

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE**

Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia
Sérgio Machado Rezende

Secretário Executivo do Ministério da Ciência e Tecnologia
Luiz Antonio Rodrigues Elias

Coordenador Geral das Unidades de Pesquisa
Carlos Oití Berbert

Diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Gilberto Câmara

Chefe de Gabinete do INPE
Maria Virgínia Alves

Coordenador Geral de Observação da Terra
João Vianei Soares

Coordenador do Programa Amazônia
Dalton de Morisson Valeriano

Chefe da Divisão de Processamento de Imagens
Júlio César Lima D'Alge

Chefe da Divisão de Sensoriamento Remoto
Milton Kampel

Chefe da Divisão de Geração de Imagens
Ivan Márcio Barbosa

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Dalton de Morisson Valeriano (coordenador)

Biólogo, PhD em Geografia, University Of California Santa Barbara, Estados Unidos.

Antônio Miguel Vieira Monteiro

DPhil em Sistemas Espaciais, Univ. Sussex, Reino Unido.

Camilo Daleles Rennó

Eng. Agrônomo, MsC e Dr. em Sensoriamento Remoto, INPE.

Claúdia Albuquerque Linhares

Bióloga, MsC e Dr. em Sensoriamento Remoto, INPE.

Claúdio Aparecido Almeida

Eng. Agrônomo, MsC. em Sensoriamento Remoto, INPE.

Egídio Arai

Analista de Sistemas, MsC. em Computação Aplicada, INPE.

João Vianei Soares

Eng. Agrícola, Docteur Ingenieur em Física do Sensoriamento Remoto, Université de Paris VII, França.

Luis Eduardo P. Maurano

Analista de Sistemas, Especialista em Web e Geoprocessamento, INPE.

Maria Isabel Sobral Escada

Ecóloga, MsC e Dr. em Sensoriamento Remoto, INPE.

Marisa da Motta

Matemática, MsC em Computação Aplicada, INPE.

Silvana Amaral

Ecóloga, MsC em Sensoriamento Remoto, INPE e Dr. Politécnica, USP.

Taise Farias Pinheiro

Bióloga, MsC em Sensoriamento Remoto, INPE.

Valdete Teixeira Duarte

Eng. Agrônomo, MsC em Sensoriamento Remoto, INPE.

Arte e Diagramação

| | |
|------------------|---|
| Apoio: | Gestão de Comunicação Institucional - GCI |
| Diagramação: | Lise Christine Banon |
| Textos: | Equipe Técnica Responsável |
| Revisão: | Ana Paula Soares |
| Projeto Gráfico: | Beatriz Kozilek, Carlos Vieira, Pepito Sanz |
| Fotos: | Arquivos INPE |

**MONITORAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL DA
AMAZÔNIA POR SATÉLITES**

**SISTEMAS PRODES, DETER, DEGRAD E QUEIMADAS
2007-2008**

INPE – COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 10 DE DEZEMBRO DE 2008

SUMÁRIO EXECUTIVO

1. O programa de monitoramento da Amazônia do INPE conta com quatro sistemas operacionais: PRODES, DETER, QUEIMADAS e DEGRAD. Estes sistemas são complementares e foram concebidos para atender a diferentes objetivos.
2. O DETER é um sistema de apoio à fiscalização e controle do desmatamento da Amazônia. Usando o DETER, o INPE divulga mensalmente um mapa de alertas para áreas maiores que 25 hectares. Os alertas indicam tanto áreas totalmente desmatadas (corte raso) como áreas em processo de desmatamento por degradação florestal progressiva.
3. Desde 1988, o sistema PRODES mede as taxas anuais de corte raso para os períodos de agosto do ano anterior a julho do ano corrente, considerando desmatamentos com áreas superiores a 6,25 hectares. Por ser mais detalhado e depender das condições climáticas da estação seca para aquisição de imagens livres de nuvens, o PRODES é feito apenas uma vez por ano. A primeira apresentação dos dados é realizada para dezembro de cada ano, na forma de estimativa. Os dados consolidados são apresentados no primeiro semestre do ano seguinte.
4. O INPE mantém há mais de 20 anos um sistema operacional de monitoramento de queimadas por satélite. Ao longo destes anos foram desenvolvidas várias metodologias e sistemas de computadores que permitem identificar focos de calor em imagens de satélites de baixa resolução, tais como os satélites da série NOAA, GOES, TERRA, AQUA e METEOSAT.
5. O INPE apresenta ainda o resultado do sistema DEGRAD. Trata-se de um novo sistema destinado a mapear áreas em processo de

desmatamento em imagens LANDSAT e CBERS, onde a cobertura florestal ainda não foi totalmente removida. O objetivo deste sistema é mapear anualmente e em detalhe áreas de floresta degradada com tendência a ser convertida em corte raso. Estas áreas não são computadas pelo PRODES.

6. Este documento contém:

- (a) Estimativa da taxa de desmatamento do PRODES para o período 2007/2008 com base na análise de 85 cenas LANDSAT que cobrem a área em que se observou mais de 90% do desmatamento no ano anterior.
- (b) Avaliação do desempenho do DETER no mesmo período.
- (c) Mapeamento das áreas com degradação florestal de intensidade moderada e alta na Amazônia para 2007 e 2008.
- (d) Análise dos focos de calor (queimadas) detectados nos períodos 2006/2007 e 2007/2008.

7. Principais resultados:

- (a) O PRODES indica que a taxa anual de corte raso na Amazônia Legal brasileira para o período 2007/2008 foi de **11.968 km²**, o que representa um aumento de 3,8% em relação ao mesmo período de 2006/2007.
- (b) A avaliação amostral do DETER constatou que, no período 2007/2008, **38%** de seus alertas corresponderam a corte raso, **48%** a degradação florestal e **14%** a alertas não confirmados.
- (c) O INPE mediu, nas mesmas 85 cenas LANDSAT utilizadas na estimativa do PRODES, **14.915 km²** de floresta degradada na Amazônia em 2007 e **24.932 km²** de floresta degradada na Amazônia em 2008. O INPE também mediu que **1.845 km²** mapeados como área de floresta degradada em 2007 foi convertida para corte raso em 2008, e, portanto, contabilizada pelo PRODES.

(d) O INPE detectou **68.000** focos de queimada em 2006/2007 e **101.000** focos de queimada em 2007/2008, com dados do satélite AQUA.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. O PROCESSO DE DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA | 12 |
| 3. PADRÕES DE DESMATAMENTO DETECTADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO | 15 |
| 3.1. DEGRADAÇÃO FLORESTAL DE INTENSIDADE LEVE..... | 15 |
| 3.2. DEGRADAÇÃO FLORESTAL DE INTENSIDADE MODERADA | 17 |
| 3.3. DEGRADAÇÃO FLORESTAL DE INTENSIDADE ALTA | 17 |
| 3.4. CORTE RASO..... | 19 |
| 4. OS SISTEMAS PRODES E DETER..... | 20 |
| 5. PRODES: TAXA DE CORTE RASO PARA 2007-2008 | 22 |
| 6. QUALIFICAÇÃO DETER AGOSTO 2007 A JULHO 2008 | 27 |
| 7. DEGRAD: MAPEAMENTO DAS ÁREAS DEGRADADAS EM 2007 E 2008..... | 36 |
| 8. QUEIMADAS NA AMAZÔNIA EM 2007 E 2008 | 42 |
| 9. CONCLUSÕES | 46 |

1. INTRODUÇÃO

O programa de Monitoramento da Amazônia por Sensoriamento Remoto do INPE conta com quatro sistemas operacionais e complementares: PRODES, QUEIMADAS, DETER e DEGRAD. O PRODES é operado pelo INPE desde 1988 para estimar a taxa anual do desmatamento por corte raso, quando ocorre a retirada total da cobertura florestal. O PRODES identifica áreas de corte raso maiores que 6,25 ha. Não registra as derrubadas parciais da floresta resultantes de queimadas e de extração seletiva de madeira.

Os dados do PRODES não são suficientes para ações de prevenção e de fiscalização, devido ao tempo que levam para ser produzidos e por incluir apenas as áreas de corte raso. Por isto, a partir de 2004 o INPE implementou o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real – DETER - para monitoramento contínuo do desmatamento e da degradação florestal. O sistema foi criado para atender ao Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal do Governo Federal, iniciado em 2003.

O DETER fornece a localização e a dimensão aproximada de novas ocorrências de mudanças na vegetação para auxiliar ações de fiscalização e controle do desmatamento. O DETER usa um conceito de desmatamento mais abrangente do que o do PRODES, incluindo tanto o corte raso quanto as ocorrências de degradação florestal. Para obter maior rapidez em suas medidas, o DETER utiliza satélites que cobrem a Amazônia com maior freqüência, mas cujas imagens têm menor resolução espacial. Em consequência, as medidas do DETER são menos detalhadas que o PRODES.

Adicionalmente, o INPE mantém desde 1985 um sistema operacional de monitoramento de queimadas por satélite. Para isto, desenvolveu metodologias e programas para identificar focos de calor em

imagens de satélites de baixa resolução, como os da série NOAA, GOES, TERRA, AQUA e METEOSAT.

Em 2008, o INPE desenvolveu o sistema DEGRAD, em função das indicações do crescimento da degradação florestal da Amazônia obtidas a partir dos dados do DETER. Trata-se de um novo sistema destinado a mapear áreas em processo de desmatamento em imagens LANDSAT e CBERS, onde a cobertura florestal ainda não foi totalmente removida. O objetivo deste sistema é mapear em detalhe áreas de floresta com tendência a ser convertida a corte raso. Estas áreas não são computadas pelo PRODES.

Este documento apresenta os principais resultados dos quatro sistemas citados para o período 2007/2008.

2. O PROCESSO DE DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA

O desmatamento é um processo que se inicia com a floresta intacta e termina com a conversão completa da floresta original em outras coberturas. O primeiro passo é a retirada das madeiras mais nobres, e depois as madeiras para a construção civil e, por fim, são colhidas as árvores de madeiras leves remanescentes, para a produção de compensados e placas. Esse processo pode levar alguns anos, pois geralmente essas explorações da floresta são feitas por empreendimentos diferentes, cada um especializado em uma fase.

Depois, as árvores de menor porte são derrubadas e toda a vegetação rasteira é destruída. Sobram poucas árvores frondosas que são protegidas, como é o caso da castanheira, ou que não têm valor comercial, como as palmeiras, por exemplo, que dificultam a detecção do desmatamento. Neste momento, foi eliminado cerca de 50% do dossel (árvores mais altas).

É prática comum a introdução de capim nestas áreas degradadas. Com isto, a pecuária pode se desenvolver na área de floresta, enquanto ela ainda não desapareceu. O capim e a cobertura florestal remanescente são queimados posteriormente, provocando uma segunda limpeza da área. Com a recorrência do fogo, sobram vivas apenas cerca de 10% a 20% das árvores que compõem o dossel e grande quantidade de árvores mortas em pé. O capim possui adaptações ao dano causado pelo fogo e brota novamente, o que permite que mais uma vez o gado seja colocado para pastar na área assim degradada. Queimadas subsequentes destroem completamente o que restou da floresta inicial. Este processo de degradação, em que a pastagem é gradativamente introduzida, pode durar alguns anos. As Figuras 2.1 e 2.2 ilustram o processo de desmatamento.

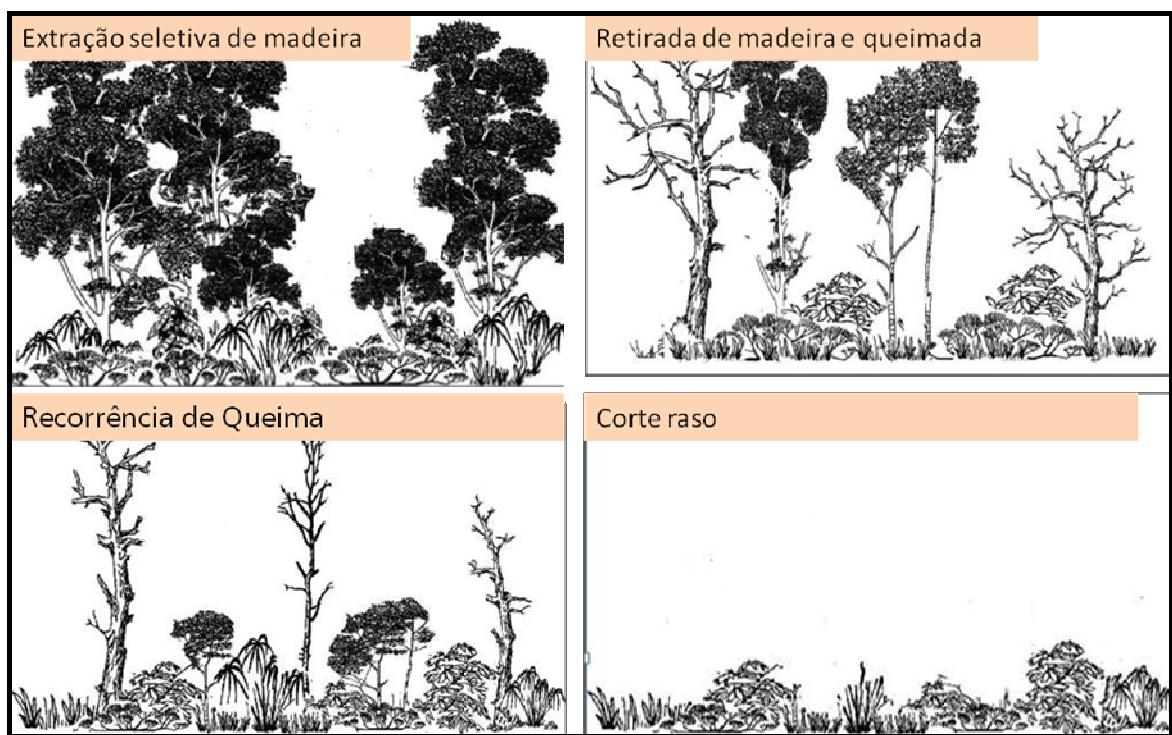


Figura 2.1 – Ilustração da degradação progressiva. Fonte: Barlow e Peres. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. (2008).

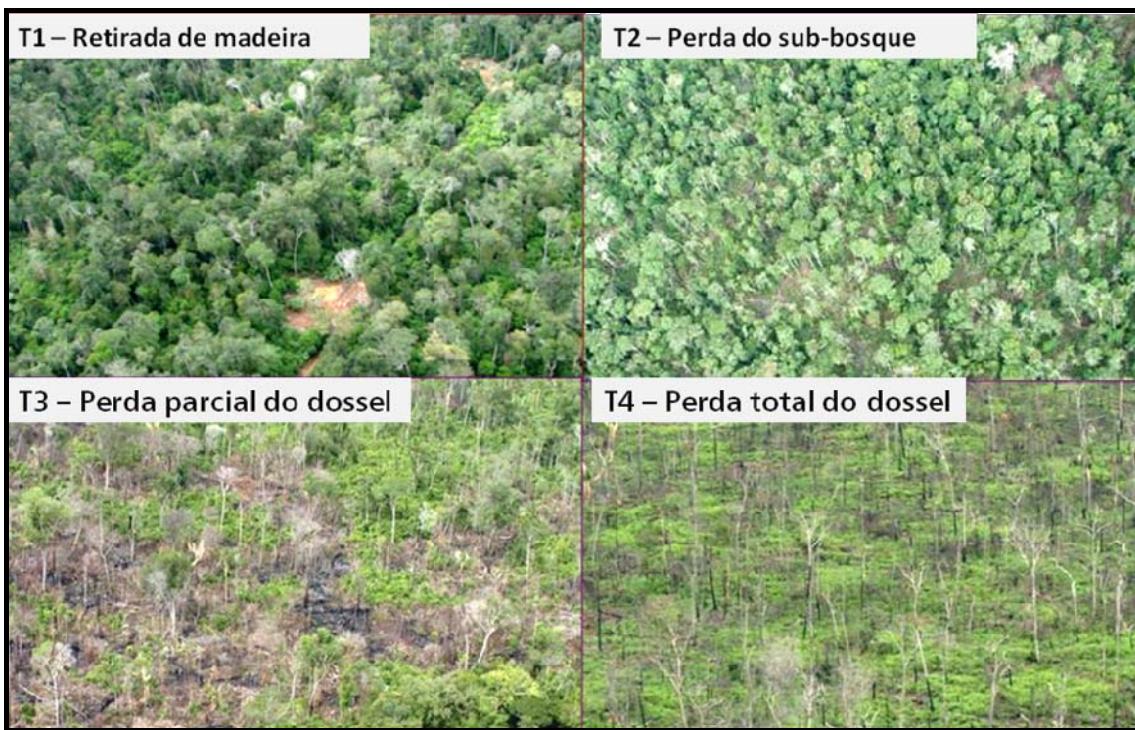


Figura 2.2 – Fotos do processo de degradação progressiva. Fonte: INPE (2008).

Detectar as alterações entre os extremos do gradiente é o desafio de mapeamentos como os do DETER, DEGRAD e PRODES. Essas alterações podem não ser evidente, especialmente se estiverem em estágios iniciais, quando o dossel da floresta ainda não está muito alterado e quando o sinal de solo exposto é ainda pequeno. Devido à resolução espacial das imagens de satélites, é difícil indicar a existência de degradação antes que o corte seja da ordem de 50% do dossel. Nas seções seguintes, apresentam-se exemplos de padrões identificados e confirmados com dados de campo, de corte raso e degradação florestal progressiva, com diferentes intensidades.

3. PADRÕES DE DESMATAMENTO DETECTADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO

Nesta seção, apresentamos exemplos das diferentes tipos de desmatamento descritos na seção 2, indicando como são identificados em imagens de satélite.

3.1 DEGRADAÇÃO FLORESTAL DE INTENSIDADE LEVE

As áreas com intensidade leve de degradação apresentam clareiras pequenas que podem ser associadas à extração de madeira de grande porte. Nesse estágio inicial, já é possível notar alterações nas imagens (Figura 3.1), alguns *pixels* de tons de coloração marrom são encontrados juntamente com os *pixels* de cor verde escuro no polígono de alerta indicado pelo DETER.

Esse padrão nem sempre provoca alguma alteração do padrão espectral na imagem MODIS, o que dificulta a detecção pelo alerta do DETER. Esse caso pode ser exemplificado por uma variação do padrão inicial de degradação, em que é percebida a simplificação estrutural da floresta, um dossel ainda alto, porém mais homogêneo, o que indica a retirada das árvores emergentes (Figura 3.2). O exemplo sugere que outros falsos negativos, onde há degradação florestal e o DETER não detecta, podem existir nesse estágio de degradação, devido à sutil mudança espectral que ocorre na imagem MODIS.

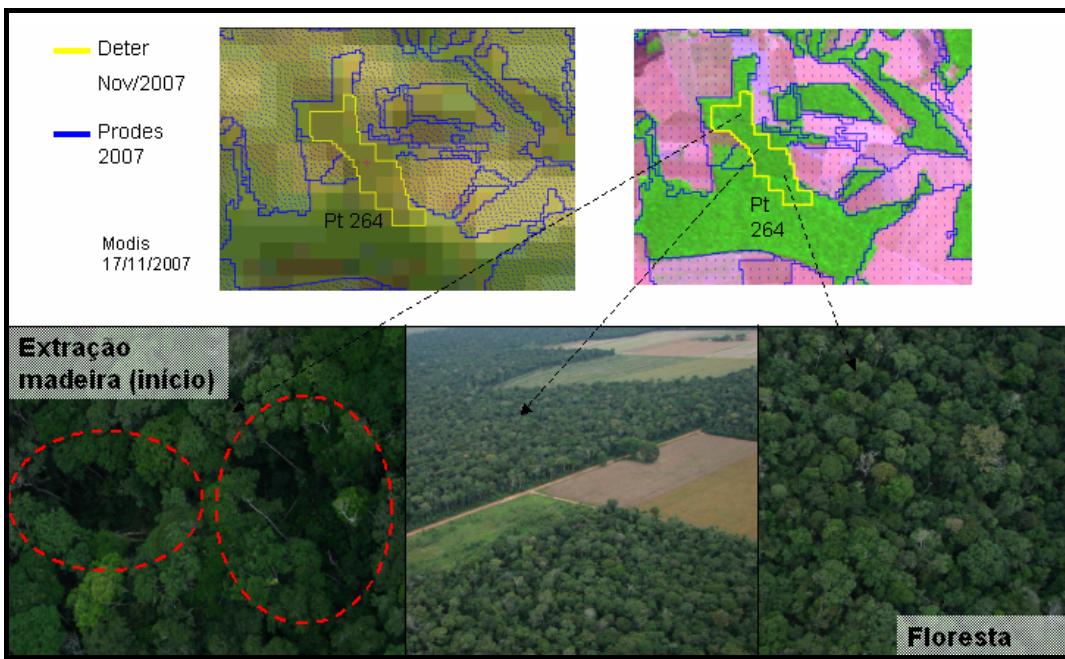


Figura 3.1 – Identificação do estágio inicial de alteração da cobertura florestal (coordenadas do local: S 11,94°; W 55,46°).

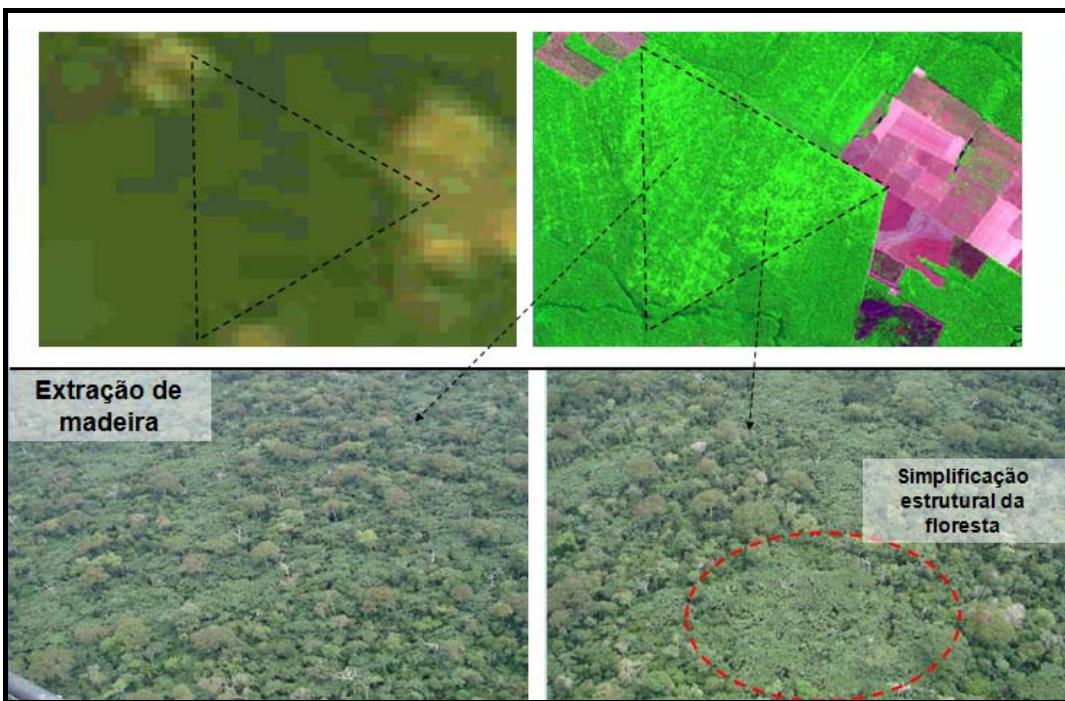


Figura 3.2 – Identificação do estágio inicial de alteração da cobertura florestal em que ocorre a simplificação da estrutura com a retirada das árvores emergentes (coordenadas do local: S 11,37°; W 55,05°)

3.2 DEGRADAÇÃO FLORESTAL DE INTENSIDADE MODERADA

Após a exploração inicial, há um estágio intermediário em que ainda são encontradas árvores de grande porte e sub-bosque conservado, porém, a presença de trilhas de arrasto e pátios de estoque de madeira torna evidente a ocorrência de extração de madeira (Figuras 3.3 e 3.4).

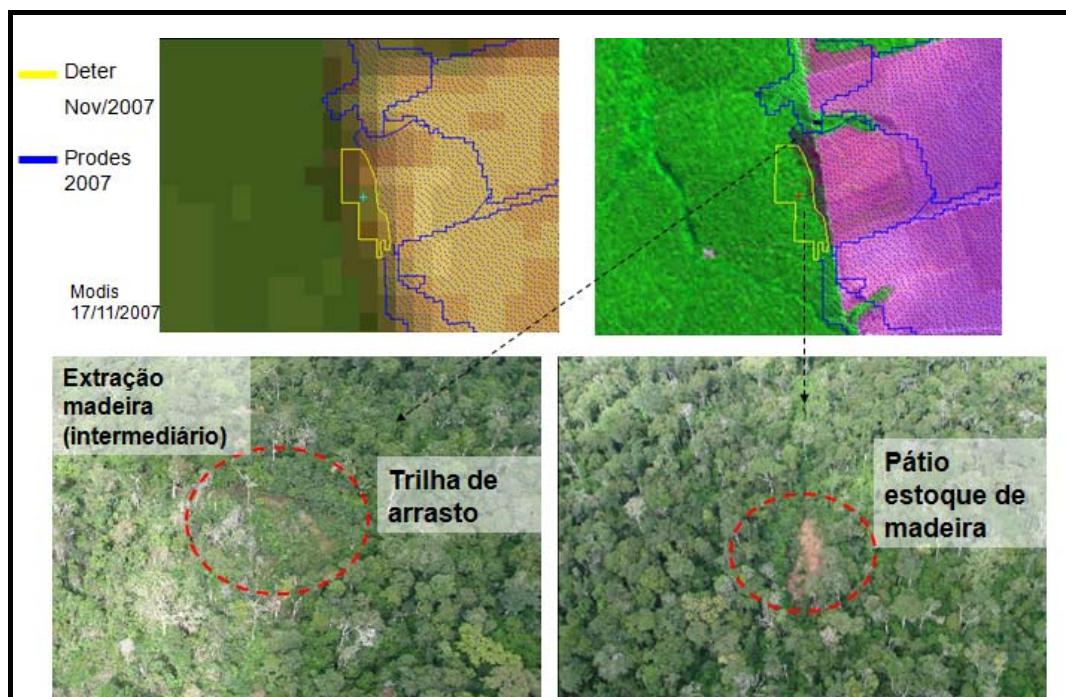


Figura 3.3 – Identificação do estágio intermediário de alteração da cobertura florestal em que a presença de trilhas de arrasto e pátios de estoque de madeira evidencia a extração de madeira (coordenadas do local: S 12,09° ; W 54,42°).

3.3 DEGRADAÇÃO FLORESTAL DE INTENSIDADE ALTA

Nesse estágio, há perda significativa das árvores de grande porte, com perda concomitante do sub-bosque. Pode ser acompanhada de queimada, e muitas árvores mortas permanecem em pé (Figura 3.5). É um padrão bastante recorrente na região e de fácil detecção na imagem MODIS. Na imagem, observa-se a contribuição do solo é mais evidente, com alta freqüência de *pixels* de tonalidades marrom claro a escuro, misturados aos *pixels* verde claro.

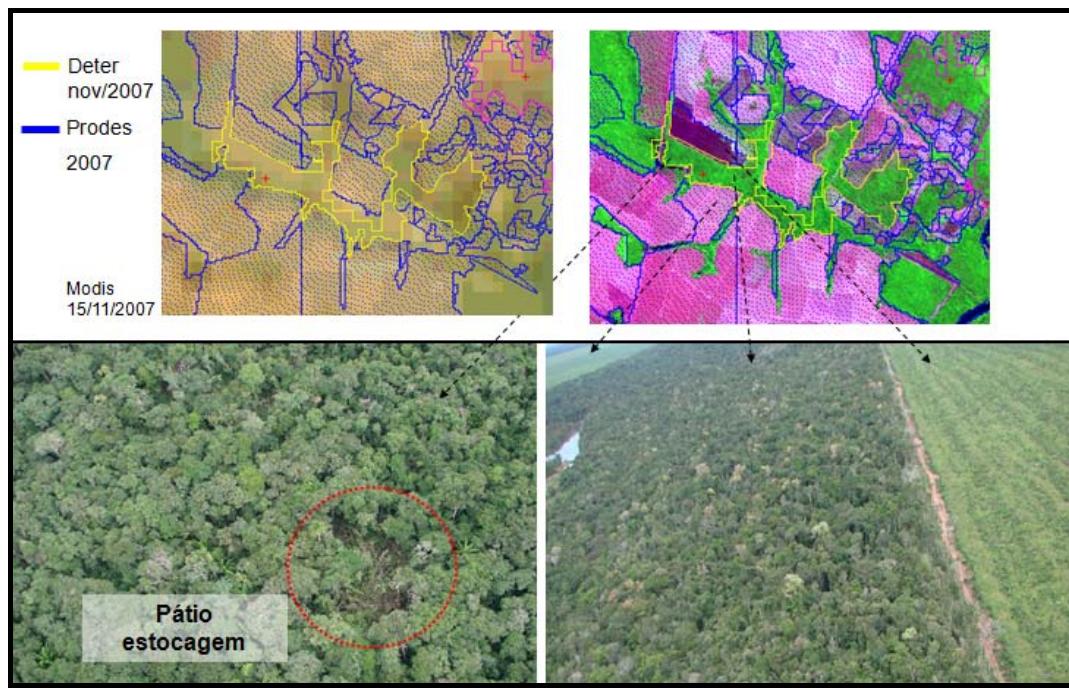


Figura 3.4 – Estágio intermediário de alteração da cobertura florestal realizado pela retirada de árvores emergentes e de dossel (coordenadas do local: S 11,6° ; W 57,8°).

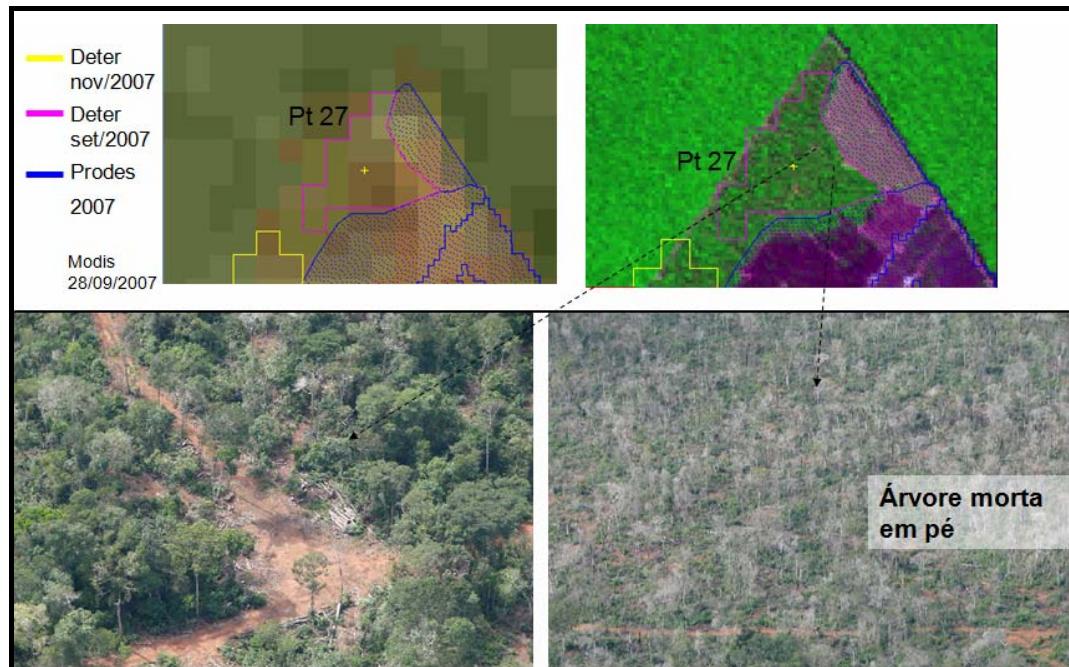


Figura 3.5 – Estágio avançado de degradação, com muitas árvores mortas em pé (coordenadas do local: S 12,27° ; W 54,13°)

A presença de pátios de estoque de madeira e trilhas de arrasto é também evidente neste estágio. Variações no padrão podem ser percebidas pela presença de sub-bosque, indicando início do processo de regeneração secundária (Figura 3.6).

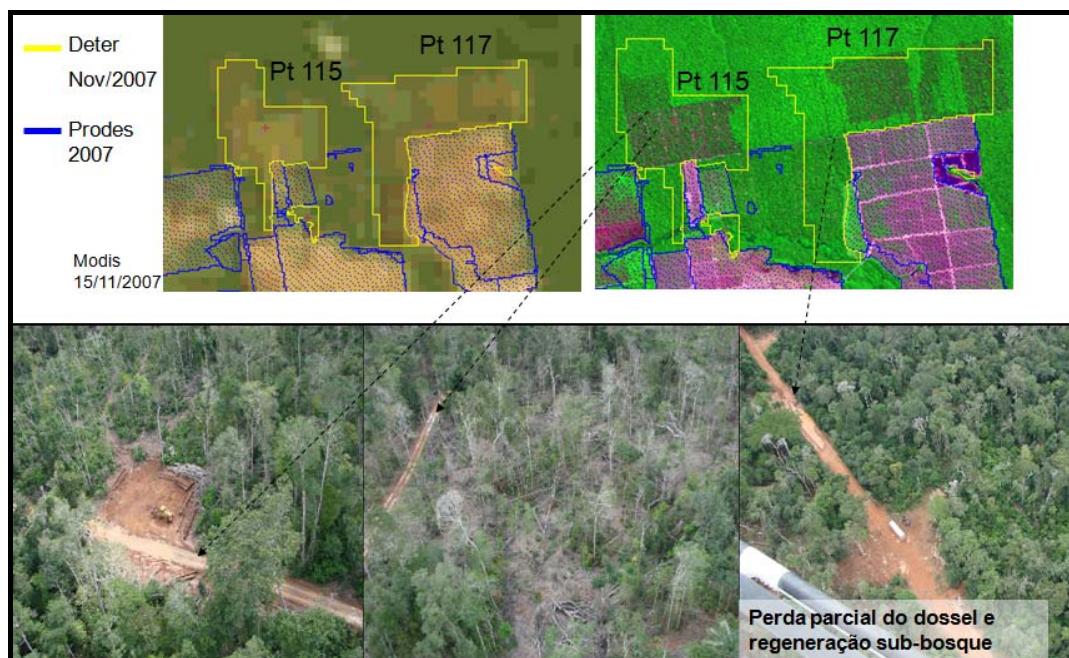


Figura 3.6 – Padrão de degradação avançada com pátios e estradas e com regeneração de sub-bosque (coordenadas do local: P115 - S 11,93° ; W 54,46° ; P117 - S 11,92°; W 54,41°).

3.4 CORTE RASO

O corte raso é o estágio extremo do desmatamento, em que o padrão observado representa a retirada completa da vegetação original. O solo pode estar coberto por restos de madeira morta ou por vegetação rasteira (Figura 3.7, foto da direita). Como a contribuição da resposta do solo é mais intensa, os polígonos de alerta apresentam *pixels* em tons de marrom, vermelho e rosa claro, como exemplificado na região central da imagem MODIS apresentada na Figura 3.7.

Os processos de desmatamento descritos nos itens 3.1 a 3.4 são mapeados pelo DETER, através do processamento das imagens

TERRA/MODIS (250m de resolução), enquanto o processo descrito neste item é mapeado pelo PRODES, através do processamento das imagens dos satélites LANDSAT/TM e CBERS/CCD (30m de resolução) .

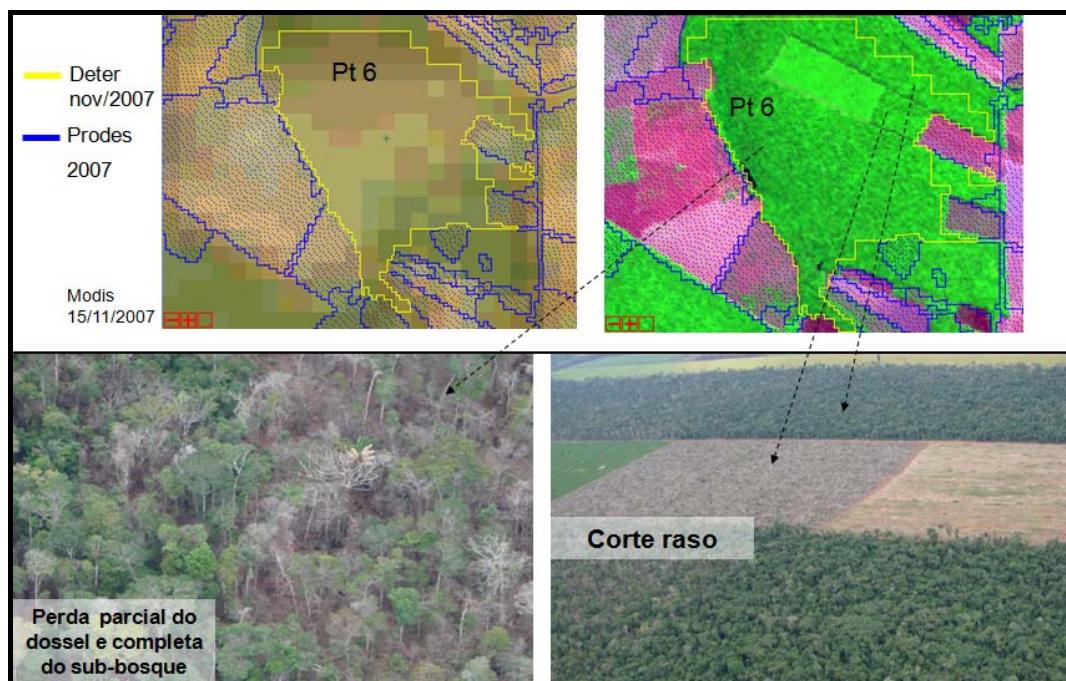


Figura 3.7 – Perda completa da vegetação por corte raso, com solo coberto por madeira (coordenadas do local: P6 - S 11,61°;W 54,91°).

4. OS SISTEMAS PRODES E DETER

Os sistemas PRODES e o DETER são complementares. O PRODES utiliza imagens dos sensores TM (satélite LANDSAT da NASA), DMC (satélites da Disaster Monitoring Constellation) e CCD (satélites CBERS do INPE), que cobrem a Amazônia com baixa freqüência temporal (16 e 26 dias) e têm resolução espacial de 30 e 20 metros, respectivamente. Com esses sensores é possível mapear desmatamentos cujas áreas sejam superiores a 6,25 hectares. O PRODES mede as taxas anuais de corte raso desde 1988, com estimativas de área consideradas confiáveis pelos

cientistas nacionais e internacionais. A partir de 2002, também são divulgados pelo INPE mapas com as novas áreas de corte raso identificadas a cada ano.

O DETER - Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real utiliza imagens dos sensores MODIS, a bordo do satélite TERRA, da NASA e WFI, a bordo do satélite brasileiro CBERS-2B do INPE. Esses sensores cobrem a Amazônia com alta freqüência temporal, de dois e cinco dias, respectivamente, mas com resolução espacial moderada de 250 metros. Com essa resolução espacial, as imagens desses sensores permitem apenas a detecção de desmatamentos cujas áreas sejam superiores a 25 hectares. As medidas do DETER são assim mais imprecisas que o PRODES, mas feitas com maior freqüência.

Para auxiliar a fiscalização e o controle do uso ilegal da floresta, o DETER usa um conceito de desmatamento mais abrangente do que o do PRODES. O PRODES apenas identifica e contabiliza as áreas que evidenciam ser de corte raso, ou seja, o estágio final do processo de desmatamento. No DETER, toda alteração da cobertura florestal verificada no período de análise é apontada como área de alerta e passível de fiscalização, sem discriminar o estágio do processo de desmatamento. Assim, o DETER procura identificar os estágios intermediários do processo de desmatamento (Figura 4.1). A cada 15 dias, quando as condições de observação são favoráveis, o DETER produz um mapa digital com todas as ocorrências de desmatamento observadas na quinzena anterior. Dessa forma, permite aos órgãos responsáveis pela fiscalização (IBAMA, SEMAs, Promotoria Pública, etc.) planejar suas ações de campo e operações de combate ao desmatamento ilegal.

Todos os dados gerados pelos sistemas PRODES e DETER, seja na forma de mapas, imagens ou tabelas, estão disponíveis nos seus respectivos sítios na internet (<http://www.obt.inpe.br/prodes> e <http://www.obt.inpe.br/deter>).

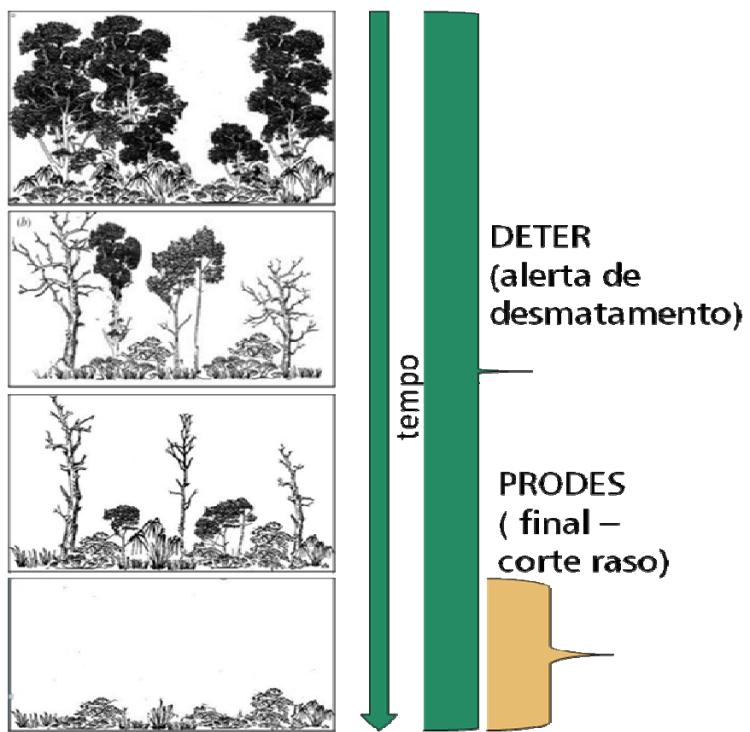


Figura 4.1 – Comparação dos sistemas PRODES e DETER quanto ao tempo de detecção e ao processo de desmatamento.

5. PRODES: TAXA DE CORTE RASO PARA 2007-2008

A taxa de desmatamento na Amazônia Legal brasileira para o período de 2007/2008 estimada pelo INPE foi de 11.968 km² o que representa um aumento de 3,8% em relação à taxa de 2006/2007, de 11.532 km².

Em virtude da quantidade de cenas LANDSAT e/ou CBERS necessárias para mapear toda Amazônia - aproximadamente 215 imagens, o INPE calculou a taxa anual de 2008 em duas etapas:

1) Cenas prioritárias: São 85 cenas em que foram registrados da ordem de 90% do total de áreas desmatadas no período 2006/2007 (Figura 5.1). Estas cenas foram processadas prioritariamente para que a taxa de 2008 fosse divulgada antes do final do ano.

2) Cenas não prioritárias: correspondem ao restante das cenas (aproximadamente 130) onde verificou-se menos de 10% do desmatamento no ano de 2007. Estas cenas estão sendo processadas, e a taxa final será divulgada no primeiro semestre de 2009.

Esta forma de divulgação da taxa em duas etapas vem sendo utilizada há vários anos. Pela experiência dos anos anteriores, a margem de erro da primeira estimativa da taxa de desmatamento é de 5%.

Uma descrição detalhada da metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento está disponível no sítio do PRODES e pode ser encontrada em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia.pdf>.

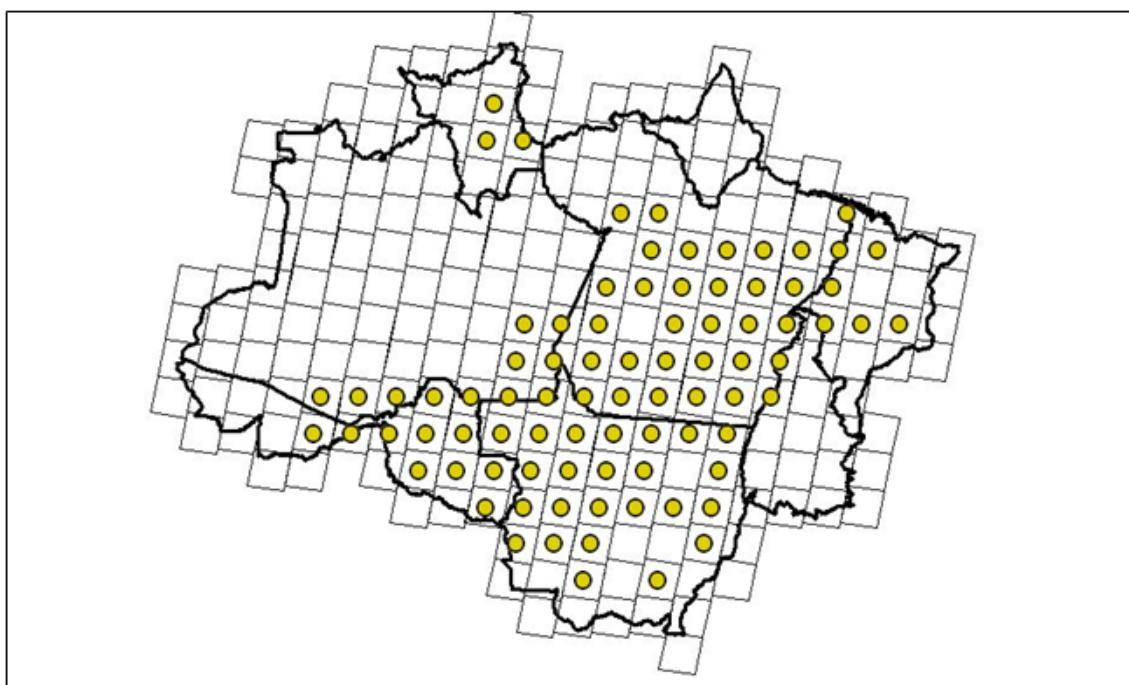


Figura 5.1 – Localização das 85 cenas LANDSAT utilizadas para cálculo da taxa de desmatamento 2007-2008.

A Tabela 5.1 relaciona as datas das 85 cenas LANDSAT utilizadas no cálculo da taxa de desmatamento 2007/2008.

Tabela 5.1 – Cenas LANDSAT utilizadas na estimativa da taxa 2008

| Órbita Data da Imagem | Ponto e Data da Imagem | Órbita Data da Imagem | Ponto e Data da Imagem | Órbita Data da Imagem | Ponto e Data da Imagem | Órbita Data da Imagem | Ponto e Data da Imagem |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 001/66 | 26/07/08 | 224/68 | 05/08/08 | 227/63 | 27/09/08 | 229/68 | 23/07/08 |
| 001/67 | 26/07/08 | 224/69 | 05/08/08 | 227/65 | 25/07/08 | 229/69 | 24/08/08 |
| 002/66 | 18/08/08 | 224/70 | 05/08/08 | 227/66 | 10/08/08 | 229/70 | 24/08/08 |
| 002/67 | 18/08/08 | 225/62 | 29/08/08 | 227/67 | 10/08/08 | 230/64 | 15/08/08 |
| 220/64 | 25/08/08 | 225/63 | 12/08/08 | 227/68 | 10/08/08 | 230/65 | 30/07/08 |
| 221/62 | 03/10/08 | 225/64 | 12/08/08 | 227/69 | 10/08/08 | 230/66 | 30/07/08 |
| 221/64 | 16/08/08 | 225/65 | 12/08/08 | 227/70 | 10/08/08 | 230/67 | 30/07/08 |
| 222/61 | 08/09/08 | 225/66 | 27/07/08 | 227/71 | 10/08/08 | 230/68 | 30/07/08 |
| 222/62 | 08/09/08 | 225/67 | 27/07/08 | 228/61 | 02/09/08 | 230/69 | 30/07/08 |
| 222/63 | 07/08/08 | 225/69 | 27/07/08 | 228/63 | 01/08/08 | 231/59 | 06/08/08 |
| 222/64 | 07/08/08 | 225/71 | 27/07/08 | 228/64 | 01/08/08 | 231/66 | 06/08/08 |
| 223/62 | 01/10/08 | 226/62 | 19/08/08 | 228/65 | 01/08/08 | 231/67 | 06/08/08 |
| 223/63 | 14/08/08 | 226/63 | 19/08/08 | 228/66 | 01/08/08 | 231/68 | 21/07/08 |
| 223/64 | 14/08/08 | 226/64 | 19/08/08 | 228/67 | 01/08/08 | 232/58 | 07/04/08 |
| 223/65 | 29/07/08 | 226/65 | 19/08/08 | 228/68 | 01/08/08 | 232/58 | 13/08/08 |
| 223/66 | 29/07/08 | 226/66 | 19/08/08 | 228/69 | 17/08/08 | 232/59 | 07/04/08 |
| 224/62 | 21/08/08 | 226/67 | 19/08/08 | 228/70 | 01/08/08 | 232/66 | 28/07/08 |
| 224/63 | 21/08/08 | 226/68 | 03/08/08 | 229/64 | 08/08/08 | 232/67 | 28/07/08 |
| 224/64 | 21/08/08 | 226/69 | 19/08/08 | 229/65 | 08/08/08 | 232/68 | 28/07/08 |
| 224/65 | 05/08/08 | 227/61 | 27/09/08 | 229/66 | 08/08/08 | 233/66 | 20/08/08 |
| 224/66 | 05/08/08 | 227/62 | 27/09/08 | 229/67 | 08/08/08 | 233/67 | 20/08/08 |
| 224/67 | 05/08/08 | | | | | | |

A Figura 5.2 mostra a variação relativa em cada uma das 85 cenas LANDSAT considerando-se o desmatamento verificado em 2007 e em 2008, evidenciando os locais onde houve redução (tons de verde), estabilização (tons de amarelo) e aumento do desmatamento (tons de vermelho).

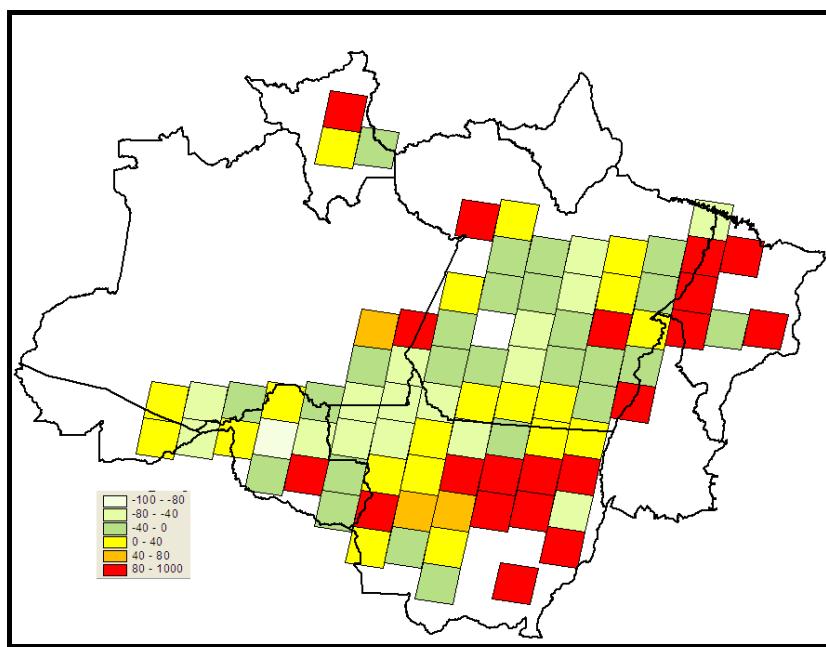


Figura 5.2 – Variação relativa (%) entre o desmatamento encontrado nas 85 cenas em 2007 e 2008

A Figura 5.3 mostra a distribuição das áreas mapeadas pelos PRODES 2008, dentre os Estados da Amazônia Legal .

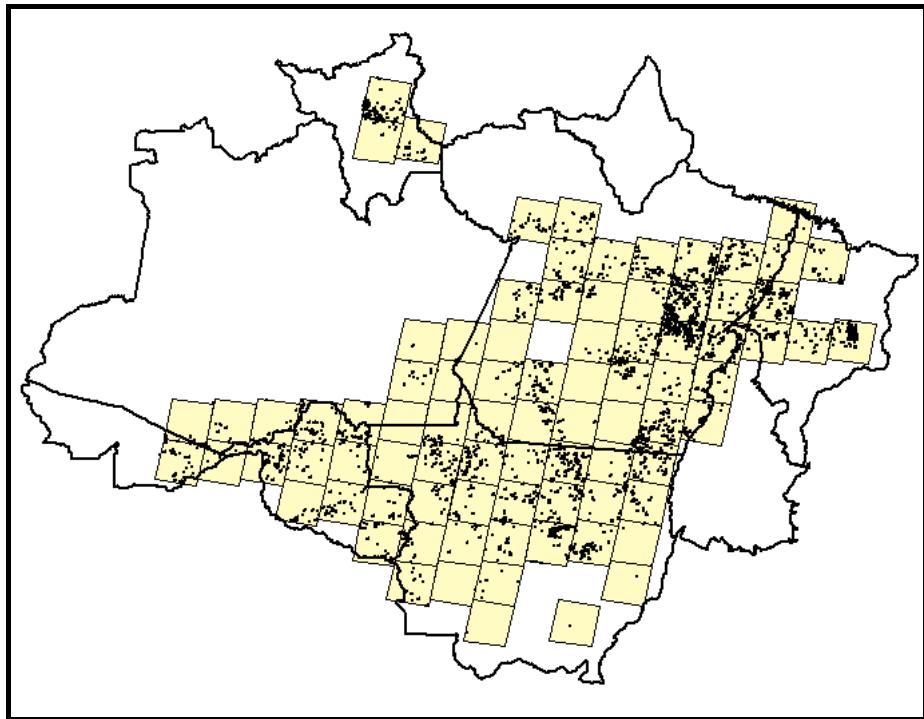


Figura 5.3 – Espacialização dos polígonos do PRODES 2008

A Tabela 5.2 apresenta a estimativa da taxa de desmatamento no período 2007/2008 para os Estados da Amazônia Legal com base nas 85 cenas prioritárias. A Figura 5.4 apresenta a evolução da taxa de desmatamento da Amazônia Legal e a Figura 5.5 mostra a variação relativa das taxas dos últimos 8 anos.

Tabela 5.2 – Taxa de desmatamento para os Estados da Amazônia Legal.

| Estado | Taxa (km ²) |
|--------------|-------------------------|
| Acre | 222 |
| Amazonas | 479 |
| Amapá | - |
| Maranhão | 1085 |
| Mato Grosso | 3259 |
| Pará | 5180 |
| Rondônia | 1061 |
| Roraima | 570 |
| Tocantins | 112 |
| Total | 11.968 |

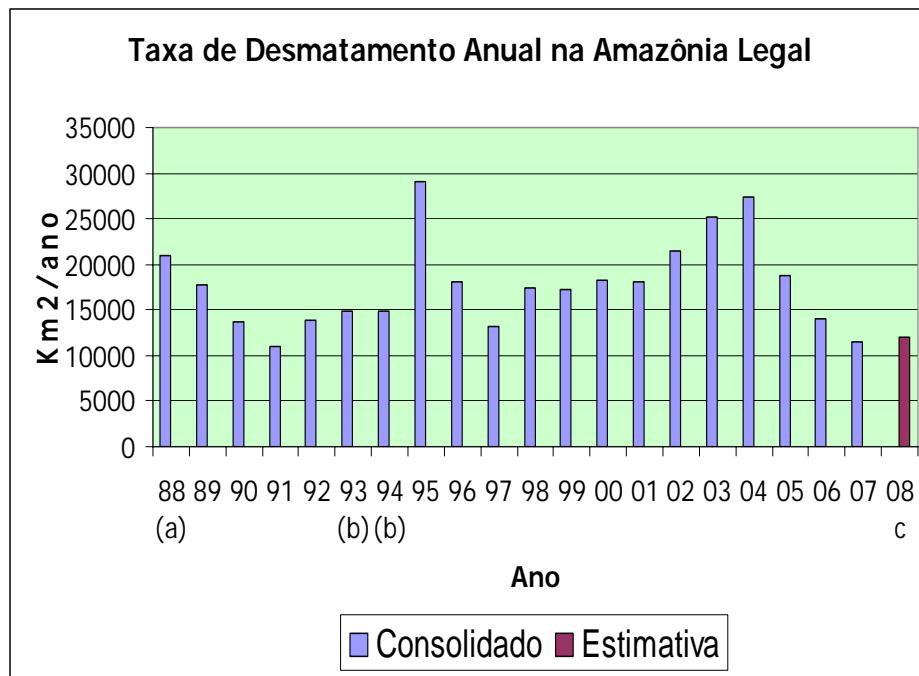


Figura 5.4 – Evolução da taxa de desmatamento de 1988 a 2008 (a: média 1977 a 1988; b: média 1992 a 1994; c: estimativa)

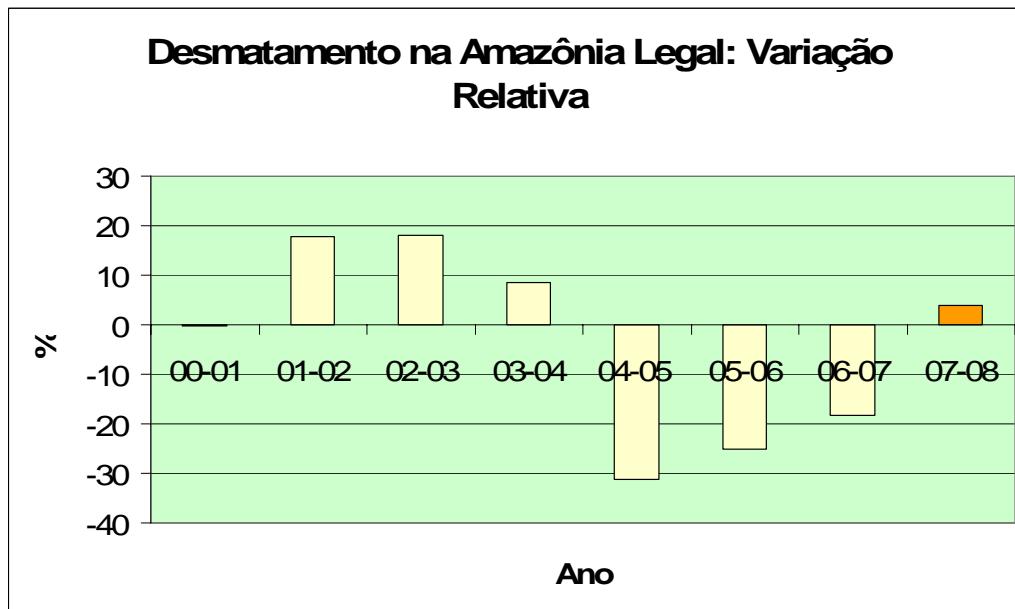


Figura 5.5 – Variação relativa da taxa de desmatamento de 2000 a 2008

6. QUALIFICAÇÃO DO DETER NO PERÍODO DE AGOSTO 2007 A JULHO 2008

A partir de maio de 2008 o INPE passou a qualificar os Alertas de desmatamento emitidos mensalmente pelo DETER. A qualificação é feita através da análise de amostra dos polígonos do DETER em imagens de melhor resolução (LANDSAT e/ou CBERS). Esta seção descreve a qualificação do DETER para o período de agosto de 2007 a julho de 2008.

Para selecionar as imagens LANDSAT e CBERS para qualificar o DETER, priorizam-se aquelas com passagens em datas próximas às de obtenção das Imagens MODIS. Na estação chuvosa (outubro-abril) há um número reduzido de imagens LANDSAT e CBERS livres de cobertura de nuvens. Assim, na presente avaliação grande parte das imagens de referência correspondeu aos meses de abril, maio, junho e julho de 2008. Em consequência, indícios de degradação florestal de intensidade leve e

moderada, como pátios de extração de madeira, trilhas de remoção de madeira ou pequenas manchas de cicatriz de fogo florestal, podem ficar menos evidentes nas imagens. Isto ocorre devido à regeneração da vegetação, sobretudo de sub-bosque, tornando-a espectralmente (como vista pelos satélites) semelhante à floresta intacta.

A qualificação do DETER é amostral, ou seja, apenas uma parte dos Alertas é avaliada. O tamanho da área amostrada e sua representatividade variam a cada período analisado de acordo com as condições atmosféricas e a disponibilidade de imagens de média resolução. No período seco, em geral, a área amostrada é bem maior do que no período chuvoso, quando grande parte da região permanece sob nuvens. Desta forma, a qualificação dos Alertas não pode ser vista como um mapeamento mais detalhado do DETER, pois não é possível assegurar uma área mínima a ser amostrada em diferentes períodos de referência.

Os Alertas são sobrepostos às imagens de melhor resolução espacial e então classificados como Corte Raso ou Degradação Florestal de Intensidade Leve, Moderada ou Alta. Os Alertas não confirmados como desmatamento também são contabilizados. O esquema de classificação é apresentado na Figura 6.1.

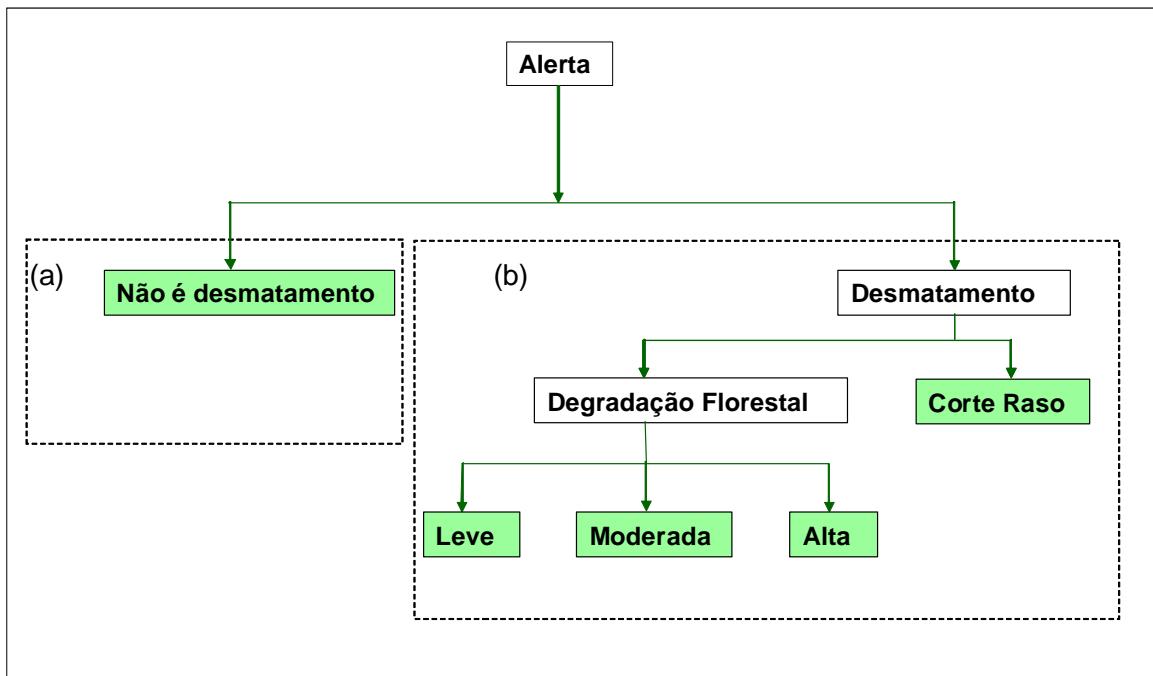


Figura 6.1 – Esquema de Classificação dos dados de Alerta do DETER. As classes finais são representadas pelas caixas verdes: 1) Não confirmado como desmatamento (a); 2) Corte Raso; 3) Degradação Florestal de Intensidades Leve, Moderada e Alta (b).

Na Figura 6.2 são apresentados os critérios de foto-interpretação. Os padrões e tipos de cobertura da terra observados nas imagens que definem as classes dos diferentes processos de desmatamento.

A área desmatada apontada pelo DETER no período de agosto de 2007 a julho de 2008 foi de 8.147 km² correspondentes a 7.758 Alertas. A distribuição do desmatamento detectado pelo DETER por Estado é apresentada na Figura 6.3.

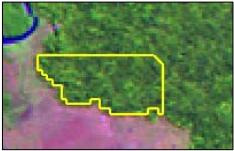
| Imagen TM/Landsat 2008 | Critérios de Interpretação visual Landsat/TM RGB 543 | Cobertura da Terra | Processo de desmatamento |
|---|--|--|--|
|  | Predomínio de tonalidade verde, textura rugosa e sombra. Padrão semelhante às florestas da região. Maioria do perímetro contíguo tem o mesmo padrão. | Cobertura florestal , textura heterogênea, com sombra, indicando a estrutura florestal complexa e não alterada. | Floresta não alterada |
|  | Tonalidade magenta, ou verde muito claro (esmaecido). Forma regular, textura lisa, limites bem definidos entre o polígono (solo exposto) e a matriz florestal. | Predomínio de solo exposto ou pastagem em formação. | Corte Raso |
|  | Predomínio de tonalidade verde e padrão de floresta, com presença de feições de tonalidade magenta ou roxa de tamanho pequeno, com baixa densidade e freqüência. | Predomínio de cobertura florestal com manchas de solo exposto indicando a presença de pátios e indícios de acesso. | Floresta Degradada de Intensidade Leve |
|  | Predomínio de tonalidade verde e padrão de floresta, com presença de feições de tonalidade magenta ou roxa, de tamanho médio, com média densidade e freqüência. | Predomínio de cobertura florestal com manchas de solo exposto indicando a presença de pátios de estocagem de madeira, ramais e clareiras. | Floresta Degradada de Intensidade Moderada |
|  | Predomínio de tonalidade magenta/roxa (clareiras grandes com indicação de fogo) ou verde (com textura lisa) em associação com manchas que apresentam padrão de floresta. | Presença de grandes clareiras com solo exposto, vegetação secundária e/ou área extensa de cicatriz de fogo florestal, combinadas com manchas florestais. | Floresta Degradada de Intensidade Alta |

Figura 6.2 – Critérios utilizados para a qualificação dos dados do DETER. Padrões de desflorestamento em imagens TM/LANDSAT, descrições e classes associadas.

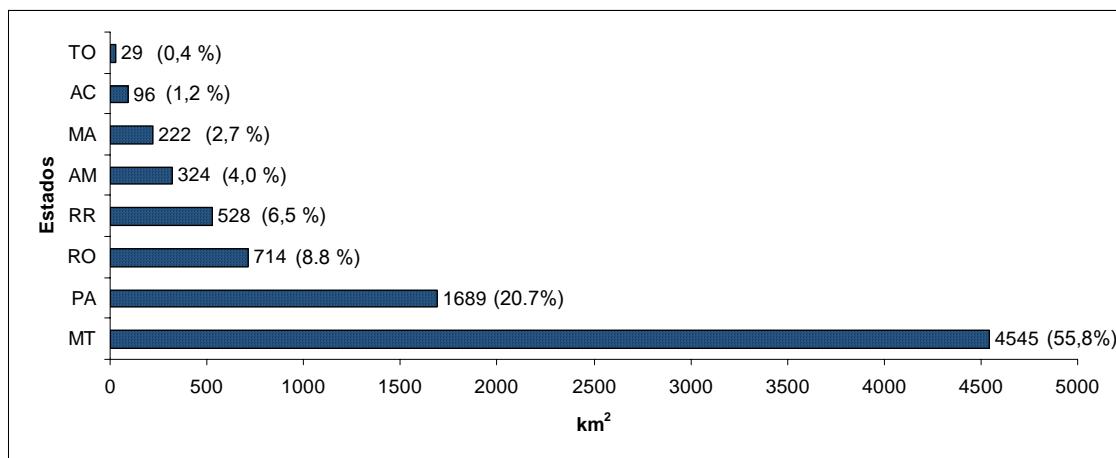


Figura 6.3 – Distribuição dos 8.147 km² desmatamentos de 2007/2008 por Estado.

A qualificação dos dados do DETER foi realizada utilizando como referência um conjunto de 40 cenas do sensor TM/LANDSAT, do período de agosto de 2007 a julho de 2008, localizadas nos Estados do Pará (16), Mato Grosso (14), Rondônia (4), Amazonas (3), Roraima (1), Acre (1) e Maranhão (1), apresentadas na Figura 6.4. A escolha das cenas foi feita baseada na disponibilidade de imagens com menor cobertura de nuvens, priorizando aquelas que acumularam maior área e número de Alertas do DETER no período, conforme apresentado na Tabela 6.1.

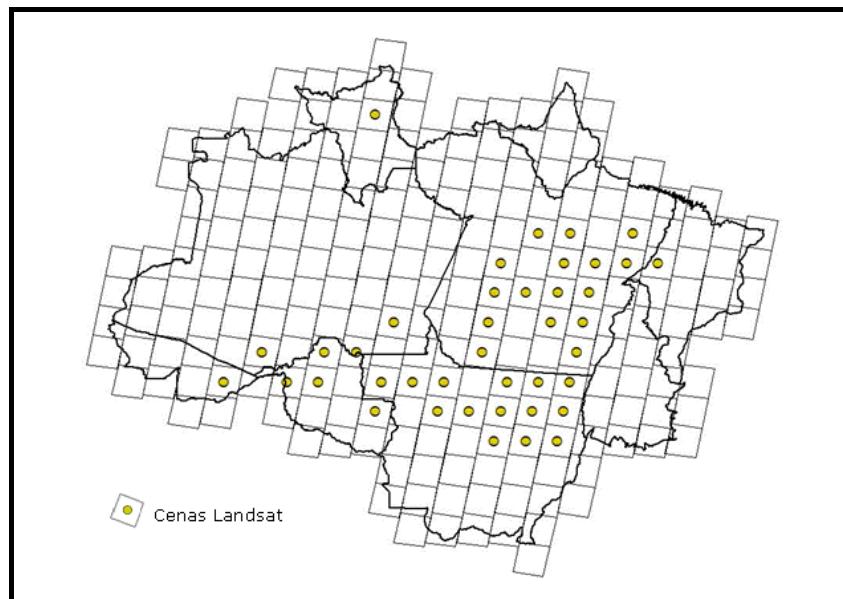


Figura 6.4 – Cenas LANDSAT utilizadas na qualificação do DETER no período de 2007/2008.

Tabela 6.1 – Cenas LANDSAT utilizadas na avaliação do DETER no período de 2007/2008.

| Cena | Estado | Cena | Estado | Cena | Estado | Cena | Estado |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 001/66 | AM | 224/68 | MT | 226/64 | PA | 228/68 | MT |
| 002/67 | AM | 224/69 | MT | 226/67 | MT | 229/67 | MT |
| 222/63 | MA | 225/62 | PA | 226/68 | MT | 230/65 | AM |
| 223/62 | PA | 225/63 | PA | 226/69 | MT | 230/67 | MT |
| 223/63 | PA | 225/64 | PA | 227/63 | PA | 230/68 | MT |
| 224/63 | PA | 225/65 | PA | 227/64 | PA | 231/66 | RO |
| 224/64 | PA | 225/67 | MT | 227/65 | PA | 232/58 | RR |
| 224/65 | PA | 225/68 | MT | 227/66 | PA | 232/66 | RO |
| 224/66 | PA | 225/69 | MT | 227/68 | MT | 232/67 | RO |
| 224/67 | MT | 226/62 | PA | 228/67 | MT | 233/67 | RO |

Foram avaliados 2.874 Alertas (ou polígonos de desmatamento), representando 4.949 km² ou 61% da área total dos polígonos indicados como Alerta de desmatamento pelo DETER no período. Essa amostragem é considerada representativa e suficiente. Do total de áreas avaliadas, 86% foram confirmadas como desmatamento e 14% não apresentaram indícios de desmatamento nas imagens de referência. O gráfico da Figura 6.5 e a Tabela 6.2 apresentam a síntese dos resultados.

Como indica a Tabela 6.2, 38% da área total dos Alertas do DETER foram confirmados como corte raso e 48% como floresta degradada. As áreas classificadas como floresta degradada de alta intensidade representaram 38%, e as de intensidade moderada e leve, totalizaram 10%. Note-se que muitas vezes as áreas de degradação leve ou moderada têm sua assinatura espectral modificada devido à regeneração da vegetação após a estação chuvosa.

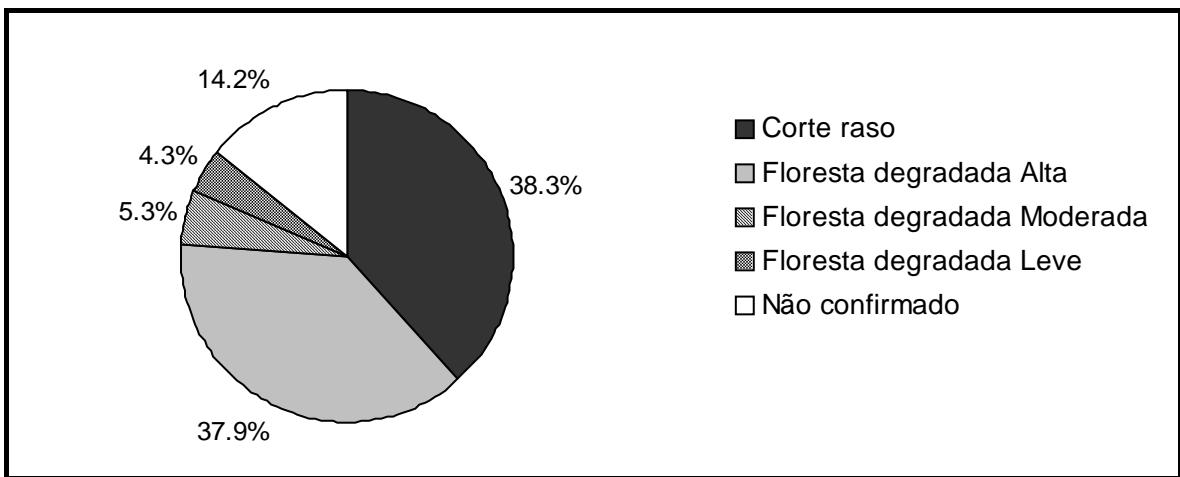


Figura 6.5 – Proporção da área de alertas do DETER qualificados como desmatamento por corte raso, degradação florestal alta, moderada e leve e não confirmados.

Tabela 6.2 – Resultado da qualificação dos dados de julho de 2007 a agosto de 2008 do DETER.

| | Área (km ²) | Confirmação (%) |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------|
| 1. Desmatamento | 4244,1 | 85,8% |
| 1.1 Corte_raso | 1894,8 | 38,3% |
| 1.2.Floresta_degradada_Alta | 1876,2 | 37,9% |
| 1.3.Floresta_degradada_Moderada | 260,9 | 5,3% |
| 1.4.Floresta_degradada_Leve | 212,2 | 4,3% |
| 2. Não confirmado | 704,8 | 14,2% |
| Total | 4948,9 | |

A proporção de alertas do DETER qualificados como desmatamento por corte raso foi menor no período 2007-2008 (38%) do que a proporção de desmatamento por degradação florestal (48%) no mesmo período. Essa proporção difere da avaliação relativa ao período 2006-

2007, no qual a proporção de Alertas qualificados foi de 64% para corte raso e 30% para floresta degradada.

A alta proporção de Alertas qualificados como degradação florestal no período 2007-2008, pode ser associada à ocorrência de incêndios florestais, evidenciados por cicatrizes de fogo florestal nas imagens de resolução mais fina. Como exemplo, a Figura 6.6 apresenta uma imagem LANDSAT de junho de 2008, com dois Alertas mapeados em abril de 2008. Nessa imagem as manchas de cicatriz de fogo florestal (de coloração marrom) no interior dos polígonos de desmatamento podem ser facilmente identificadas. Esses Alertas, em geral, apresentam áreas de tamanho grande, o da esquerda da Figura 6.6 mede cerca de 16.600 ha, e o da direita 15.900 ha.

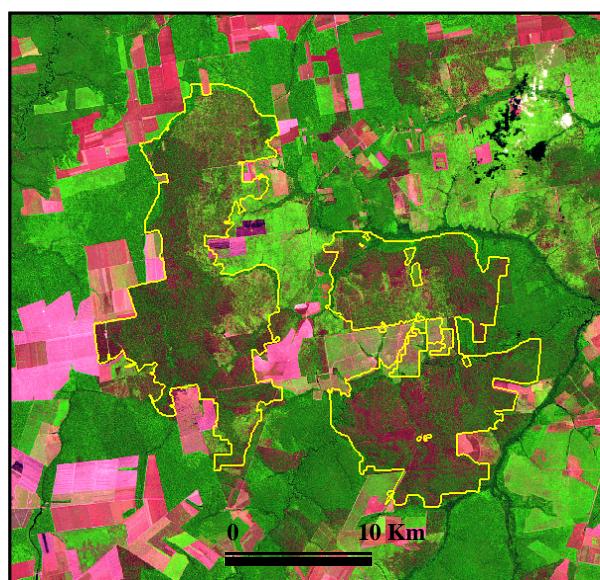


Figura 6.6 – Alertas detectados em abril de 2008 e avaliados como floresta degradada a partir da imagem LANDSAT (cena 226/69) de junho de 2008, localizada no Estado do Mato Grosso.

A Tabela 6.3 e o gráfico da Figura 6.7 mostram o resultado da análise por área e faixas de tamanho dos alertas. A contribuição dos alertas confirmados como desmatamento com área maior que 10 km² (1.000 ha) é da ordem de 30%. Desse total, 21% correspondem a alertas

classificados como floresta degradada. Os índices de não confirmação variaram de 0,4 a 3,9% nas diferentes faixas, reduzindo-se nas faixas de maior tamanho.

Tabela 6.3 – Análise dos alertas do DETER por área e faixas de tamanho.

| Classes | Faixas de Tamanho (km^2) | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------|-------|-------|--------|-------|
| | $<=0,5$ | 0,5 a 1 | 1 a 2 | 2 a 5 | 5 a 10 | >10 |
| Corte raso | 2,8% | 6,2% | 6,6% | 8,5% | 5,2% | 9,0% |
| Floresta degradada Alta | 0,6% | 1,3% | 3,0% | 6,7% | 6,6% | 19,7% |
| Floresta degradada Moderada | 0,5% | 0,7% | 1,1% | 1,3% | 0,8% | 1,0% |
| Floresta degradada Leve | 0,7% | 1,2% | 1,0% | 1,0% | 0,2% | 0,2% |
| Não confirmado | 1,9% | 3,8% | 3,9% | 3,3% | 0,9% | 0,4% |
| Total | 6,4% | 13,3% | 15,7% | 20,8% | 13,6% | 30,2% |

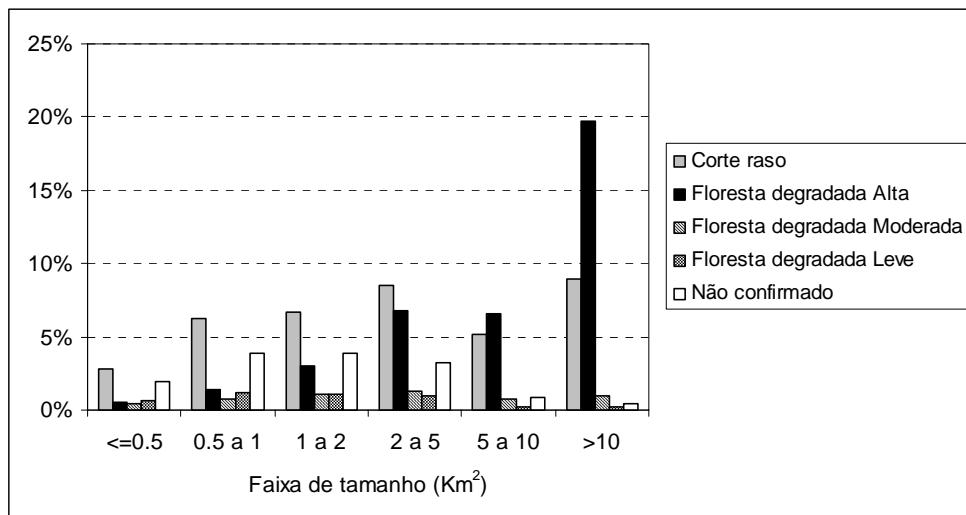


Figura 6.8 – Qualificação dos alertas por área e faixas de tamanho.

7. DEGRAD: MAPEAMENTO DAS ÁREAS DEGRADADAS EM 2007 E 2008

Em 2008, o INPE desenvolveu o sistema DEGRAD, em função das indicações do crescimento da degradação florestal da Amazônia obtidas a partir dos dados do DETER. Trata-se de um novo sistema destinado a mapear áreas em processo de desmatamento onde a cobertura florestal ainda não foi totalmente removida. O sistema utiliza imagens dos satélites LANDSAT e CBERS e seu objetivo é mapear anualmente áreas de floresta degradada e com tendência a ser convertida em corte raso. Assim como o PRODES, a área mínima mapeada pelo DEGRAD é de 6,25 hectares. Para conhecer melhor o processo de degradação florestal, o INPE desenvolveu técnicas específicas para processamento das imagens.

O processo consiste em preparar as imagens de satélite, aplicando realces de contraste de modo a destacar as evidências da degradação. As áreas degradadas são então mapeadas individualmente. A Figura 7.1 ilustra os padrões de degradação por atividade madeireira observados nas imagens realçadas. Na Figura 7.2, apresentam-se os padrões decorrentes de incêndios florestais que ocorrem em áreas em que houve exploração madeireira.

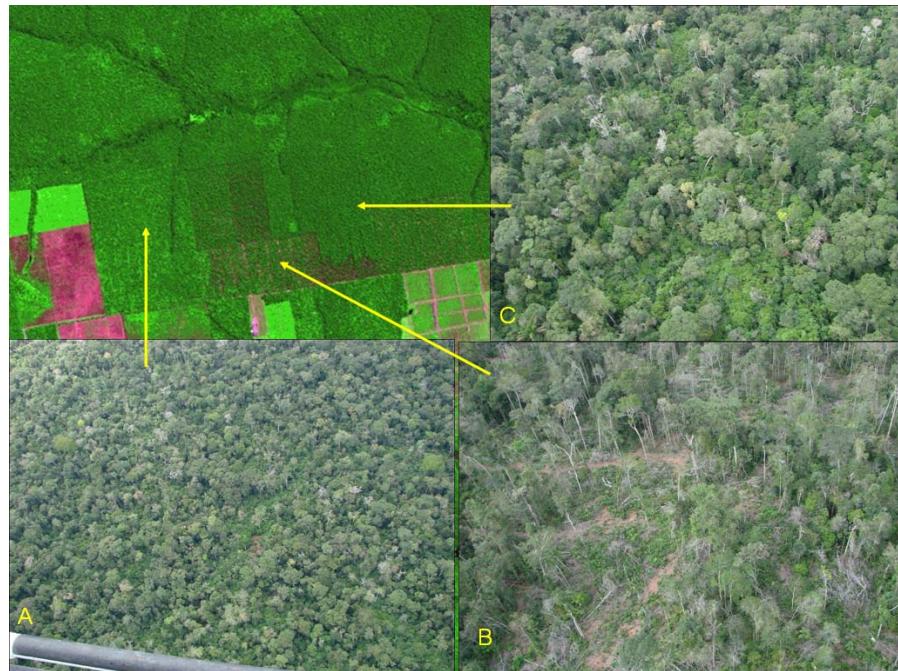


Figura 7.1 – Padrões de degradação florestal por extração de madeira observados em imagens realçadas. A) Degradação de intensidade moderada, área em regeneração após exploração madeireira, pátios ainda discrimináveis; B) Degradação de intensidade alta, exploração madeireira ativa, grande proporção de solo exposto; C) Degradação de intensidade leve, evidência de instalação de estradas de acesso. (Fotos de campo disponíveis em www.obt.inpe.br/fototeca; coordenada do ponto C: W 54° 27' 14'', S 11° 55' 25'').

O DEGRAD mapeou a degradação florestal na Amazônia para os anos de 2007 e 2008, com base no mesmo conjunto de 85 imagens LANDSAT processadas para o PRODES, conforme relação e distribuição espacial apresentada na seção 5 acima.

O levantamento preliminar de áreas degradadas nessas imagens registrou 14.915 km² em 2007 e 24.932 km² em 2008. A Tabela 7.1 apresenta a distribuição das áreas degradadas por Estado. Estes valores indicam que há uma quantidade considerável de áreas em processo de degradação que, como ilustrado na Figura 7.3, podem se tornar corte raso, se não houver interrupção do processo.

Tabela 7.1 – Áreas degradadas (km^2) por Estado da Amazônia Legal.

| Estado | 2007 | 2008 |
|--------------|---------------|---------------|
| Acre | 89 | 27 |
| Amazonas | 180 | 65 |
| Amapá | - | - |
| Maranhão | 1.814 | 3.978 |
| Mato Grosso | 8.744 | 12.534 |
| Pará | 3.466 | 7.708 |
| Rondônia | 367 | 477 |
| Roraima | 118 | 77 |
| Tocantins | 137 | 66 |
| Total | 14.915 | 24.932 |

Com base nos dados acima, o INPE calculou a área de intersecção entre os dados de degradação de 2007 e 2008, que foi estimada em 3.550 km^2 e também calculou a área de mapeada como degradação em 2007 que foi convertida em corte raso em 2008, e, portanto, contabilizada pelo PRODES, cujo valor estimado é de 1845 km^2 , aproximadamente 13% do total. A Tabela 7.2 apresenta a distribuição desta área por Estado.

Tabela 7.2 – Áreas degradadas (km^2) em 2007 convertidas a corte raso em 2008 por Estado da Amazônia Legal.

| Estado | Degradação 2007 convertida para corte raso 2008 |
|--------------|---|
| Acre | 9 |
| Amazonas | 9 |
| Amapá | - |
| Maranhão | 152 |
| Mato Grosso | 920 |
| Pará | 612 |
| Rondônia | 95 |
| Roraima | 37 |
| Tocantins | 11 |
| Total | 1845 |

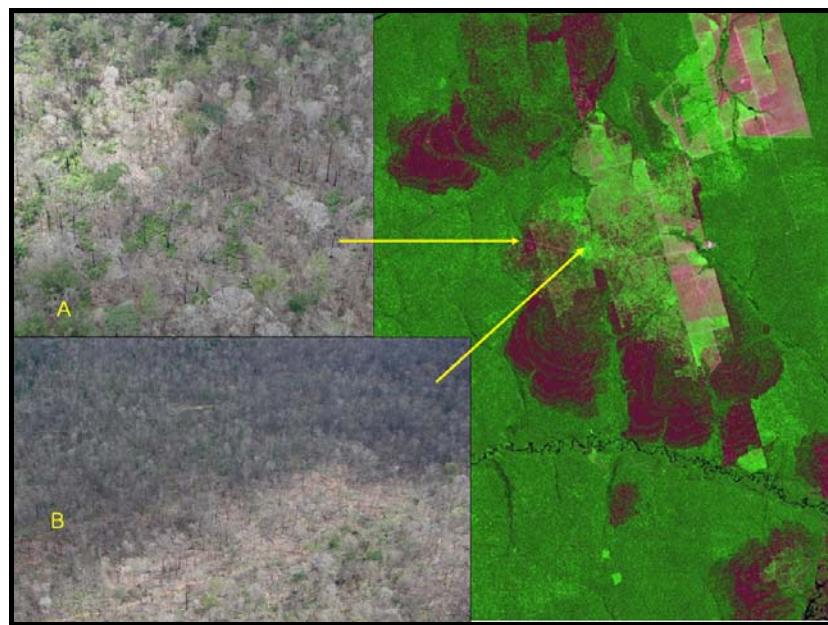


Figura 7.2 – Padrões de degradação florestal causado por exploração madeireira e incêndios recorrentes. A) Área queimada em 2007. B) Área queimada recorrentemente, considerada como desmatamento. (Fotos de campo disponíveis em www.obt.inpe.br/fototeca; coordenada do ponto B: W 53° 54' 20'', S 11° 09' 27'').

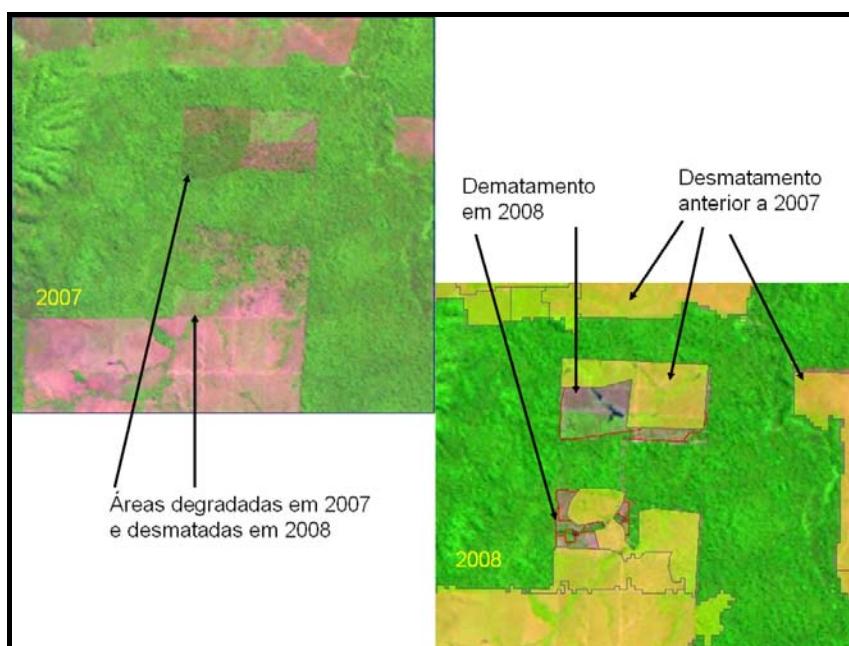


Figura 7.3 – Amostras de imagens LANDSAT de 2007 e 2008 demonstrando a evolução de áreas degradadas para corte raso. Localização aproximada: W 51° 52', S 06° 09'.

O mapeamento de áreas degradadas e a avaliação da intensidade desta degradação terão um grande avanço com a utilização das imagens HRC do CBERS. A bordo do satélite CBERS-2B o HRC - *High Resolution Câmera*, é um sensor pancromático que adquire dados na faixa espectral de 0,5 – 0,8 μm , com 2,7 m de resolução espacial em uma faixa de imageamento de 27 km, e uma taxa de revisita de 130 dias.

A resolução de 2,7 m permite a identificação detalhada das feições presentes nas áreas sob exploração madeireira por corte seletivo, como carreadores e pátios de estoque de toras. A Figura 7.4 compara uma imagem LANDSAT com a imagem HRC. Nota-se nesta figura a melhor definição dos pátios de estoque e carreadores em uma área sob exploração madeireira na imagem HRC (Figura 7.4 B) do que na imagem em que apenas o LANDSAT foi utilizado (Figura 7.4 A). As áreas em que houve incêndio florestal têm também melhor discriminação na imagem HRC da Figura 7.4 B.

Os dados da HRC começaram a ser processados e disponibilizados pelo INPE em junho de 2008 e uma quantidade razoável de imagens já está disponível. A Figura 7.5 ilustra a disponibilidade de imagens HRC para a região amazônica com no máximo 20% de cobertura de nuvens.



A) Composição colorida de dados LANDSAT (TM3-Azul, TM4-Verde, TM5-Vermelho)



B) Fusão de dados LANDSAT e HRC/CBERS

Figura 7.4 – Comparação de imagem obtida com dados LANDSAT (A) e imagem em que há fusão de dados LANDSAT e HRC/CBERS (B)

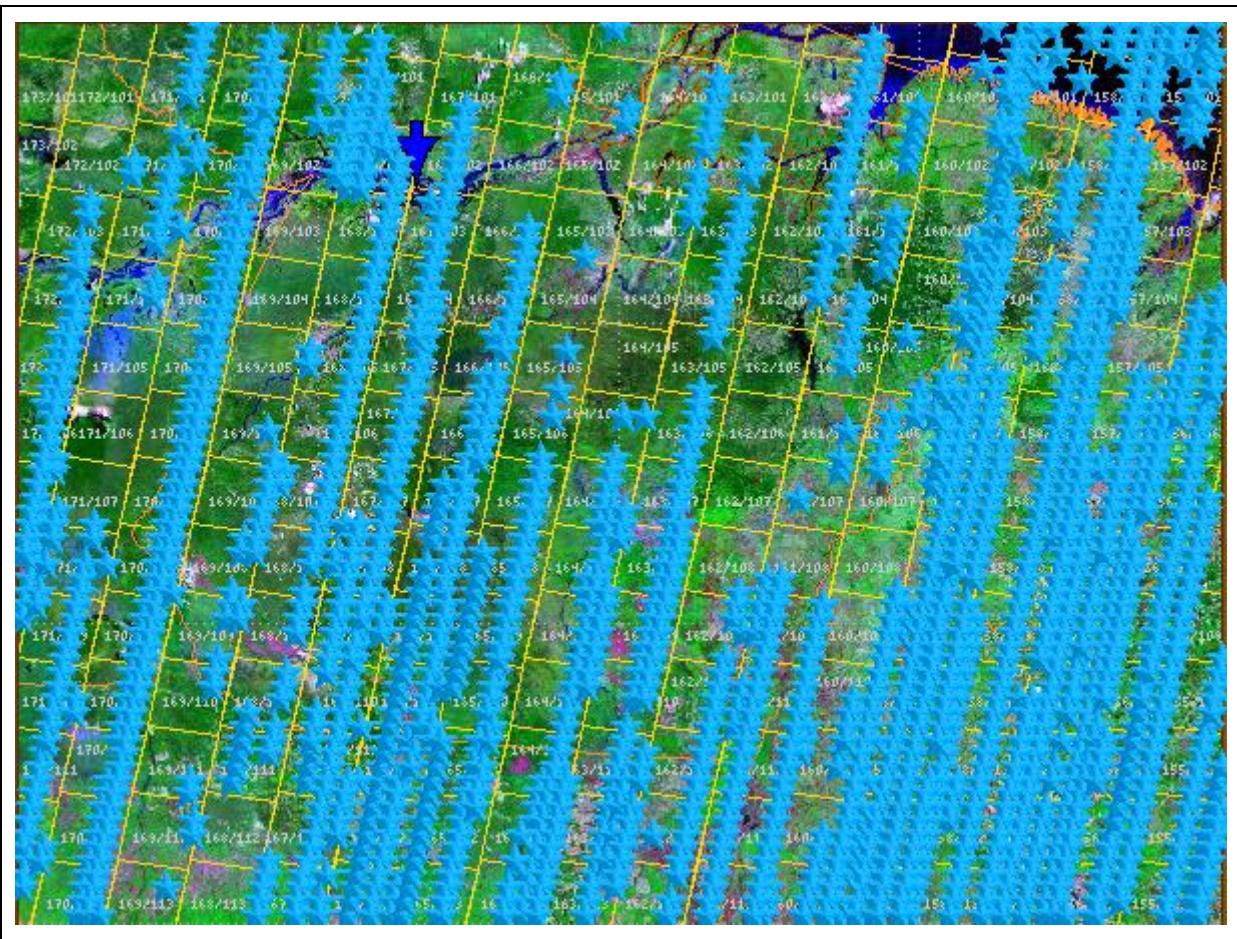


Figura 7.5 – Imagens HRC/CBERS disponíveis para a região amazônica com no máximo 20% de cobertura de nuvens. Cada ícone em forma de estrela é uma imagem com esta especificação para o ano de 2008.

8. QUEIMADAS NA AMAZÔNIA EM 2007 E 2008

O INPE mantém há mais de 20 anos um sistema operacional de monitoramento de queimadas por satélite para todo Brasil e boa parte da América do Sul. Ao longo destes anos foram desenvolvidas várias metodologias e sistemas de computadores que permitem identificar focos de calor em imagens de satélites de baixa resolução, tais como os satélites da série NOAA, GOES, TERRA, AQUA e METEOSAT.

Nesta análise, foram comparados os focos de calor (queimadas) nos períodos 2006/2007 e 2007/2008 utilizando-se dois satélites distintos, TERRA/MODIS e AQUA/MODIS, que permitem a detecção diária de queimadas a partir do processamento das suas bandas de 1 km de resolução. Os resultados são apresentados nos gráficos das Figuras 8.1 e 8.2.

A Figura 8.3 mostra a distribuição espacial das queimadas para os anos de 2006/2007 e 2007/2008. Cada mapa apresenta a intensidade dos focos de calor no período, agrupados em células de 20 x 20 km. O gradiente de tonalidades verde, amarelo e vermelho representa o aumento no número de focos por célula. Nota-se grande acréscimo no número de queimadas no período 2007/2008, quando comparado ao período 2006/2007.

Como já mencionado, o fogo é largamente utilizado em algumas fases do processo de desmatamento. O aumento do número de queimadas entre 2007/2008, como demonstra os gráficos, é consistente com o aumento de áreas de degradação florestal detectadas pelo DETER no mesmo período.

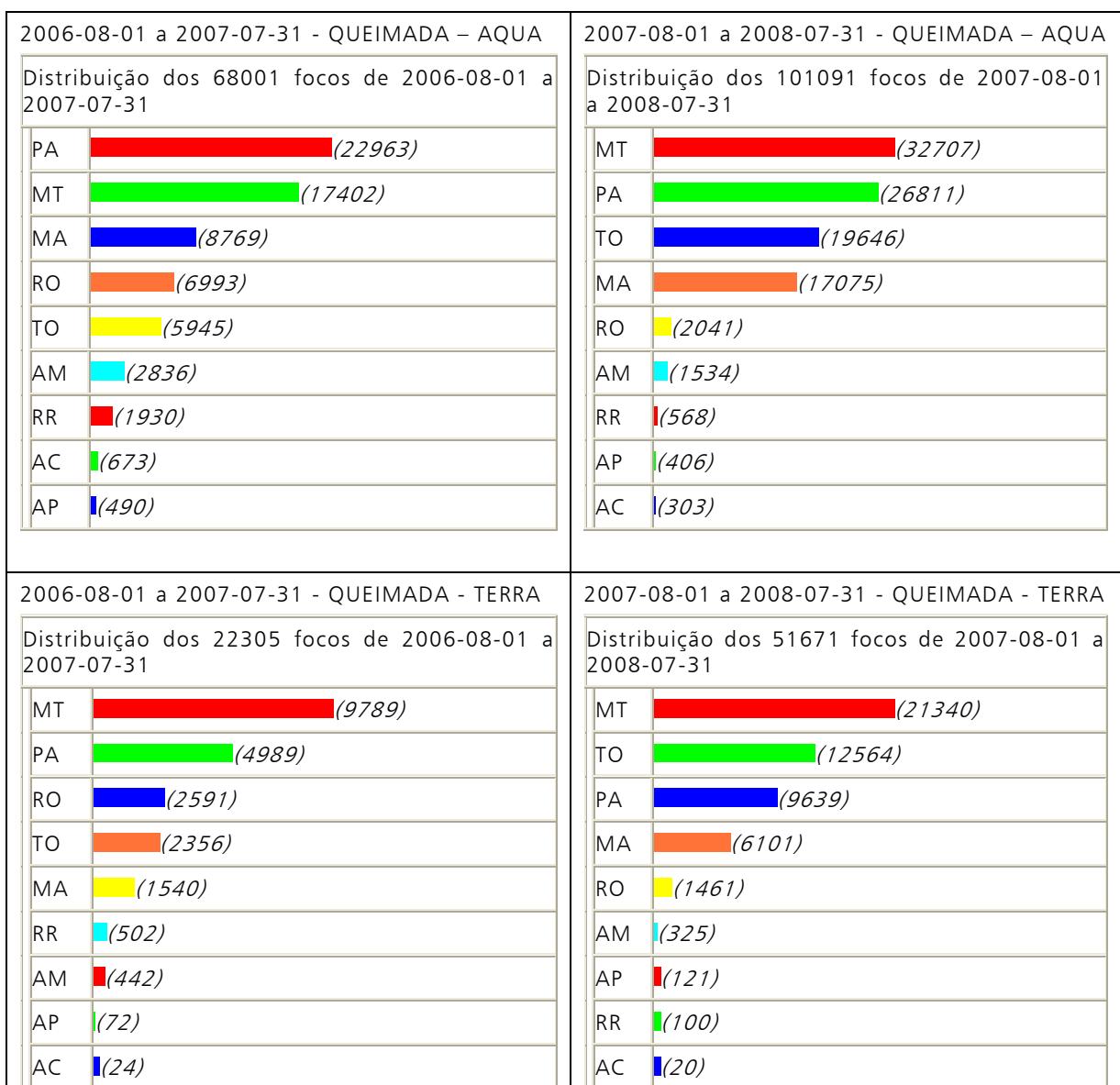


Figura 8.1 – Distribuição por Estado dos focos de calor observados nos anos de 2006/2007 e 2007/2008

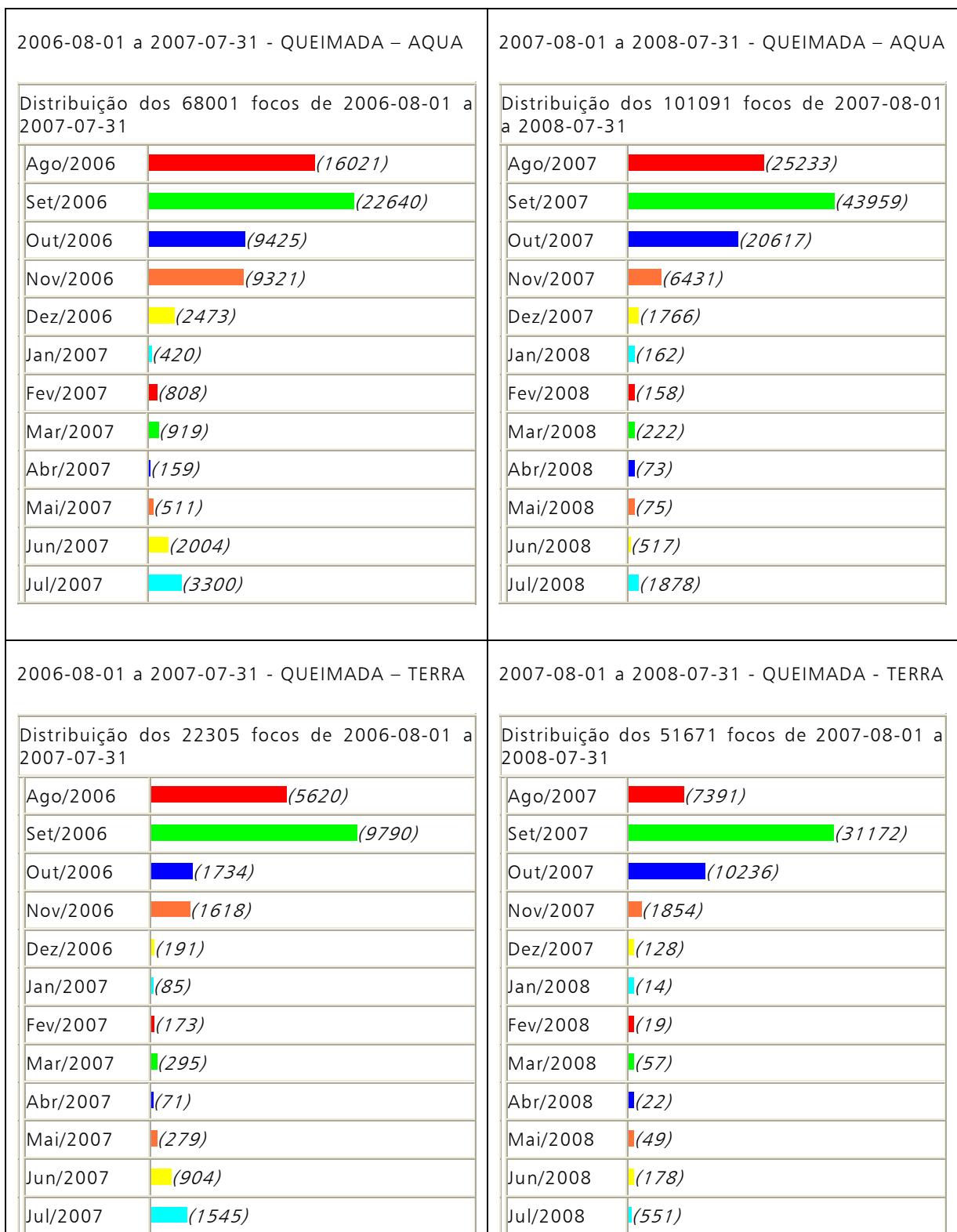


Figura 8.2 – Focos de calor observados nos anos de 2006/2007 e 2007/2008 distribuídos por mês

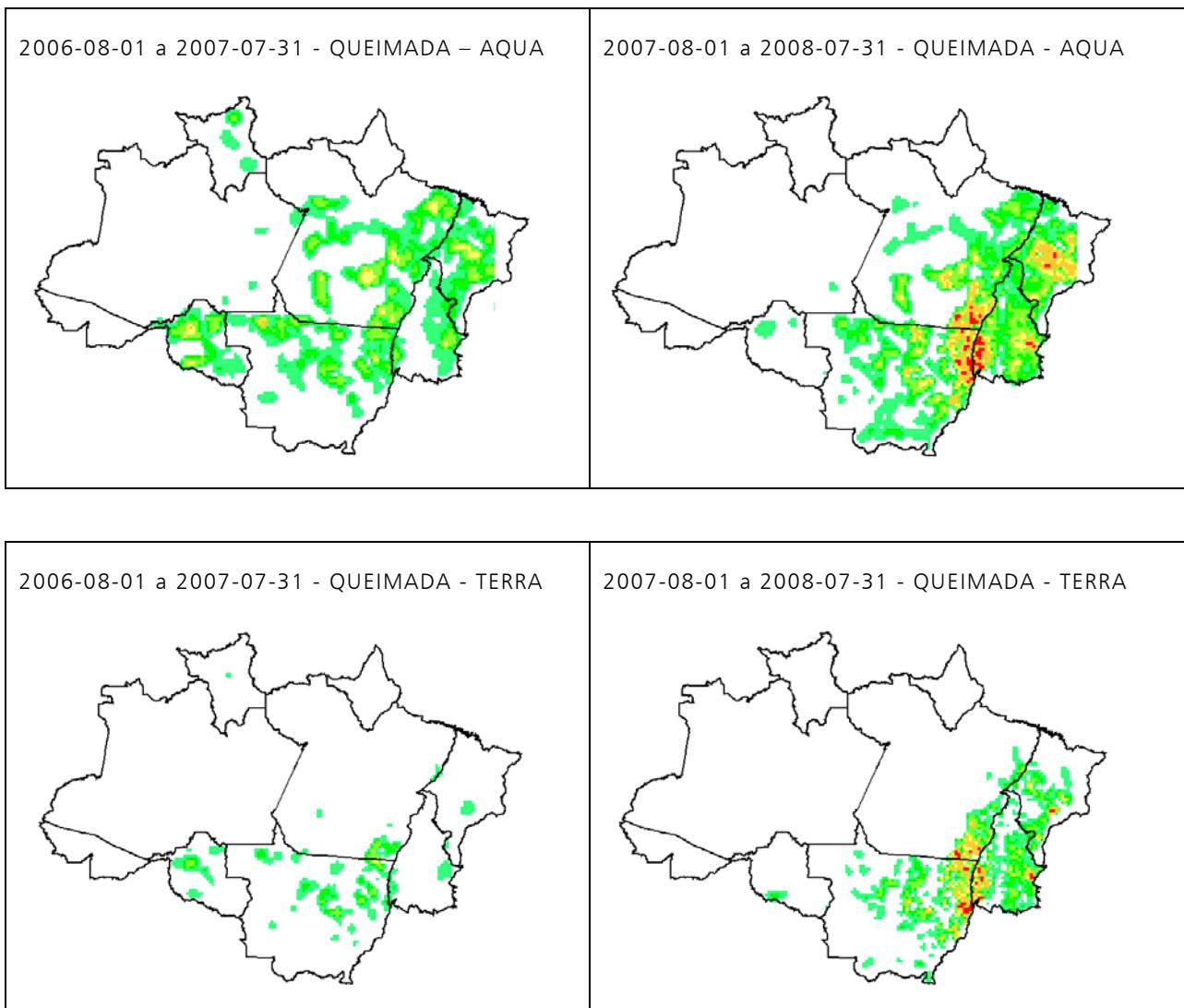


Figura 8.3 – Distribuição espacial dos focos de calor observados nos anos de 2006/2007 e 2007/2008.

9. CONCLUSÕES

Este documento apresenta uma avaliação detalhada do monitoramento da cobertura florestal na Amazônia Brasileira por satélites para o período 2007/2008. Esta avaliação inclui a estimativa da taxa de desmatamento por corte raso (PRODES) e o mapeamento da área de degradação florestal (DEGRAD e DETER).

A taxa anual de desmatamento por corte raso para o período 2007/2008, foi calculada pelo PRODES em de 11.968 km², representando uma estabilização comparada com o período 2006-2007 e uma interrupção na trajetória de queda verificada desde 2004.

A qualificação do DETER para 2007/2008 apresenta uma proporção entre corte raso e degradação florestal de 38% e 48% respectivamente. Em 2006/2007, o INPE observou uma relação de 64% de corte raso contra 30% de degradação. Esta diferença entre os dois períodos está relacionada a um aumento da degradação florestal neste período.

As indicações de aumento da degradação florestal do DETER foram confirmadas pelos dados do DEGRAD, que indicam um crescimento de 14.915 km² em 2007 para 24.932 km² em 2008. As indicações do DETER também são consistentes com a maior ocorrência de focos de calor medidos pelo INPE em 2007/2008, com relação a 2006/2007.

No período 2007/2008, observou-se um comportamento dos Alertas mensais do DETER diferente da série histórica, conforme dados disponíveis no sítio do DETER da Internet. Os valores indicados pelo DETER cresceram no segundo semestre de 2007 e caíram no primeiro semestre de 2008. Esta queda foi maior nos meses de junho e julho, contrariamente ao verificado em anos anteriores. Nesse sentido, o INPE considera que o DETER cumpriu seu objetivo de emitir alertas para que áreas de atividade mais intensa pudessem ser priorizadas para fiscalização e combate ao desmatamento ilegal. O INPE considera que estas áreas degradadas devam ser priorizadas para fins de fiscalização, para evitar que se transformem em áreas de corte raso.