

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Visão Geral

*" O Brasil é grande, complexo, cheio de contrastes, desigual, e está sempre mudando. É um alvo móvel que desafia os pesquisadores.(LEITÃO,2003)"*

Procurar a dimensão exata de um problema é o primeiro passo, indispensável, para enfrentá-lo.

O mapeamento cartográfico sistemático de todo território nacional tem por fim a representação do espaço territorial brasileiro por meio de cartas, elaboradas seletiva e progressivamente, **consoante prioridades conjunturais**, segundo os padrões cartográficos. (BRASIL, 1967)

Nesse contexto torna-se necessária identificação de áreas para o mapeamento cartográfico, seja para atualização ou complementação. A tarefa de identificar que áreas serão mapeadas é muito dependente de necessidades pontuais, e as vezes políticas, introduzindo assim critérios subjetivos de seleção.

É imprescindível, nesse caso, obter um critério que exprima se determinada área tem potencial interesse para mapeamento dentro de uma porção do espaço geográfico.

A correlação de mapas resultantes da visualização de indicadores permitem a simulação em ambiente GIS–Geographic Information System de diversas possibilidades, utilizando ferramentas de análise espacial.

As pesquisas na área de análise espacial estão baseadas na premissa de que incertezas existem devido a um processo aleatório dentro de sistemas espaciais e que, portanto, modelos estatísticos e probabilísticos podem ser utilizados mas apresentam limitações. Entretanto alguns aspectos de incerteza não podem ser atribuídos ao acaso, por exemplo, o uso de termos de linguagem.

A classificação temática dos indicadores, pelos métodos tradicionais, considera os limites ou fronteiras como rígidos, quando na verdade dados geobiofísicos e socio econômicos não devem ser expressados de forma booleana, ou seja, falso ou verdadeiro e pertence e não pertence.

A modelagem nebulosa ou Fuzzy considera que existe uma zona de transição entre as classes permitindo uma melhoria na representação dos fenômenos, sendo assim, um avanço na modelagem e no processo de decisão.

Nesta dissertação é apresentada uma metodologia que utiliza a teoria dos conjuntos nebulosos para modelagem das incertezas presentes nos indicadores que irão compor um índice de priorização para o mapeamento sistemático.

## 1.2 Motivação

Utilizando técnicas de análise espacial, apresentar um mapa indicando que áreas são favoráveis ao mapeamento sistemático tanto para atualização como para complementação. Contribuir assim, com a geração de um mapa que aponte áreas prioritárias para mapeamento sistemático.

## 1.3 Justificativa

Orientar esforços para atualização e complementação do mapeamento sistemático nacional visando a aplicação adequada de recursos onde há demanda por informações cartográficas para auxílio a estudos e projetos de infra-estrutura. Servir como fonte de consulta para outras pesquisas semelhantes.

## 1.4 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é descrever uma aplicação da teoria dos conjuntos nebulosos utilizando ferramentas de análise espacial, indicando assim, que áreas são potencialmente favoráveis para o mapeamento sistemático, tanto para atualização quanto para complementação do mapeamento.

## 1.5 Objetivos Específicos

Descrever o mapeamento sistemático na escala 1/50.000 e 1/100.000, possibilitar o entendimento de um Sistema de Inferência Fuzzy aplicado à modelagem de incertezas, criar um mapa identificando as áreas favoráveis ao mapeamento sistemático e permitir que a metodologia seja aplicada em outras pesquisas semelhantes.

## 1.6 Apresentação do trabalho

A dissertação está estruturada em 7 capítulos, com seus conteúdos resumidos na forma abaixo.

O primeiro capítulo é destinado à parte introdutória do trabalho e apresenta também a motivação, justificativa e objetivos.

O segundo capítulo descreve a situação do mapeamento sistemático brasileiro e procura situar o leitor no contexto do tema tratado. Descreve também o que significa desatualização cartográfica e apresenta a o projeto de atualização do mapeamento sistemático dos EUA, uma importante fonte de consulta.

O terceiro capítulo sobre Lógica Nebulosa aborda os fundamentos teóricos relacionados servindo para embasamento dos conhecimentos mencionados e para descrever as técnicas e ferramentas utilizadas para a elaboração de um SIF – Sistema de Inferência Fuzzy.

O quarto capítulo conceitua o que é indicador e também as justificativas para escolha dos indicadores selecionados.

O quinto capítulo conceitua e descreve um Sistema de Suporte à Decisão para Mapeamento Sistemático.

O sexto capítulo apresenta o estudo de caso descrevendo os detalhes sobre o método proposto para se obter os mapas de priorização de atualização e complementação do mapeamento e as considerações finais.

Finalmente o sétimo e último capítulo apresenta os pontos conclusivos do trabalho, e destaca também as perspectivas futuras e as contribuições já elaboradas.

## 2. MAPEAMENTO SISTEMÁTICO BRASILEIRO

### 2.1 Introdução

O mapeamento sistemático contempla a elaboração de mapas e cartas, em escalas geográfica e topográfica, as quais representam os elementos naturais, artificiais e especiais (rede hidrográfica, curvas de nível, sistema de transporte, localidades, limites, edificações, curvas batimétricas, coleta de topônimos , dentre outras) existentes no território nacional.

Pode-se afirmar que o mapeamento sistemático é a base para todos os trabalhos de planejamento.

Os mapas e cartas, em conjunto com as informações sociais, econômicas e de recursos naturais, permitem estabelecer e delimitar pólos de desenvolvimento e de ocupação racional, pela possibilidade de referência espacial desses eventos e da delimitação de suas áreas de ocorrência, sem agressão ao meio ambiente, fornecendo uma boa avaliação de prazos e custos envolvidos nas diversas ações.

Segundo o Decreto Lei 243 (BRASIL, 1967), a Cartografia Sistemática tem por fim a representação do espaço territorial brasileiro por meio de cartas, elaboradas seletiva e progressivamente, *consoante prioridades conjunturais*, segundo os padrões cartográficos terrestre, náutico e aeronáutico.

A Cartografia Sistemática Terrestre Básica tem por fim a representação da área terrestre nacional, através de séries de cartas gerais contínuas, homogêneas e articuladas, nas escalas padrão abaixo discriminadas :

- Série de 1:1.000.000

Integra a Carta Internacional ao Milionésimo (Carta - CIM), permite a visão de conjunto dos acidentes naturais e artificiais, em área considerável do nosso território. Constituem-se de estudos e análises de aspectos gerais e estratégicos e propiciam ainda a base geográfica para elaboração de outros tipos de mapeamentos.

- Série de 1:500.000

Destina-se aos mesmos fins que os da Carta -CIM, proporcionando, entretanto, maiores detalhes para o estudo e planejamento regionais.



Tanto a série de 1:1.000.000 como a de 1:500.000 são elaboradas através de processos de compilação de documentos cartográficos já existentes e o seu nível técnico depende fundamentalmente da documentação utilizada. Essas séries são também denominadas de escalas geográficas.

- Série de 1:250.000

Objetiva uma visão de conjunto do terreno, baseando-se em levantamento aerofotogramétrico e apoio de campo. Destina-se a planejamentos gerais e a estratégias localizadas.

- Série de 1:100.000

Visa a representação de áreas medianamente desenvolvidas ou de interesse da Segurança Nacional. É um documento cartográfico básico para o planejamento setorial de obras de infra-estrutura sócio-econômica tais como : energia, transporte, comunicações, etc.

São cartas baseadas em levantamentos aerofotogramétricos, com controle terrestre planialtimétrico. São muito utilizadas para geologia e geomorfologia.

- Série de 1:50.000

Esta série retrata zonas densamente povoadas, com paisagem natural bastante trabalhada. Contém rigoroso padrão de precisão calcado em levantamentos aerofotogramétricos e controle terrestre planialtimétrico. Proporciona elementos para o planejamento sócio-econômico, para elaboração de projetos setoriais específicos e para atividades militares operacionais.

- Série de 1:25.000

Restrita a áreas específicas, fornece detalhes topográficos que permitem estudos para implantação dos mais diversos projetos em vários setores de atividades, tais como, agricultura, energia, transportes, etc, permitindo o desenvolvimento tático de operações militares. Apoia-se nas mesmas bases de confecção da escala 1:50.000, sendo porém , mais detalhada.

As escalas de mapeamento cadastral não serão analisadas nessa dissertação, uma vez que o estudo contempla somente as escalas de mapeamento sistemático.

## 2.2 Situação atual

A situação do mapeamento sistemático brasileiro há muito tempo não acompanha as demandas impostas pela sociedade. Essas demandas, nos dias atuais, são exigidas em face das necessidades de desenvolvimento do País, bem como no significativo aumento dos usuários.

Qual seria então a situação ideal? Com certeza mapear o que falta do território e atualizar o mapeamento já realizado, buscando também sua melhoria geométrica. O problema é que os custos desta empreitada seriam muito altos, e dentro dos contingenciamentos de recursos oriundos de planos de governo, praticamente impossíveis.

A tab.1 mostra as diferentes escalas de mapeamento sistemático, o número total de folhas para cobrir todo o território o número de folhas executadas e o que representa em termos percentuais.

<b>Situação do mapeamento sistemático até Dez/2003</b>			
Escala	Total de folhas do Brasil	Total de folhas executadas	% executado
1:25.000	48713	492	1,01
1:50.000	11849	1647	13,9
1:100.000	3036	2289	75,39
1:250.000	550	444	80,72
1:500.000	184	68	36,9
1:1.000.000	46	46	100

Tab.1 - Situação do mapeamento sistemático      Fonte : Mapa Índice (IBGE, 2003)

Analisando a tab.1 e acrescentando algumas informações técnicas, pode-se concluir que :

1. é inexpressiva a produção de folhas na escala 1:25.000, embora os insumos, para sua elaboração sejam praticamente os mesmos da escala 1:50.000.
2. pela importância e custos, produziram-se mais folhas nas escalas de 1:50.000 e 1:100.000 sendo que esses mapeamentos são complementares e algumas vezes coincidentes.

3. as escalas de 1:250.000, 1:500.000 e 1:1.000.000 são derivadas de compilações elaboradas a partir das escalas de 1:50.000 e 1:100.000. Existem folhas 1/250.000 que foram restituídas diretamente a partir das fotos aéreas.
4. pode-se concluir que devido a quantidade produzida, detalhamento e demanda, os mapeamentos nas escalas de 1:50.000 e 1:100.000 são considerados como de referência, e portanto, objeto de estudos para complementação e atualização.

As figuras 1 e 2 mostram a distribuição dos mapeamentos nas escalas de 1:50.000 e 1:100.000.

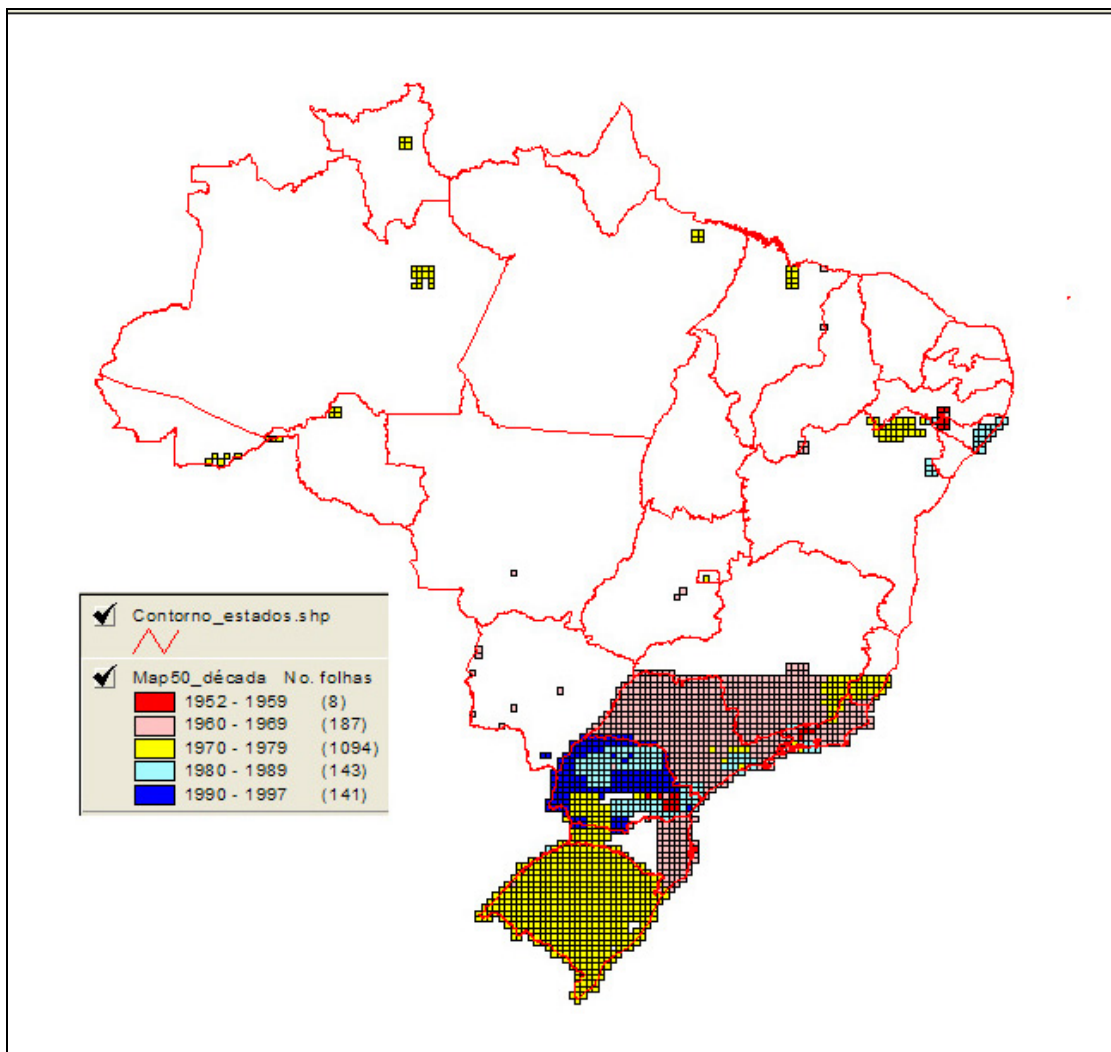


Fig. 1 - Distribuição do Mapeamento na escala 1:50.000 Fonte: IBGE,2003

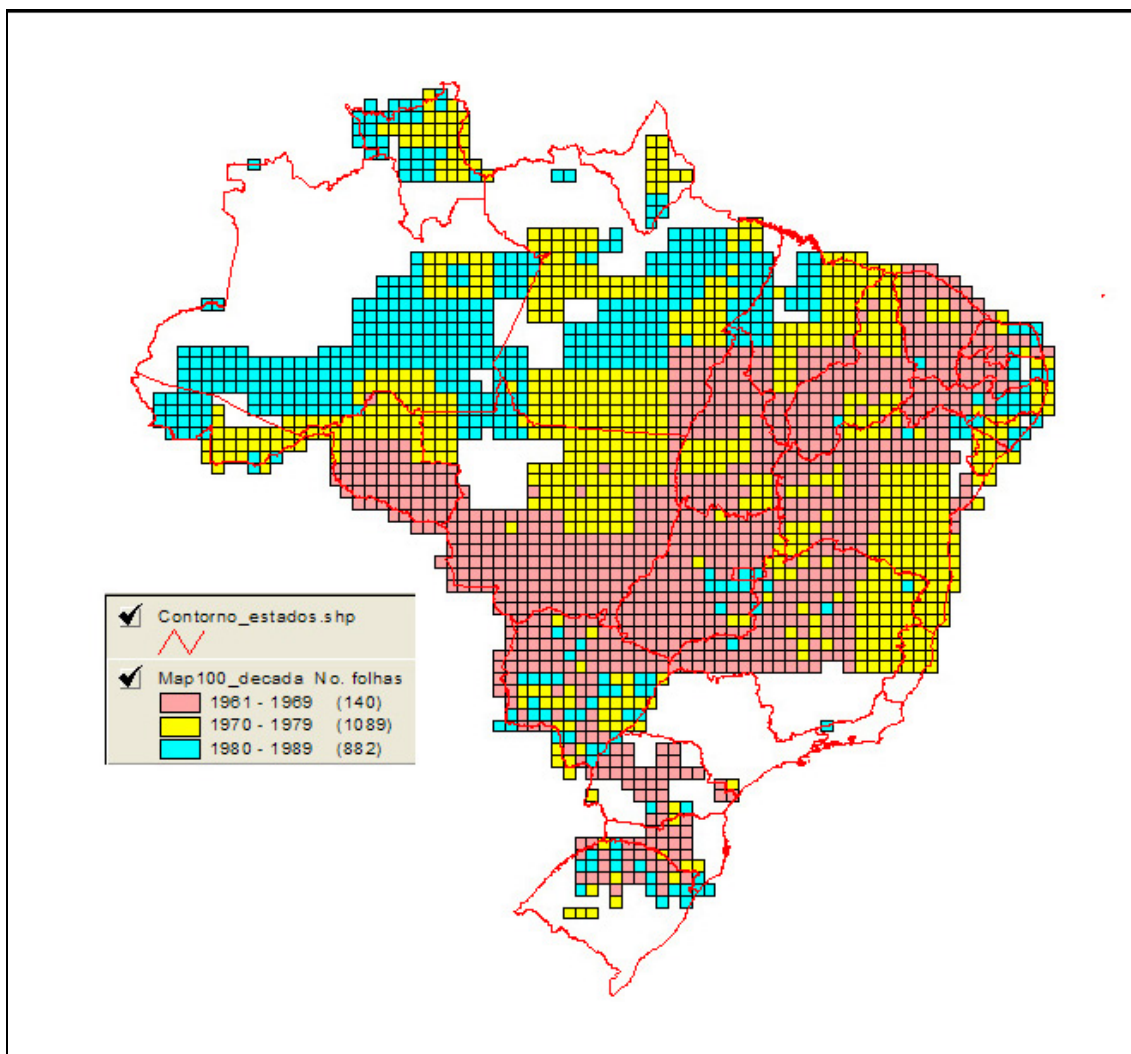


Fig. 2 - Distribuição do Mapeamento na escala 1:100.000

Fonte : Mapa Índice Digital (IBGE, 2003)

Nesse trabalho optou-se em criar um mapa único relativo a união dos mapeamentos 1/50.000 e 1/100.000. Existe um limite entre os dois mapeamentos e também algumas áreas de superposição entre as duas escalas, nesse caso prevalece a escala de 1/50.000 por ter um nível maior de detalhamento e acurácia.

O Mapa resultante conforme a figura 4, mostra também as áreas de vazio cartográfico que por definição são as regiões nunca mapeadas nas escalas de 1/50.000 e 1/100.000 e situadas na sua maior parte na região norte do Brasil.

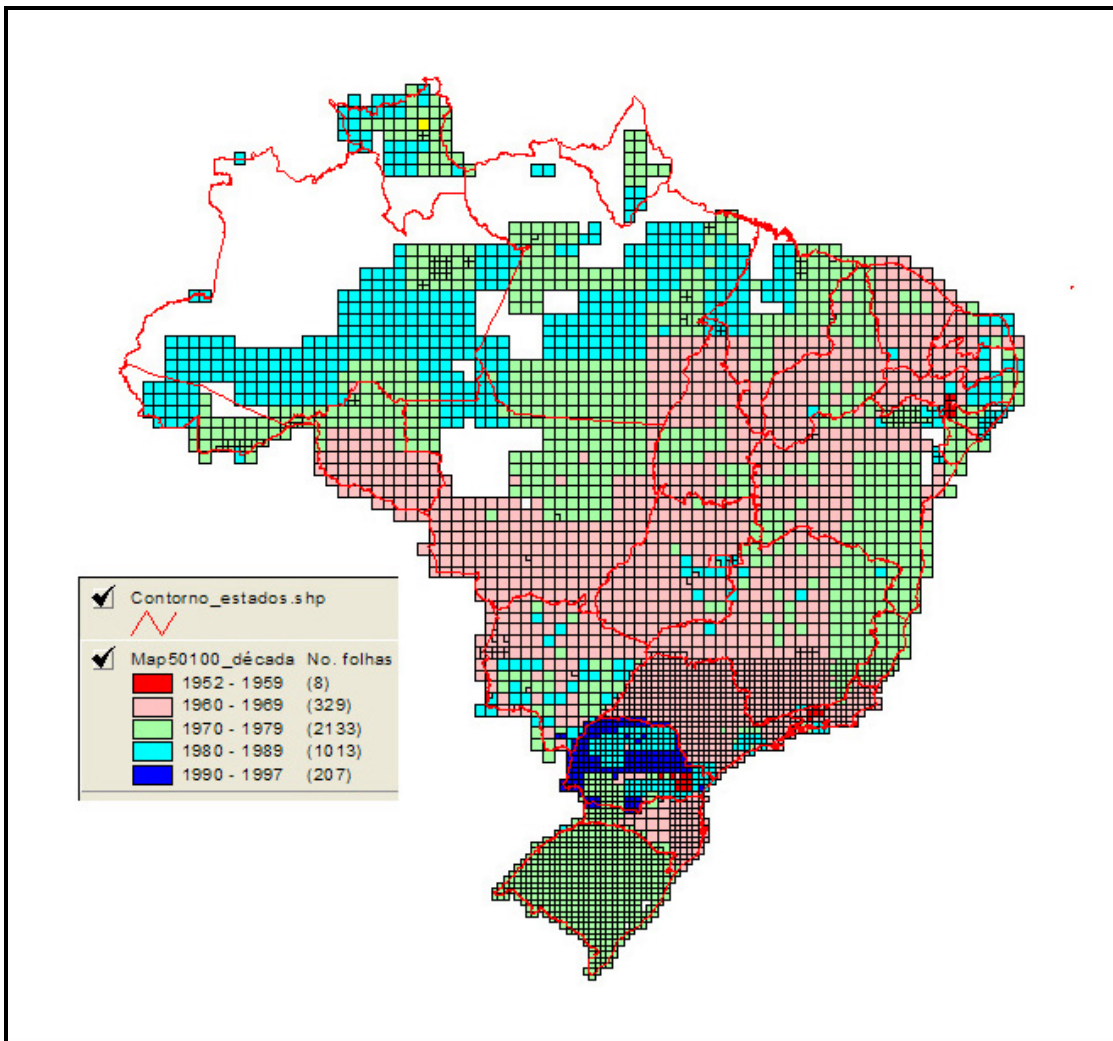


Fig. 3 - Mapeamento 1/50.000 + 1/100.000

## 2.3 Definição de grau de desatualização

Segundo LAZZAROTTO et al,(2000), o mapeamento pode ser entendido como se fosse um retrato de uma porção do espaço geográfico. Assim, qualquer alteração ocasionada neste espaço após ter sido “retratado” caracteriza uma desatualização no mapeamento.

Sabendo-se que o espaço geográfico está em constante mutação, quer seja pelos agentes naturais (chuvas, ventos e etc) ou pelos agentes externos como a ação do homem, animais e plantas, podemos entender que qualquer mapa sempre apresenta um certo nível de desatualização. Porém, para os objetivos do mapeamento em si, apenas será caracterizada uma desatualização cartográfica, quando a utilização das informações mapeadas implicarem em prejuízo decorrente das mudanças ocorridas no meio físico.

Isto implica entender que as alterações do meio físico nem sempre irão sugerir a necessidade de uma atualização cartográfica. A mesma autora ainda classifica a desatualização em quatro categorias :

1. Não representativa – indiferente;

Estas alterações se referem às informações que não constam na carta, ou seja, as alterações do meio ocorreram nas feições que não foram mapeadas.

2. Representativa, porém, insignificante;

Estas alterações se referem às informações constantes na carta, porém, as alterações não atingiram níveis considerados prejudiciais à sua utilização. Por exemplo, um mapa rodoviário onde pequenas alterações em feições como vegetação e edificações não irão alterar o principal objetivo do mapa.

3. Representativa e significativa;

As alterações ocorreram nas informações mapeadas e de interesse relevante na utilização da carta, porém, sua magnitude ainda pode ser considerada pequena nas tarefas que se utilizam destas informações. Considerando o exemplo do mapa rodoviário, pode-se afirmar que o aparecimento de algumas poucas vias secundárias pode não comprometer os serviços dependentes extraídos do mapa. Embora a representação destas novas vias faça parte do objetivo central do mapa, elas não justificam a necessidade de uma atualização cartográfica até que a quantidade ou utilização destas, venha a ser relevante para as tarefas dependentes do mapa.

Desta mesma forma constata-se como desnecessária a atualização cartográfica para até um certo nível de crescimento da população.

4. Representativa e imperativa;

Finalmente para este caso, as alterações do meio físico, ocorreram nas informações mapeadas de interesse na utilização do mapa, ou seja, se estas tarefas continuarem a ser executadas sem considerar as alterações ocorridas no meio, elas não poderão atingir o nível de aceitação esperado. Por exemplo, quando o crescimento populacional já provocou uma alteração tal no meio que passou a ser relevante às tarefas dependentes das informações mapeadas.

## 2.4 O USGS e a desatualização do mapeamento do EUA

O Programa de revisão do mapeamento topográfico no Estados Unidos é gerenciado pelo USGS (United States Geological Survey) que é a instituição responsável pela execução e manutenção do Mapeamento Topográfico Padrão composto de aproximadamente 53.000 folhas (7.5" x 7.5") na escala de 1/24.000.

Segundo MOORE,(2000), esses mapas foram produzidos entre 1940 e 1992 e a partir de 1960 foi incrementado o programa de revisão e atualização, conforme o mostrado na figura 5.

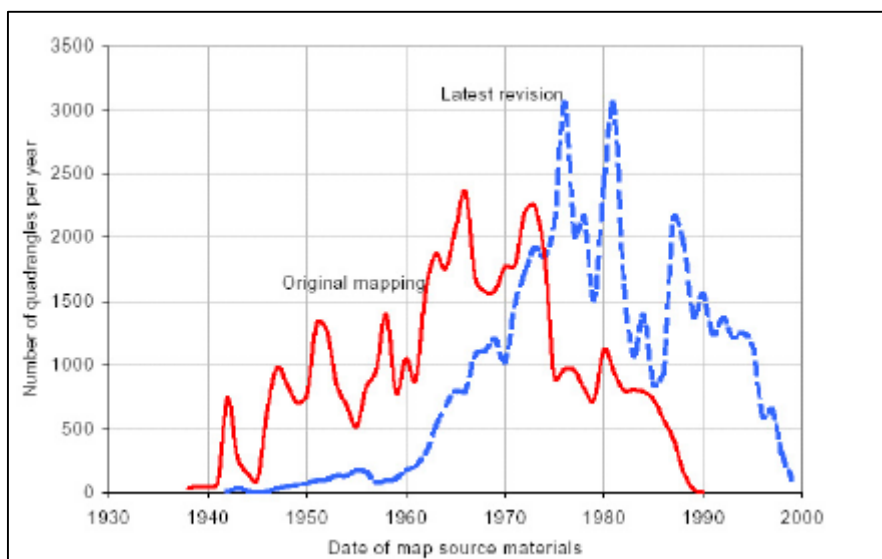


Fig.4 – Produção de folhas de Mapeamento e atualização Fonte: (MOORE,2000)

O programa de revisão não foi concebido para fazer novos mapeamentos. A maioria das revisões, comumente chamada de fotorevisão, utiliza fontes secundárias de informação, como por exemplo:

- a partir da DOQ (Digital Ortofoto Quadrangles), a geometria é controlada e algumas feições interpretadas;
- a maioria das feições são interpretadas a partir de pares estereoscópios originados do NAPP (National Aerial Photograph Program);
- limites e toponímias são coletados a partir de banco de dados federais, outros mapas e agências estaduais e municipais de mapeamento.

O processo de revisão se subdivide em 4 tipos :

1. Revisão mínima: correção dos limites e erros informados pelos usuários;

2. Revisão básica: atualização das feições utilizando ortofotos ou fotos aéreas;
3. Revisão completa: revisão de todas as feições e trabalho de campo (reambulação). Este tipo de revisão tem um custo elevado e raramente é executado;
4. Revisão simples: é resultado de um convênio entre o USGS e o U.S. Department of Agriculture Forest Service, e usa procedimentos similares a revisão básica. Abrange um total de 10.000 folhas da área de interesse do FS;

Quanto aos critérios para escolha dos mapas que serão revisados os mais importantes são:

- prioridade nas áreas onde existem convênios com outras agências para divisão de custos;
- uma lista com as 5.000 folhas “mais vendidas”. Como essas folhas têm grande demanda recebem prioridade nos trabalhos de revisão. Essa revisão independe da participação de outras agências.

Outros critérios são:

- promover uma melhoria da acurácia devido a antigos processos de aerotriangulação, tais como, triangulação radial, orientação progressiva e Multiplex;
- existência de material novo especialmente fotos aéreas e ortofotos. Normalmente são utilizadas fotos com idade máxima de 5 anos;
- erros informados pelos usuários;

Existe uma classificação do mapeamento topográfico quanto ao tempo que considerou como antigo aquele mapeamento originado a partir de fotos anteriores a 1970 e como mapeamento novo, aquele originado de fotos obtidas a partir de 1990.

Quanto aos custos do programa de revisão, em 1999 foram gastos um total de U\$3.000.000,00, sendo o custo unitário da revisão mínima de U\$1.110,00 e o da revisão básica U\$17.000,00 consumindo um total de 280 horas por folha. Entre 1997 e 2000 uma média de 1.200 folhas foram atualizadas(MOORE et al, 2000).



### 3. LÓGICA NEBULOSA

#### 3.1 Introdução

A teoria dos conjuntos nebulosos é o modelo mais tradicional para o tratamento da informação imprecisa e vaga. Este modelo, tem por objetivo permitir graduações na pertinência de um elemento de dada classe, ou seja de possibilitar a um elemento de pertencer com maior ou menor intensidade àquela classe . Basicamente, isso se faz quando o grau de pertinência de um elemento ao conjunto, que na teoria dos conjuntos "clássica" assume apenas os valores 0 e 1, passa a ser dado por um valor no intervalo dos números reais  $[0,1]$  (BITTENCOURT,2001).

O aspecto mais notável dessa metodologia é a possibilidade de se capturar, em um modelo matemático, conceitos intuitivos como graus de satisfação, conforto, adequação, etc. (OLIVEIRA JR.,1999).

Desenvolvida nos anos 60 por Loft Zadeh (ZADEH,1965), e utilizada nas indústrias a partir dos anos 70, sistemas que utilizam a lógica nebulosa, difusa ou “fuzzy” mostraram-se poderosos aliados no que tange a facilidade de configuração em relação aos métodos tradicionais de controle e tomada de decisão, apresentando resultados expressivos ao tratar os problemas sob um novo paradigma. Diferente da tradicional lógica *booleana*, que trata o mundo real como tendo apenas duas classes (verdadeiro ou falso), a nebulosa atribui as variáveis reais (temperatura, pressão, tensão, etc) classes de conjuntos associados a termos linguísticos (alto, baixo, médio, quase baixo). A grande vantagem dessa metodologia é a preservação do dado, ou seja, descreve de maneira satisfatória a riqueza das informações fornecidas .

Se tomarmos, por exemplo, um subconjunto formado pela temperatura ambiente, não há limite preciso para definir a partir de que medidas uma temperatura pode ser considerada fria , quente ou mediana e assim definir com clareza todos os elementos pertencentes a esse subconjunto. Para lidar com esse problema, Loft Zadeh (ZADEH,1965) desenvolveu a Teoria dos Conjuntos Nebulosos voltada ao estudo dos princípios formais do aspecto vago da informação.

A teoria dos conjuntos nebulosos, quando utilizada em um contexto lógico, como o de sistemas baseados em conhecimento, é conhecida como lógica nebulosa, lógica difusa ou lógica "fuzzy"(SANDRI et al,1999).

### 3.2 Conceitos de Conjunto nebuloso e função de pertinência

Segundo OLIVEIRA JR.(1999), o conceito de conjunto nebuloso (*fuzzy set*) foi sintetizado com o objetivo de generalizar a idéia representada pelos conjuntos ordinários, que podem ser denominados como *abruptos* (*crisp sets*, na literatura internacional).

O conjunto nebuloso pode ser entendido como uma espécie de predicado lógico cujos valores percorrem o intervalo  $[0,1]$ . A seguir, algumas considerações que demonstrarão a simplicidade da idéia básica.

A função característica de um conjunto  $A \subseteq X$  assume o valor 1 em elementos de  $A$  e 0 em elementos  $X - A$ , onde:

$X$  = conjunto universo

$C[A]: X \rightarrow \{0, 1\}$ , é definida por

$C[A](v) = 1$  para  $v \in A$

0 para  $v \notin A$

$X - A = \{v: v \in X \wedge v \notin A\}$

Assim, observamos que:

1.  $C[A]$  só assume valores em  $\{0, 1\}$ ,
2. A transição da condição de pertinência para a de não-pertinência (ou vice-versa) é abrupta.

Agora se  $C[A]$  se estender a  $[0, 1]$ , obtém-se um conjunto nebuloso, em que se pode encontrar elementos que pertencem e não pertencem, simultâneamente, ao conjunto.

A função de pertinência é a curva que define como cada ponto de espaço de entrada é mapeado para um valor de pertinência entre 0 e 1.

Seja  $X$  um conjunto arbitrário, denominado universo de discurso, e  $A \subseteq X$  um subconjunto qualquer, um conjunto nebuloso é um par  $(A, \mu_A(x))$ , sendo

$m_A(x): X \rightarrow [0, 1]$  uma função de pertinência, que retrata o grau em que os elementos do conjunto ordinário A pertencem ao conjunto nebuloso (A,  $m_A(x)$ ).

Como exemplo, a figura 6 mostra a representação gráfica do que seria o conjunto nebuloso dos homens de meia idade.

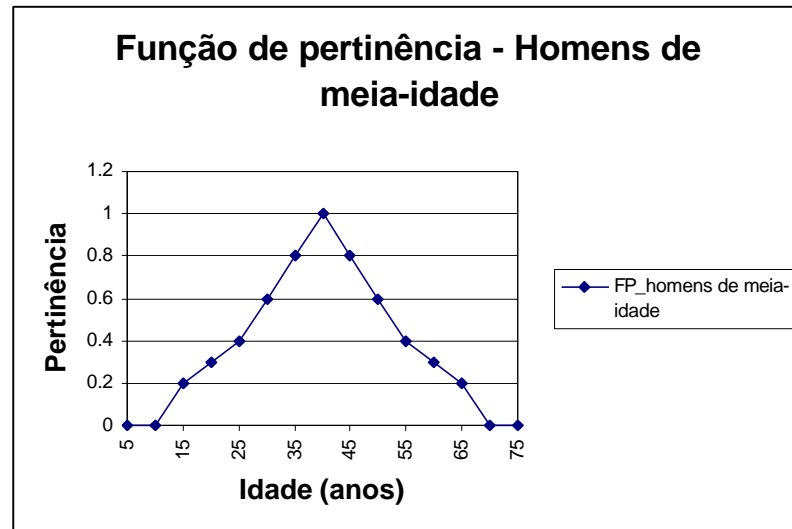


Fig.5 - Função de pertinência - Homens de meia-idade

O conjunto seria formado pelos seguintes pares:

$V = \{0/5; 0/10; 0,2/15; 0,3/20; 0,4/25; 0,6/30; 0,8/35; 1/40; 0,8/45; 0,6/50; 0,4/55; 0,3/60; 0,2/65; 0/70; 0/75\}$

Pode-se concluir que um conjunto fuzzy é totalmente caracterizado por sua função de pertinência.

### 3.3 Operações com Conjuntos Nebulosos

Similarmente as operações nos conjuntos "crisp", existe a necessidade de proceder as operações de interseção, união e negação, entre outras, nos conjuntos nebulosos.

### 3.3.1 Operadores

Para definição das operações de união e interseção, Loft Zadeh (ZADEH,1965) utilizou as funções de máximo e de mínimo respectivamente.

Por exemplo, o mínimo ou o máximo de dois elementos,  $a$  e  $b$  é definido por:

$$\begin{aligned} a \wedge b &= \min(a,b) = a \text{ se } a \leq b \\ &= b \text{ se } a > b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a \vee b &= \max(a,b) = a \text{ se } a \geq b \\ &= b \text{ se } a < b \end{aligned}$$

Sejam  $A$  e  $B$  subconjuntos difusos de  $X$ . Sua **união** é um subconjunto difuso  $A \cup B$ , definido por :

$$(A \cup B)(x) = \max(\mathbf{m}_A(x), \mathbf{m}_B(x)) = \mathbf{m}_A(x) \vee \mathbf{m}_B(x), \forall x \in X \text{ onde "}\vee\text{" é utilizado para representar uma disjunção lógica. (OLIVEIRA JR.,1999,p. 37)}$$

Sejam  $A$  e  $B$  subconjuntos difusos de  $X$ . Sua **interseção** é um subconjunto difuso  $A \cap B$ , definido por:

$$(A \cap B)(x) = \min(\mathbf{m}_A(x), \mathbf{m}_B(x)) = \mathbf{m}_A(x) \wedge \mathbf{m}_B(x), \forall x \in X \text{ onde "}\wedge\text{" representar uma conjunção lógica. (OLIVEIRA JR.,1999,p. 37)}$$

Seja  $A$  um subconjunto nebuloso de  $X$ . O **Complemento ou Negação** de  $A$  denotado por  $\text{neg}(A)$  é o conjunto nebuloso definido por  $\text{Neg}(A) = X - A$  ou  $(\text{neg}(A))(x) = 1 - \mathbf{m}_A(x), \forall x \in X$ . (OLIVEIRA JR.,1999, p. 40)

Sejam  $A$  e  $B$  subconjuntos nebulosos de  $X$ , o **produto algébrico** de  $A$  e  $B$ , representado por  $AB$  é definido por:

$$m_{AB}(x) = m_A(x) m_B(x), \forall x \in X \text{ (FONSECA, 2003)}$$

Sejam  $A$  e  $B$  subconjuntos nebulosos de  $X$ , a **soma algébrica** de  $A$  e  $B$ , representada por  $A \oplus B$  é definida pela soma das suas respectivas funções de pertinência menos o seu produto algébrico:

$$m_{A \oplus B}(x) = m_A(x) + m_B(x) - m_{AB}(x), \forall x \in X \text{ (FONSECA, 2003)}$$

Um operador ***gama*** é definido a partir do produto algébrico e da soma algébrica, calculado pela equação:

$$\text{Operador Gama} = (\text{Soma Algébrica})^g * (\text{Produto Algébrico})^{1-g},$$

onde os valores de  $\gamma$  variam no intervalo de 0 a 1, sendo que para  $\gamma=0$  o resultado se iguala ao *produto algébrico fuzzy* enquanto que para  $\gamma=1$  o resultado é o mesmo que o da *soma algébrica fuzzy*. (BONHAM-CARTER,1999,p.297)

As operações de união e interseção, são casos específicos de situações mais abrangentes de agregação de conjuntos nebulosos. (FONSECA,2003)

Para generalização dos conceitos de ***união*** e ***interseção***, utilizam-se as t-conormas e t-normas, respectivamente.(SOUZA,2001)

As t-normas (T) generalizam o conceito da operação de interseção, e devem satisfazer os axiomas:

1. condições de contorno :  $x \text{ T } 0 = 0, \forall x \in [0,1]$   
 $x \text{ T } 1 = x, \forall x \in [0,1]$
2. Propriedade comutativa :  $x \text{ T } y = y \text{ T } x$
3. Propriedade associativa :  $x \text{ T } (y \text{ T } z) = (x \text{ T } y) \text{ T } z$
4. Condições monotônicas : para  $z \text{ T } w \leq x \text{ T } y$  se  $z \leq x$  e  $w \leq y$

Como exemplos das t-normas tem-se os operadores ***minímo*** e ***produto algébrico***, entre outros.

As t-conormas ( $\wedge$ ) generalizam o conceito da operação de união, e devem satisfazer os axiomas:

1. condições de contorno :  $x \wedge 0 = x, \forall x \in [0,1]$   
 $x \wedge 1 = 1, \forall x \in [0,1]$
2. Propriedade comutativa :  $x \wedge y = y \wedge x$
3. Propriedade associativa :  $x \wedge (y \wedge z) = (x \wedge y) \wedge z$
4. Condições monotônicas : para  $z \wedge w \leq x \wedge y$  se  $z \leq x$  e  $w \leq y$

Como exemplos das t-conormas tem-se os operadores ***máximo*** e ***soma algébrica***, entre outros.

O operador ***gama*** satisfaz tanto os axiomas da t-norma como da t-conorma. (ALMEIDA,1999, p.4)

É importante notar que as t-normas e t-conormas se reduzem aos operadores clássicos de união e interseção quando os conjuntos são "crisp".(SANDRI et al,1999)

### 3.3.2 Propriedades Algébricas

Segundo Tanscheit (TANSCHUIT,1999), utilizando as definições de ***união***, ***interseção*** e ***complemento***, é possível verificar que as seguintes propriedades algébricas de conjuntos ordinários também valem para conjuntos fuzzy:

Involução :  $(A')' = A$

Idempotência :  $A \cap A = A \quad A \cup A = A$

Comutatividade :  $A \cap B = B \cap A \quad A \cup B = B \cup A$

Associatividade :  $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C) \quad (A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$

Distributividade :  $(A \cap B) \cup C = (A \cap B) \cup (A \cap C)$

$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$

Absorção :  $A \cap (A \cup B) = A \quad A \cup (A \cap B) = A$

Lei Transitiva :  $\text{se } A \subset B \text{ e } B \subset C \Rightarrow A \subset C$

Leis de De Morgan :  $(A \cap B)' = A' \cup B' \quad (A \cup B)' = A' \cap B'$

Observando que as funções de pertinência dos conjuntos vazio e universo são definidas como sendo 0 e 1, respectivamente, são válidas também as seguintes propriedades :

$A \cap \emptyset = \emptyset$  e  $A \cap X = A$

$A \cup \emptyset = A$  e  $A \cup X = X$  onde X é o universo

As propriedades de conjuntos clássicos  $A \cap A' = \emptyset$  e  $A \cup A' = X$  **não** se verificam para conjuntos fuzzy :

$$\mathbf{m}_{A \cap A'}(x) = \mathbf{m}_A(x) \wedge (1 - \mathbf{m}_A(x)) \neq 0 \Rightarrow A \cap A' \neq \emptyset \quad (1)$$

$$\mathbf{m}_{A \cup A'}(x) = \mathbf{m}_A(x) \vee (1 - \mathbf{m}_A(x)) \neq 1 \Rightarrow A \cup A' \neq X \quad (2)$$

As duas propriedades podem ser comprovadas graficamente :

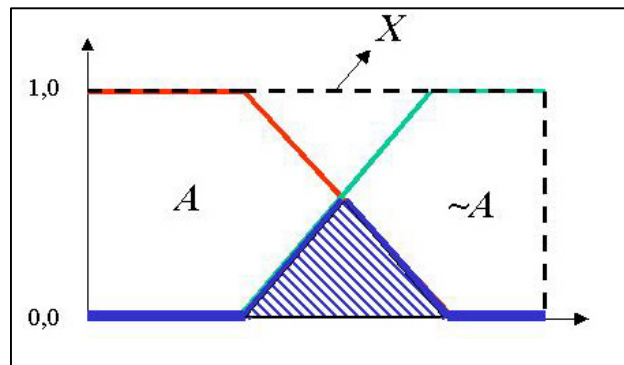


Fig. 6 - Interseção de conjuntos nebulosos

Caso clássico :  $A \cap \sim A = \emptyset$

Caso fuzzy :  $A \cap \sim A \neq \emptyset$

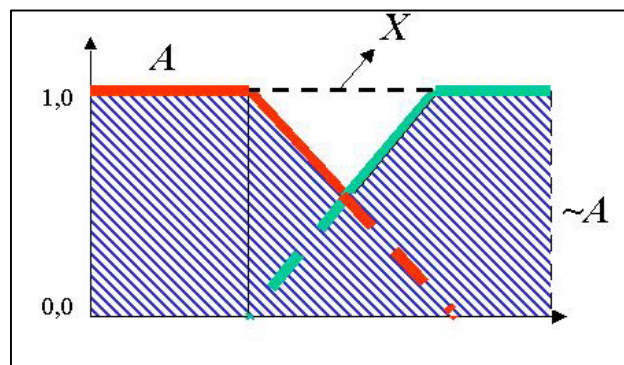


Fig. 7 - União de conjuntos nebulosos

Caso clássico :  $A \cup \sim A = X$

Caso fuzzy :  $A \cup \sim A \neq X$

### 3.3.3 Variáveis Linguísticas

Segundo Tanscheit (TANSCHUIT,1999), uma **variável fuzzy** é uma variável cujos valores são rótulos (labels) de conjuntos fuzzy. Por exemplo, a temperatura de um dado processo poderia ser uma variável fuzzy assumindo valores *pequena, média, alta*, etc. Estes valores são descritos por intermédio de conjuntos fuzzy. Generalizando, os valores de uma variável podem ser sentenças em uma linguagem especificada. Neste caso, a variável é uma variável linguística. Para ilustrar, os valores da variável fuzzy temperatura poderiam ser expressos como *alta, não alta, muito alta, bastante alta, não*

*muito alta, alta mas não muito alta.* Neste caso, os valores fuzzy são sentenças formadas a partir do rótulo *alta*, da negação *não*, dos conectivos *e* e *mas*, e dos modificadores *muito* e *bastante*.

A principal função das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos ou mal definidos. Em essência, a utilização do tipo de descrição linguística empregada por seres humanos, e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistemas que são muito complexos para serem analisados através de termos matemáticos convencionais. Quem quantifica e descreve as variáveis linguísticas é o especialista.

### 3.3.4 Funções de implicação ou proposição difusa

Uma declaração de implicação fuzzy ou declaração condicional fuzzy descreve uma relação entre variáveis linguísticas. Consideremos dois conjuntos fuzzy  $A$  e  $B$ , representando valores linguísticos nos universos  $X$  e  $Y$ , respectivamente. Uma declaração condicional fuzzy da forma SE  $A$  ENTÃO  $B$  é definida matematicamente como:

$$R : \text{SE } A \text{ ENTÃO } B = A \rightarrow B = A \times B$$

A relação fuzzy  $A \times B$  denota, neste caso, a implicação  $A \rightarrow B$  no produto cartesiano dos dois universos  $X \times Y = \{(x, y) \mid x \in X, y \in Y\}$ . (TANSCHKEIT, 1999)

A combinação de várias regras recebe a denominação de base de regras. As funções de pertinência e as regras, normalmente são definidas com ajuda de especialistas.

Outro termo que denota função de implicação é *proposição difusa*, que segundo OLIVEIRA JR.,(1999) expressa relações entre variáveis linguísticas e conjuntos difusos, podendo apresentar composições por meio de conectivos e transformadores.

A avaliação de proposições consiste em aferir o nível de "verdade" ou pertinência apresentado em relação a uma dada situação.

Segundo TANSCHKEIT(1999), os operadores de implicação mais utilizadas são *mínimo* e *produto algébrico*. Para sentenças com um antecedente apenas (do tipo SE  $A$  ENTÃO  $B$ ), tem-se:

$$\text{mínimo} : \quad m_b(x, y) = \min(m_a(x), m_b(y)) = m_a(x) \dot{\cup} m_b(y)$$



*produto* :  $\mathbf{m}_B(x, y) = \mathbf{m}_A(x) \times \mathbf{m}_B(y)$

### 3.3.5 Processo de Agregação

Agregação é o processo em que os conjuntos nebulosos que representam a saída de cada regra são combinados em um único conjunto nebuloso. A entrada do processo de agregação é a lista das funções de saída retornadas pelo processo de implicação de cada regra.

Uma característica do método de agregação é ser comutativo, ou seja, a ordem de execução das regras não é importante.(MATLAB,2000)

Os métodos de agregação mais difundidos e que têm implementação em programas de computador, são *máximo e soma algébrica*.

### 3.3.6 Defuzzificação

A entrada para o processo de defuzzificação é o conjunto nebuloso resultante do processo de agregação, e a saída um número. O problema é que o mundo físico não "entende" conjuntos nebulosos e logo deve-se gerar grandezas *exatas* que representem ou resumam da melhor maneira possível a informação contida nestes resultados.(OLIVEIRA JR.,1999)

O procedimento compreende a identificação do domínio das variáveis de saída em um correspondente universo de discurso e com a ação de controle nebulosa inferida evolui-se uma ação de controle não nebulosa.(SANDRI et al,1999)

Os métodos de defuzzificação mais utilizados são:

1. Primeiro máximo (SOM): encontra o valor de saída através do ponto em que o grau de pertinência da distribuição da ação de controle atinge o primeiro valor máximo;
2. Método de média dos máximos (MOM): encontra o ponto médio entre os valores que têm o maior grau de pertinência inferido pelas regras;

3. Método do centro de gravidade (COG): fornece a abcissa do centro de massa associado ao gráfico da função de pertinência resultante da fase de inferência.

É largamente utilizado e bastante satisfatório, mas de difícil implementação pois a fase de integração numérica requer substancial esforço computacional.

### 3.4 Sistema de Inferência Fuzzy - SIF

Também chamado de *Controle Nebuloso*, é a técnica que ganhou espaço como área de estudo em diversas instituições de ensino, pesquisa e desenvolvimento do mundo, sendo até hoje uma importante aplicação da teoria dos conjuntos nebulosos. Segundo SANDRI et al,(1999), os tipos de controladores encontrados na literatura são os modelos clássicos, compreendendo o modelo de Mandani e o de Larsen, e os modelos de interpolação, compreendendo o modelo de Takagi - Sugeno e o de Tsukamoto.

Os modelos diferem quanto à forma de representação dos termos na premissa, quanto à representação das ações de controle e quanto aos operadores utilizados para implementação do controlador.

O modelo de Mandani é o mais difundido e também já implementado em vários programas computacionais de SIF, inclusive no Fuzzy Logic Toolbox do MATLAB (MATLAB,2000).

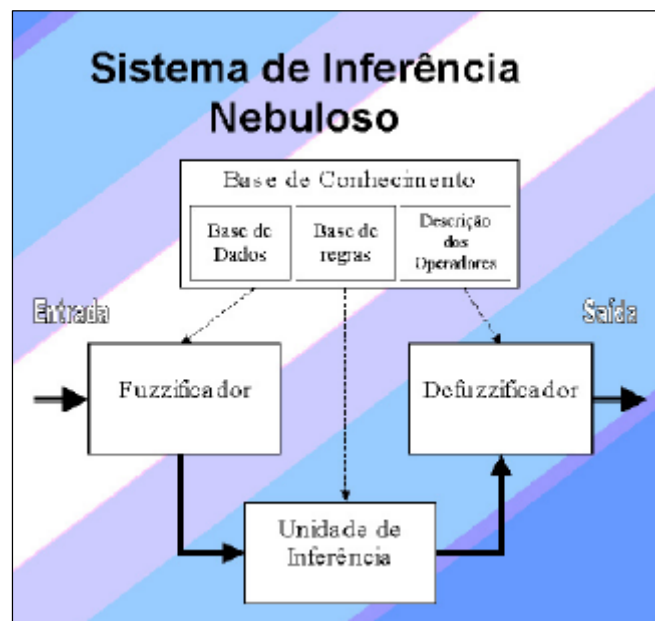
O método de Mandani foi o primeiro SIF construído a partir da Teoria dos Conjuntos Nebulosos. Ele foi proposto por Ebrahim Mandani (MANDANI,1975) baseado em um estudo publicado por Loft Zadeh (ZADEH,1975) sobre sistemas complexos e processos de tomada de decisão. Por todos esses pressupostos, esse será o método aplicado no SIF que será desenvolvido nesta dissertação.

Nos modelos clássicos, dado um conjunto de valores para as variáveis de estado, o sistema obtém um conjunto nebuloso, como valor da variável de controle.

Este conjunto nebuloso representa uma ordenação no conjunto de ações de controle aceitáveis naquele momento. Finalmente, uma ação de controle global é selecionada dentre aquelas aceitáveis em um processo conhecido como defuzzificação.

A figura 8 é a representação da estrutura básica de um SIF. Muitas variações são propostas na literatura de acordo com o objetivo do projeto, mas esse é um modelo

geral o suficiente para a identificação dos módulos que o compõem, fornecendo uma idéia do fluxo da informação.



Fonte: (SOUZA,2002)

Fig.8 – Representação modular de um SIF

## 1. Fuzzificador

Faz a identificação das variáveis de entrada, as quais caracterizam o estado do sistema (variáveis de estado), e as normaliza em um universo de discurso padronizado. Estes valores são então "fuzzificados", com a transformação da entrada determinística "crisp" em graus de pertinência de conjuntos nebulosos para que possam se tornar instâncias das variáveis linguísticas.

## 2. Base de Conhecimento

Consiste de uma base de dados , base de regras e descrição dos operadores, de maneira a caracterizar a estratégia de controle e as suas metas.

Na **base de dados** ficam armazenadas as definições sobre discretização e normalização dos universos de discurso, e as definições das funções de pertinência dos termos nebulosos.

A **base de regras** é a forma como a representação do conhecimento fica armazenado em um Sistema de Inferência Fuzzy (SIF).

A *descrição dos operadores* define que tipo de operações são utilizadas para os operadores de interseção e união entre conjuntos nebulosos.

As regras, juntamente com os dados de entrada, são processados pela unidade de inferência, a qual infere as ações de controle de acordo com o estado do sistema, aplicando a operador de implicação.

Em um dado controlador nebuloso, é importante que existam tantas regras quantas forem necessárias para mapear totalmente as combinações dos termos das variáveis, isto é, que a base seja completa, garantindo que exista sempre ao menos uma regra a ser disparada para qualquer entrada.

Também são essenciais a consistência, onde procura-se evitar a possibilidade de contradições e a interação entre as regras, gerenciada pela função de implicação.

### 3. Unidade de inferência

O procedimento de inferência é usado para agregação das conclusões a partir de um conjunto de regras Fuzzy do tipo SE-ENTÃO (IF-THEN), resultando assim, no conjunto nebuloso de saída. Pode-se afirmar que as regras traduzem o conhecimento enquanto a inferência traduz o modo de raciocinar.(SOUZA,2001)

### 4. Defuzzificador

Após o processo de agregação do conjunto de regras Fuzzy, é gerada uma função de pertinência que estabelece uma decisão de caráter nebuloso. Nesse caso, é necessário efetuar uma interpretação de modo a traduzí-la para um valor determinístico.

Utiliza-se neste caso, o método de determinação do centro de gravidade (COG) ou centro de área (COA), cujo o valor da abcissa é o valor de saída doSIF.

## 4. SELEÇÃO DOS INDICADORES

### 4.1 Conceito de indicador

Entende-se indicadores como elementos formados por um agrupamento e combinação de variáveis de modo a produzir uma nova entidade que possui significado de interesse particular. Por indicadores ainda pode-se entender como sendo índices quantificadores de determinado conceito, fato, ou fenômeno que servem para avaliar, ou seja, atribuir valor a algum elemento de modo a possibilitar uma comparação relativa e o entendimento de sua grandeza (LAZZAROTTO et al, 2002).

### 4.2 Escolha dos indicadores

Através de entrevistas com alguns especialistas e/ou a metodologia descrita nas fontes de referência, foram selecionados 2 indicadores relativos ao mapeamento cartográfico e outros 2 relativos a população municipal.

#### 4.2.1 Indicadores cartográficos

Analisando os estudos de LAZZAROTTO et al, (2002) e MOORE et al, (2000), observa-se que os indicadores fundamentais para a análise do mapeamento cartográfico são a data de obtenção das fotos aéreas e a data de restituição fotogramétrica. No caso da data de restituição, é o processo que ocorre imediatamente após a aerotriangulação, que é o processo que sofreu mudanças muito abruptas em termos de qualidade geométrica. Até o ano de 1973, os processos de aerotriangulação não contavam com a ajuda de computadores, e a partir daí foram incorporados processos computacionais de cálculo e ajustamento, o que sem dúvida melhorou muito a geometria dos mapas.

A fonte dos dados relativos ao mapeamento foi o Mapa Índice Digital do IBGE (IBGE, 2003), nesse produto são listados todos os dados básicos relativos ao mapeamento tais como:

- Índice de nomenclatura
- MI (código sequencial da folha)
- Nome da carta
- Tipo de carta
- Orgão editor

- Situação quanto à encarte
- Ano da última edição
- Número da última edição
- Ano de impressão
- Número da impressão
- Método de produção
- Sistema de projeção
- Meridiano central
- Datum horizontal
- Datum vertical
- Ano do vôo
- Ano da reambulação
- Ano da restituição
- Declinação magnética
- Área da carta
- Forma de disponibilização
- ID

#### 4.2.2 Indicadores municipais

Nesses indicadores houve uma dificuldade em conseguir a convergência de opiniões entre especialistas no assunto. Optou-se portanto em adotar uma visão que indicasse necessidades gerais para escolha desses indicadores.

A população municipal e sua taxa de crescimento têm fundamental importância para a análise de áreas prioritárias de mapeamento. A escolha do indicador de tamanho de população se deve a dois aspectos:

- baseado no que recomenda a Constituição Federal e o Estatuto das Cidades (MC,2004) no seu artigo 182 e parágrafo 1º, municípios com mais de 20.000 habitantes estão obrigados a definir seu planejamento estratégico consolidado no Plano Diretor.

Envolvem nestes estudos levantamentos de dados preexistentes, atualização de dados cartográficos e temáticos, interpretação de fotografias aéreas e imagens de sensoriamento remoto e o suporte a técnica do geoprocessamento, com propósito de gerar novas informações ambientais e orientar trabalhos in loco. Existe também um

ênfoque na questão do reordenamento territorial e o mapeamento da estrutura fundiária.

<b>Classe (mil hab.)</b>	<b>No. de municípios</b>	<b>População (hab.)</b>
< 20	4024	33519756
entre 20 e 50	958	28700747
entre 50 e 100	301	20911053
entre 100 e 250	140	21565904
entre 250 e 500	53	18010960
entre 500 e 1.000	18	12554978
acima de 1.000	13	34327295
<b>TOTAL</b>	<b>5507</b>	<b>169590693</b>

Tab. 2 - Classes de tamanho de população relativos ao censo 2000

Fonte: BIM – Base de informações municipais (IBGEa,2000)

Outro instrumento de planejamento importante é a Agenda 21 Local que incorpora a variável ambiental em um processo de discussão envolvendo a sociedade civil. Torna-se muito difícil promover esses estudos sem bases cartográficas que retratem o município e o seu entorno.

- o segundo aspecto é a importância das cidades médias no crescimento urbano brasileiro. Segundo THOMPSON et al,(1997), o censo demográfico 1991 registrou a continuidade da queda da fecundidade da população brasileira, que, associada a uma relativamente estável taxa de mortalidade, resultou numa generalizada desaceleração no ritmo de crescimento populacional. Adicionalmente, os dados de 1991 explicitam o caráter eminentemente urbano de nossa população e alterações significativas no sistema de cidades nacional. Em 1991, o sistema de cidades nacional, formado por 4491 centros urbanos, tinha como uma de suas marcas a distribuição populacional ainda muito concentrada nas grandes cidades. As 24 maiores cidades do país concentravam 33,6% de toda a população urbana nacional. Na extremidade oposta, os municípios pequenos, com população urbana inferior a 50 mil habitantes, embora totalizassem 93% dos centros urbanos do país, tinham uma participação no total da população urbana de apenas 31,7%. Entre esses dois extremos, nos 293 centros intermediários, cuja população urbana estava entre 50 e 500 mil habitantes, viviam pouco mais de 1/3 da população urbana brasileira. As cidades intermediárias, que em 1970 detinham 19,1% da população urbana nacional, passaram em 1991 a agrupar quase 1/3 desta mesma população.

Com relação ao indicador de crescimento populacional, sua finalidade é expressar a pressão baseada no crescimento da população. A priorização de áreas com altas taxas de crescimento é coerente com a demanda de investimentos de infra-estrutura atrelada a esse crescimento.

<b>Classe (%)</b>	<b>No. de municípios</b>
< 0	1518
entre 0 e 15.5	2335
entre 15.5 e 50	1360
entre 50 e 100	215
acima de 100	79
<b>TOTAL</b>	<b>5507</b>

Tab.3 - Classes para Variação da população entre os censos de 1991 e 2000

Fonte: BIM – Base de informações municipais (IBGEa,2000)

Uma importante análise sobre crescimento populacional no período intercensitário 1991-2000 é feita por VEIGA,(2002), onde ele descreve que acrescentando ao Brasil urbano todos os municípios intermediários, considerando-os como vilas de tipo “rurbano“ que poderão se transformar em centros urbanos, chega-se a um total de 1022 municípios, nos quais residiam no ano de 2000 quase 118 milhões de habitantes. Nesse subconjunto ampliado, o aumento populacional entre 1991 e 2000 foi próximo de 20%, com destaque para as aglomerações não-metropolitanas e para os centros urbanos. Em ambos houve crescimento demográfico um pouco superior.

Mas não se deve deduzir daí, como se faz com extrema frequência, que todos os outros municípios - de pequeno porte e características rurais - tenham sofrido evasão populacional . Isto ocorreu na metade desses municípios. Mas em ¼ deles houve um aumento de populacional de 31,3%, bem superior, portanto, aos que ocorreram no Brasil urbano. E mais do que o dobro do crescimento populacional do Brasil como um todo, que foi de 15,5% no período intercensitário de 1991-2000.

Praticamente nada se sabe sobre os fatores que levaram esses 1109 municípios com características rurais a terem um crescimento populacional tão significativo. Há casos que se explicam pelo dinamismo econômico de micro e pequenas empresas do setor de serviços, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Há casos que se explicam pelo dinamismo político de prefeituras, particularmente no Nordeste. Mas se está muito longe de uma interpretação satisfatória sobre esse fenômeno, espalhado por todo o território nacional.

Mesmo assim, o que já se sabe é suficiente para que se rompa com a visão de que todo o



Brasil rural é formado por municípios que estão se esvaziando. Não é admissível que se considere mais de 90% do território brasileiro, 80% de seus municípios, e 30% de sua população como mero resíduo deixado pela epopéia urbano-industrial da segunda metade do século 20. Pior, não é possível tratá-lo como se nele existissem entre 4.500 e 5.000 cidades imaginárias.

Todavia, o que mais interessa não é comparar a participação demográfica dos espaços mais urbanos, mais rurais ou intermediários. O que importa é entender que o futuro dessas populações dependerá cada vez mais de articulações intermunicipais capazes de diagnosticar as vocações do território que compartilham, formular um plano de desenvolvimento microrregional, e viabilizar seu financiamento com o imprescindível apoio das esferas governamentais superiores. Isso vale tanto para as aglomerações, quanto para as microrregiões. Mas é óbvio que são as microrregiões que não contém aglomerações as que menos estarão preparadas para enfrentar esse desafio. Daí a importância de um plano federal especialmente voltado para a promoção de articulações intermunicipais microrregionais de pequeno porte populacional. Isto é, um programa especialmente voltado ao desenvolvimento sustentável do Brasil rural.

## 5. SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO (SSD) DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO

### 5.1 Conceito de SSD

Também chamados de sistemas de suporte executivos ou estratégicos, é um sistema desenvolvido para atender ao nível estratégico da organização e sua principal característica é a capacidade de proporcionar subsídios para orientar metas, operações, produtos e serviços incluindo as relações que a organização estabelece com o meio ambiente.

Um sistema de apoio (ou de suporte) à decisão é normalmente composto por um banco de dados, um banco de modelos e um subsistema de interface desses bancos aos usuários do sistema.

Um Sistema de Informações Geográfica - SIG pode interagir com um Sistema de Suporte à Decisão de duas maneiras: sob a forma de uma caixa de ferramentas ou de um banco de dados. Como uma caixa de ferramentas, o SIG permite aos planejadores realizar análises espaciais usando funções de geoprocessamento ou de Cartografia, como na recuperação de dados, sobreposição de mapas e análise de redes.

Na interação sob a forma de banco de dados, os tomadores de decisão podem extrair dados do SIG e utilizá-los em programas de modelagem, junto com dados oriundos de outro banco ou de trabalhos de pesquisa (BUENO,2003).

### 5.2 Sistema de Suporte à Decisão do mapeamento sistemático

O sistema previsto para indicar as prioridades do mapeamento sistemático têm como característica o processamento em dois ambientes distintos, no primeiro processa-se as funções de pertinência das variáveis linguísticas dos indicadores selecionados, essa operação ocorre no software MATLAB 6.5.

O segundo ambiente, utilizando o software ARC VIEW 3.2, é onde ocorre a visualização das saídas dos Sistemas de Inferência, traduzidas em mapas que classificam os diferentes graus de prioridade. Utilizando ferramentas de Análise Espacial correlacionam-se esses mapas através de uma operação de interseção booleana

resultando em dois mapas, onde o primeiro indica que folhas são prioritárias para atualização e o segundo mapa, que folhas são prioritárias para complementação dentro das áreas de vazio cartográfico.

Na figura 15 é apresentado um diagrama com as etapas referentes ao Sistema de Suporte à Decisão para o Mapeamento Sistemático.

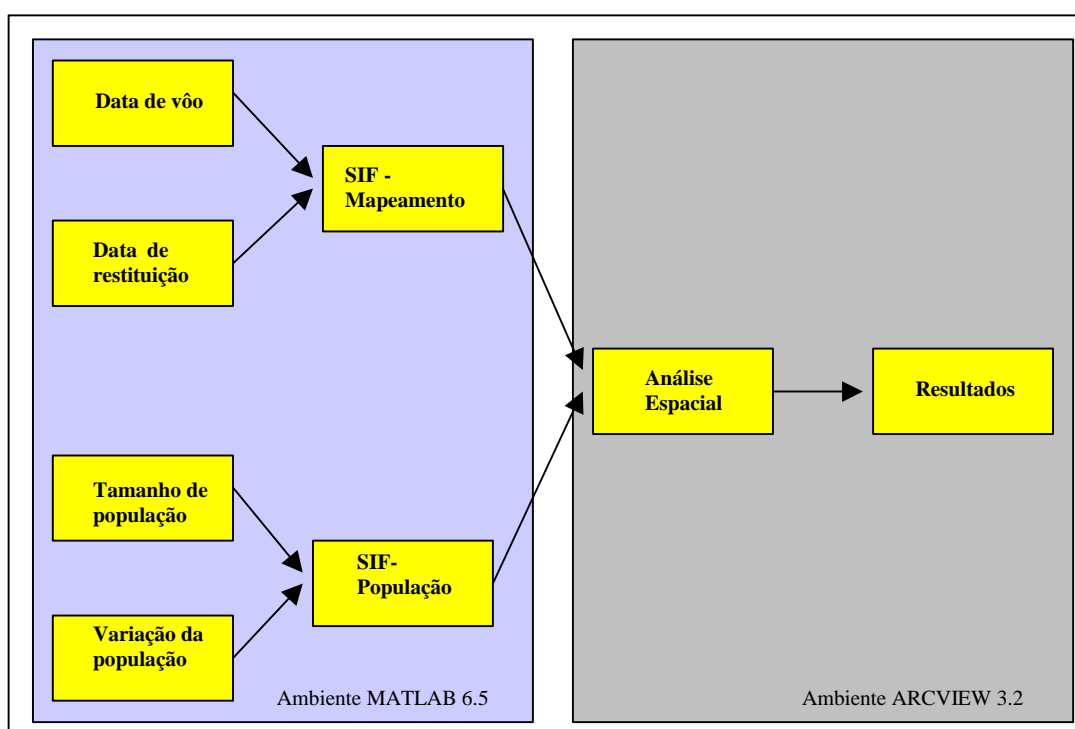


Fig.15 – Diagrama em blocos do SSD para mapeamento sistemático

### 5.3 Elaboração das funções de pertinência e base de regras

O passo mais importante na aplicação da Teoria dos Conjuntos Nebulosos consiste em escolher as funções de pertinência adequadas para representar o fenômeno estudado (FONSECA, 2003).

Conforme mencionado no item 3.2, pode-se concluir que um conjunto fuzzy é totalmente caracterizado por sua função de pertinência.

A Base de regras é a forma como a representação do conhecimento fica armazenado em um Sistema de Inferência Fuzzy (SIF), para isso utiliza-se um diagrama chamado FAM, Fuzzy Associative Memory(KOSKO,1992).

Pode-se afirmar que as regras traduzem o conhecimento enquanto a inferência traduz o modo de raciocinar(SOUZA, 2001).

### 5.3.1 Funções de pertinência (FP) e base de regras para os indicadores de voo aerofotogramétrico

Para facilitar o entendimento do SIF (Sistema de Inferência Fuzzy), apresenta-se primeiramente as FP's de entrada seguidas pela base de regras e finalmente a FP de saída.

- Data do voo:

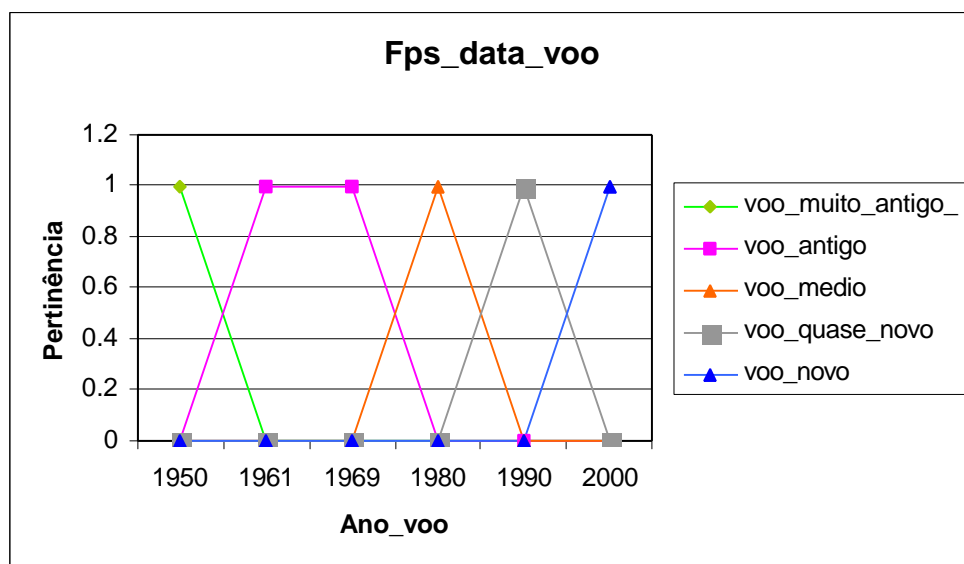


Fig.9 - Funções de pertinência para data do voo

A função de pertinência relativa ao voo antigo tem a forma trapezoidal em função do período escolhido, ou seja, de 1961 à 1969 que foi o período de execução do Projeto AST-10, executado pela USAF – United States Air Force, projeto que fotografou 70% do território brasileiro e que serviu de insumo para a grande maioria do mapeamento produzido não só na década de 60, mas também nas décadas de 70 e 80.

- Data da restituição:

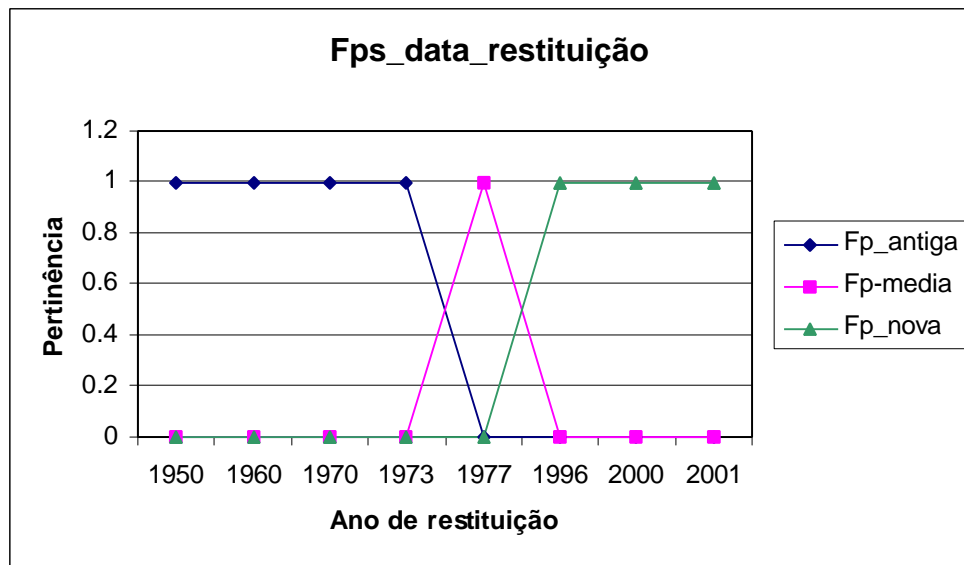


Fig.10 - Funções de pertinência para data de restituição

- Base de regras - Prioridades de mapeamento:

		Data da restituição		
		Antiga	Media	Nova
Data do vôo	Muito antigo	A	A	
	Antigo	A	QA	
	Médio		QA	M
	Quase novo			B
	Novo			B
		A => prioridade alta QA => prioridade quase alta M => prioridade média B => prioridade baixa		

Tab.4 - Base de regras para priorização de mapeamento

- Fp de saída - Prioridades mapeamento :

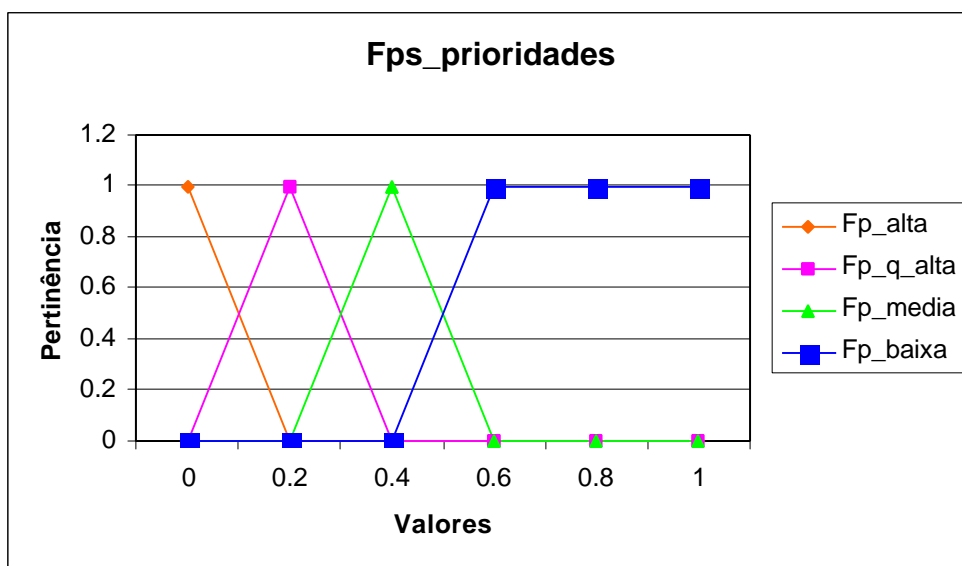


Fig.11 - Funções de pertinência para priorização de atualização

### 5.3.2 Funções de pertinência (FP) e base de regras para os indicadores de população municipal

Para facilitar o entendimento do SIF (Sistema de Inferência Fuzzy), apresenta-se primeiramente as FP's de entrada seguidas pela base de regras e finalmente a FP de saída.

- Tamanho da população:

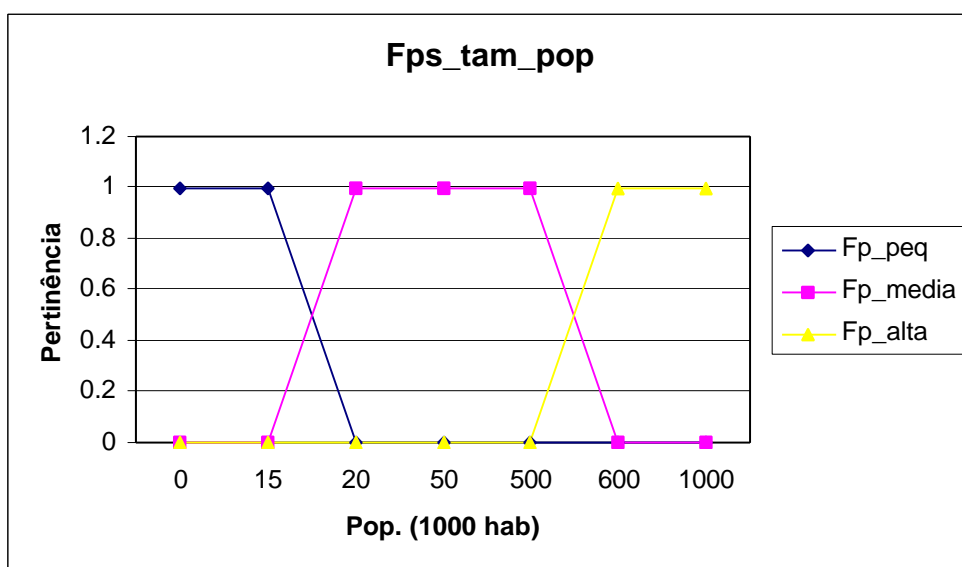


Fig.12 - Funções de pertinência para tamanho da população

- Variação (%) da população no período 1991 – 2000:

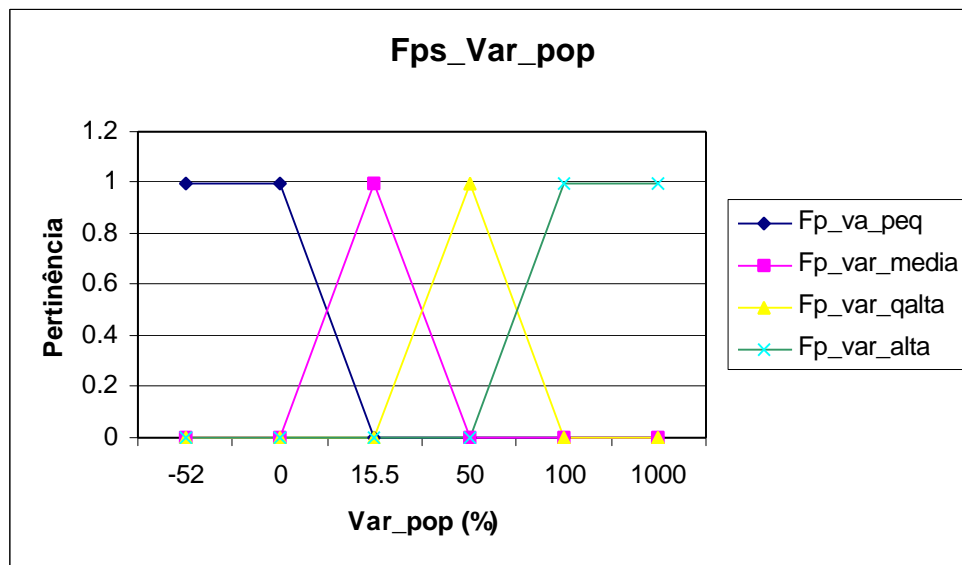


Fig.13 - Funções de pertinência para variação da população

- Base de regras - Dinamismo populacional:

		Tamanho de população		
		Pequena	Media	Alta
Variação de população	Pequena	PB	PM	PM
	Media	PB	PM	PA
	Quase alta	PB	PA	PA
	Alta	PM	PA	PA
		PB => prioridade baixa PM => prioridade média PA => prioridade alta		

Tab.5 - Base de regras para dinamismo populacional

- Fp de saída – Dinamismo populacional:

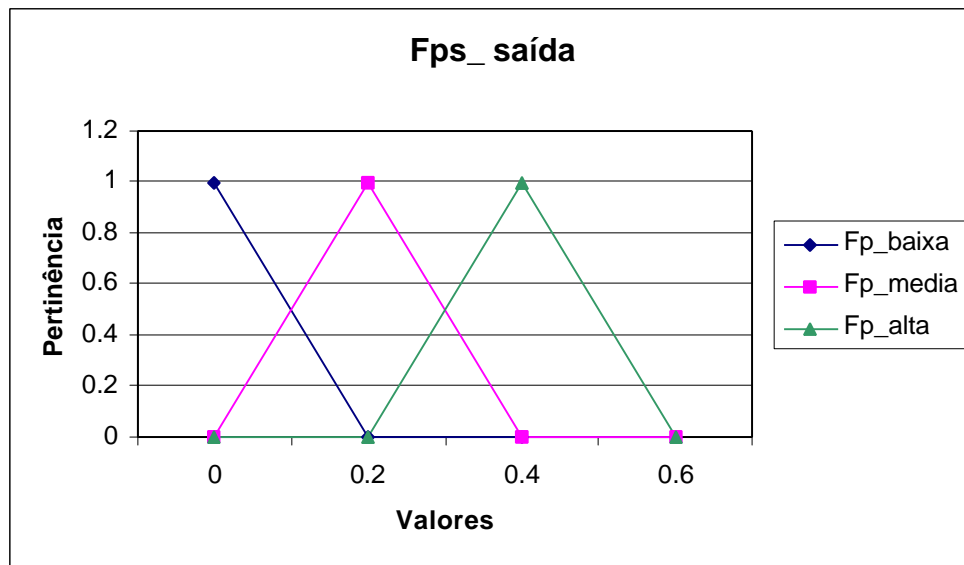


Fig.14 - Funções de pertinência para priorização municipal



## 6 ESTUDO DE CASO

### 6.1 Considerações Iniciais

Para aplicação da metodologia proposta, a área escolhida para o desenvolvimento do estudo é a área territorial do Brasil. O fato de não ter se escolhido apenas um Estado para testar a metodologia, resulta da preemência em se ter uma definição, mesmo que básica, de quais seriam as folhas prioritárias para atualização dentro do conjunto de mapeamento produzido nas escalas de 1/50.000 e 1/100.000, considerando também a complementação das áreas de vazios cartográficos.

Um outro aspecto a considerar é que as instituições que produzem esse tipo de mapeamento têm atuação nacional, caso do IBGE e Exército Brasileiro, e portanto a unidade de trabalho é o território Brasileiro. Deve-se ressaltar que um dos objetivos principais desse estudo é auxiliar essas instituições na aplicação adequada dos recursos financeiros e de produção.

### 6.2 Fluxograma Metodológico

A metodologia apresentada neste trabalho está dividida em 5 fases, e está representada na figura 16. Definidos os indicadores cartográficos e demográficos foram elaboradas as funções de pertinência e a base de regras. O próximo passo foi o processamento do Sistema de Inferência Fuzzy para geração das tabelas separadas dos valores de defuzzyficação para o SIF de população e para vôo aerofotogramétrico. Para processamento do SIF utilizou-se o programa FISMAIN.C (JANG,1994), disponível dentro do aplicativo Fuzzy Toobox do software MATLAB 6.5, e que é executado na janela Terminal do LINUX, esse aplicativo permite que se processe a tabela com todos as tuplas, o que não acontece dentro do MATLAB já que ele processa uma tupla de cada vez. Em um ambiente SIG são criados os mapas de visualização da defuzzyficação de população e vôo, e finalmente através de uma operação de interseção booleana entre mapas é elaborado o mapa final de prioridades para o mapeamento sistemático considerando primeiramente as áreas já mapeadas que seriam objeto de uma atualização

ou revisão, e em segundo plano a execução de novos mapeamentos dentro das áreas de vazios cartográficos.

É importante justificar que a não execução de um SIF final para correlação dos resultados de defuzzyficação de população e vôo aerofotogramétrico se deve ao fato de que as unidades de agregação geográfica dos dados serem diferentes, ou seja, folhas 1/50.000 e 1/100.000 e território municipal.

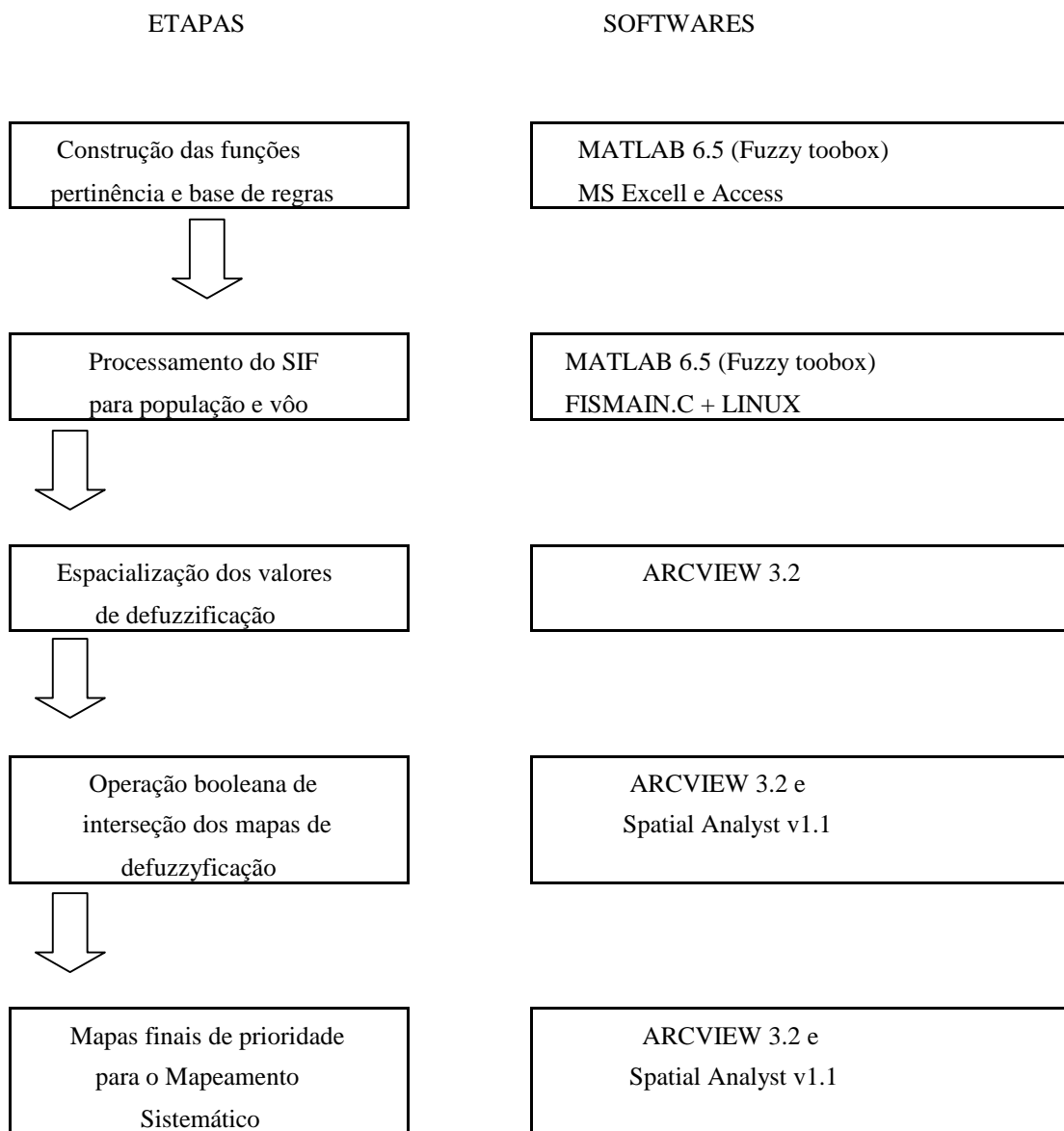


Fig.16 – Fluxograma Metodológico

## 6.3 Implementação

Como já foi mencionada no item 6.2, toda a tarefa de visualização dos resultados finais dos SIF's, foi implementada em ambiente GIS utilizando o programa ARCVIEW 3.2, e sendo mantidas as mesmas classes das funções de pertinência.

### 6.3.1 Visualização dos mapas relativos ao SIF de vôo aerofotogramétrico

Para visualização dos dados relativos a defuzzificação por folha, adotou-se a base cartográfica oriunda da Mapa Índice Digital (IBGE,2003).

- FP de entrada - Data de vôo aerofotogramétrico

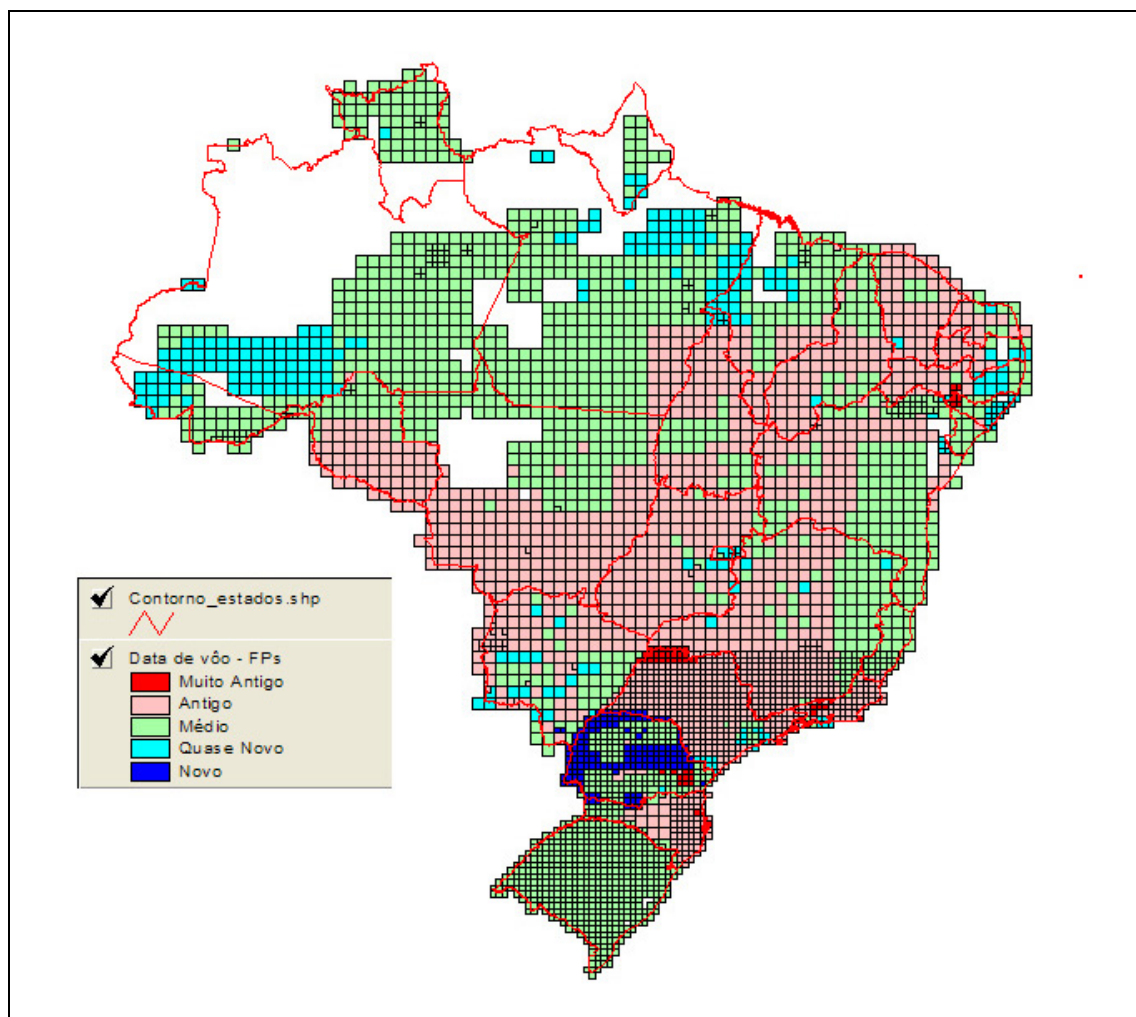


Fig. 17 – Mapa de visualização da FP - Data de vôo aerofotogramétrico

- FP de entrada - Data da restituição :

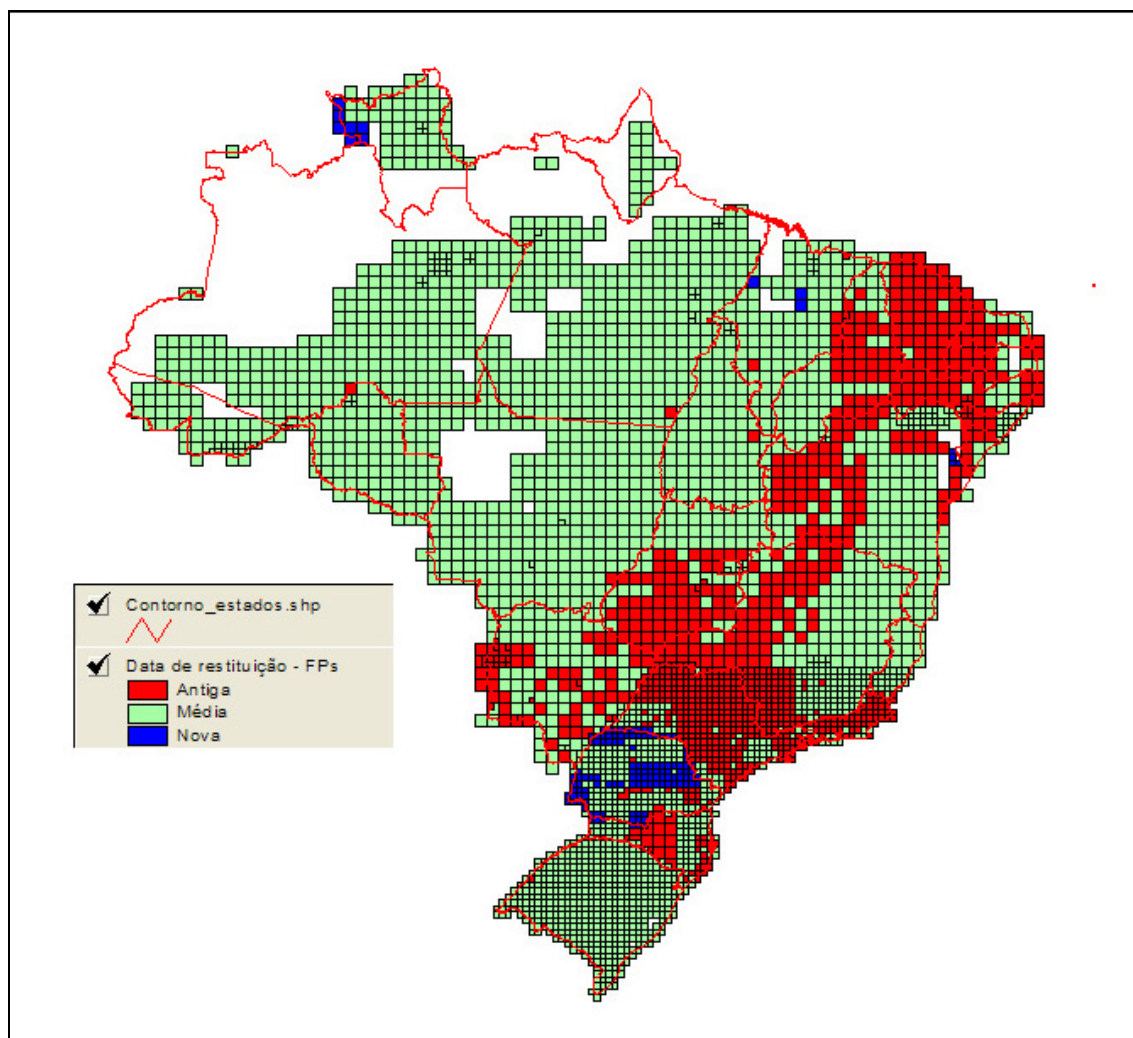


Fig. 18 – Mapa de visualização da FP - Data da restituição aerofotogramétrica

- FP de pertinência de saída – SIF prioridade de atualização

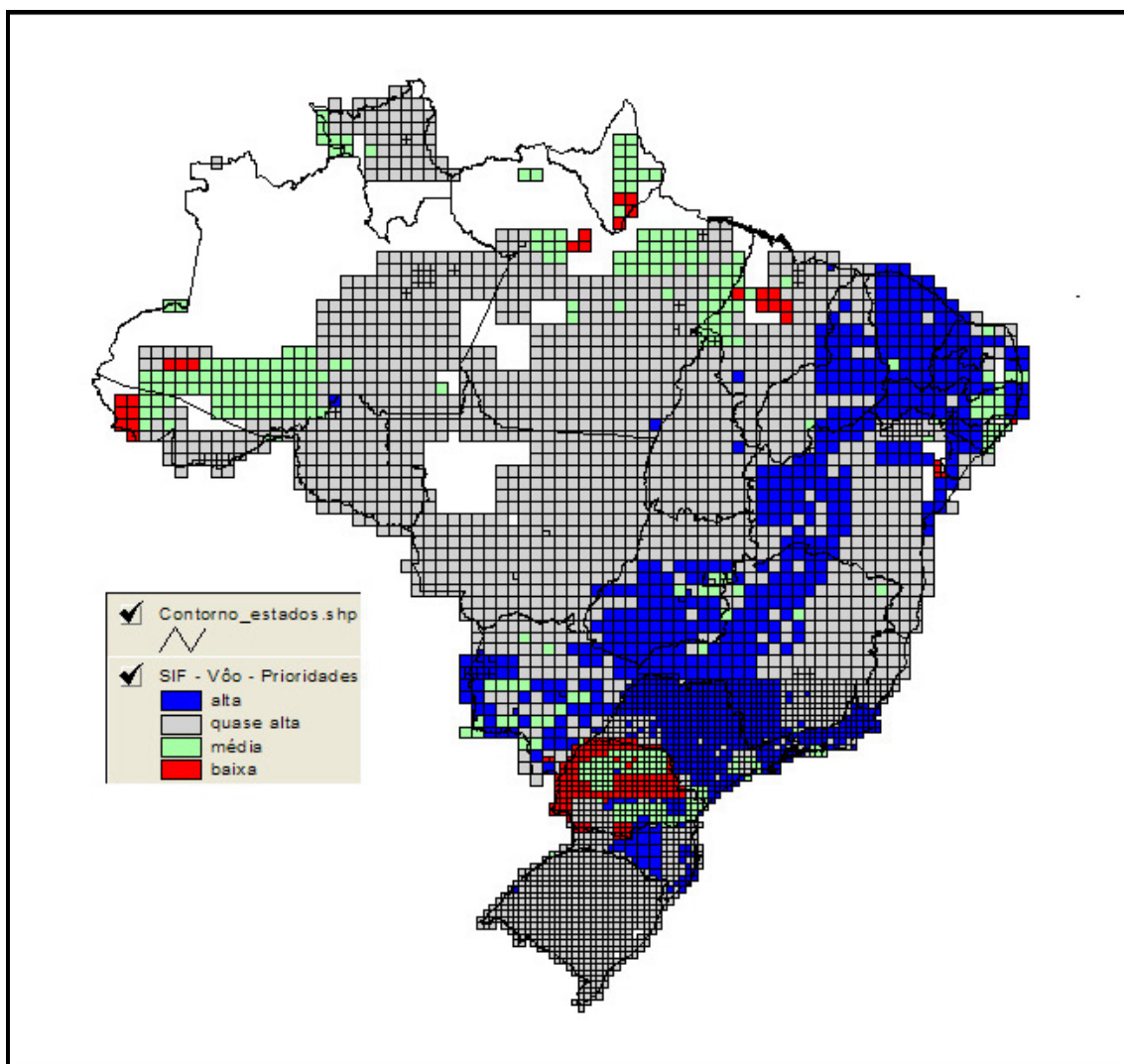


Fig. 19 - FP de saída – SIF relativo a prioridade de atualização

Nas 933 folhas classificadas como de prioridade alta, temos 504 folhas na escala de 1/50.000 e 429 folhas na escala de 1/100.000. O mapa mostra uma faixa de prioridade alta indo do centro-norte de Minas Gerais até o oeste da Bahia isto se deve ao mapeamento 1/100.000 ter sido compilado, em alguns casos, de um mapeamento na escala de 1/25.000 realizado pela CODEVASF-Companhia do Vale do São Francisco em meados da década de 50. Observa-se também que todo o estado do Ceará recebeu prioridade alta.

### 6.3.2 Visualização do mapas relativos ao SIF de população municipal

Para visualização dos dados relativos a defuzzyficação por município, adotou-se a base cartográfica oriunda da Malha Municipal Digital do Brasil (IBGEb,2000).

-FP de entrada – Tamanho de população :

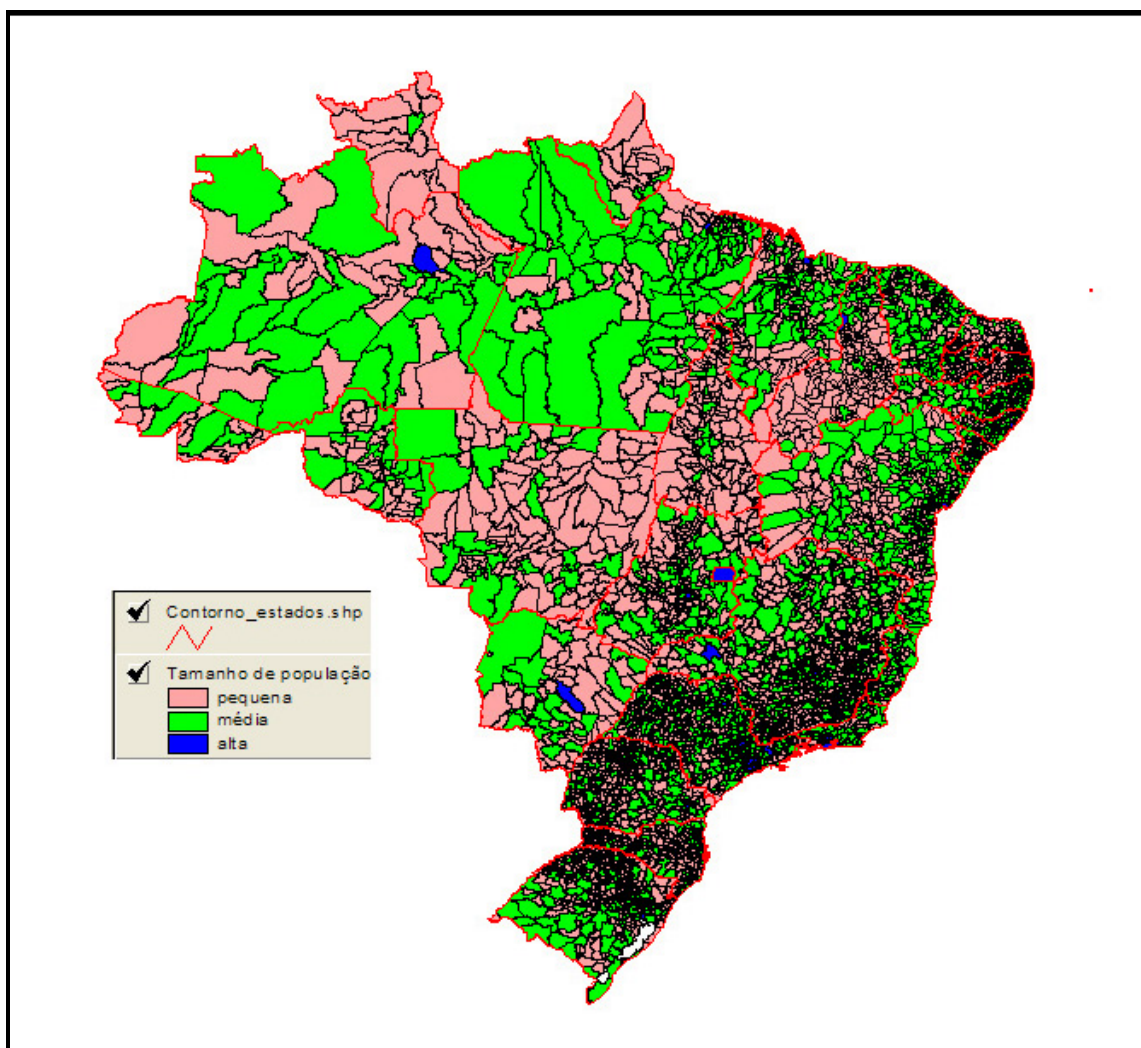


Fig. 20 - FP de entrada – Tamanho da população



- FP de entrada – Variação populacional 1991-2000 :

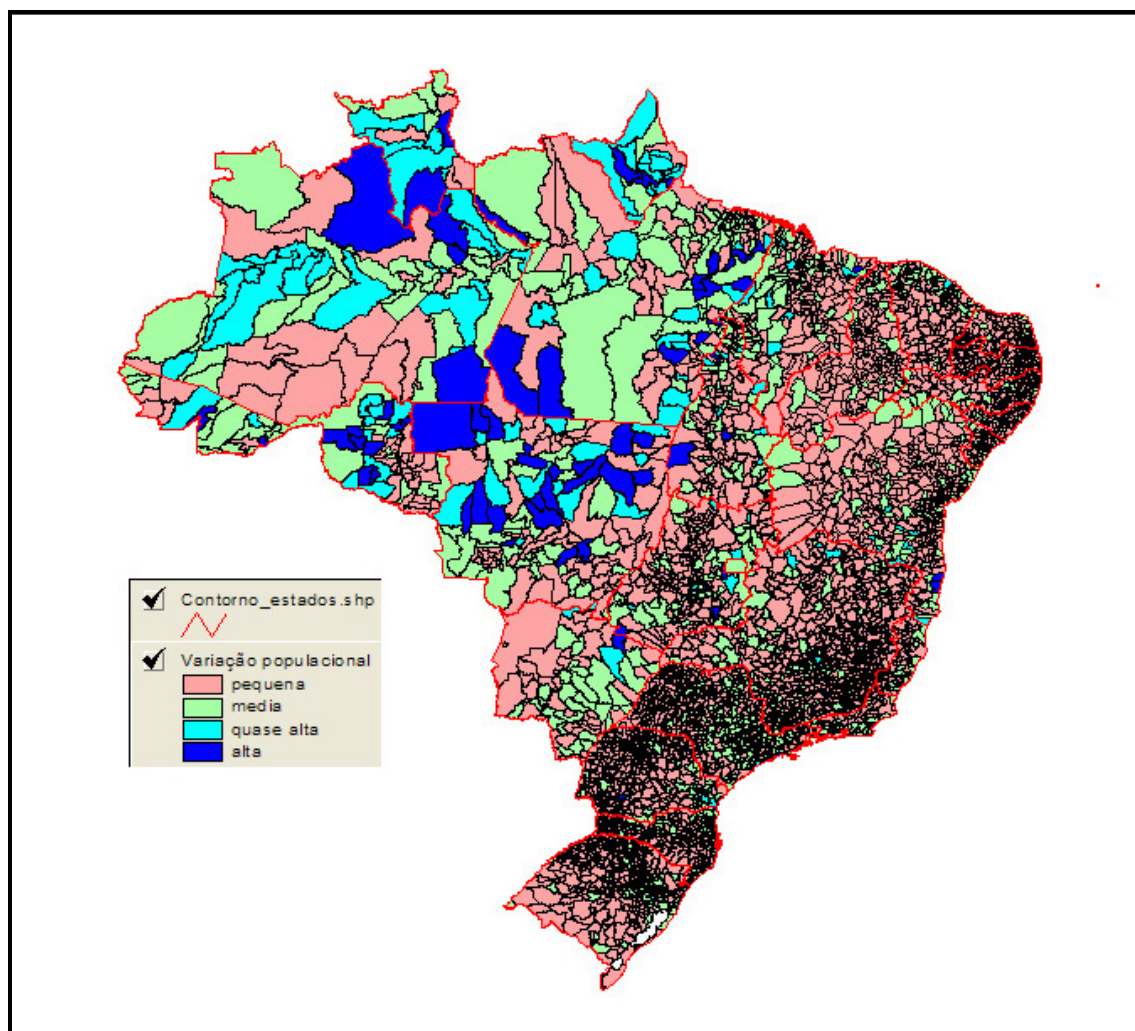


Fig. 21 - FP de entrada – Variação populacional entre 1991 - 2000

– FP de saída – SIF de prioridade municipal:

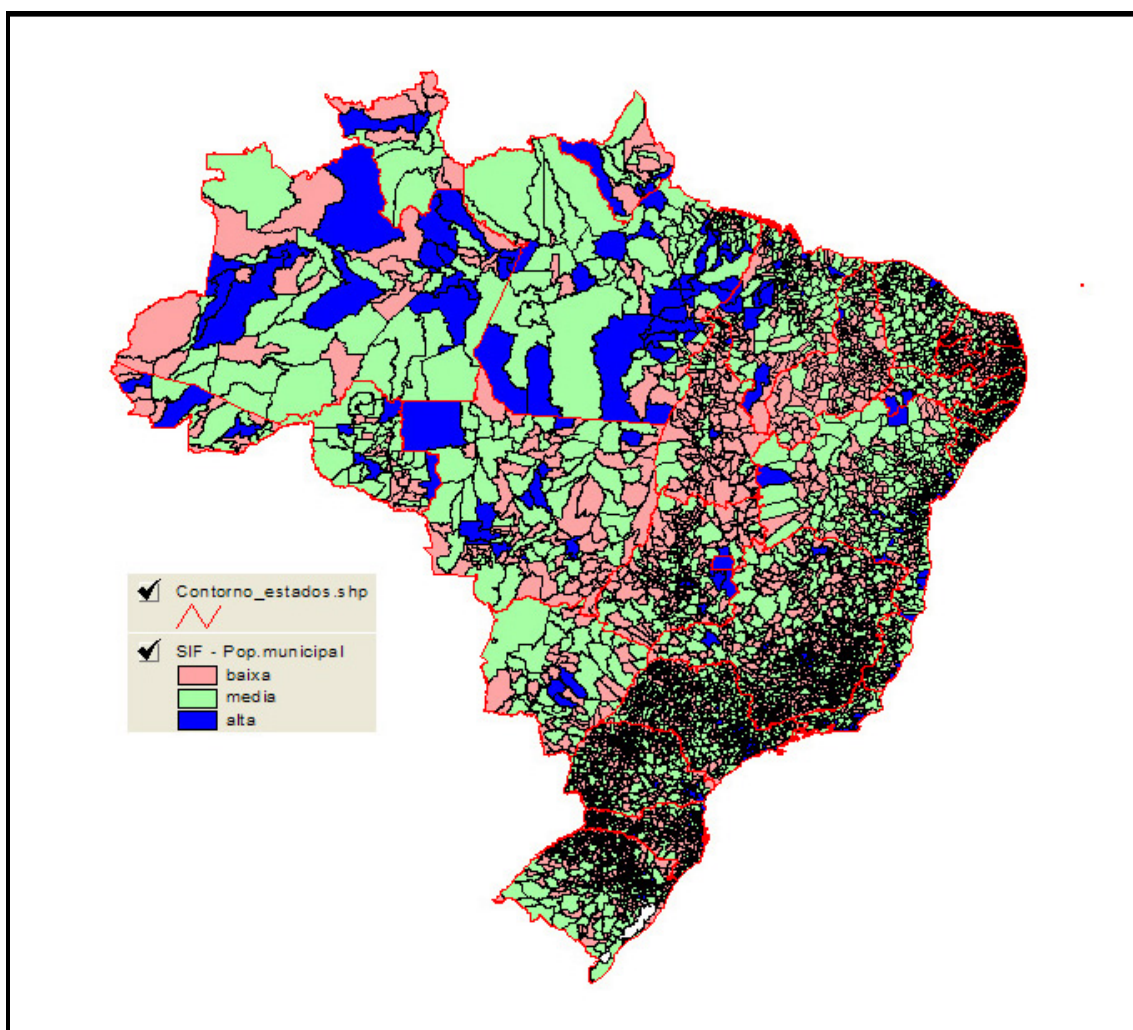


Fig. 22 - FP de saída – SIF de prioridade municipal

O mapa mostra claramente a robustez dos indicadores municipais, uma vez que o problema da escala e tamanho territorial dos municípios fica claro na região Norte onde temos por exemplo o município de Altamira – PA com 142.000 km<sup>2</sup> e na região Sudeste temos Nilópolis com 21 km<sup>2</sup>. Na realidade deve-se nesses casos buscar novas subdivisões territoriais censitárias como por exemplo a malha distrital ou a própria malha censitária.



### 6.3.3 Mapas finais de prioridades para o Mapeamento Sistemático

Considerando a existência de áreas de vazios cartográficos, têm-se então 2 mapas resultantes:

- Mapa relativo à correlação entre prioridade de atualização das folhas 1/50.000 e 1/100.000 e municípios com dinâmica populacional;
- Mapa relativo à complementação do mapeamento considerando os municípios com dinâmica populacional e que se situam nas áreas de vazios cartográficos;

#### 6.3.3.1 Mapa de prioridades para atualização do mapeamento sistemático

Esse mapa é o resultado da correlação entre a classe de prioridade alta do vôo aerofotogramétrico com a classe dinamismo populacional alto. Em uma situação ideal ter-se-ia que atualizar todas as folhas relativas ao mapa de priorização de atualização do mapeamento, mas como a disponibilidade de recursos não acompanha o tamanho do problema, estabeleceu-se nesse trabalho que a dupla ocorrência das classes de priorização alta dos mapas de desatualização e dinâmica populacional seria então o mapa relativo a prioridade número 1.

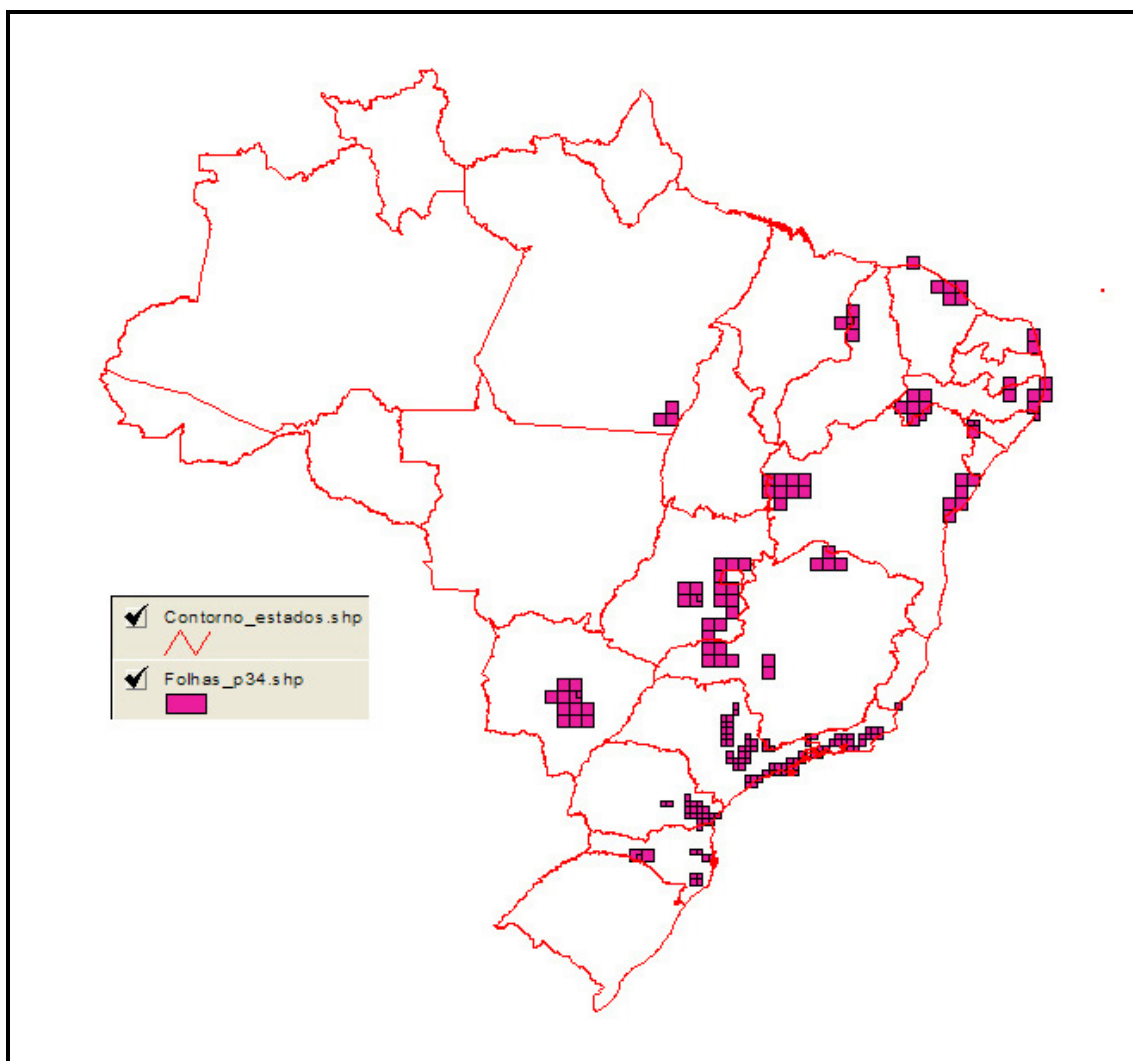


Fig. 23 – Prioridade mais alta de atualização do mapeamento

Foram selecionados então um total de 198 folhas sendo 114 na escala 1/50.000 e 84 na escala de 1/100.000.

O resultado apresentado no mapa de prioridades de atualização mostra que as áreas indicadas como prioritárias, correspondem a pólos regionais que têm apresentado um crescimento acima da média, como por exemplo :

- Região dos Lagos, RJ;
- Município de Campo Grande e seu entorno, MS;
- Municípios de Juazeiro, BA e Petrolina, PE;
- Litoral Norte de SP;
- Município de Uberlândia e seu entorno, MG;

### 6.3.3.2 Mapa de prioridades para as áreas de vazios cartográficos

Esse mapa mostra a visualização da classe mais alta de prioridade de dinâmica populacional dos municípios rebatida na malha de folhas 1/100.000 de todo o Brasil.

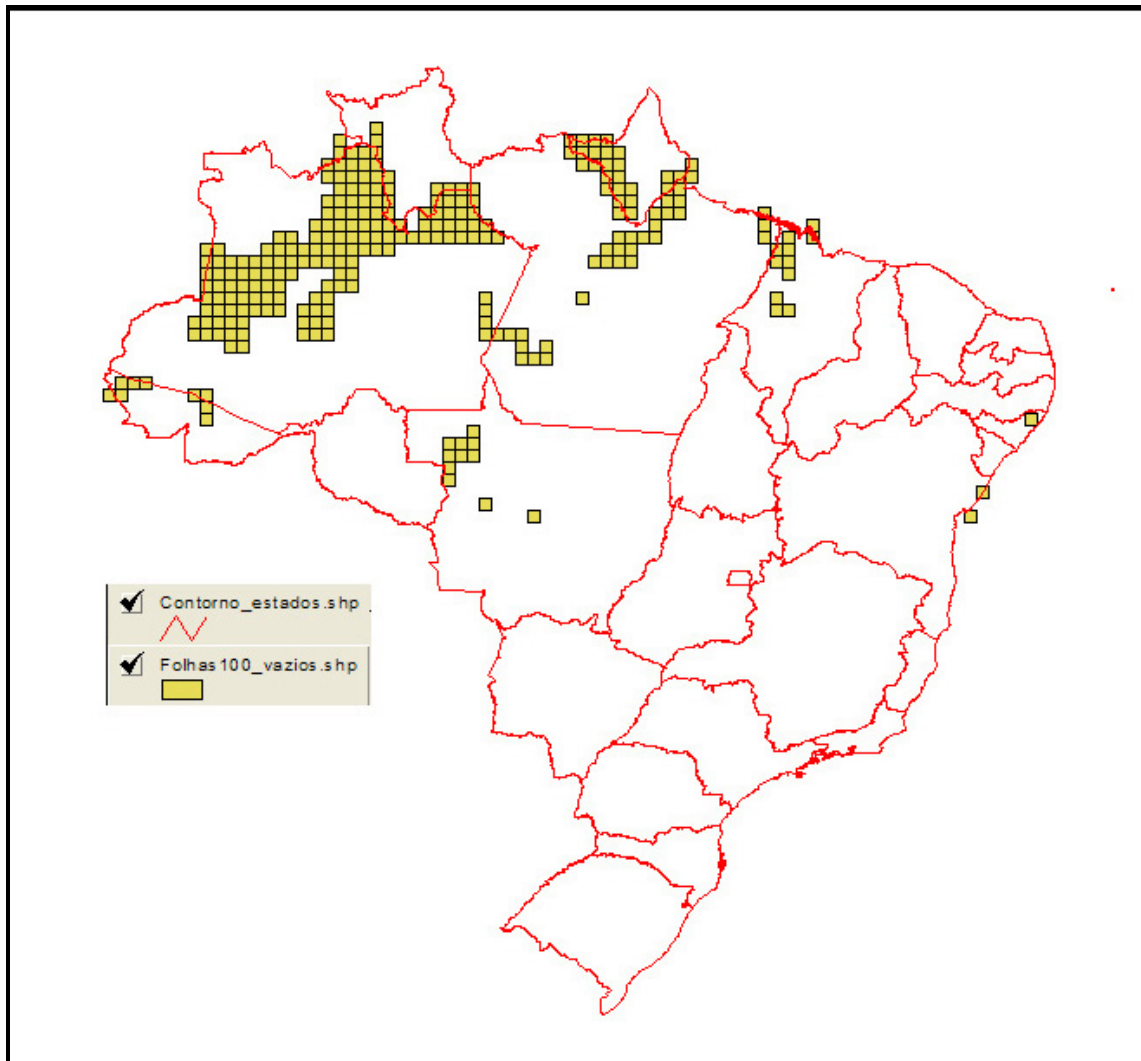


Fig. 24 – Prioridade mais alta na área do vazio cartográfico

Foram selecionados então um total de 259 folhas na escala de 1/100.000. Não serão listados no anexo desse trabalho as folhas selecionadas, uma vez que, estão situadas em áreas não mapeadas, e portanto, ainda não existem informações sobre as mesmas..

## 7 CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que esse trabalho é pioneiro, ao mostrar o problema da desatualização do mapeamento sistemático e a pertinência ou não de sua complementação.

A tentativa de se estabelecer prioridades de mapeamento através de indicadores, pode não ser a ideal, uma vez que, vários interesses subjetivos podem ser priorizados levando-se em conta que esse tipo de mapeamento é de competência de instituições de governo. Um dos objetivos dessa dissertação é que os mapas resultantes sirvam de ponto de partida para os projetos de atualização e revisão do mapeamento sistemático.

Espera-se que o trabalho contribua também com o desenvolvimento de novos estudos sobre o tema visando aprimorá-lo, aumentando e fomentando as discussões.

Essa metodologia pode ser aplicada também para outras unidades de agregação tais como bairros, distritos e setores censitários melhorando consideravelmente o entendimento de problemas complexos no mundo real e que na Lógica Nebulosa encontram uma modelagem satisfatória.

Com relação ao estudo de caso vale considerar o seguinte:

a) O mapa resultante de prioridade para a atualização do mapeamento mostra praticamente a mesma tendência observada no mapa de data de restituição, isso pode estar ocorrendo por dois motivos:

1. a operação de interseção Fuzzy(AND) é controlada pelo menor valor entre os elementos dos conjuntos Fuzzy combinados.
2. o número reduzido de regras mapeadas.

b) Tentou-se durante o desenvolvimento dessa dissertação utilizar um indicador municipal para o dinamismo econômico, mas essa informação somente está disponível para algumas áreas e não possui abrangência nacional, um exemplo seria o indicador de PIB(Produto Interno Bruto) municipal, disponível somente para alguns Estados da Federação. A disponibilidade desse indicador com certeza aprimoraria os resultados relativos aos municípios mais dinâmicos.

c) Uma evolução desse trabalho seria o desenvolvimento de um programa executado em ambiente SIG para executar o SIF entre mapas que possuem diferentes unidades de agregação.

d) Com relação ao mapa de prioridades dentro das áreas de vazios cartográficos, deve-se avaliar primeiro qual seria a escala de mapeamento ideal (considerando também o mapeamento 1/250.000), pois a grande maioria das folhas se situa na Região Amazônica onde os municípios têm grandes áreas de densa cobertura florestal. É possível que nessa região a seleção dos municípios tenha melhor resultado trabalhando-se com a malha distrital ou a malha de setores censitários.

Outro fator importante a destacar é que toda a Região Amazônica foi mapeada recentemente com imagens de satélite, gerando assim, cartas imagens na escala de 1/250.000 onde também foi atualizado o mapeamento topográfico disponível na escala de 1/250.000. Este projeto de mapeamento foi realizado pelo SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia), gerenciado pelo Ministério da Aeronáutica.

e) É importante observar possíveis aplicações para Análise Espacial, como por exemplo, transição de áreas florestais para áreas de agricultura e simulação temporal da transição Rural – Urbano. (MARCEAU et al, 1999)

## 7.1 Trabalhos futuros

a) Apresentar essa proposta para as instituições produtoras de mapeamento sistemático e também implementar uma divulgação para órgãos de planejamento federais e dos Estados da Federação.

b) Elaborar o mapa de disponibilidade de aerolevantamentos buscando a elaboração de um SIF correlacionando prioridade de mapeamento com disponibilidade de insumos.

c) Contribuir com a disseminação do conhecimento científico disponibilizando todos os dados intermediários para que estudiosos e pesquisadores possam aproveitar essas informações.

d) Divulgar o trabalho em Congressos , Simpósios e seminários.

## 7.2 Contribuições

O desenvolvimento das pesquisas para elaboração dessa dissertação permitiram que diversos trabalhos fossem apresentados em eventos técnico-científicos podendo destacar:

- XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte, MG, 2003. Título do trabalho: **“Aplicação de Lógica Nebulosa para identificação de áreas mapeáveis na Cartografia Sistemática”**.
- GIS BRASIL 2004 – 4ª Mostra do talento científico, São Paulo, SP, 2004. Título do Trabalho: **“Mapa temático da transição rural-urbano dos municípios brasileiros, uma abordagem aplicando Sistema de Inferência Fuzzy”**.
- COBRAC 2004 - 6º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, Florianópolis, SC, 2004. Título do trabalho: **“Mapeamento Sistemático do Estado de Santa Catarina – Um estudo das possibilidades de atualização e complementação”**.
- I SIMGEO – I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE, 2004. Título do trabalho: **“Mapeamento Sistemático da Região Nordeste do Brasil – Um estudo das possibilidades de atualização e complementação”**.
- 2º SRGSR – II Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju, SE, 2004. Título do trabalho: **“Mapeamento Sistemático da Região Nordeste do Brasil – Um estudo das possibilidades de atualização e complementação”**.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Claudia M.; ANGELIS, Carlos F.; CAMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio M. V.; PAIVA, João A. C.. **Técnicas inferenciais e de suporte à decisão aplicadas ao estudo de adequabilidade de sítio: O caso da implantação de terminais intermodais ao longo do Piracicaba navegável**. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos : 1999.

BITTENCOURT, G. **Inteligência Artificial: ferramentas e teorias**. Florianópolis : Ed. da UFSC, 2001. 2. Ed. 362p.

BONHAM-CARTER, G.F. **Geographic Information Systems for Geocientists: Modelling with GIS**. Kindlington: Ed. Pergamon, 1994.pp.291-302.

BRASIL.Presidência da República. **Decreto Lei 243 de 28/02/1967 – Fixa as diretrizes e bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências**. Rio de Janeiro. Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha. 1. Ed.1995. 52p.

BUENO, Maria do Carmo Dias. **Avaliação Ambiental utilizando redes de dependência e Lógica Nebulosa**. 2003. 121p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de computação - Área de concentração Geomática). Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

MC.Ministério das Cidades.**Plano Diretor Participativo**.Brasília. Disponível em <http://www.cidades.gov.br>. Acesso em 02 de dezembro de 2004.

FONSECA, Oswaldo Luiz Humbert. **Aplicação de métodos de análise espacial e da teoria dos conjuntos nebulosos em estudos sobre Pobreza**. 2003. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de computação - Área de concentração Geomática). Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

JANG, R. **Stand-alone C codes for Fuzzy Inference Systems**.1994. Disponível em <ftp://ftp.mathworks.com/pub/tech-support/solutions/s8724/fismain.c>.

KOSKO, B. **Neural Network and Fuzzy Systems**. New Jersey, USA: Ed. Prentice-Hall, 1992, 449p.

IBGE. **Mapa Índice Digital**. Rio de Janeiro. IBGE, 2003. 1 CD-Rom.

IBGEa. **BIM-Base de Informações Municipais**. Rio de Janeiro. IBGE, 2000. 1 CD-Rom.

IBGEb. **Malha Municipal Digital do Brasil**. Rio de Janeiro. IBGE, 2000. 1CD-Rom.

LAZZAROTTO,D.R.;SLUTER,C.R.;DALMOLIN,Q. **Um estudo sobre o uso de indicadores analíticos para projeto de bases cartográficas orientadas ao usuário** . In: Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 2002. Vol.I, 12p.

LEITÃO,M. **Memória dos dados**. Coluna Panorama Econômico.Rio de Janeiro.Jornal O Globo.Publicado em 30 set. 2003.

MARCEAU,D.J.;DRAGICEVIG,S. **Spatio-Temporal Interpolation and Fuzzy Logic for GIS Simulation of Rural to Urban Transition**. Cartograph and Geograph Information Science, vol. 26, No.2, 1999, pp.125-137.

MATLAB.**Fuzzy Logic Toolbox-Tutorial**.USA.The Mathworks Inc.CD-ROM.2000. pp.2-19.

MOORE,L. **The USGS Survey's revision program for 7.5-minute Topographic Maps**. Missouri, USA.2000. Artigo disponível em <http://topomaps.usgs.gov/revision.html>. Acesso em 20 ago. 2003.

MOORE,L.;Harris,W.;KOCHIS,T. **Raster Image Warping for Geometric correction of Cartograph bases**. Missouri, USA.2000. Artigo disponível em <http://topomaps.usgs.gov/revision.html>. Acesso em 20 ago. 2003.



OLIVEIRA JR, Hime Aguiar e. **Lógica Difusa : Aspectos Práticos e Aplicações**. Rio de Janeiro : Ed. Interciência, 1999. 192p.

SANDRI,S.; CORREA,C. **Lógica Nebulosa**. Anais da V Escola de Redes Neurais.São José dos Campos, 1999, pp 073-090.

SOUZA,F.J. **Apostila de aula de Inteligência Artificial do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação da UERJ, Área de concentração Geomática**.2001.Rio de Janeiro.

TANSCHKEIT,R. **Fundamentos de Lógica Fuzzy e Controle Fuzzy**. Apostila de aula do Departamento de Engenharia Eletrônica da PUC-RJ.1999.Rio de Janeiro.

THOMPSON,A.;SERRA,R. **O recente desempenho das cidades médias no crescimento populacional urbano brasileiro**. Rio de Janeiro.Artigo disponível em <http://www.nemesis.org.br/artigos> . Acesso em 30 de setembro de 2003.

VEIGA, José Eli da. **Cidades Imaginárias : o Brasil é menos urbano do que se calcula**. 2ª ed. Campinas : Ed. Autores Associados, 2002. 304p.

ZADEH, L.A. **Fuzzy Sets, Information and Control**. No.8, pp 338-353, 1965.

## RELAÇÃO DE ANEXOS

Anexo 1: Arquivos voo2.fis e din4.fis gerados pelo Editor FIS do MATLAB, referentes aos sistemas de inferência da priorização de atualização e dinâmica de população – 4 folhas.

Anexo 2: Tabela contendo a lista com as 198 folhas prioritários para atualização – 4 folhas.

Anexo 3: Arquivo merge\_a.xls relativo a lista das 3729 folhas resultantes da união entre os mapeamentos 1/50.000 e 1/100.000, contendo os campos de MI, data de vôo, data de restituição e valores de saída da defuzzificação – 40 folhas.

## Anexo 1:

Arquivo voo2.fis:

```
[System]
Name='voo2'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=8
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='data__voo'
Range=[1950 2000]
NumMFs=5
MF1='muito_antigo':'trimf',[1950 1950 1960]
MF2='antigo':'trapmf',[1950 1961 1969 1980]
MF3='medio':'trimf',[1970 1980 1990]
MF4='quase_novo':'trimf',[1980 1990 2000]
MF5='novo':'trimf',[1990 2000 2000]
```

```
[Input2]
Name='data__rest'
Range=[1950 2000]
NumMFs=3
MF1='antiga':'trapmf',[1950 1950 1973 1977]
MF2='media':'trimf',[1973 1977 1996]
MF3='nova':'trapmf',[1977 1996 2000 2000]
```

```
[Output1]
Name='prioridades'
Range=[0 1]
NumMFs=4
MF1='alta':'trimf',[0 0 0.2]
MF2='quase__alta':'trimf',[0 0.2 0.4]
MF3='media':'trimf',[0.2 0.4 0.6]
MF4='baixa':'trapmf',[0.4 0.6 1 1]
```

[Rules]

1 1, 1 (1) : 1

2 1, 1 (1) : 1

1 2, 1 (1) : 1

2 2, 2 (1) : 1

3 2, 2 (1) : 1

3 3, 3 (1) : 1

4 3, 4 (1) : 1

5 3, 4 (1) : 1

Arquivo din4.fis

```
[System]
Name='DIN4'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=12
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='var__pop'
Range=[-52 1000]
NumMFs=4
MF1='pequena': 'trapmf', [-52 -52 0 15.5]
MF2='media': 'trimf', [0 15.5 50]
MF3='quase__alta': 'trimf', [15.5 50 100]
MF4='alta': 'trapmf', [50 100 1000 1000]
```

```
[Input2]
Name='tam__pop'
Range=[0 11000]
NumMFs=3
MF1='menor': 'trapmf', [0 0 15 20]
MF2='media': 'trapmf', [15 20 500 600]
MF3='alta': 'trapmf', [500 600 11000 11000]
```

```
[Output1]
Name='prioridade'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='baixa': 'trimf', [0 0 0.2]
MF2='media': 'trimf', [0 0.2 0.4]
MF3='alta': 'trimf', [0.2 0.4 0.6]
```

[Rules]

1 1, 1 (1) : 1

1 2, 2 (1) : 1

1 3, 2 (1) : 1

2 1, 1 (1) : 1

2 2, 2 (1) : 1

2 3, 3 (1) : 1

3 1, 1 (1) : 1

3 2, 2 (1) : 1

3 3, 3 (1) : 1

4 1, 2 (1) : 1

4 2, 3 (1) : 1

4 3, 3 (1) : 1