

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-8532-PUD/106

**INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO ESPACIAL NA IDENTIFICAÇÃO
DE ELEMENTOS DA PAISAGEM EM ALTAMIRA-PA**

Flávio Jorge Ponzoni
Ana Carolina Pinto Rezende

INPE
São José dos Campos
2002

RESUMO

Imagens TM/Landsat5, referentes às bandas espectrais TM1 a TM5 e TM7 da órbita ponto 226/62 da data de passagem de 20/07/1991, que cobrem parte do município de Altamira PA, tiveram sua resolução espacial degradada para os níveis 60, 100, 120, 200 e 250m com o objetivo de avaliar o efeito dessa degradação sobre a identificação dos principais elementos da paisagem da região, a saber: Floresta, Não-floresta, Capoeira Nova e Capoeira Madura. Mapas temáticos foram gerados a partir da aplicação de um algoritmo de segmentação, seguido de dois outros de classificação digital, sendo um o Isoseg (não-supervisionada) e outro o Bhattacharya (supervisionada). As áreas de cada tema foram quantificadas em cada um dos mapas resultantes nas diferentes resoluções espaciais e segundo os dois procedimentos de classificação digital. As maiores alterações nas quantificações, assumindo como referência os mapas temáticos gerados a partir das imagens com 30m de resolução espacial, foram identificadas nos mapas criados a partir das imagens com 250m. Verificou-se que classes espectral e espacialmente dominantes tenderam a terem suas áreas aumentadas à medida que se degradou a resolução espacial das imagens. Através da elaboração de matrizes de contingência, os mapas temáticos, gerados a partir do algoritmo de classificação Isoseg nos diferentes níveis de resolução espacial, foram comparados entre si, assumindo mais uma vez aquele elaborado a partir das imagens de 30m como referência, com o objetivo de identificar o grau de confusão entre as classes. Os mesmos procedimentos foram repetidos para os mapas temáticos criados a partir do algoritmo de classificação Bhattacharya. Concluiu-se que classes espectralmente semelhantes tenderam a confundirem-se entre si, mas essa confusão não seguiu uma tendência gradativa com a sucessiva degradação da resolução espacial. Os mapas gerados a partir da aplicação do algoritmo de classificação Bhattacharya apresentou os resultados mais consistentes em relação àqueles elaborados a partir da aplicação do algoritmo Isoseg.

SUMÁRIO

1. <u>INTRODUÇÃO</u>	5
2. <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	6
2.1. <u>Área de estudo</u>	6
2.2. <u>Processamento digital de imagens</u>	8
2.3. <u>Comparação entre mapas temáticos e cálculo de exatidão</u>	9
3. <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	11
3.1. <u>Degradação das imagens e quantificação dos temas</u>	11
3.2. <u>Exatidão de mapeamento</u>	18
4. <u>CONCLUSÕES</u>	19
5. <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	20

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
2.1 - Localização da área de estudo no contexto Nacional	7
3.1 - Composições coloridas nas resoluções espaciais de 30m, 60m, 100m, 120m, 200m e 250m.	12
3.2 - Áreas dos temas originados da aplicação dos algoritmos Iseseg e Bhattacharya em diferentes resoluções espaciais.	13
3.3 - Gráficos das matrizes de contingências geradas da tabulação cruzada das várias classificações ISOSEG.	15
3.4 - Gráficos das matrizes de contingências geradas a partir do algoritmo de classificação Bhattacharya.....	17
3.5 - Representação gráfica dos índices de exatidão global, coeficiente Kappa e Tau nas classificações Iseseg e Bhattacharya.	18

1. INTRODUÇÃO

Dentre as principais iniciativas de mapeamentos temáticos no país destacam-se as da Fundação S.O.S. Mata Atlântica (SOS) que conjuntamente com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), elabora a periódica atualização de um atlas cuja legenda inclui remanescentes florestais, restinga e mangue presentes nas áreas de 10 Estados da Federação. Outra iniciativa é o Projeto Desflorestamentos na Amazônia (PRODES), também conduzido pelo INPE que tem como objetivo monitorar os desflorestamentos na Amazônia Brasileira. Além destas iniciativas, existem outras sendo concebidas que incluirão o mapeamento de biomas como o Cerrado e os Campos Sulinos. Em todos os casos, a vasta extensão geográfica requer o emprego de tecnologia espacial e aplicação de técnicas de sensoriamento remoto. Isto é feito a partir da análise das imagens orbitais, cuja resolução espacial é um dos principais fatores na definição da legenda dos mapas temáticos, uma vez que a identificação de um tema e da área mínima a ser mapeada dependem em grande parte da resolução espacial das imagens.

No Brasil, a preocupação com os efeitos da resolução espacial sobre os atuais trabalhos de mapeamento em andamento e sobre as futuras iniciativas vem aumentando devido à perspectiva do desenvolvimento de novos sensores orbitais, dotados de diferentes capacidades, incluindo a resolução espacial. Dentre estes sensores destacam-se os do Satélite Sino-Brasileiro de Sensoriamento Remoto (CBERS) e aqueles planejados para os futuros satélites Brasileiro-Argentino-Espanhol (SABE) e o Satélite de Sensoriamento Remoto (SSR), os dois últimos ainda em fase de elaboração. Essa preocupação se torna ainda mais evidente quando se trata dos mapeamento em andamento sobre a região amazônica, devido à importância que essa região tem nos contextos nacional e internacional.

Levando em consideração os aspectos mencionados acima, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da variação da resolução espacial de imagens TM Landsat sobre a identificação/ quantificação de alguns elementos da paisagem em ambiente amazônico (Altamira-PA).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Foi definida uma área de aproximadamente 45km x 91km previamente estudada por Mausel *et al.* (1993) e localizada ao longo da rodovia Transamazônica onde a vegetação dominante, segundo RADAMBRASIL (1974), é a Floresta Ombrófila densa e a Floresta Ombrófila aberta. A primeira, presente nos altos e baixos platôs, apresentam formações florestais bem uniformes, compostas por árvores grossas e bem altas, geralmente superiores a 50m, sem palmeiras e com raras lianas. Nestas formações está incluída a Floresta Ombrófila Submontana, caracterizada por uma cobertura vegetal variável de árvores baixas (de 10 a 15 m) à árvores altas (25 ou mais metros). A Floresta Ombrófila aberta apresenta-se com duas fisionomias predominantes: a floresta Latifoliada e a Mista. A Floresta Latifoliada, localizada em superfície aplainada, apresenta uma floresta bastante aberta, de baixa estatura e completamente coberta por lianas lenhosas. Nas áreas mais acidentadas, é caracterizada por estreitos vales cobertos pelo babaçu e com largas encostas cobertas pelo cipoal, onde as árvores são mais altas (com mais de 25m) e mais densamente distribuídas, embora as lianas continuem a envolver a maior parte da floresta. A floresta Mista é uma formação mista de palmeiras e árvores latifoliadas sempreverdes, bem espaçadas de altura bastante irregular, apresentando grupamentos de babaçu nos vales rasos e concentrações de nanofoliadas decíduais nos testemunhos quartzolíticos das superfícies aplainadas.

A precipitação anual é de aproximadamente 1700mm, que ocorre principalmente em 4 meses úmidos de junho a setembro (Mausel *et al.*, 1993). A Figura 1 mostra a localização da área de estudo no contexto regional.

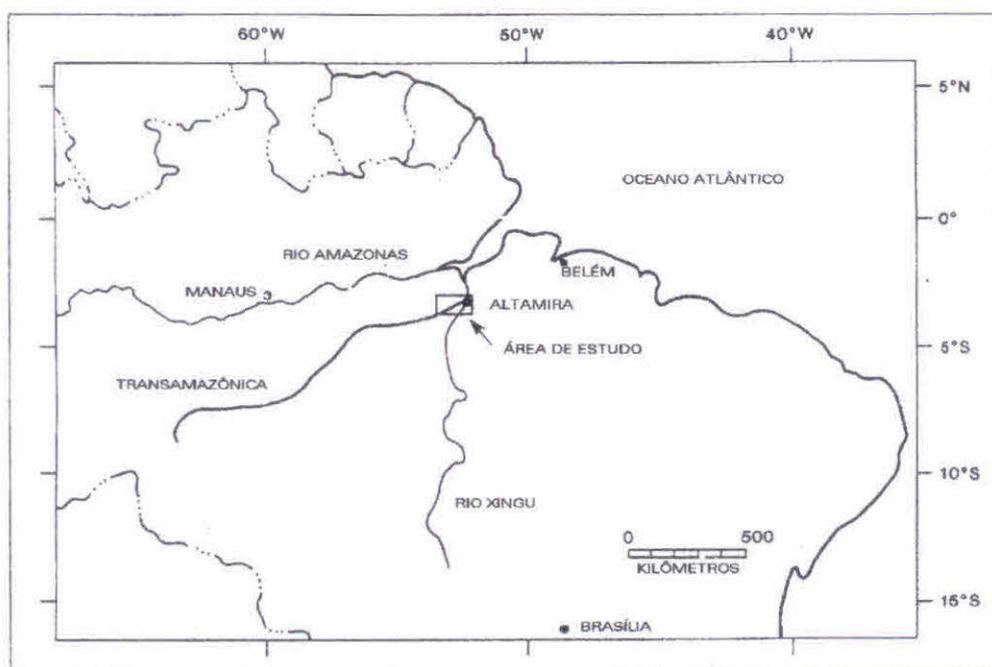


Figura 2.1 – Localização da área de estudo no contexto Nacional.

FONTE: adaptada de Mausiel et al. (1993,p.63).

A paisagem é caracterizada por uma rodovia principal (Rodovia Transamazônica) e outras secundárias perpendiculares à rodovia principal que se estendem pelo interior percorrendo distâncias variadas. Ao longo desta rede rodoviária, proprietários de terras têm desenvolvido diferentes tipos de agricultura comercial, sendo que as pastagens constituem um uso típico do solo após o cultivo de diferentes culturas. As áreas abandonadas são comuns e caracterizadas por diferentes estágios sucessionais da vegetação arbórea, os quais foram descritos por Mausiel et al. (1993) considerando 3 diferentes estágios: sucessão secundária inicial (SS1), caracterizado por uma cobertura vegetal graminóide, intercalada por elementos arbóreo/arbustivos; sucessão secundária intermediária (SS2) descrita como uma cobertura vegetal composta por árvores de 8 a 12m de altura, mas desenvolvendo múltiplos estratos verticais, diferenciando-se de SS1 por ter maior biomassa; e sucessão secundária avançada (SS3), apresentando também múltiplos estratos verticais maduros e árvores acima de 20m de altura, muito similar a alguns tipos de florestas clímax.

2.2 Processamento digital de imagens

Foram adquiridas imagens TM/Landsat5 referentes às bandas espectrais TM1 a TM5 e TM7 da órbita ponto 226/62 da data de passagem de 20/07/1991 (INPE, 1994). Procedeu-se primeiramente o georrefenciamento das imagens relacionadas a cada uma das bandas através de pontos de controle selecionados em carta topográfica na escala 1:100.000. A seguir, aplicou-se o procedimento de simulação de imagens de baixa resolução espacial proposto por Banon (1990), visando constituir novas imagens com as seguintes resoluções espaciais: 60m, 100m, 120m, 200m e 250m.

Os procedimentos descritos a seguir (modelo de mistura, segmentação e classificação) se basearam na metodologia do Projeto PRODES, desenvolvido pelo INPE, que fundamenta-se na discriminação de áreas florestadas e de áreas não-florestadas (INPE, 2000). Segundo essa metodologia, aplica-se o modelo de mistura sobre todas as bandas espectrais para reduzir o número de imagens a serem tratadas digitalmente, gerando a partir destas uma única imagem referente à componente sombra/água sobre a qual são aplicados algoritmos de segmentação e de classificação digital (INPE, 2001). O modelo de mistura foi aplicado neste trabalho com esta mesma função, porém, uma vez que o objetivo aqui incluiu também avaliar outros elementos da paisagem, a saber: Floresta, Não-floresta, Capoeira nova e Capoeira madura, e que nessa imagem componente sombra/água as formações sucessionais não podem ser individualizadas (INPE, 2000), a segmentação foi aplicada conjuntamente com as imagens das bandas espectrais 3, 4 e 5 de cada resolução espacial, inclusive a de 30m para que os temas mencionados fossem detectáveis através dos algoritmos de segmentação e de classificação.

A segmentação foi aplicada com um limiar de separabilidade de 8 e tamanho de pixel de 50, exceto para a resolução de 200m e 250m cujo limiar e tamanho de pixel foram de 5 e 15, respectivamente.

Posteriormente à segmentação, procederam-se as classificações não-supervisionada - Isepeg e a supervisionada - Bhattacharya (INPE, 2001) para as imagens de cada resolução espacial. As classificações foram aplicadas com um limiar de aceitação de 75% e considerando somente as imagens de três bandas espectrais do sensor TM (bandas 3, 4 e 5). Esses dois procedimentos de classificação foram adotados com o objetivo de avaliar

seus desempenhos (apesar desta comparação não constituir interesse principal deste trabalho).

2.3 Comparação entre mapas temáticos e cálculo de exatidão

A comparação entre os mapas temáticos fundamentou-se na quantificação dos temas da legenda. Primeiramente foram analisadas as quantidades de cada tema determinadas em cada mapa temático. Em seguida, avaliou-se o grau de confusão encontrado entre os temas à medida que a resolução espacial foi degradada. Para tanto, assumiu-se as classificações geradas a partir das imagens de resolução espacial de 30m como referência e as demais classificações foram então avaliadas através da análise de matrizes de contingência, as quais foram geradas a partir da aplicação do procedimento de tabulação cruzada (INPE, 2001). Neste procedimento as classificações Ioseg foram cruzadas duas a duas, sempre tendo como referência o mapa gerado a partir das imagens de 30m de resolução espacial. O mesmo processo foi repetido para as classificações Bhattacharya, perfazendo assim um total de dez matrizes, cinco Ioseg e cinco Bhattacharya. As matrizes de contingência apresentaram seus elementos em unidades de hectares (ha), sendo as linhas correspondentes às categorias da imagem de referência, neste caso a imagem com resolução espacial de 30m. Assim, foi possível avaliar os percentuais de classificação coincidentes com aquela efetuada sobre as imagens com 30m de resolução espacial, para cada um dos temas explorados, como também o grau de confusão entre os temas. Foram gerados gráficos para facilitar a visualização dos resultados desse procedimento.

Para cada uma destas matrizes foram calculados três índices de exatidão, Global, Kappa e o Tau, e suas respectivas variâncias, de acordo com as relações específicas para cada índice (Ma e Redmond, 1995)

O índice Exatidão Global, bem como sua variância podem ser determinados pelas seguintes relações:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\sigma_G^2 = \frac{P_0(1 - P_0)}{N} \dots\dots\dots(2.2)$$

Para o índice Kappa, tem-se:

$$K = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\sigma_K^2 \approx \frac{P_0(1 - P_0)}{N(1 - P_c)^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Semelhantemente, para o índice Tau, vem:

$$T = \frac{P_0 - 1/M}{1 - 1/M} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\sigma_T^2 = \frac{P_0(1 - P_0)}{N(1 - 1/M)^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

As relações para P_0 e P_c podem ser explicitadas por:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N} \dots\dots\dots(2.7), \text{ e}$$

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} n_{+i}}{N^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

onde:

N = número total de pixels contemplados pela matriz de contingência;

n = elemento da matriz de contingência, e

M = número de temas presentes na matriz de contingência.

P_0 = proporção de unidades que concordam, e

P_c = proporção de unidades que concordam por casualidade.

Com os índices e suas respectivas variâncias calculados, foi possível compará-los com base nos valores de Z ao nível de 99% de probabilidade. Também foram criados gráficos com a finalidade de melhor visualizar o comportamento dos três índices à medida que se degradou a resolução espacial das imagens.

Utilizou-se o teste estatístico de Z, especificado abaixo, como preconizam Ma e Redmond (1995) para testar a significância da diferença entre quaisquer os índices de exatidão dois a dois (C1 e C2):

$$Z = \frac{C_2 - C_1}{\sqrt{\sigma_{K_2}^2 + \sigma_{K_1}^2}} \dots\dots\dots(2.8)$$

onde:

C_1 = índice de exatidão 1

C_2 = índice de exatidão 2

$\sigma_{K_1}^2$ = variância do índice de exatidão 1

$\sigma_{K_2}^2$ = variância do índice de exatidão 2

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Degradação das imagens e quantificação dos temas

Foram elaboradas 30 imagens nas bandas espectrais TM1 a TM5 e TM7 com resolução espacial de 60m, 100m, 120m, 200m e 250m. Visualmente pôde-se perceber que a degradação espacial das imagens fez com que as Capoeiras novas se confundissem com as áreas de Não-floresta e as Capoeiras maduras se confundissem com as áreas florestadas, como pode ser observado na Figura 3.1, que mostra uma parte da área de estudo.

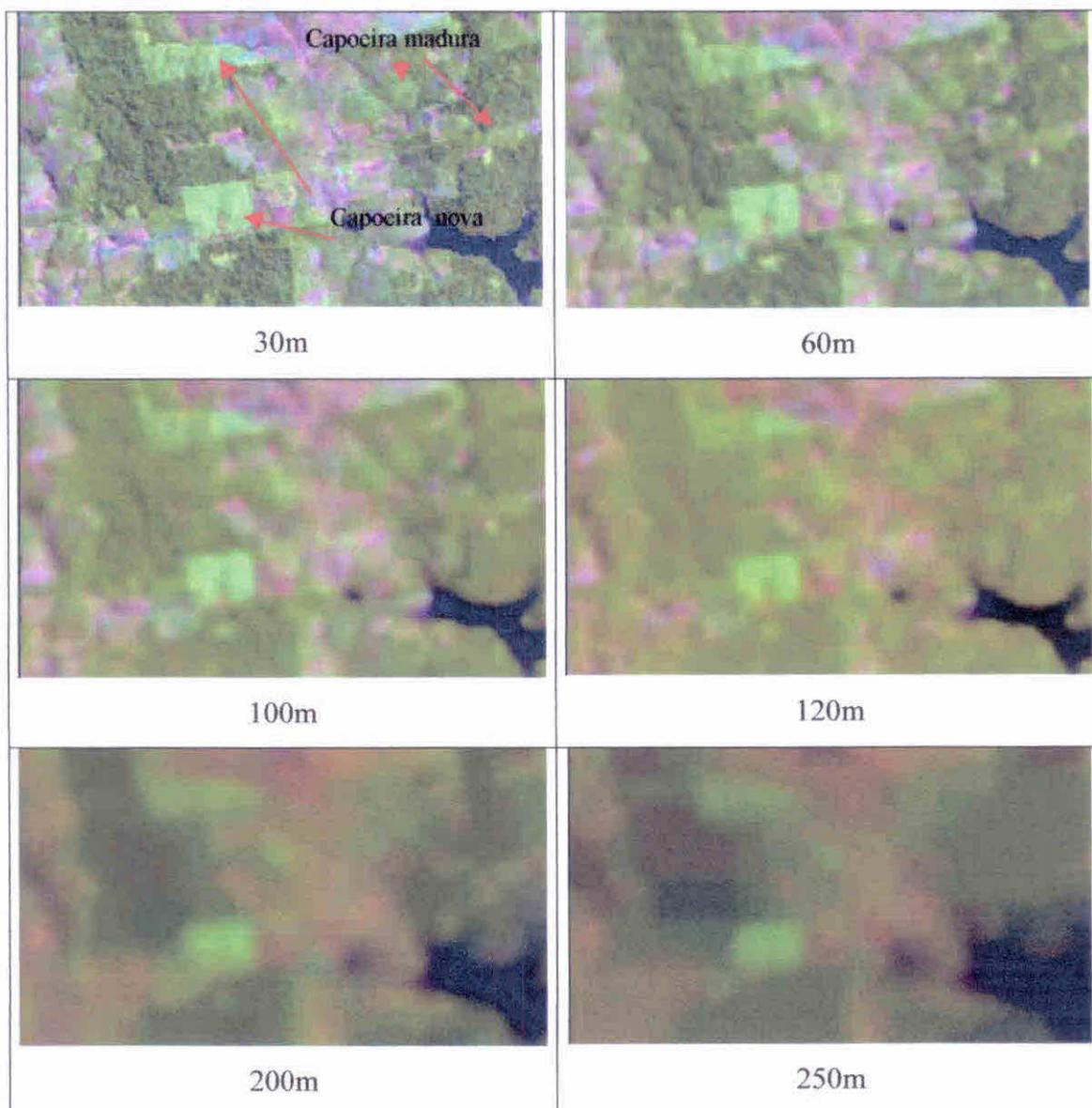


Figura 3.1 – Composições coloridas nas resoluções espaciais de 30m, 60m, 100m, 120m, 200m e 250m.

A Figura 3.2 apresenta os gráficos referentes às áreas (em ha) de cada um dos temas considerados em cada um dos mapas temáticos gerados a partir dos algoritmos Isoseg e Bhattacharya.

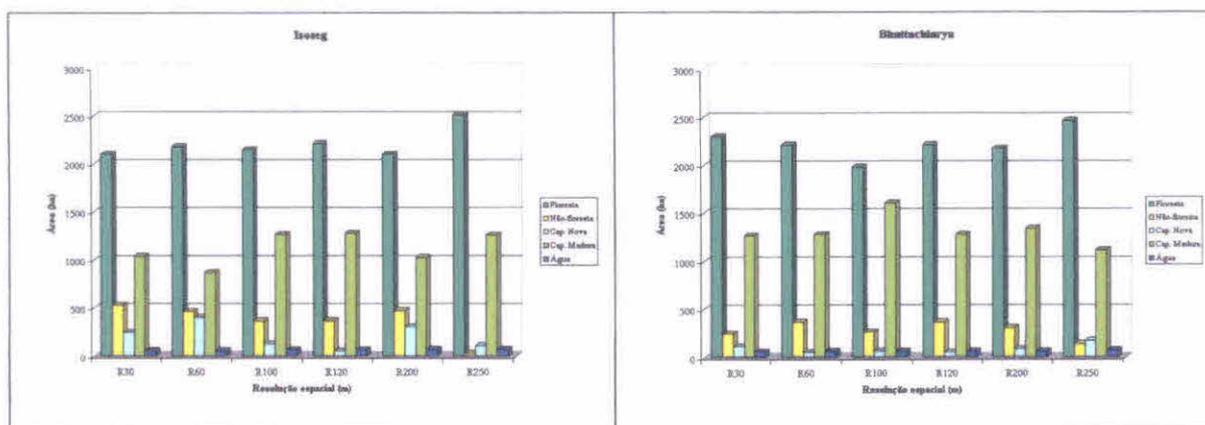


Figura 3.2 – Áreas dos temas originados da aplicação dos algoritmos Isoseg e Bhattacharya em diferentes resoluções espaciais.

Observa-se que através do algoritmo Isoseg, a área do tema Floresta manteve-se praticamente inalterada até a resolução de 200m, apresentando ligeiro aumento na resolução de 250m. Pelo algoritmo Bhattacharya, a área desse tema oscilou um pouco mais, apresentando tendência de queda nas simulações de 60 e 100, invertendo essa tendência nas demais simulações. Tanto nos resultados alcançados com a aplicação do Isoseg quanto do Bhattacharya, observou-se que os temas Floresta e Não-floresta apresentaram alguma correlação inversa em suas tendências, sendo esta mais marcante no uso do Bhattacharya. Isso pode ser explicado pelo fato de que com a degradação da resolução espacial, o tema dominante na cena tende a se expandir, englobando aqueles mais parecidos espectralmente (Ponzoni, 2001). O tema Não-floresta apresentou tendências quase inversas quando da adoção dos diferentes algoritmos de classificação, destacando-se o fato de terem sido determinados valores relativamente superiores de suas áreas de ocorrência nos mapas efetuados a partir do Isoseg. Em ambos os casos este tema apresentou ainda tendência de diminuição de área na resolução de 250m. A Capoeira Nova apresentou correlação com o tema Não-floresta, assim como foi verificada a correlação entre Floresta e Capoeira Madura, sendo que a Capoeira Nova apresentou dimensões menores nos mapas efetuados a partir do algoritmo Bhattacharya.

Para melhor compreender as relações entre estes temas, serão apresentados resultados referentes às matrizes de contingência geradas dos diferentes mapas temáticos cruzados dois a dois, tendo como referência sempre o de resolução espacial de 30 m. A Figura 3.3 apresenta os gráficos que resumem a informação proveniente das matrizes de

contingência para as comparações provenientes do algoritmo Isoseg. Nesses gráficos os temas são representados por cores e por números. Assim, por exemplo, na coluna 1 de um determinado nível de resolução espacial encontramos o tema Floresta e as cores que eventualmente aparecem nessa coluna referem-se aos demais temas que foram confundidos com esse tema em relação ao mapa temático de 30m. Vale salientar que as cores aparecem na mesma seqüência em que foram apresentadas as colunas (de baixo para cima), ou seja, a primeira cor a aparecer em uma coluna será de Floresta, seguida da Não-floresta, da Capoeira nova, da Capoeira madura e da Água, dependendo da ocorrência ou não de confusão.

Para o tema Floresta, verificou-se que este foi ligeiramente confundido com o tema Capoeira Madura já na primeira simulação de imagens com 60m de resolução espacial. Essa confusão persistiu em níveis relativamente estáveis até as simulações de 200m, crescendo um pouco mais na resolução de 250m, quando outros temas passaram a ser igualmente confundidos como os temas Não-Floresta e Capoeira Nova. O tema Não-floresta apresentou sempre um crescente grau de confusão com os temas Capoeira nova e Capoeira Madura, mas nas simulações de 250m, essa confusão diminuiu grandemente devido à diminuição das áreas identificadas para estes dois temas.

Para o tema Capoeira Nova, verificou-se inicialmente (simulação de 60m) grande confusão com o tema Capoeira Madura. Essa confusão não apresentou tendência marcante à medida que a resolução espacial foi sendo degradada, mas destacou-se o aumento da confusão com o tema Não-floresta na simulação de 250m. Isso pode ser explicado pela tendência de “desaparecimento” desse tema Capoeira nova da cena. O tema Capoeira Madura manteve-se relativamente estável com a degradação da resolução espacial, com graus variáveis de confusão entre este tema e os temas Capoeira Nova, Não-floresta e Floresta.

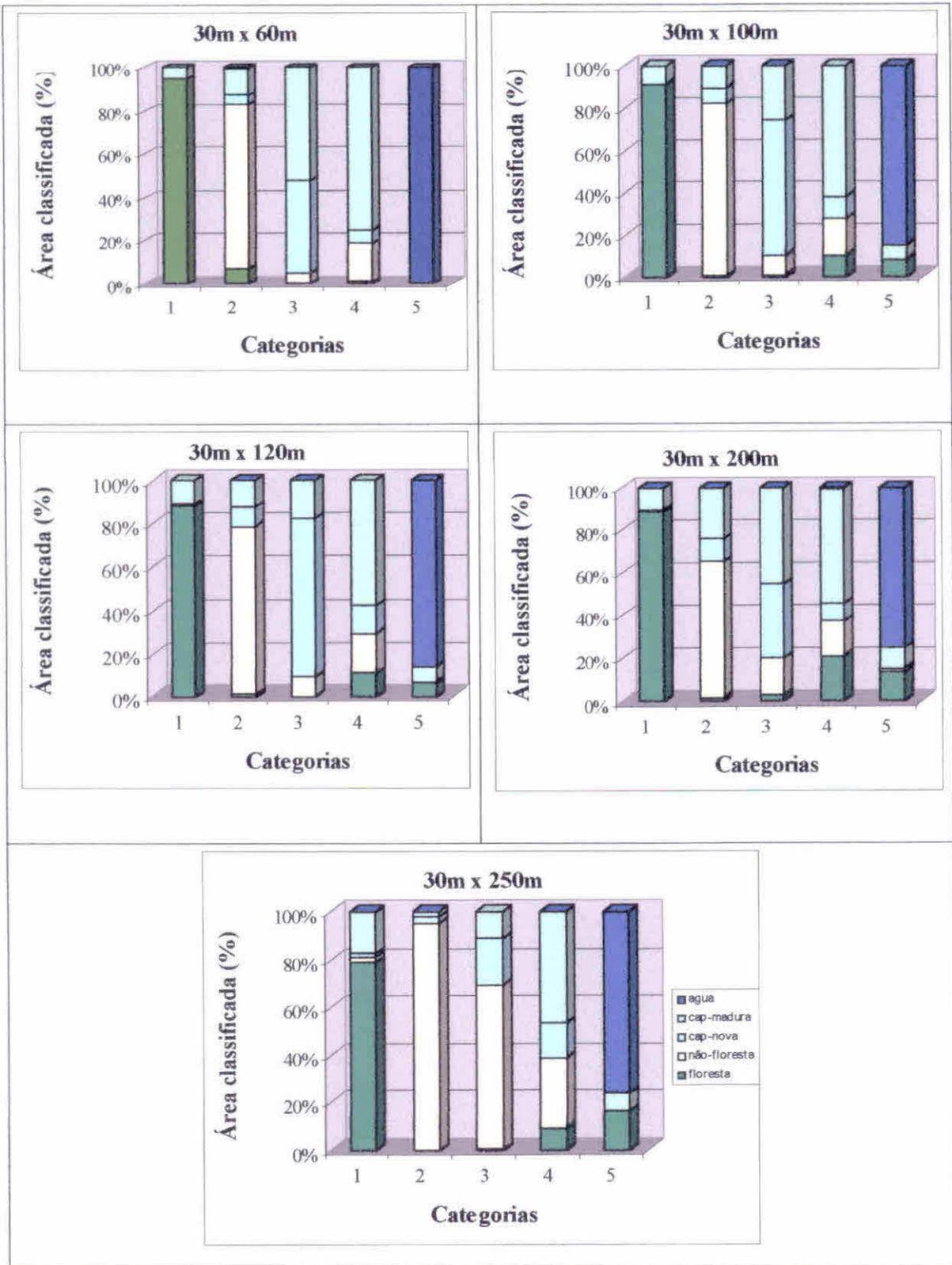


Figura 3.3- Gráficos das matrizes de contingências geradas da tabulação cruzada das várias classificações ISOSEG.

Surpreendentemente o tema Água também apresentou índices de confusão com os temas Floresta e Capoeira Madura, provavelmente ocasionados pelo “desaparecimento” de pequenos corpos d’água ao longo de toda a cena.

A Figura 3.4 apresenta os gráficos das matrizes de contingência das classificações oriundas do algoritmo Bhattacharya.

Uma vez que os mapas temáticos resultantes através da aplicação deste algoritmo de classificação sofreram intervenção direta do intérprete na escolha de amostras de treinamento (classificação supervisionada), os resultados mostraram-se mais consistentes do que aqueles alcançados através da aplicação do algoritmo Iseseg, uma vez que as proporções nas confusões se mantiveram mais constantes à medida que foi promovida a degradação da resolução espacial. O tema Floresta, por exemplo, foi sempre confundido com o tema Capoeira Madura em proporções relativamente constantes, a não ser na simulação de 250m, quando foi identificado um ligeiro aumento da confusão entre estes temas. Para o tema Não-floresta, este sempre foi confundido com as capoeiras, destacando-se a diminuição da confusão entre estes temas na simulação de 250m, o que pode ser explicado pela diminuição na área classificada como capoeiras.

O tema Capoeira Nova apresentou grande confusão com o tema Capoeira Madura. Essa confusão caracterizou um leve declínio à medida que a resolução espacial foi sendo degradada, destacando o aumento da confusão com o tema Não-floresta na simulação de 250m. Fato explicado anteriormente pela tendência de “desaparecimento” do tema Capoeira nova da cena. O tema Capoeira Madura e Água tiveram praticamente o mesmo comportamento que com a aplicação do algoritmo Iseseg, mantendo apenas diferentes proporções de confusão.

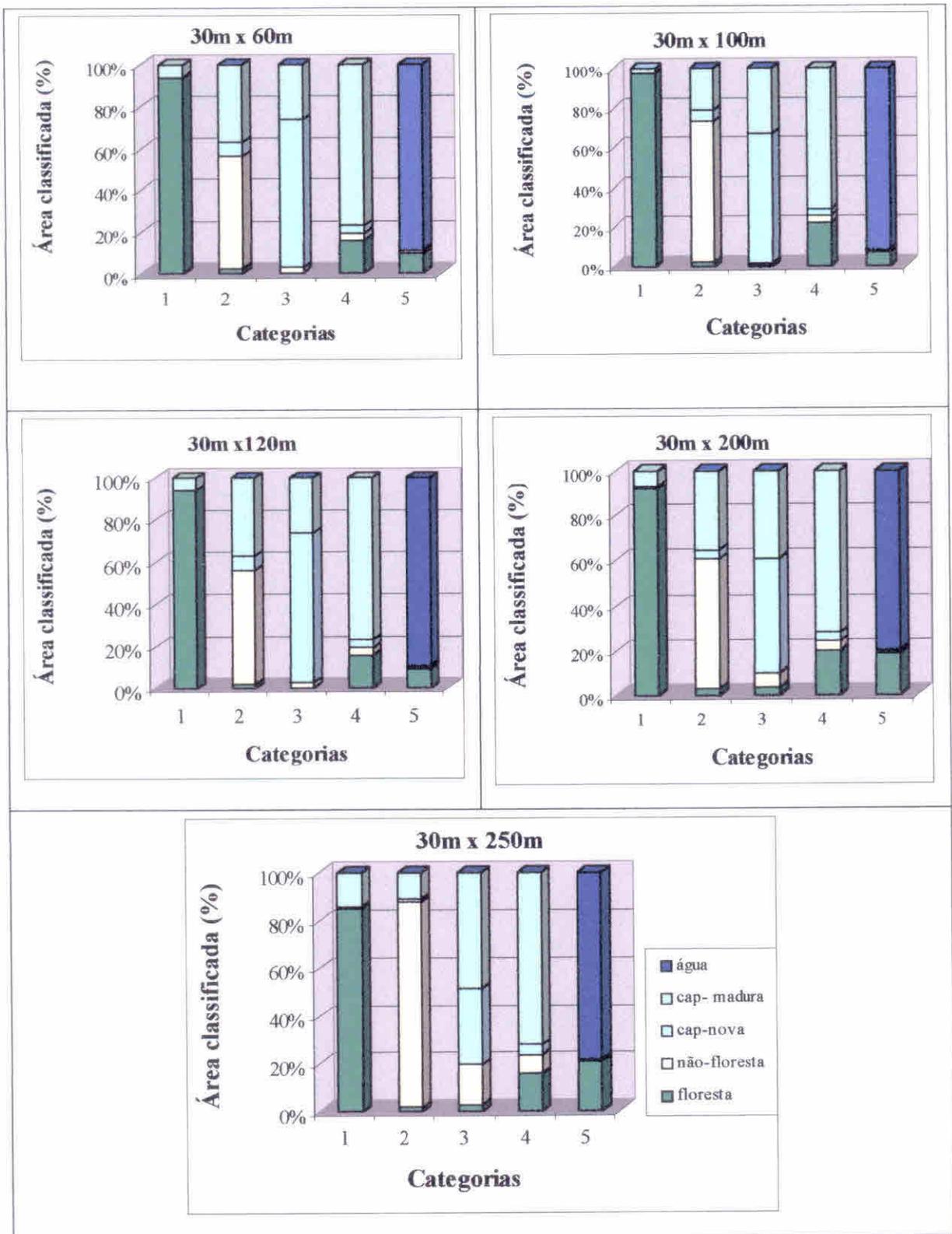


Figura 3.4- Gráficos das matrizes de contingências geradas a partir do algoritmo de classificação Bhattacharya.

3.2 Exatidão de mapeamento

Os valores da Exatidão Global (G), Índice Kappa (K) e Índice Tau (T), encontram-se apresentados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – EXATIDÃO GLOBAL (G), ÍNDICE KAPPA (K) E ÍNDICE TAU (T).

Comparações	Isoseg			Bhattacharya		
	G	K	T	G	K	T
30 vs 60 m	0,83	0,73	0,79	0,84	0,73	0,81
30 vs 100 m	0,80	0,78	0,76	0,85	0,74	0,81
30 vs 120 m	0,77	0,75	0,73	0,84	0,73	0,81
30 vs 200 m	0,72	0,56	0,65	0,82	0,68	0,78
30 vs 250 m	0,67	0,41	0,59	0,79	0,62	0,75

Observa-se que os valores de G foram sempre superiores aos demais índices de exatidão, o que concorda com as afirmações de Brites (1996) sobre a tendência desse índice de superestimar a exatidão de mapeamento. De acordo com esse mesmo autor, o índice T costuma resultar em valores intermediários entre G e K, o que foi igualmente verificado nesse trabalho. De qualquer forma, observou-se que à medida que as imagens tiveram sua resolução espacial degradada, os índices apresentaram queda, sendo esta mais acentuada a partir da resolução espacial de 200m. A Figura 3.5 apresenta os gráficos referentes aos dados apresentados na Tabela 3.1.

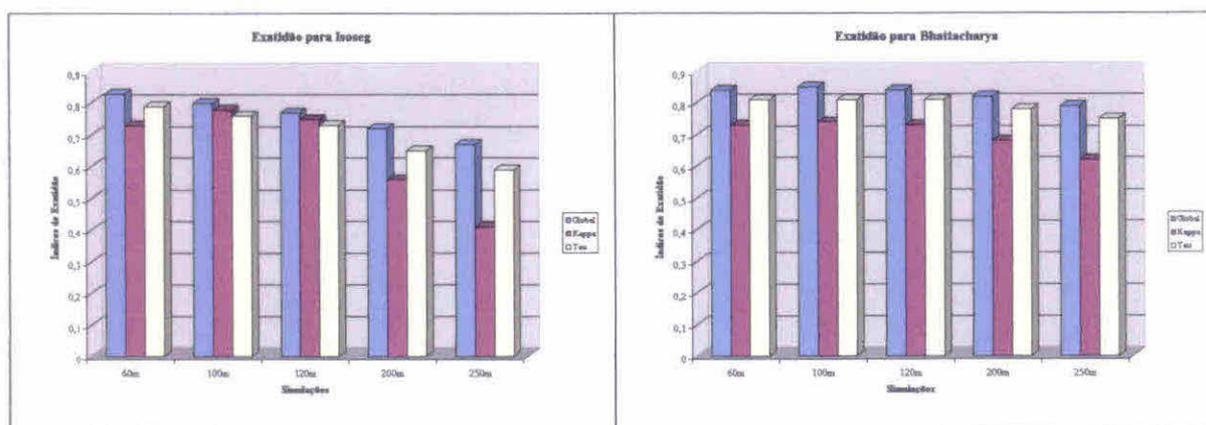


Figura 3.5- Representação gráfica dos índices de exatidão global, coeficiente Kappa e Tau nas classificações Isoseg e Bhattacharya.

Pela análise desses gráficos fica evidente a superioridade da aplicação do algoritmo Bhattacharya em relação ao Isoseg na identificação dos temas da legenda, mesmo com a

degradação da resolução espacial das imagens. Isso pode ser explicado pelo fato de que através da etapa de treinamento, o intérprete passa a controlar um pouco mais a localização das amostras em função das alterações dos níveis de cinza das imagens, obtendo portanto um desempenho maior na definição dos limites das classes em relação ao classificador não supervisionado Isoseg.

Segundo Brites (1996) a exatidão Global apresenta os maiores valores pelo fato de considerar apenas a diagonal principal da matriz de contingência, ignorando a ocorrência de concordância casual entre as classes. Por outro lado o coeficiente Kappa, ao calcular a concordância casual, inclui nos cálculos os elementos da diagonal principal fazendo com que esta seja superestimada, reduzindo o valor do índice. Na formulação do coeficiente Tau, o valor da concordância casual é estabelecido a priori evitando as falhas em que incorrem a exatidão global e o coeficiente Kappa. Os valores intermediários de Tau, indicam um bom balanceamento na consideração das concordâncias real e casual, tomando-se em consideração os dois extremos que representam os outros dois índices, ou seja: total desconsideração da casualidade e sua superestimativa. Tal fato é um indicador de que talvez seja ele o índice que com mais fidelidade represente a exatidão dos processos de classificação temática.

Outras razões para justificar o uso do coeficiente Tau, segundo Ma e Redmond, (1995), seriam que este índice é mais fácil de entender e interpretar, uma vez que concordância por chance (P_c), usada para calcular Tau, é uma medida direta do assinalamento casual; em razão disso, Tau provê uma clara indicação de como a classificação se comporta quando comparada com o assinalamento casual dos pixels às categorias ou classes.

Tau e sua estimativa de variância são relativamente simples de serem calculados. Devido à concordância por chance, no cálculo de Tau, ser independente da matriz de erros, ela pode ser conhecida antes da construção da matriz.

4. CONCLUSÕES

Através dos resultados aqui alcançados conclui-se que na quantificação dos temas explorados nesse trabalho, as alterações mais significativas ocorreram a partir da resolução espacial de 200m, enquanto que a exatidão de mapeamento, expressa por qualquer um dos índices/coeficientes utilizados, diminuiu mais intensamente para os

mapas temáticos elaborados a partir do algoritmo Isepeg em relação àqueles elaborados a partir do algoritmo Bhattacharya (indicando que este último apresentou desempenho superior ao primeiro).

Os temas com semelhança espectral apresentaram maior grau de confusão entre si quando da promoção da degradação da resolução espacial e essa confusão não foi gradativa entre os níveis de resolução espacial adotados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banon, G. J. F. Simulação de imagens de baixa resolução. *Revista da Sociedade Brasileira de Automática*. v. 2 n. 3, p.180-192, 1990.
- Brites, R. S.; Soares, V. P.; Ribeiro, C. A. A. S. Comparação de Desempenho entre Três Índices de Exatidão Aplicados a Classificações de Imagens Orbitais. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico Científicas.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Classificação**. [on-line].
<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c_clapix.htm>. 2001.
- _____. **Imagem de satélite Landsat TM -ORB 226 P 062** . [CD ROM]. Data Pass. 20-07-1991. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 1994.
- _____. **Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite** [on-line]. Abril 2000.
<http://sputnik.dpi.inpe.br:1910/col/dpi.inpe.br/banon/2000/09.12.17.24/doc/amz1998_1999/index_amz.htm>. Setembro 2001.
- Ma, Z.; Redmond, R. L. Tau coefficient for accuracy assessment of classification of remote sensing data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n. 4, p. 435-439, 1995.
- Mausel, P.; Wu, Y.; Li, Y.; Moran, E. F.; Brondizio, E. S. Spectral Identification of successional Stages following Deforestation in the Amazon. **Geocarto International**, v 8, n. 4, p. 61-81, 1993.
- Ponzoni, F.J.; Galvão, L. S.; Epiphânio, J. C. N. Influência da resolução espacial sobre a quantificação de áreas não florestadas em ambiente amazônico. [CD-ROOM]. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 10., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. São Paulo: Sonopress 2001.
- RADAM BRASIL. **Folha SA. 22 - Belém**: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, 1974. (Levantamento de recursos Naturais, 5).