

## O QUADRO DO DESFLORESTAMENTO DA AMAZÔNIA

*Thelma Krug\**

O Brasil é considerado um país singular no que tange à avaliação da cobertura florestal da parte da Amazônia compreendida em seu território. Esta singularidade está associada tanto à frequência com que os desmatamentos da Amazônia são observados quanto à extensão geográfica abrangida. Na maior parte dos países (principalmente os tropicais), o monitoramento de suas florestas é feito a cada cinco ou 10 anos, e de forma não necessariamente abrangente. O Brasil gera estimativas anuais da taxa média e da extensão do desflorestamento bruto da Amazônia a partir da análise de imagens de satélite que cobrem toda a região.

O projeto que gera as estimativas anuais vem sendo executado sistematicamente desde 1988 sob a coordenação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), utilizando imagens do satélite norte-americano Landsat, em composição colorida na escala 1:250.000. Esta escala permite a identificação de desflorestamentos maiores que 6,25 hectares.

A Amazônia brasileira cobre uma área de aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup> sendo 4 milhões desses originalmente associados a

---

\* Coordenadora Geral de Observação da Terra. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

uma cobertura com fisionomia florestal primária. Na escala adotada, esta área é coberta por 229 imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landsat.

Inicialmente, é importante definir o que se entende por desflorestamento e por desflorestamento bruto. Por desflorestamento, neste estudo conduzido pelo INPE, e conhecido pela sigla PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia), desflorestamento refere-se à conversão de áreas de fisionomia florestal para o desenvolvimento de atividades agrícola e pastoril, detectada a partir de dados adquiridos a partir de plataformas orbitais. Em outras palavras, são identificadas apenas as áreas alteradas por atividades antrópicas de desflorestamento, conhecidas por *corte raso*. Portanto, as alterações na cobertura florestal devidas às atividades de exploração madeireira, ou corte seletivo de madeira, não são incluídas. Adicionalmente, conforme já mencionado, são consideradas somente as alterações decorrentes da ação humana. Portanto, áreas de floresta afetadas por incêndios florestais, a exemplo de Roraima, no início de 1998, não são contabilizadas no PRODES, sendo alvo de relatórios específicos do INPE.

Diferentemente do desflorestamento líquido, que considera o resultado líquido entre as áreas desflorestadas e as áreas de rebrota (ou sucessão secundária), a taxa de desflorestamento bruto refere-se ao total desflorestado, sem levar em consideração áreas já recuperadas ou em processo de recuperação.

A cada ano, um *overlay* (papel transparente) contendo os desflorestamentos identificados até o ano anterior (denominado agregado) é sobreposto a cada imagem da Amazônia. Sobre ele, são delimitados os polígonos que apresentam padrão de desflorestamento *corte raso*. O fato de o PRODES ser realizado anualmente, e envolver alterações em áreas florestais que promovem a exposição do solo, faz com que seja inequívoca a identificação da área afetada pelo desflorestamento, sem que seja necessária a realização de trabalho de campo. Os padrões espectrais associados a floresta e a solo exposto são significativamente diferentes, o que torna bastante confiável a identificação das áreas afetadas por desflorestamento.

Após a delimitação dos novos incrementos de desflorestamento, e um rigoroso controle de qualidade, os *overlays* são escanerizados e os dados *raster* convertidos para formato vetorial, permitindo a quantificação da área associada a cada polígono. Adicionalmente, este formato permite o cruzamento das áreas desflorestadas com outros tipos de dados, tais como a malha municipal, o Mapa de Vegetação (RADAMBRASIL, FIBGE), e outros que possam ser de particular interesse. É interessante notar o avanço significativo promovido pelo contínuo desenvolvimento da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), que permitiu o PRODES evoluir de uma simples apresentação de tabelas e gráficos ilustrativos da evolução do desflorestamento, para gerar dados relevantes aos órgãos de controle e fiscalização federal e estadual. Para a realização de prognósticos, é fundamental o conhecimento da espacialização geográfica dos dados de desflorestamento, ao longo do tempo. Este é, sem dúvida, um dos elementos básicos para se tentar identificar as possíveis causas e os vetores de desflorestamento, auxiliando o processo de tomada de decisão na região. Para fins de modelagem de desflorestamento, esses dados espacializados se constituem em uma fonte significativa de informação que, acoplada a outros parâmetros (por exemplo, climatologia, densidade populacional, incentivos estaduais e federais, proximidade de estradas e centros de distribuição) pode gerar estimativas e prognósticos dos desflorestamentos na região.

O uso de Sistemas de Informação Geográfica permitiu, a partir do cruzamento dos polígonos de desflorestamento com o Mapa de Vegetação (FIBGE), identificar que aproximadamente 63% dos desflorestamentos identificados nos últimos cinco anos (percentagem média de 1995 a 1999) têm ocorrido em áreas de floresta ombrófila densa e aberta. Adicionalmente, foram construídas classes de tamanho de desflorestamento que permitiram identificar o padrão dos desflorestamento para cada tipo de vegetação afetada (formações pioneiras, campinarana florestada, cerrado, região de contato, floresta estacional, floresta ombrófila aberta e floresta ombrófila densa). Esses cruzamentos permitiram identificar que cerca de 20% do número total de polígonos de desflorestamento em áreas de floresta ombrófila densa e aberta são menores que 50 hectares e aproximadamente 10% acima

de 1.000 hectares (percentagem média de 1995 a 1999), enquanto uma grande parcela dos desflorestamentos ocorridos em região de contato (21%) tem tamanho superior a 1.000 hectares. Essas diferenças no padrão do desflorestamento podem servir como indicadores preliminares sobre as possíveis causas ou vetores do desflorestamento. Por exemplo, grandes áreas desflorestadas em região de contato são normalmente associadas à expansão agrícola ou criação de pastagem, enquanto pequenos desflorestamentos são normalmente associados à agricultura de subsistência ou à ocupação para fins de reforma agrária.

O PRODES permitiu também entender que grande parte das atividades de desflorestamento da Amazônia (aproximadamente 75%) tradicionalmente se concentra em uma porção limitada e específica da região, que passou a ser conhecida como *Arco do Desflorestamento*. O *Arco* abrange parte dos estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso e Pará, e é coberto por cerca de 50 imagens TM-Landsat (ou seja, 75% do desflorestamento total se concentra em aproximadamente 20% das imagens que cobrem toda a região). Este conhecimento permitiu que se adotasse um procedimento amostral para estimar a taxa média do desflorestamento bruto em tempo *hábil* que permita ao governo não só entender o impacto das medidas já adotadas, assim como ajustar ou propor novas medidas visando conter o nível do desflorestamento dentro de limites aceitáveis para assegurar o desenvolvimento sustentável da região. Esse procedimento amostral consiste em se interpretar e analisar os dados das cenas TM-Landsat que apresentam a maior taxa de desflorestamento bruto no ano anterior, até se atingir 75% da taxa média do desflorestamento para toda a região. Assim sendo, a amostra utilizada a cada ano é dinâmica, tanto em número quanto em localização, muito embora haja pouca alteração de um ano para o outro. O princípio de que as atividades de desflorestamento na Amazônia não se deslocam espacialmente de forma significativa de um ano para o outro tem sido a base para que as estimativas finais estejam em boa concordância com as estimativas provisórias.

Estimativas provisórias da taxa média do desflorestamento bruto vêm sendo geradas desde 1997. Após a análise das cenas consideradas críticas, todas as outras cenas da região são também analisadas para

gerar as estimativas finais da taxa e da extensão do desflorestamento bruto. Assim, a cada ano  $t$ , o governo anuncia as estimativas provisórias para o período  $t-2 \rightarrow t-1$  e as estimativas finais para o período  $t-3 \rightarrow t-2$ . Para os períodos 1996/1997, 1997/1998 e 1998/1999, as estimativas provisórias apresentaram erros de 1,5%, 3,1% e 2,0% com relação às estimativas finais, respectivamente, demonstrando a pertinência da utilização de um esquema amostral para fins de antecipação dos dados do desflorestamento da Amazônia.

O relatório contendo as estimativas da taxa média e da extensão do desflorestamento bruto da Amazônia pode ser acessado no site [www.grid.inpe.br](http://www.grid.inpe.br). Neste relatório são apresentadas as estimativas finais relativas ao período compreendido entre 1978 a 1999 (inclusive) e a estimativa provisória do período 1999/2000, assim como a distribuição dos desflorestamentos por tipo de vegetação e por classe de tamanho de polígono desflorestado, para cada tipo de fisionomia florestal de interesse. Nota-se, a cada ano, uma variação significativa da taxa de desflorestamento bruto, tendo variado de cerca de 29.000 km<sup>2</sup> (1994/1995, maior taxa observada desde 1978) para cerca de 13.000 km<sup>2</sup> (1996/1997, segunda menor taxa estimada desde 1978), em apenas dois anos. Existe muita especulação a respeito das possíveis causas para explicar essas variações, sendo a maior parte dela baseada em fatores econômicos (estabilização do Plano Real, valor das terras na Amazônia etc.). Entretanto, não se conseguiu ainda construir um modelo que explique as variações nas taxas de desflorestamento verificadas na região e que seja suficientemente robusto para permitir um prognóstico confiável do desflorestamento.

Quando o projeto PRODES teve início, o objetivo era indicar ao governo a taxa de desflorestamento da Amazônia brasileira, principalmente para responder às especulações em níveis nacional e principalmente internacional, sobre a real contribuição do Brasil no tocante às alterações em áreas de floresta tropical. Assim sendo, o foco de atenção era a quantificação das alterações ocorridas em áreas com fisionomia florestal primária, sem a preocupação precípua de se assegurar a precisão cartográfica dos polígonos de desflorestamento delimitados. Em outras palavras, não havia a preocupação de se

georreferenciar os dados. Para fins de quantificação da área alterada, o georreferenciamento não é uma exigência. Entretanto, implica que os dados nos *overlays* gerados a cada ano não apresentem um encaixe “perfeito”, podendo alguns polígonos ser parcialmente superpostos uns aos outros, ou apresentarem uma descontinuidade quando, em verdade, referem-se a processos contínuos na superfície.

Essas imprecisões de localização espacial tornam-se particularmente importantes quando se deseja efetuar o cruzamento dos dados (polígonos desflorestados) com outras bases (malha municipal, mapa de vegetação) georreferenciadas, ou seja, *amarradas* cartograficamente. Por outro lado, para fins de modelagem e para melhor compreensão do processo de desflorestamento da Amazônia, é fundamental que se tenham, em uma mesma base, os incrementos anuais de desflorestamento. Esta informação é fundamental para se entender melhor os dados relativos ao padrão (tamanho) dos polígonos desflorestados, uma vez que indicam se os novos incrementos são adições a desflorestamentos que já vêm ocorrendo ou se representam novos focos que poderão provocar uma fragmentação da paisagem.

Tais preocupações motivaram o desenvolvimento de um projeto denominado BADAM (Banco de Dados da Amazônia) no INPE, e que objetiva, inicialmente, criar uma base georreferenciada para a Amazônia brasileira, indicando as áreas de floresta, não-floresta, e desflorestadas, tendo como base o ano de 1997. Em outras palavras, busca-se, primeiramente, construir uma base georreferenciada contendo o *agregado* das alterações em áreas com fisionomia florestal primária ocorridas até 1997 (sem considerar as áreas em processo de sucessão secundária). Utiliza-se, inicialmente, uma segmentação feita sobre a imagem sombra gerada a partir do uso de um modelo de mistura sobre a imagem TM-Landsat de 1997, seguida de uma classificação por região. O resultado desta classificação é então auditado por especialistas do INPE, de forma a compatibilizá-lo ao *agregado* do PRODES, para aquele ano. Os limites entre as áreas de floresta e não-floresta respeitam também aqueles estabelecidos para o projeto PRODES, e que se baseou na análise de cor, forma e textura dos padrões nas imagens de satélite.

Até a presente data, o BADAM inclui a base digital correspondente a 110 cenas TM-Landsat que cobrem completamente os estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso e praticamente todo Pará. Sobre esta base georreferenciada, os incrementos anuais de desflorestamento podem ser agregados, permitindo uma visão espacializada integrada das alterações em áreas florestadas da Amazônia. Espera-se, até o final de 2001, que o *agregado 1997* georreferenciado esteja disponível para toda a Amazônia brasileira.

Conforme mencionado, o PRODES compreende exclusivamente as atividades de *corte raso* e as estimativas referem-se essencialmente às alterações decorrentes deste tipo de conversão da floresta. Um outro estudo do INPE contempla a quantificação de áreas de floresta primária afetadas por atividades de exploração madeireira ou corte seletivo. Para a realização deste estudo, foram inicialmente identificadas as imagens TM-Landsat que apresentavam padrão associado a corte seletivo. Este padrão é distinto daquele de *corte raso*, uma vez que são extraídas apenas algumas espécies (geralmente de maior valor comercial) da área, deixando ainda uma significativa área florestada (dependendo da intensidade de exploração). A análise, baseada em interpretação visual, identificou 26 cenas (dentre as 229 que cobrem a Amazônia brasileira) com padrão de corte seletivo, com diferentes intensidades de exploração.

Após a identificação das cenas, procedeu-se ao delineamento, nas imagens de 1988, de todos os polígonos associados a corte seletivo, sem identificação do ano de início da atividade de exploração. A partir deste *agregado* de corte seletivo na região, foram delineadas, ano a ano, de 1989 a 1998, todas as novas áreas associadas a este tipo de atividade. A identificação foi feita a partir de análise visual das imagens em composição colorida das bandas 3, 4, 5 do satélite Landsat. Paralelamente à identificação das novas áreas alteradas em cada ano, observou-se, também, a situação dos polígonos identificados nos anos anteriores; ou seja, observou-se se as áreas haviam sido submetidas a atividades de *corte raso*, se haviam sido abandonadas (dando início a um processo de sucessão secundária), ou se apresentavam ainda padrão de corte seletivo. Desta forma, geraram-se dados resultantes

de onze anos de análise, que permitiram as seguintes conclusões: (i) o incremento médio anual de áreas associadas a atividades de corte raso foi da ordem de  $2.000 \text{ km}^2$ ; (ii) dos polígonos delineados no período 1988-1998, 40% deixaram de apresentar padrão espectral de corte seletivo, sugerindo que as áreas afetadas estavam em processo de recuperação; em outras palavras, o padrão espectral dessas áreas passaram a ser confundidos com aquele da floresta primária, na escala 1:250.000; (iii) 15% dos polígonos delineados no período apresentaram padrão correspondente à atividades de *corte raso*; (iv) os polígonos restantes ainda apresentaram, em 1998, padrão de corte seletivo; (v) o tempo médio para uma área submetida a corte seletivo deixar de apresentar sinais (ou cicatrizes) deste tipo de atividade nas imagens é aproximadamente quatro anos (com desvio padrão de 1,8 anos); desta forma, áreas de corte seletivo identificadas após 1995, caso abandonadas, podem ainda apresentar sinais de exploração seletiva de madeira.

Convém ressaltar algumas definições importantes adotadas neste trabalho. As áreas de corte seletivo identificadas neste estudo do INPE referem-se àquelas visíveis em imagens do sensor TM-Landsat, com 30 metros de resolução espacial, em composição colorida das bandas 3, 4 e 5. Área, aqui, refere-se àquela associada aos polígonos que circunscrevem as atividades relacionadas a corte seletivo, conforme visualmente identificáveis nas imagens TM-Landsat.

A falta de definições claras, a aplicação de metodologias baseadas em questionários aplicados a alguns pólos madeireiros na região e a adoção de hipóteses que não são consubstanciadas em observação direta, explicam, parcialmente, as diferenças nos dados divulgados no meio científico, relativos à exploração madeireira na Amazônia brasileira. Obviamente, o estudo conduzido no INPE, por ser baseado em dados de satélite, com resolução de 30 metros, não permite a identificação de áreas submetidas à exploração madeireira de baixa intensidade. Entretanto, certamente inclui as áreas *severamente* afetadas por atividades de corte seletivo, entendendo-se que, por serem *severas*, são identificáveis na resolução do sensor TM do satélite Landsat.