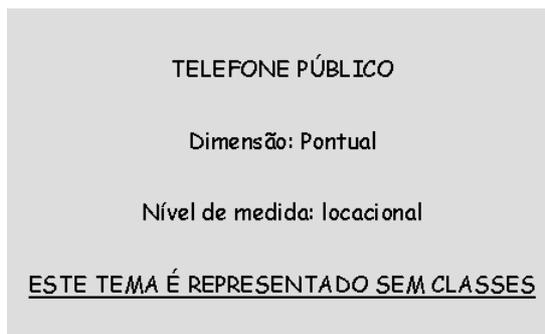


Figura 12 – Exemplo de um tema representado sem classes
Fonte: Robbi (2000)



Figura 13 – Exemplo de um tema representado com um nível de classificação
Fonte: Robbi (2000)

A classificação das informações temáticas nestes quatro grupos permitiu o estabelecimento de um conjunto de regras, que implementadas no sistema, automatizam as decisões básicas sobre a simbologia cartográfica. Se o sistema segue este conjunto de regras, o conjunto de variáveis visuais apresentado ao usuário é adequado à dimensão, ao nível de medida e ao número de níveis de classificação do tema representado. As

decisões sobre as variáveis visuais são baseadas na tipologia apresentada por MacEachren(1994a, p.33), ajustada às características de mapas em grandes escalas, e aos tipos de variáveis visuais comumente utilizadas em mapas temáticos, e portanto conhecidas dos usuários. A tipologia de variáveis visuais resultante destas considerações, e adotada para este sistema é apresentada nas Figuras 16 e 17.

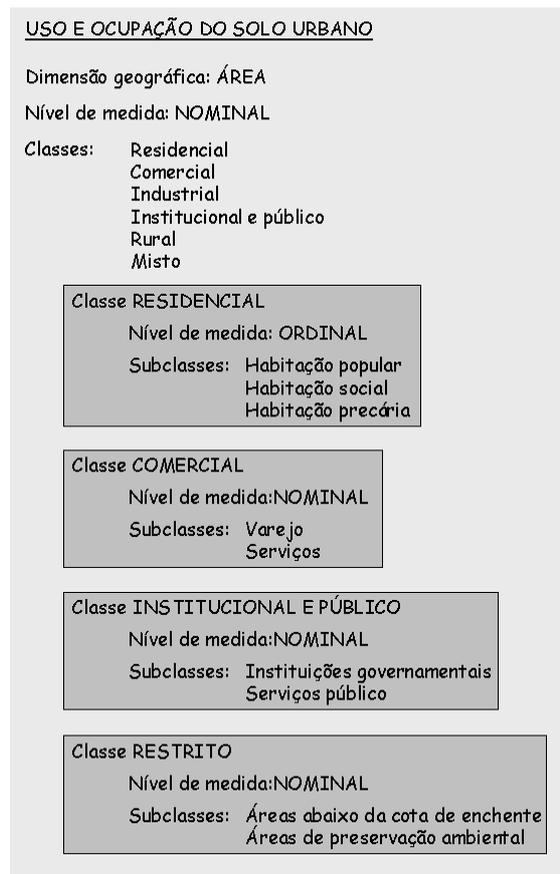


Figura 14 – Exemplo de um tema representado com dois níveis de classificação – classes e subclasses com a mesma dimensão espacial
 Fonte: Robbi (2000)

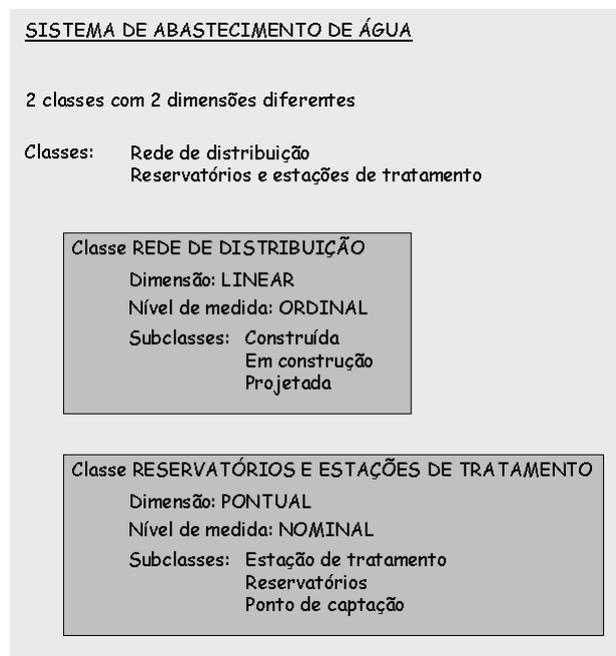


Figura 15 – Exemplo de um tema representado com dois níveis de classificação – classes e subclasses com diferentes dimensões espaciais
 Fonte: Robbi (2000)

	ponto	linha	área
forma	S	S	N
tamanho	S	S	N
tom de cor	S	S	S
valor de cor	S	S	S
saturação de cor	S	S	S
<i>textura nominal</i>	N	N	S
<i>textura ordinal</i>	N	N	S
orientação	S	N	S
arranjo	N	S	N

S = é uma possibilidade N = não é uma possibilidade

Figura 16 – Variáveis visuais aplicadas a símbolos pontuais, lineares e de área.
Fonte: Robbi (2000)

	numérico	ordinal	nominal
localização	B	B	B
forma	P	P	B
tamanho	B	B	P
tom de cor	M	M	B
valor de cor	M	B	P
saturação de cor	M	B	P
<i>textura nominal</i>	M	M	B
<i>textura ordinal</i>	M	B	P
orientação	P	P	B
arranjo	P	P	M

B = bom M = efeito marginal P = pobre

Figura 17 – Relação entre as variáveis visuais e os níveis de medida.
Fonte: Robbi (2000)

Para definir o conjunto de regras foi estabelecido que as variáveis visuais a serem apresentadas como opção para cada tema mapeado são obtidas em dois estágios. Primeiro, o sistema deve decidir se cada uma das variáveis visuais (Figuras 16 e 17) estará *disponível* ou *não disponível*. Por exemplo, se uma variável é para ser representada com um nível de classificação, dimensão pontual e nível de medida ordinal, as variáveis *forma* e *tamanho* serão definidas como *disponíveis*. Com a variável *tamanho*, as diferenças ordinais entre as classes serão representadas, e a variável *forma* deve estar *disponível* porque o sistema deve desenhar um determinado símbolo com uma determinada *forma*. Porém, *texturas*, *orientação* e *arranjo* não são definidas como possibilidades, portanto *não disponíveis*. De acordo com a tipologia adotada, as *texturas* e *arranjo* não são aplicadas a símbolos

pontuais, e *orientação* tem um efeito visual pobre para representar variáveis ordinais.

A segunda etapa é definir qual variável visual, entre as *disponíveis*, será adotada para representar as diferentes classes do fenômeno. Para o mesmo exemplo, um nível de classificação, variável pontual e ordinal, as variáveis visuais *disponíveis* são: *forma*, *tamanho*, *tom de cor*, *valor de cor* e *saturação de cor*. Porém, somente as variáveis visuais *tamanho*, *valor de cor* e *saturação de cor* poderão ser utilizadas para representar as diferentes classes, portanto *variável* de acordo com as características do tema. Os três diferentes estados que cada *variável visual* pode assumir no sistema, durante a geração de um mapa temático, são denominados de *variável*, *invariável* ou *nulo*.

Quando a informação temática é representada com um nível de classificação, para cada dimensão

geográfica pontual, linear ou de área, os estados das *variáveis visuais* são diferenciados em dois grupos: *nominais*, e *ordinais* ou *numéricos*. Com um exemplo, o

conjunto de regras resultante para a dimensão pontual é apresentado na Tabela 1

TABELA 1 – ESTADOS DAS VARIÁVEIS VISUAIS PARA TEMAS REPRESENTADOS COM UM NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO PARA DIMENSÕES PONTUAIS

Nível de medida	<u>Numérico</u>	<u>Ordinal</u>	<u>Nominal</u>
Forma	Invariável	Invariável	Variável
Tamanho	Variável	Variável	Invariável
Tom de cor	Invariável	Invariável	Variável
Valor de cor	Variável	Variável	Invariável
Saturação de cor	Variável	Variável	Invariável
Textura nominal	Nulo	Nulo	Nulo
Textura ordinal	Nulo	Nulo	Nulo
Orientação	Nulo	Nulo	Variável
Arranjo	Nulo	Nulo	Nulo

Os dois casos para temas representados por dois níveis de classificação demandam diferentes soluções. Quando as classes são representadas com diferentes dimensões espaciais, por exemplo, pontual e linear, essas são visualmente independentes. Por isso, para definir as variáveis visuais para cada classe, as mesmas regras estabelecidas para temas com um nível de classificação são aplicadas, como exemplificado na Figura 15 para o mapa temático do *abastecimento de água*. Conseqüentemente, as duas classes podem ser vistas, para a implementação do sistema, como dois mapas separados, que representam duas variáveis independentes. O mapa final, ou seja, *abastecimento de água*, é o resultado da sobreposição da representação das duas classes.

Para temas representados por dois níveis de classificação, nos quais todas as classes têm a mesma dimensão espacial, as opções de variáveis visuais para representar as subclasses de cada classe são dependentes das opções de variáveis visuais definidas para representar as diferentes classes do tema. Assim, os diferentes estados das variáveis visuais (*variável*, *invariável* ou *nulo*), são dependentes dos níveis de medida definidos para o tema e para cada uma das classes. Como exemplo, o mapa temático *educação*, cujas classes são *mantenedores* e *níveis escolares*, representa uma variável pontual e nominal; sendo os estados das variáveis visuais como apresentados na Tabela 2. Conseqüentemente, as opções de variáveis visuais apresentadas ao usuário são *forma* e *orientação*. Os símbolos gráficos para representar as diferentes classes serão criados de acordo com a variável visual escolhida pelo usuário. Porém, se uma das classes deve ser subclassificada, os símbolos gráficos para

representar as subclasses são gerados de acordo com um outro conjunto de variáveis visuais. Seguindo o mesmo exemplo do mapa temático *educação*, o nível de medida da classe *mantenedores* é nominal, por isso, os estados das *variáveis visuais* para representar as subclasses dessa classe são apresentados na Tabela 2.

Para analisar alguns possíveis resultados quando o conjunto de regras for utilizado, uma série de exemplos hipotéticos de mapas temáticos foi criada. Estes exemplos são representações de variáveis pontuais e de áreas, para temas representados por dois níveis de classificação. O primeiro exemplo, ilustrado na Figura 18, apresenta o uso das variáveis visuais *tom de cor* e *tamanho* para a representação de tema *nominal* e classes *ordinais*. Na Figura 19 é apresentado um exemplo do uso das variáveis visuais *tom de cor* e *valor de cor*.

3.5 Implementação do Protótipo

A implementação do protótipo do módulo geração das informações temáticas foi realizada a partir do software SPRING, desenvolvido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2000). Para que o conjunto de variáveis visuais possa ser definido pelo software, a partir das informações sobre dimensão espacial e nível de medida do tema, fornecidas ao sistema pelo usuário, duas interfaces foram implementadas no SPRING, denominadas *Representação Temática* e *Apresentação Gráfica*. Estas interfaces são ativadas a partir da interface *Tema*, resultante da modificação da interface original do SPRING, denominada *Modelo Conceitual*, na qual as categorias de dados de um determinado projeto são definidas.

TABELA 2 – ESTADOS DAS VARIÁVEIS VISUAIS PARA REPRESENTAR TEMAS E CLASSES PONTUAIS E NOMINAIS, PARA DOIS NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO

Nível de medida	Nominal	Nível de medida	Nominal
Forma	Variável	Forma	Nulo
Tamanho	Invariável	Tamanho	Nulo
Tom de cor	Invariável	Tom de cor	variável
Valor de cor	Invariável	Valor de cor	Nulo
Saturação de cor	Invariável	Saturação de cor	Nulo
Textura nominal	Nulo	Textura nominal	Nulo
Textura ordinal	Nulo	Textura ordinal	Nulo
Orientação	Variável	Orientação	Nulo
Arranjo	Nulo	Arranjo	Nulo

TEMA DE DIMENSÃO PONTUAL

CLASSE DE DIMENSÃO PONTUAL

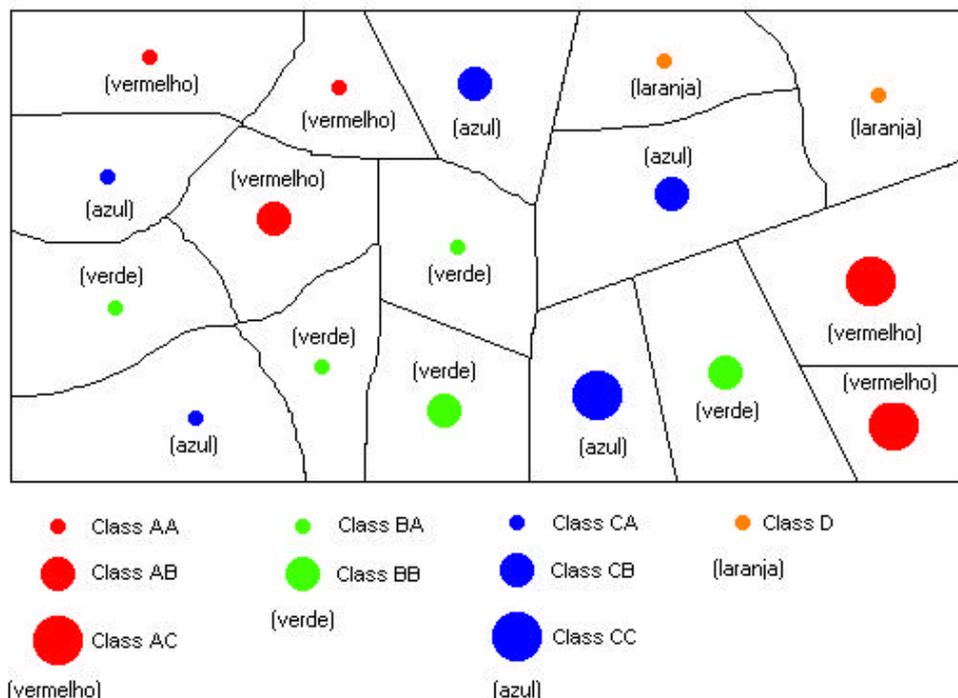


Figura 18 – O uso das variáveis visuais tom de cor e tamanho.
 Fonte: Robbi (2000)

A visualização das informações geográficas, no SPRING, é realizada de acordo com os *planos de informação* criados para cada *categoria*, definida num *banco de dados*. O conceito de *planos de informação* adequou-se perfeitamente à modelagem conceitual desse protótipo, em relação à definição das feições da base cartográfica para cada mapa temático criado. No SPRING, a base cartográfica pode ser definida como uma categoria do modelo *temático*, e as feições que a

compõem como diferentes *planos de informação*. De acordo com o estabelecido no *modelo dos requisitos*, a primeira tarefa na geração dos mapas temáticos é armazenar as feições da base cartográfica do município. A base cartográfica pode ser armazenada por *planos de informação*, que podem ser criados seguindo as Normas Técnicas para a Cartografia no Estado do Paraná (CTCG) (Figura 20).

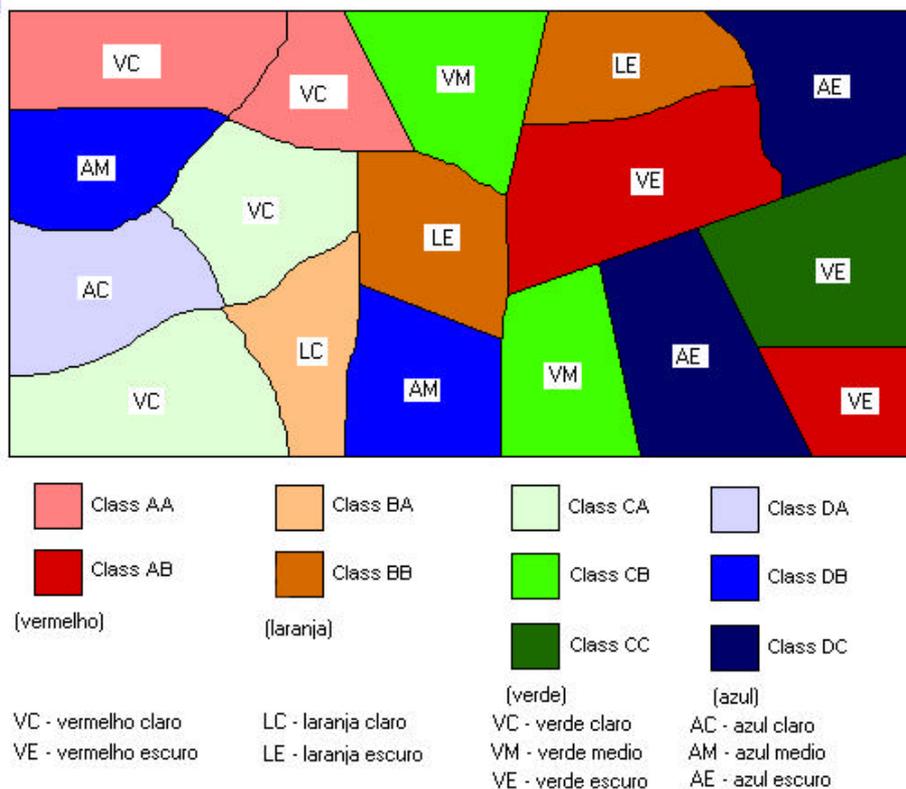


Figura 19 – Exemplo de *variáveis visuais tom de cor e valor de cor*.
Fonte: Robbi (2000)

Como os mapas temáticos de um município são criados sobre a mesma base cartográfica, cada mapa pode ser definido, no SPRING, como uma *categoria* do modelo de dados *temático*. Para cada uma dessas *categorias* é criado um *plano de informação* (Figura 21). Essa organização das informações, possibilita que as feições da base cartográfica, visualizadas em cada mapa temático, sejam selecionadas de acordo com as características das informações geográficas representadas. Para que o conjunto de variáveis visuais possa ser determinado pelo programa computacional, o usuário deve informar ao sistema a *dimensão espacial* e o *nível de medida* do tema representado. Para que o usuário possa fornecer essas informações ao sistema, uma nova interface foi implementada como mostrado na Figura 22.

A Figura 22 exemplifica a definição das variáveis visuais para a representação do tema *Escolas Mantenedores*. Para a representação das escolas municipais, estaduais e privadas, o usuário definiu o *nível de medida* como *nominal*, e a *dimensão* como *pontual*. Conseqüentemente, o programa preenche a lista de variáveis visuais, com *forma*, *tom de cor* e *orientação*. Isso significa que o usuário não pode utilizar uma variável visual inadequada às

características do tema, como por exemplo, representar as classes citadas, com símbolos pontuais de diferentes tamanhos. Após selecionada uma variável visual, a interface *Atributos Gráficos* pode ser ativada.

A interface *Atributos Gráficos* é um aprimoramento da interface *Visual* do SPRING. Na interface do SPRING, todas as possibilidades de soluções gráficas para mapas temáticos são apresentadas simultaneamente. Independente da *dimensão* e do *nível de medida* do tema, todos os símbolos pontuais, lineares ou de área estão disponíveis como opções ao usuário. Nesse caso, o sistema não limita os atributos gráficos de acordo com as características do tema representado. Assim, se o usuário não possui conhecimento sobre projeto cartográfico, pode facilmente construir mapas cartograficamente inadequados. Além disso, as denominações utilizadas para os símbolos de área e lineares não são coerentes com o conceito de variáveis visuais. Por exemplo, a denominação *hachura* para determinados símbolos de área pode significar, em algumas casos, a variável visual *orientação*. Diferentes *padrões* podem representar diferenças *nominais*, porém esses conceitos não estão explicitados no projeto e implementação da interface do SPRING.

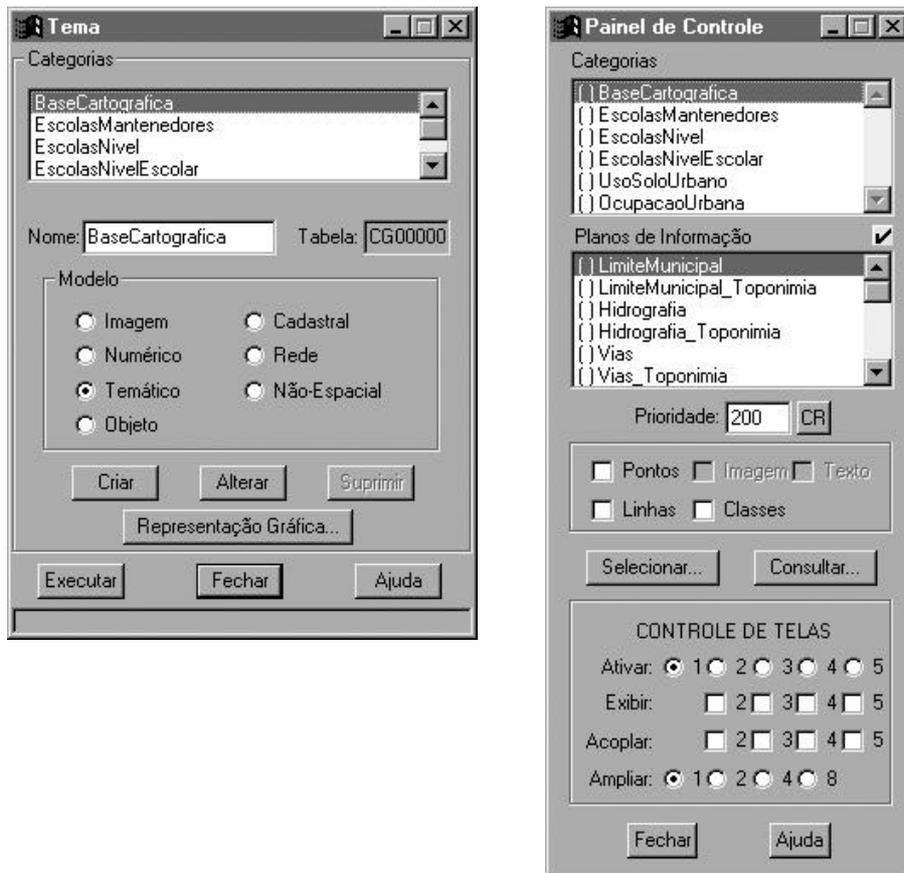


Figura 20 – Os Planos de Informação da base cartográfica.
 Fonte: Robbi (2000)

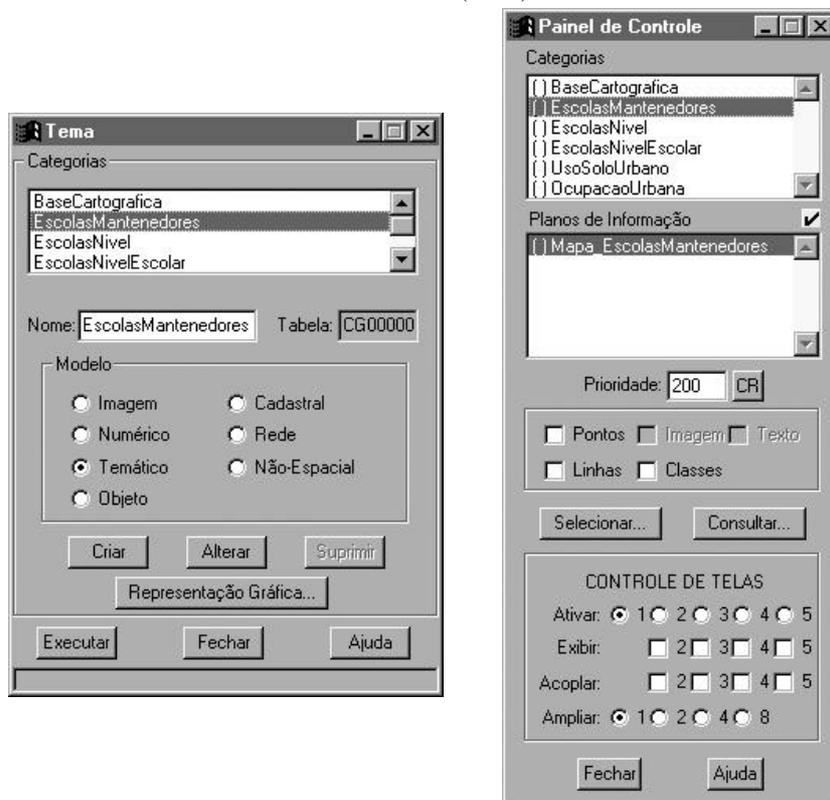


Figura 21 – Janelas Tema e Painel de Controle exemplificando a definição e visualização de um mapa temático.
 Fonte: Robbi(2000)



Figura 22 – Interface *Representação Temática*.
Fonte: Robbi (2000)

Para este protótipo, a interface *Atributos Gráficos* foi projetada considerando que as características do tema representado foram definidas pelo usuário. Semelhantemente à interface *Visual* do SPRING, essa interface é dividida em quatro partes, denominadas área, linha, ponto e texto. Porém, os atributos gráficos de cada primitiva gráfica (ponto, linha ou área) são mostrados somente para a *dimensão* selecionada. Portanto, se o tema a ser representado é *pontual*, somente os atributos gráficos de ponto serão apresentados na interface, como mostra a Figura 23.

Para exemplificar um mapa criado com este protótipo, para o tema *mantenedores das escolas*, já citado, e considerando que o usuário optou pela variável visual *tom de cor*, na interface ilustrada na Figura 23, o usuário ativaría a interface de definição de cores com o botão *Cor*, e uma interface a qual possui campos para a definição de cada cor com valores numéricos de vermelho, verde e azul (RGB), ou tom, luminosidade e saturação (HSV) (Figura 24) lhe seria apresentada. Após definidos os diferentes tons de cor para cada uma das classes: *municipal*, *estadual* ou *privada*; o usuário poderia visualizar o mapa temático como na Figura 25.

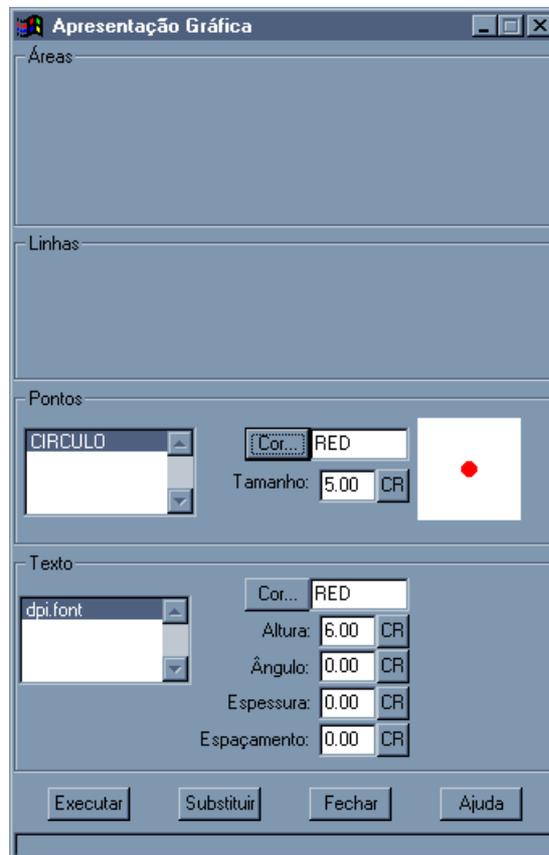


Figura 23 – Interface *Apresentação Gráfica* para a representação de feições pontuais.
 Fonte: Robbi (2000)



Figura 24 – Seleção de cores com variação em *tom*, *luminosidade* e *saturação*.
 Fonte: Robbi (2000)

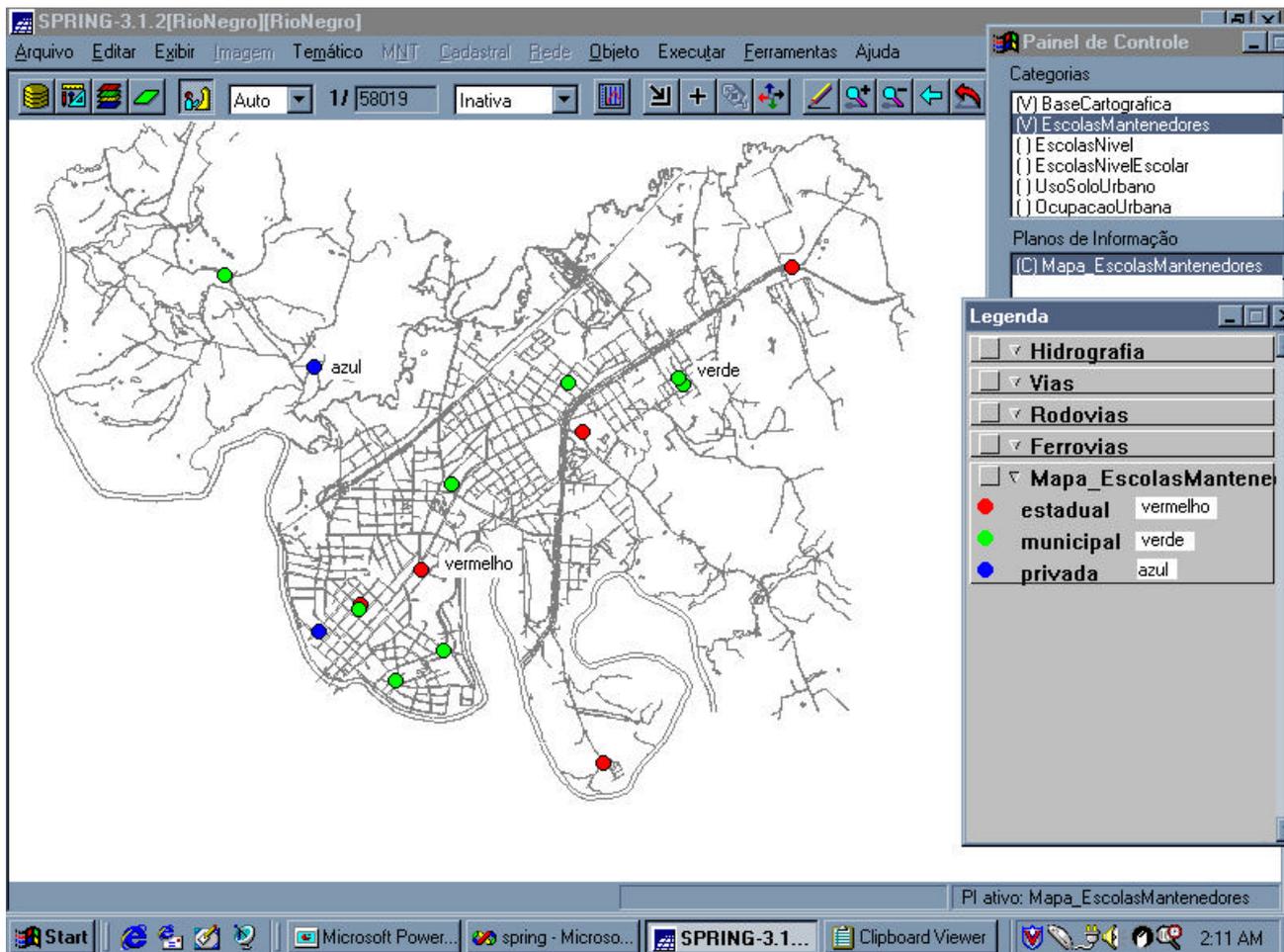


Figura 25 – Exemplo de um mapa temático criado com o protótipo.
 Fonte: Robbi (2000)

4. CONCLUSÕES

Um dos pressupostos para o desenvolvimento deste trabalho, ou seja, a modelagem conceitual e implementação de um sistema especialista para geração de mapas temáticos, é a concepção do sistema com base nos conceitos de visualização cartográfica. A visualização cartográfica é entendida como a avanço da cartografia digital no sentido de que os mapas passam a ser ferramentas de análises visuais, ao invés de meios de comunicação cartográfica. Neste sentido, a comunicação é parte da processo de visualização. Porém, o processo de análise é mais abrangente, e portanto mais poderoso do que a comunicação de informações cartográficas, pois permite ao usuário investigar os fenômenos espaciais, criando e consultando interativamente representações temáticas do espaço. Portanto, um dos aspectos importantes da visualização cartográfica é a interatividade.

No módulo geração das informações temáticas, o usuário cria os mapas temáticos, num nível de interatividade que permite decisões para todas as etapas de um projeto cartográfico temático. As automatização das decisões necessárias à construção de mapas

temáticos caracterizam este módulo como um sistema especialista cartográfico. A implementação de um conjunto de regras, para a geração de mapas temáticos, mostra as potencialidades de sistemas especialistas para cartografia temática. Porém, a pesquisa sobre sistemas especialistas para projetos cartográficos temáticos é, atualmente, incipiente. Algumas soluções apresentadas neste trabalho nos mostram que estamos no começo deste desenvolvimento em cartografia, porém também indicam que podemos avançar consideravelmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Câmara Técnica de Cartografia e Geoprocessamento (CTCG) Recomendação técnica CTCG – 001/96: padronização das escalas utilizadas em trabalhos cartográficos. Curitiba, 1996.
- Coad, P.; Yourdon, E. **Análise baseada em objetos**. Rio de Janeiro: Editora Campus. 1992. 195p.
- DiBiasi, D. et al. Animation and the role of map design in scientific visualization. **Cartography and Geographic Information Systems**, vol 19, n. 4, p. 201-214, 265-266, 1992.

- Green, D.R. Wherefore art thou cartographer? Your GIS needs you! In: Congresso da Associação Cartográfica Internacional – ICA, 16., Colônia, Alemanha, Maio 1993. **Anais**. Deutsche Gesellschaft für Kartographie. Bielefeld, 1993, p. 1011-1025.
- Instituto de Assistência aos Municípios do Estado do Paraná (FAMEPAR). **Curso sobre plano de uso e ocupação do solo. Primeiro e Segundo Módulos**. Curitiba, s.d.(a). 44p.
- Instituto de Assistência aos Municípios do Estado do Paraná (FAMEPAR). **Curso sobre plano de uso e ocupação do solo. Terceiro e Quarto Módulos**. Curitiba, s.d.(b). 21p.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. <www.dpi.inpe.br/spring/>. 2001.
- International Cartographic Association (ICA) – Commission on Visualization. **Commission Overview**. [online]. <www.geog.psu.edu/ica/icavis/ICAviss_overview(1).html>. 1999.
- Jacobson, I. **Object-oriented software engineering: a use case driven approach**. Reading,MS: Addison-Wesley Publishing Company, 1992. 582p. 4ª reimpr. revisada.
- MacEachren, A.M. **Some truth with maps: a primer on symbolization & design**. Washington, D.C.: Association of American Geographers, 129p. 1994a.
- MacEachren, A.M. Visualization in modern cartography: setting the agenda. In: MacEachren, A.M.; Taylor, D.R.F. ed. **Visualization in modern cartography**. Grã-Bretanha: Pergamon, 1994b. p.1-12.
- MacEachren, A.M.; Kraak, M. Exploratory cartographic visualization: advancing the agenda. **Computers & Geosciences**, vol.23. n. 4, p. 335-343, 1997.
- MacEachren, A.M. **Visualization – Cartography for the 21st century**. [online] <www.geog.psu.edu/ica/icavis/poland1.html>. 1999.
- Nakanishi, T. **Curso de engenharia de software: notas de aula**. São José dos Campos: INPE. 1995.
- Peterson, M.P. **Interactive and animated cartography**. Englewood Cliffs, Nova Jersey: Prentice Hall, 1995. 257p.
- Robbi, C. **Sistema para Visualização de Informações Cartográficas para Planejamento Urbano**. Tese de doutorado apresentada e defendida no Curso de Computação Aplicada, INPE. Março, 2000.
- SU, B. A Generalized frame for cartographic knowledge representation. In: Congresso da Associação Cartográfica Internacional – ICA, 17., Barcelona, Espanha, 1995. **Proceedings**. Barcelona: Institut Cartographic de Catalunya, 1995, p. 761-770.
- Wang, Z.; Ormeling, F. The representation of quantitative and ordinal information. **The Cartographic Journal**, vol.33, n. 2, p. 87-91, December 1996.
- Zhan, F.R.; Battenfield, B.P. Object-oriented knowledge-based symbol selection for visualizing statistical information. **International Journal of Geographic Information Systems**, vol. 9, n. 3, p. 293-315, 1995.