

Metodologia de um Sistema Operacional de Detecção de Desmatamentos na Floresta Amazônica

Angelica C. Di Maio Mantovani^{*}

Alberto W. Setzer^{**}

Resumo. Este trabalho apresenta metodologia simples e de custo relativamente baixo para um sistema operacional de detecção de desmatamentos da Floresta Amazônica em tempo quase-real. A comparação digital de imagens da mesma região, mas de datas distintas, do canal 3 (3.7 μ m) do sensor AVHRR ("Advanced Very High Resolution Radiometer") dos satélites NOAA ("National Oceanographic and Atmospheric Administration"), permite identificar novos desmatamentos em um Sistema de Processamento de Imagens e de Informações Geográficas. Testes realizados em uma região no norte do Mato Grosso são descritos, indicando a possibilidade do uso de imagens AVHRR operacionalmente na detecção de novos desmatamentos. Os resultados obtidos, comparando-se desmatamentos verificados nas imagens AVHRR, com dados correspondentes de alta resolução Landsat-Thematic Mapper (TM), indicaram 49,1% e 56,56% de localização correta no AVHRR na análise de 216 e 221 polígonos de desmatamentos de diferentes tamanhos, para os pares de imagens de setembro de 1989 e setembro de 1990, e de julho de 1990 com setembro de 1990, respectivamente. Nas mesmas imagens foram obtidos, respectivamente, 82% e 90% de acerto para 50 polígonos de desmatamentos com tamanho mínimo de 3,1 km².

Abstract. This work presents a simple and low cost methodology for a deforestation detection operating system in an almost real time, for the Amazon Forest. The digital comparison of images, of a certain region obtained on different dates, by channel 3(3.7 μ m) of the AVHRR("Advanced Very High Resolution Radiometer") sensor of the NOAA ("National Oceanographic and Atmospheric Administration") satellites, allows to identify new deforestations in an Images and Geographic Informations Processing System. Tests carried out in a region in the north of Mato Grosso State are described, showing the possibility of usage of AVHRR images operationally in new deforestations detection. By comparing the deforestations observed in AVHRR images with corresponding high resolution Landsat-Thematic Mapper (TM) data, the results indicated 49,1% and 56,56% of correct localization in the AVHRR, during analysis of 216 and 221 deforestation polygons, of different sizes, in the couples of images September 1989 plus September 1990 and July 1990 plus September 1990, respectively. In the same images it were obtained, respectively, 82% and 90% of correctness for 50 deforestation polygons with minimum area of 3.1 km².

^{*} Professora da UNIVAP

^{**} Pesquisador do INPE

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira, com cerca de 5.000.000 km², rica em recursos naturais, tem sido tema de estudos quanto à sua utilização mais apropriada. A significativa alteração da cobertura vegetal da Amazônia, de 21.130 km²/ano, como média no período de 1978 a 1988 (INPE, 1992), tem provocado crescente preocupação nacional e mundial. De acordo com INPE (1992), estimativas baseadas em imagens orbitais revelaram um valor de 426.400 km² de floresta desmatada na Amazônia legal brasileira até 1991.

Tornou-se notório que os recursos naturais estão cada vez mais escassos e que os efeitos das atividades antrópicas sobre o ambiente são cada vez mais intensos. Mas também tem sido reconhecido que melhores métodos de avaliação e planejamento dos recursos produzem benefícios no gerenciamento dos recursos naturais.

Nos últimos anos, o sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites meteorológicos da série NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration), tem contribuído significativamente em estudos de vegetação (Justice et al., 1985; Malingreau e Tucker, 1988; Cross, 1990 e 1991). A utilização do AVHRR com resolução espacial de 1.1 km tem algumas vantagens, como por exemplo o baixo custo das imagens, e cobertura diária de regiões de dimensões continentais (Kidwell, 1991). Esta maior frequência de observação resulta normalmente em uma série de imagens que fornecem pelo menos uma imagem livre de nuvens da maioria das áreas tropicais, durante a estação seca do ano (Malingreau e Tucker, 1988).

O manejo e o armazenamento da grande quantidade de dados disponíveis dos sistemas sensores orbitais é tarefa difícil. Um dos meios encontrados para reduzir este problema, otimizando a análise dos dados, é a utilização dos sistemas de informações geográficas - SIG - que se desenvolveram a partir da necessidade de se resolver problemas de manipulação e de apresentação de dados que podem ser geocodificados (Ehlers et al., 1989). A interação sensoriamento remoto - SIG fornece meios para se efetuar um gerenciamento eficaz e efetivo de recursos naturais em larga escala.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho (Di Maio Mantovani, 1994) foi o desenvolvimento de um procedimento metodológico, visando a geração de um sistema que possibilite a automatização da detecção da alteração da cobertura vegetal da Amazônia, utilizando de forma integrada um SIG na manipulação de imagens AVHRR\NOAA. Este sistema facilitaria o processo de gerência, controle e análise da região com custo relativamente baixo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Apresenta-se a seguir um resumo dos materiais e métodos utilizados no trabalho, cuja descrição completa encontra-se em Di Maio Mantovani (1994).

ÁREAS DE ESTUDO

As cinco áreas de estudo, utilizadas no teste da metodologia, estão localizadas na Amazônia Legal brasileira, no estado do Mato Grosso. Cada uma corresponde à região coberta em uma carta topográfica (IBGE, s.d.) na escala 1:250.000, conforme mostra a Figura 1.

IMAGENS DE SATÉLITES

Foram utilizadas neste trabalho imagens AVHRR, no formato "High Resolution Picture Transmission" (HRPT), gravadas pela estação receptora do INPE de Cachoeira Paulista, SP.

As imagens utilizadas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Imagens AVHRR\NOAA utilizadas

Tabela de Aquisição	Cruzamento com o Equador	
	Horário	Longitude (W)
17/09/89	17:40:04	50°13'48"
30/07/90	18:10:53	60°42'36"
15/09/90	17:59:16	56°51'00"

Foram também empregadas informações geradas a partir de imagens TM como referência na avaliação dos resultados com as imagens AVHRR, que consistiram em cinco cartas temáticas na escala 1:250.000 geradas pelo Sistema de Informações "AMAZÔNIA" (Alves et al., 1992) a partir da interpretação visual de várias imagens TM em papel fotográfico, composição colorida 3/4/5 produzidas pelo INPE/C. Paulista. Essas cartas fazem parte de um conjunto de 332 cartas da AMAZÔNIA, que recobrem a Amazônia Legal brasileira, indicam o incremento anual de desmatamento na região. As 5 cartas temáticas escolhidas correspondem às áreas de estudo analisadas neste trabalho e foram selecionadas, considerando a disponibilidade das cartas na AMAZÔNIA e os locais de desmatamentos mais intensos. A Tabela 2 mostra as cartas escolhidas segundo o MIR e as respectivas órbitas/ponto das imagens TM com as datas de 1989 e 1990, utilizadas na interpretação visual dessas imagens, e que originaram as cartas.

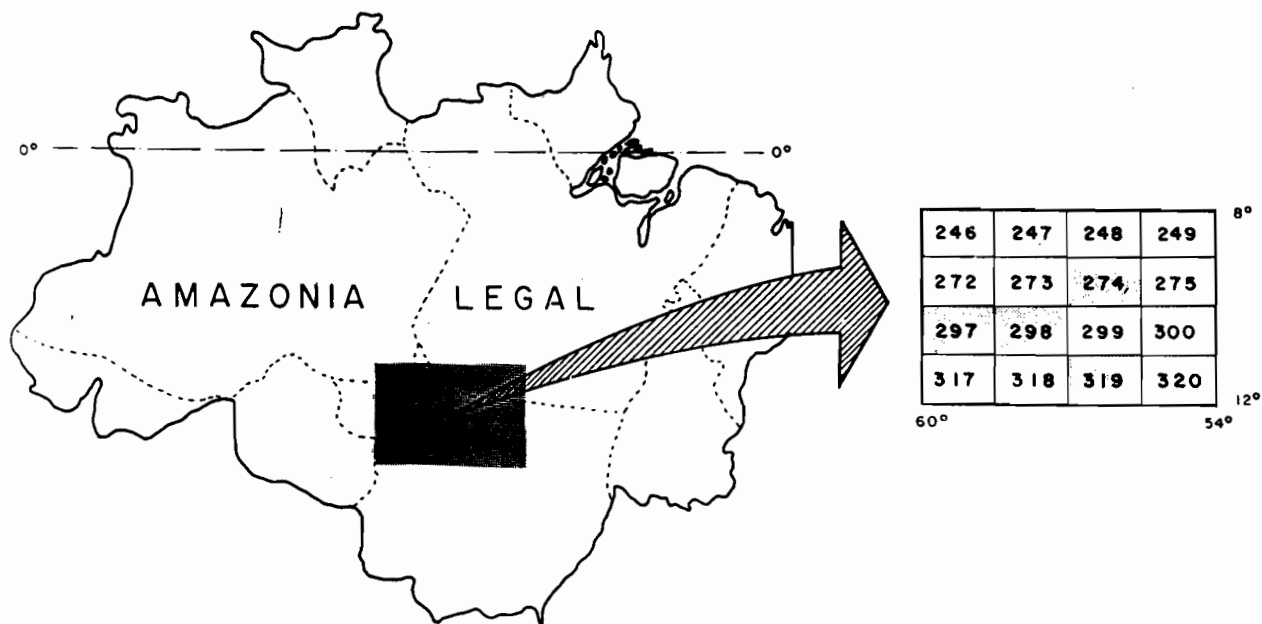


Figura 1 - Localização das áreas de estudo: cartas MIR 274, 297, 298, 319 e 320.

Tabela 2 - Imagens TM/LANDSAT que originaram as cartas temáticas utilizadas

Cartas (MIR)	Imagens TM (órbita \ ponto)	Datas de Aquisição*
274	227/66	21/07/89 - 24/07/90
	227/67	21/07/89 - 26/09/90
	228/66	14/09/89 - 01/09/90
	228/67	26/06/89 - 01/09/90
297	229/67	20/08/89 - 07/08/90
	229/68	05/09/89 - 07/08/90
	230/67	12/09/89 - 30/08/90
	230/68	12/09/89 - 30/08/90
298	228/67	26/06/89 - 01/09/90
	228/68	28/07/89 - 01/09/90
	229/67	20/08/89 - 07/08/90
	229/68	05/09/89 - 07/08/90
319	226/68	14/07/89 - 02/08/90
	227/68	21/07/89 - 26/09/90
	228/68	28/07/89 - 01/09/90
320	225/68	08/08/89 - 28/08/90
	226/68	- 02/08/90
	227/68	21/07/89 - 26/06/90

PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS AVHRR

O sistema de tratamento de imagens utilizado foi o SITIM-340 (INPE, 1986) com suas funções de leitura, transferência e classificação das imagens AVHRR. No cruzamento das imagens para análise temporal dos dados foi empregado o Sistema de Informações Geográficas SIG\INPE -SGI (INPE, 1989). Para que as imagens AVHRR de datas distintas pudessem ser sobrepostas digitalmente, elas foram submetidas a uma transformação geométrica. Primeiramente, foi utilizado o programa de ajuste NAVE (Fernandes et al., 1992). Este programa ajusta os seguintes dados do arquivo de parâmetros orbitais da imagem: horário inicial de gravação, e longitude de cruzamento com o equador. Em seguida procedeu-se à correção geométrica das imagens AVHRR através do programa DESFLO (Fernandes et al., 1993). O programa gerou imagens com resolução de 1,1 km na projeção cilíndrica equidistante, a partir dos parâmetros de aquisição de imagem e de órbita do satélite, já ajustados pelo programa NAVE, o que proporcionou o registro entre as imagens de datas diferentes.

A manipulação das imagens NOAA neste trabalho envolveu a análise de diferentes imagens do mesmo sensor na mesma banda, e tomadas em diferentes

épocas. Um ponto importante da manipulação dessas imagens, foi a existência de diferenças de contraste entre elas. Para minimizar o problema de efeitos da falta de equalização da média e do desvio padrão dos histogramas das imagens, foi realizada uma classificação por fatiamento, diferente para cada imagem, conforme suas características radiométricas. Esta técnica provou ser a mais adequada na detecção de desmatamentos na Amazônia conforme mostrado por Amaral (1992). Nas imagens AVHRR corrigidas de 1,1 km, foram mantidas as mesmas características radiométricas das imagens fornecidas pelo INPE, com 256 níveis de cinza (oito bits), obtidas a partir da recepção original com 1024 níveis. Optou-se em trabalhar com os níveis de cinza e não valores de radiometria derivados a partir de equações de calibração termal da banda 3, pois, tratando-se de imagens diurnas, as mesmas possuem componente de luz solar refletida não previsto na calibração.

INTEGRAÇÃO DOS DADOS NO SGI

Como o SGI opera de forma integrada com o SITIM no que se refere aos aplicativos orientados para sensoriamento remoto (INPE, 1989), as imagens AVHRR classificadas foram transferidas do SITIM para o SGI. O conjunto dos planos de informação (PIs), ou "projeto" com os dados AVHRR foi definido na projeção cilíndrica equidistante. Neste projeto incluíram-se os Planos de Informação com as imagens classificadas e com as imagens AVHRR resultantes dos cruzamentos no SGI realizados para os períodos avaliados.

As imagens de duas datas distintas, já registradas geometricamente, foram cruzadas pixel a pixel para produzir uma imagem resultante com as diferenças entre as duas datas. A imagem resultante indicou a alteração ocorrida na cobertura vegetal da região no período entre as duas datas. Através desta operação, foi criado então o PI com a imagem resultante do cruzamento.

O cruzamento entre as imagens AVHRR no SGI foi realizado a partir de um arquivo que define as imagens a serem cruzadas, as classes de interesse, e a regra de cruzamento.

Os PIs formados pelas imagens AVHRR resultantes possibilitaram a geração de cartas (opção "Saída" no SGI) onde foram identificadas as áreas de alerta, ou seja, áreas onde na primeira imagem analisada havia vegetação, e na imagem subsequente verificou-se a possível ocorrência de desmatamentos. A função "Cálculo de Coordenada" do sistema permitiu que fossem fornecidas as coordenadas geográficas (latitude e longitude) destas áreas de interesse.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos da comparação entre as coordenadas extraídas do mapa e as coordenadas correspondentes nas imagens AVHRR bruta e corrigida geometricamente. Observa-se que as imagens AVHRR geometricamente corrigidas forneceram dados georreferenciados com precisão maior que nas imagens com parâmetros orbitais nominais. As médias das diferenças obtidas entre as coordenadas extraídas do mapa e as coordenadas nas imagens foram de: 4'08" em latitude e 47" em longitude para a imagem original, e 07" em latitude e 16" em longitude para a imagem com correção geométrica. Considerando-se que no Equador um grau de latitude ou longitude corresponde a aproximadamente 111 km, um minuto a cerca de 1,85 km e um segundo a cerca de 31 m, a precisão da imagem corrigida foi em média: 215 m em latitudes, e 493 m em longitudes. Estes valores são menores que a dimensão de um pixel no nadir (1,1 km), indicando portanto resultado excepcional no método usado para correção das imagens brutas.

Apesar do procedimento utilizado para minimizar diferenças radiométricas existentes entre as imagens AVHRR, as diferenças nos níveis de cinza das mesmas feições nas diferentes imagens, ainda resultaram em classificações diferentes. Esta situação possivelmente resultou das imagens terem sido tomadas em datas e horários distintos, e conseqüentemente com elevação solar, composição atmosférica, umidade do solo e da vegetação e estado fenológico da vegetação diferentes.

A Tabela 4 mostra a variação da resposta radiométrica da banda 3 para a classe floresta nas imagens AVHRR de setembro de 1989, julho de 1990 e setembro de 1990. Os valores de nível de cinza (NC) dos diferentes locais de floresta escolhidos como amostras nas imagens AVHRR foram obtidos através da função "Cálculo de Estatísticas" do SITIM. Para cada imagem foi obtido um valor mínimo de NC representando cada uma das amostras da classe floresta. Este valor mínimo de cada amostra foi então utilizado na classificação por fatiamento para a respectiva imagem, tendo correspondido aos dados adquiridos no "ponto 5". Valores inferiores ao valor mínimo para floresta em cada imagem AVHRR foram considerados pertencentes a classe Não-Floresta, ou seja, desmatamento e cerrado.

AFERIÇÃO DOS RESULTADOS

A aferição dos resultados foi realizada através da comparação visual dos dados de saída AVHRR com informações geradas com dados TM. Foram analisados 221 locais de desmatamento indicados na imagem resultante do cruzamento da imagem de julho de 1990

Tabela 3 - Coordenadas dos pontos adquiridos para verificação da precisão de localização

Coordenadas Extraídas do Mapa	Coordenadas nas Imagens AVHRR		Mapa\AVHRR *	
	Imagem Bruta	Imagem Corrigida	Bruta	Corrigida
(P1) Lat.: S 10°25'59,76" Long.: O 58°19'16,63"	S 10°30'35" O 58°19'35"	S 10°26'08,17" O 58°19'30,24"	4'36" 19"	09" 14"
(P2) Lat.: S 10°58'35,83" Long.: O 58°19'41,59"	S 11°00'50" O 58°21'41"	S 10°58'31,32" O 58°19'59,80"	2'15" 2'00"	04" 18"
(P3) Lat.: S 08°45'36,93" Long.: O 57°25'09,86"	S 08°51'21" O 57°25'18"	S 08°45'41,57" O 57°24'49,06"	5'45" 8'00"	05" 20"
(P4) Lat.: S 11°00'05,21" Long.: O 55°50'44,95"	S 11°03'32" O 55°50'19"	S 10°59'55,81" O 55°50'43,08"	3'27" 26"	10" 02"
(P5) Lat.: S 08°42'20,99" Long.: O 58°19'51,24"	S 08°48'16" O 58°20'49"	S 08°42'24,44" O 58°19'59,80"	5'55" 58"	03" 09"
(P6) Lat.: S 11°06'36,27" Long.: O 55°17'43,50"	S 11°08'10" O 55°17'48"	S 11°06'30,07" O 55°17'42,55"	1'34" 05"	06" 01"
(P7) Lat.: S 10°41'58,12" Long.: O 57°56'05,93"	S 10°49'38" O 57°54'08"	S 10°42'01,95" O 57°56'15,01"	7'04" 1'57"	03" 09"
(P8) Lat.: S 09°29'33,70" Long.: O 58°16'42,50"	S 09°34'20" O 58°16'05"	S 09°29'48,77" O 58°16'03,31"	4'47" 38"	15" 39"
(P9) Lat.: S 09°39'41,85" Long.: O 55°56'58,68"	S 09°42'37" O 55°55'49"	S 09°39'40,16" O 55°56'08,24"	2'56" 1'09"	02" 50"
(P10) Lat.: S 10°06'38,25" Long.: O 55°32'53,62"	S 10°09'44" O 55°32'47"	S 10°06'53,54" O 55°32'53,62"	3'06" 06"	15" 00"

* Diferenças entre as coordenadas do mapa e coordenadas das imagens AVHRR bruta e corrigida.

com setembro de 1990 (JS), e 216 locais de desmatamento na imagem resultante do cruzamento da imagem de setembro de 1989 com setembro de 1990 (SS). As Tabelas 5 e 6 mostram os resultados obtidos para os locais de desmatamento de 1990, identificados nas cartas TM, e sobrepostos às áreas amostrais da imagem resultante AVHRR.

Dos 216 locais de desmatamentos identificados nos mapas TM, a imagem AVHRR resultante do cruzamento das imagens de setembro de 1989 com setembro de 1990 registrou 106 (49,1%), conforme

mostra a Tabela 5. Para a imagem AVHRR, resultante do cruzamento da imagem de julho com a de setembro de 1990, dos 221 locais de desmatamentos analisados, 125 (56,6%) foram também registrados pela imagem AVHRR resultante (Tabela 6).

Os novos locais de desmatamento de 1990, observados nas cartas TM, e que foram classificados como floresta na imagem AVHRR, estão relacionados com o tamanho dos polígonos, pois polígonos menores que 3,1 km² não foram sempre identificados na imagem AVHRR. Muitos destes polígonos tinham dimensões

Tabela 4 - Variação da resposta radiométrica da banda 3 para floresta em três imagens AVHRR diferentes

Nº de Amostra de Floresta	Valores Radiométricos nas imagens AVHRR		
	Imagem SET/89	Imagem JUL/90	Imagem SET/90
1	121,0	147,0	136,0
2	120,0	154,0	131,0
3	118,0	136,0	116,0
4	132,0	152,0	141,0
5	111,0	128,0	113,0
6	128,0	142,0	131,0
7	136,0	146,0	142,0
8	122,0	131,0	122,0
9	124,0	138,0	127,0
10	120,0	138,0	134,0
Média	123,2	141,2	129,3
Desvio Padrão	7,2	8,6	9,8

Tabela 5 - resultados obtidos da imagem AVHRR resultante do cruzamento da imagem de setembro de 1989 com a de setembro de 1990

Cartas TM	Nº de polígonos por Carta TM	Classes na Imagem AVHRR Resultante				
		Não Floresta	Veget. Secundária	Floresta	Outros	Nuvem
274	40	25	02	10	03	-
297	40	17	03	19	01	-
298	43	17	09	13	04	-
319	40	20	05	13	02	-
320	53	27	04	21	01	-
Total	216	106	23	76	11	-
%	100,0	49,1	10,6	35,2	05,1	-

menores que a resolução do AVHRR (de 1,2 km² a 2,0 km², dependendo do ângulo de varredura), considerando o tamanho total da área de estudo.

Os pontos localizados em vegetação secundária não foram identificados na imagem AVHRR, mas estavam na borda de antigos desmatamentos, os quais na imagem AVHRR com data anterior ainda foram considerados como desmatamento, e na imagem tomada posteriormente apresentaram padrão semelhante ao de floresta.

Alguns pontos nas imagens AVHRR foram identificados como "outros", ou seja, cerrado ou desmatamento antigo. Isto se justifica pelo fato de estarem também próximos a desmatamentos antigos ou cerrado. Na verdade, esses locais de desmatamento não foram registrados pelo AVHRR. O deslocamento entre as feições devido à existência de erro na geometria interna das imagens provocou a localização de alguns pontos em classes geograficamente próximas.

Para as imagens com datas de julho e setembro de 1990, observou-se resultado melhor no que se refere à quantidade de pontos reconhecidos como desmatamento na imagem AVHRR resultante. Isto, provavelmente, ocorreu em função do melhor registro entre as imagens.

A Tabela 7 mostra os resultados observados nas imagens AVHRR resultantes, considerando-se apenas 50 polígonos de desmatamentos das cartas TM com área superior a 3,1 km². Nesta Tabela, SS refere-se à imagem resultante do cruzamento da imagem de setembro de 1989 com a de setembro de 1990, e JS à imagem de julho de 1990 com setembro de 1990.

Enquanto muitos polígonos pequenos foram identificados nas imagens AVHRR, alguns polígonos maiores que 3,1 km² não o foram. Observando-se as imagens TM constatou-se que os polígonos grandes não identificados nas imagens AVHRR, principalmente na região delimitada pela carta 320, não correspondiam a desmatamentos do tipo corte raso, mas possivelmente a desmatamentos seletivos. Nestes casos, em que uma parte significativa da floresta é deixada intacta, verificou-se na imagem TM apenas uma mudança discreta na textura e na cor em relação a floresta original.

A Tabela 8 mostra a quantidade de "falsos alarmes" encontrados nas imagens AVHRR, os quais corresponderam às áreas

Tabela 6 - Resultados obtidos da imagem resultante do cruzamento da imagem de julho de 1990 com a de setembro de 1990

Cartas TM	Nº de polígonos por Carta TM	Classes na Imagem AVHRR Resultante				
		Não Floresta	Veget. Secundária	Floresta	Outros	Nuvem
274	45	33	01	10	01	-
297	40	19	06	14	01	-
298	44	24	06	14	-	-
319	40	25	02	11	02	-
320	52	24	07	19	02	-
Total	221	125	22	68	06	-
%	100,0	56,6	9,9	30,8	02,7	-

centagem de erro reduziu-se para cerca de 22%.

Outros fatores podem ter causado esses "falsos alarmes", por exemplo, problemas de registro e de diferenças radiométricas entre as imagens, e confusão na classificação, especialmente onde ocorreram pixels misturados (Cross, 1991) de "bordas" no contato floresta-desmatamento e floresta-cerrado, com tendência a serem classificados como desmatamento. Como pode ser observado na Tabela 8, a maior incidência de desmatamentos ocorreu nas regiões delimitadas pelas cartas 274 e 320, onde ocorreram os "fal-

Tabela 7 - Porcentagem de polígonos maiores que 3,1 km² corretamente identificados nas imagens AVHRR

Cartas TM	Nº de polígonos por Carta TM	Imagens AVHRR Resultantes	
		ACERTOS	
		SS *	JS *
274	9	8	9
297	7	6	7
298	7	6	7
319	10	10	10
320	17	11	12
Total	50	41	45
%	100,0	82,0	90,0

sos alarmes" também em maior quantidade. Através de análise visual, verificou-se ainda que dos 10% de "falsos alarmes" ocorridos em área de cerrado, a maior parte foi registrada na região delimitada pela carta 298, onde se verificou a maior ocorrência deste tipo de vegetação, dentre as cinco áreas analisadas. Por último, conforme as Tabelas 1 e 2, deve-se ainda considerar o fato que das imagens TM utilizadas no mapeamento de referência, apenas 3 delas abrangem todo o período analisado nas imagens AVHRR. Portanto, não é excluída a possibilidade de que tenham ocorrido desmatamentos posteriores às passagens TM registradas, detectados apenas nas imagens AVHRR.

* SS refere-se à comparação entre as imagens de setembro de 89 e setembro de 90; JS às imagens de julho e setembro de 1990.

Tabela 8 - Quantidade total de polígono de desmatamento de 1990 e porcentagem de "falsos alarmes" observados nas imagens AVHRR resultantes

consideradas desmatamento em 1990 nas imagens AVHRR, e que não foram encontradas nas cartas geradas com dados TM.

Aproximadamente 10% desses "falsos alarmes" ocorreram em áreas de cerrado. Apesar das áreas de cerrado não terem sido verificadas quanto à ocorrência de desmatamento, alguns locais em áreas de cerrado foram considerados floresta na primeira data e não-floresta na segunda. Isto talvez possa ser explicado pelas diferenças radiométricas entre as imagens (que interferiram na classificação), ou mesmo por possíveis alterações ocorridas na região. Portanto, descartando-se os "falsos alarmes" em áreas de cerrado, a por-

Áreas Amostrais AVHRR	Imagens AVHRR Resultantes					
	SS			JS		
	total	f.al.	%	total	f.al.	%
274	222	58	26,1	230	53	23,0
297	94	13	13,8	92	24	25,5
298	134	36	26,8	105	34	32,4
319	139	55	39,5	135	47	34,8
320	218	99	45,4	202	90	44,5
Total	807	261		764	248	
% Total	100,0	32,3		100,0	32,4	

nota: "f.al." corresponde aos falsos alarmes nas imagens AVHRR.

4. CONCLUSÃO

A nova metodologia desenvolvida mostrou que os dados do sensor AVHRR também podem ser utilizados diretamente na detecção de mudanças na cobertura florestal em florestas tropicais. Com esta metodologia de rápida execução, torna-se possível a detecção de desmatamentos logo após sua ocorrência e não após a queimada a ele associada, ou quando da análise de imagens de alta resolução alguns anos depois.

Apesar desta metodologia apresentar limitações inerentes à radiometria diferenciada de imagens adquiridas em diferentes épocas, ao registro entre imagens, e também à estimativa de áreas desmatadas, fica estabelecida a possibilidade do uso de um sistema semi-automático de detecção de mudanças na cobertura florestal da Floresta Amazônica através de imagens AVHRR, desde que sejam estabelecidos critérios de precisão.

Seria importante desenvolver um trabalho que analisasse cada uma das fontes de erros observadas e avaliasse sua influência sobre os resultados de análises multi-temporais com as imagens AVHRR, por exemplo, problemas de calibração da banda 3, que interferiram nas características radiométricas das imagens, e o registro entre as imagens de datas distintas. Deve-se considerar ainda uma nova avaliação dos resultados a partir de outra fonte de referência, como trabalho de campo. Sugere-se portanto que seja dada continuidade a esta pesquisa, no sentido de aperfeiçoar e operacionalizar um "Sistema de Alerta de Desmatamentos para a Amazônia" com dados AVHRR.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Aníbal E. Fernandes pela fundamental assistência na parte computacional do trabalho, a Eliana M. Kalil Mello por haver gentilmente cedido os dados TM, do Projeto Amazônia, desenvolvido no INPE, utilizados como referência na verificação dos resultados. Este trabalho foi parcialmente apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo FAPESP (Projeto N° 90/2950-2).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, D.S.; Meira Filho, L.G.; D'Alge, J.C.L., Mello, E.K.de, Moreira, J.C.; Medeiros, J.S.de The Amazonia Information System. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 17., Washington, 03-14 Aug., 1992. Proceedings. ISPRS, 1992, pp.259-266.

Amaral, S. Imagens do sensor AVHRR\NOAA na detecção e avaliação de desmatamentos na floresta Amazônica - relações com dados do sistema TM\Landsat. Dissertação de mestrado em sensoriamento remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992. 195 pp. (INPE - 5501-TDI/516).

Cross, A. AVHRR as a data source for a GIS: deforestation in Amazonia. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Washington, D.C., May 20-24, 1990. Proceedings. S.I., s.ed., 1990, pp. 223-226.

Cross, A. Tropical forest monitoring using AVHRR: towards an automated system for change detection. Geneve, UNEP\GRID, 1991. Final report to the Commission of the European Communities. 44 pp.

Di Maio Mantovani, A.C. Detecção de desmatamentos na floresta amazônica através de imagens AVHRR\NOAA e do sistema de informações geográficas SGI: metodologia e teste de um sistema potencial de alerta. Dissertação de mestrado em sensoriamento remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

Ehlers, M.; Edwards, G.; Bédard, Y. Integration of remote sensing with geographic information system: a necessary evolution. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. 55(11):1619-1627, Nov. 1989.

Fernandes, A.E.; Setzer, A.W.; Pereira, M.C. Programa NAVE. São José dos Campos, INPE, 1992.

Fernandes, A.E.; Setzer, A.W.; Pereira, M.C. Programa DESFLO. São José dos Campos, INPE, 1993.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartas Topográficas 1:250.000 - Corte sistemático.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Departamento de Processamento de Imagens (INPE. DPI). Manual do usuário do SITIM. São José dos Campos, 1986.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Departamento de Processamento de Imagens (INPE. DPI). Manual do usuário do SIG. São José dos Campos, 1989.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
Deforestation in Brazilian Amazonia. São José dos Campos, INPE. 1992, 4 pp.

Justice, C.O.; Townshend, J.R.G.; Holben, B.N.;
Tucker, C.J. Analysis of the phenology of
global vegetation using meteorological satel-

lite data. **International Journal of Remote Sensing**, 6(8):1271-1318, 1985.

Kidwell, K.B. NOAA polar orbiter data (Tiros-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11 and NOAA-12) users guide. Washington, D.C., NOAA/NESDIS, 1991.

Malingreau, J.P.; Tucker, C.J. Large scale deforestation in the southeastern Amazon basin of Brazil. **Ambio**, 17(1):49-55, 1988.