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

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa
Luiz Fernando Schettino

Coordenador Geral das Unidades de Pesquisa
Carlos Oití Berbert

Diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Gilberto Câmara

Chefe de Gabinete do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
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
João Roberto dos Santos

Chefe da Divisão de Geração de Imagens
Flávio Sérgio Reis

Registro do documento original:
<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/04.28.13.43>

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Antônio Miguel Vieira Monteiro
Engenheiro, DPhil em Sistemas Espaciais, The University of Sussex, Inglaterra.

Camilo Daleles Rennó
Engenheiro Agrônomo, MsC e Dr. em Sensoriamento Remoto, INPE.

Cláudio Aparecido Almeida
Engenheiro Agônomo, Especialista em Sensoriamento Remoto, INPE.

Dalton de Morisson Valeriano
Biólogo, MsC em Sensoriamento Remoto, INPE, PhD em Geografia, University Of California Santa Barbara, Estados Unidos.

João Vianei Soares
Engenheiro Agrícola, MsC em Eng. Agrícola, Docteur Ingenieur em Física do Sensoriamento Remoto, Université de Paris VII, França.

Luis Eduardo P. Maurano
Analista Sistemas, Especialista em Web e Geoprocessamento, INPE.

Maria Isabel Sobral Escada
Ecóloga, MsC e Dr.em Sensoriamento Remoto, INPE.

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

Taise Farias Pinheiro
Bióloga, 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

INPE – COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 20 DE MAIO DE 2008

SUMÁRIO EXECUTIVO

1. O programa de monitoramento da Amazônia do INPE conta hoje com dois sistemas operacionais, o PRODES e o DETER. Estes dois sistemas são complementares e foram concebidos para atender a diferentes objetivos. O DETER é um sistema de apoio à fiscalização e controle do desmatamento da Amazônia. Com o DETER, o INPE divulga mensalmente um mapa de Alertas, com áreas maiores que 25 ha. Esses mapas indicam áreas totalmente desmatadas (corte raso) e áreas em processo de desmatamento por degradação florestal progressiva. O PRODES mede as taxas anuais de corte raso desde 1988, para Incrementos superiores a 6,25 hectares. Por ser mais detalhado e depender das condições climáticas da estação seca para aquisição de imagens livres de nuvens, é feito apenas uma vez por ano, com sua divulgação prevista para dezembro de cada ano.

2. Este documento apresenta uma caracterização detalhada do sistema DETER, que indica seu desempenho nos seguintes itens:

    a. *Tipos de desmatamento medidos pelo DETER*: O INPE comparou os dados de Alerta do DETER no período agosto de 2006 a julho de 2007 com os dados do sistema PRODES de 2007. Além disso, realizamos análise complementar com verificação de campo e comparação com cenas Landsat de 30 m de resolução espacial para mapeamento e avaliação de degradação florestal. Na comparação direta dos dados do DETER com os dados do PRODES verificamos que 64% dos Alertas corresponderam à corte raso. Na comparação com cenas de resolução de 30 m verificamos que as áreas de

Alerta do DETER que não corresponderam a desmatamento foram estimadas em 6%. Assim, depreende-se que a diferença de aproximadamente 30% corresponde à floresta degradada.

b. *Eficácia para detectar áreas de corte raso medidas pelo PRODES:* Quanto maior a área do polígono de corte raso medida no PRODES, mais provável é sua identificação no DETER. O DETER *identificou* mais de 70% das áreas de corte raso do PRODES maiores que 300 ha, e detectou 8% da área dos polígonos do PRODES entre 25 e 50 ha.

c. *Capacidade de estimar a tendência da taxa anual de desmatamento por corte raso:* A relação entre DETER e PRODES é apenas aproximada. A contribuição dos polígonos menores que 25 ha (menor área mapeada pelo DETER) para a taxa anual do desmatamento aumentou de 18% em 2002 para 38% em 2007. Como o DETER é mais eficaz nas medidas de grandes desmatamentos, não é possível usar seus dados para antecipar com precisão qual será a taxa anual de desmatamento por corte raso. Quando os dados mensais do DETER são agregados para períodos superiores a seis meses, as tendências do DETER correspondem as tendências do PRODES. Um crescimento do DETER indica um crescimento no PRODES, portanto o Deter é um indicador adequado para a tendência do desmatamento da Amazônia.

d. *Desempenho para medir diferentes estágios de floresta degradada:* Os dados de Alerta do DETER subestimam o processo de degradação florestal progressiva em curso na Amazônia Brasileira. A maioria dos Alertas do DETER para áreas degradadas corresponde à degradação florestal de

intensidade alta. Estágios iniciais e intermediários de degradação não são detectados com a mesma eficiência com que se detectam os estágios finais de degradação.

3. As principais conclusões do documento são:

   a. O DETER é um sistema eficiente. Ele cumpre bem seus objetivos de emitir Alertas para que áreas de atividade mais intensa possam ser priorizadas quanto às estratégias de fiscalização e planejamento. A proporção de Alertas não confirmados como desmatamento pelo DETER é menor que 6%.
   b. Há evidências de que a degradação florestal na Amazônia tem se ampliado nos últimos anos. Para conhecer melhor a extensão desse processo, o INPE desenvolveu técnicas específicas para mapeamento de florestas degradadas. A partir de 2008, o INPE irá mapear em detalhe a degradação florestal na Amazônia com os satélites de resolução de 20-30m.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 15

2. A FLORESTA AMAZÔNICA: RELEVÂNCIA BIOGEOGRÁFICA, FUNÇÕES ECOLÓGICAS E PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL 17

2.1. Relevância biogeográfica e funções ecológicas da Floresta Amazônica 19

2.2. Processo de degradação florestal: desmatamento, exploração florestal e degradação por fogo 26

2.3. Degradação florestal e o efeito do fogo sobre a estrutura de biomassa da floresta 30

3. CONCEITOS DE DESMATAMENTO NO MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA POR SATÉLITE 32

3.1. Os processos de desmatamento observados pelo DETER 36

3.2. Desmatamento por corte raso 37

3.3. Desmatamento por degradação florestal 38

4. DETER: ASPECTOS METODOLÓGICOS 41

4.1. Seleção e aquisição das imagens 43

4.1.1. Verificação da cobertura de nuvens 44

4.1.2. Incorporação das imagens ao banco de dados do INPE 44

4.2. Mapeamento dos Alertas 45

4.2.1. Mapa de nuvens 47

4.2.2. Auditoria 47

4.3. Geração dos produtos finais e divulgação 47

5. IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO DESMATAMENTO COM IMAGENS DE SATÉLITE 49
5.1. Padrões e processos de desmatamentos observados pelo DETER 49
5.1.1. Degradação florestal progressiva de intensidade Leve 52
5.1.2. Degradação florestal progressiva de intensidade Moderada . 54
5.1.3. Degradação florestal progressiva de intensidade Alta 56
5.1.4. Perda completa da cobertura florestal 58
5.1.5. Corte raso 60
6. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA PARA CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DO DETER 61
6.1. Avaliação do desmatamento por corte raso 63
6.1.1. Metodologia de avaliação do desmatamento por corte raso. 64
6.1.2. DETER x PRODES 67
6.1.3. Resultados da análise: DETER x PRODES 69
6.1.4. PRODES x DETER 71
6.1.5. Resultados da análise: PRODES x DETER 72
6.2. Avaliação do desmatamento por degradação florestal progressiva 75
6.2.1. Seleção de Cenas para estudos de caso 76
6.2.2. Mapeamento de degradação florestal 77
6.2.3. Cruzamento dos Alertas com floresta degradada 80
6.2.4. Avaliação dos Alertas com floresta degradada 81
6.2.4.1. Resultados do mapeamento da floresta degradada 82
6.2.4.2. Avaliação do cruzamento de dados: DETER, PRODES e floresta degradada 84

7. CONCLUSÃO **89**

7.1. Considerações finais **91**

8. BIBLIOGRAFIA **94**

ANEXO 1

ANEXO 2

1. INTRODUÇÃO

A maior parte da Floresta Amazônica está em território brasileiro. Sua relevância biogeográfica e suas propriedades ecológicas em escalas local e regional são por si só motivos que justificam um programa de monitoramento por satélites. As rápidas transformações na cobertura da terra causadas pela ocupação humana na região, acentuadas a partir da segunda metade do século passado, motivaram o desenvolvimento do Programa de Monitoramento Ambiental da Amazônia por Satélites pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Há duas décadas o Programa fornece à sociedade brasileira informações sobre a dinâmica anual do desmatamento de cobertura florestal na Amazônia Legal pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal – PRODES. O principal objetivo é o cálculo das taxas anuais de desflorestamento para essa região.

As estimativas geradas pelo PRODES baseiam-se em mapeamento detalhado, com um grande conjunto de imagens do sensor TM/Landsat, cobrindo toda a extensão da Amazônia, anualmente. Devido à sua complexidade e ao detalhamento necessário para o cálculo de área esse mapeamento precisa de seis a oito meses para ser concluído. No final do processo, é estimada a taxa de desmatamento e são produzidos dados tabulares e mapas vetoriais.

Apesar da sua grande importância para o monitoramento da floresta e o estabelecimento de políticas públicas, os dados não são suficientes para ações de prevenção e de fiscalização, devido ao longo tempo que levam para ser produzidos. Além disso, o PRODES detecta apenas o desmatamento por corte raso - o processo em que a cobertura florestal é totalmente removida -, em um curto intervalo de tempo. Este processo é facilmente identificável com imagens de satélite, pois a

resposta espectral dos solos passa a predominar após a derrubada, e se diferencia de forma muito clara da resposta espectral da vegetação.

A partir de 2004 o INPE implementou o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real – DETER - para o monitoramento contínuo do desmatamento e da degradação florestal. O DETER, concebido com objetivos diferentes do PRODES, foi criado para atender ao Governo Federal no Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal, e tem como principal função fornecer informação sobre local e dimensão de ocorrências de mudanças na vegetação, para auxiliar a fiscalização e o controle de remoção ou uso ilegal da cobertura florestal. Os resultados dos dois sistemas de monitoramento são divulgados em páginas de rede de acesso livre (www.obt.inpe.br/prodes e www.obt.inpe.br/deter) para que a sociedade tenha disponível informações sobre a dinâmica do processo de ocupação da Amazônia brasileira.

Além de indicar desmatamento por corte raso, o DETER pode registrar a ocorrência de degradação florestal progressiva. Esse processo na Amazônia envolve, geralmente, o corte seletivo de madeira e episódios freqüentes de queimada, levando à perda gradual do sistema florestal e de suas funções ecológicas. Esse processo não tem sido mapeado pelo PRODES em sua totalidade, mas apenas em seu estágio final, quando ocorre a remoção completa da floresta.

Embora o DETER não faça a distinção entre as duas formas de desmatamento, é capaz de detectar os dois processos e emitir Alertas que permitem uma fiscalização rápida e eficaz. As informações obtidas pelo DETER contêm dados sobre o tamanho das áreas desmatadas para hierarquização, mas sua medida de área é imprecisa devido à limitada resolução espacial (250 m) dos sensores utilizados (Terra/MODIS, WFI/CBERS).

A ênfase deste documento é apresentar as principais características dos dados de desmatamento produzidos pelo Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real – DETER, seus aspectos metodológicos, e

realizar uma avaliação dos dados gerados, considerando os processos de desmatamento por corte raso e degradação florestal progressiva.

Este trabalho está organizado em sete seções. Na seção 2 são discutidas a importância biogeográfica da Floresta Amazônica, suas funções ecológicas e os processos de degradação florestal pelo desmatamento, exploração e fogo florestal.

Na seção 3 é apresentada a evolução do conceito de desmatamento utilizado no Programa de Monitoramento da Amazônia por satélite do INPE, desde os anos 80 até os dias atuais. O Sistema DETER, seus objetivos, e aspectos metodológicos são apresentados na seção 4.

Na seção 5 dados de desmatamento coletados em campo são apresentados, estabelecendo-se relações com os padrões espectrais encontrados nas imagens MODIS. A seção 6 é dedicada à avaliação dos dados do DETER, utilizando como referência os dados do PRODES e mapas de floresta degradada, que fornecem informações sobre o processo de desmatamento por corte raso e por degradação florestal. O objetivo principal destas avaliações foi caracterizar o dado de desmatamento gerado pelo sistema DETER mostrando seu potencial e suas limitações. As conclusões são apresentadas na seção 7.

2. A FLORESTA AMAZÔNICA: RELEVÂNCIA BIOGEOGRÁFICA, FUNÇÕES ECOLÓGICAS E PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL

Como domínio fitogeográfico, a Floresta Amazônica é a maior extensão contínua de Floresta Tropical, que abriga uma biodiversidade de relevância global e de grande potencial como recurso biotecnológico. Além de sua extensa área, a densidade e o porte de sua vegetação fazem com que a Floresta Amazônica seja um dos maiores estoques de carbono da biosfera. Caracterizada pelos altos níveis de precipitação da região

tropical úmida, a cobertura florestal participa ativamente do clima local ao reciclar por evapotranspiração grande parte da água precipitada.

A maior parte da Floresta Amazônica apresenta densa cobertura verde durante o período seco, mantida por suprimento de água captado em camadas profundas do solo. A estabilidade de um microclima úmido não induz o desenvolvimento de adaptações para resistir aos efeitos do fogo, uma vez que em condições naturais é raríssima a possibilidade de que ele se propague no interior da floresta. Portanto, a Floresta Amazônica tem a capacidade de manter seu funcionamento estável frente a variações climáticas, porém é vulnerável quando exposta a atividades que propiciem a ocorrência e propagação de fogo.

As áreas florestais que possuem em seu entorno atividades ligadas à agropecuária são suscetíveis a incêndios florestais. Isto ocorre porque o fogo é comumente utilizado para a renovação de pastos e eliminação de restos agrícolas e pode se alastrar sem controle sobre a vegetação, causando sérios prejuízos ambientais. O número de ocorrências de incêndios florestais na Amazônia pode aumentar com a extração seletiva de madeira - é uma atividade relevante na Amazônia -, que precede ou está associada à ocupação agropecuária. A copa das árvores atua mantendo o interior da floresta úmido o suficiente para evitar que o fogo se propague. No entanto, o crescimento do número de clareiras devido à remoção das árvores emergentes ou de dossel causa a redução da umidade e o aumento da quantidade de material combustível no interior da floresta.

O efeito conjunto do contato entre áreas de floresta e áreas agropecuárias e da fragilização dos mecanismos de manutenção das condições ambientais causada pela atividade madeireira desencadeia um processo de degradação recorrente da cobertura florestal por reincidências de incêndios florestais. O processo de degradação por fogo recorrente se não termina na conversão final da floresta em área

agropecuária, simplifica sua estrutura física e biológica, equiparando-a a uma floresta secundária (Cochrane et al, 1999).

A relevância biogeográfica e ecológica da Floresta Amazônica, bem como suas ameaças de mudanças e respectivas conseqüências, são motivadores do interesse da sociedade pela dinâmica do desmatamento e degradação florestal. Estes temas são detalhados no texto adiante.

2.1. RELEVÂNCIA BIOGEOGRÁFICA E FUNÇÕES ECOLÓGICAS DA FLORESTA AMAZÔNICA

O Brasil tem uma posição de destaque por sua diversidade biológica e faz parte de um grupo de 15 países chamados de megadiversos, que juntos abrigam cerca de 70% da biodiversidade do planeta (CONABIO-MMA, 2007).

Com mais de 6 milhões de km^2, a Amazônia é a maior e mais diversa região de floresta tropical, com matrizes de formas de vida animal, vegetal e microorganismos vitais para o funcionamento da biosfera (Dirzo e Raven, 2003). Compilações recentes indicam pelo menos 40.000 espécies de plantas, 427 de mamíferos, 1.294 de aves, 378 de répteis, 427 de anfíbios e aproximadamente 3.000 espécies de peixes na região Amazônica (Rylands et al. 2002). A maioria das espécies não se distribui homogeneamente pela Amazônia, mas ocorre em regiões delimitadas, comumente designadas como áreas de endemismo (Figura 2.1).

No território brasileiro, a área de floresta compreende 60% da Floresta Amazônica e o Brasil é o único país que possui áreas representativas de todas as regiões de endemismo (da Silva et al., 2005).

Apesar das estimativas de desmatamento não poderem ser usadas como critério absoluto para se avaliar a perda da diversidade na região Amazônica, a perda da cobertura florestal está diretamente associada à perda de *habitat* para muitos organismos. A perda de *habitat* ou o confinamento em remanescentes isolados são suficientes para causar extinção local de espécies ou erosão da matriz genética, o que reduz suas

capacidade de repovoar *habitats* disponíveis e de se adaptar a mudanças ambientais (Lowe et al., 2005).

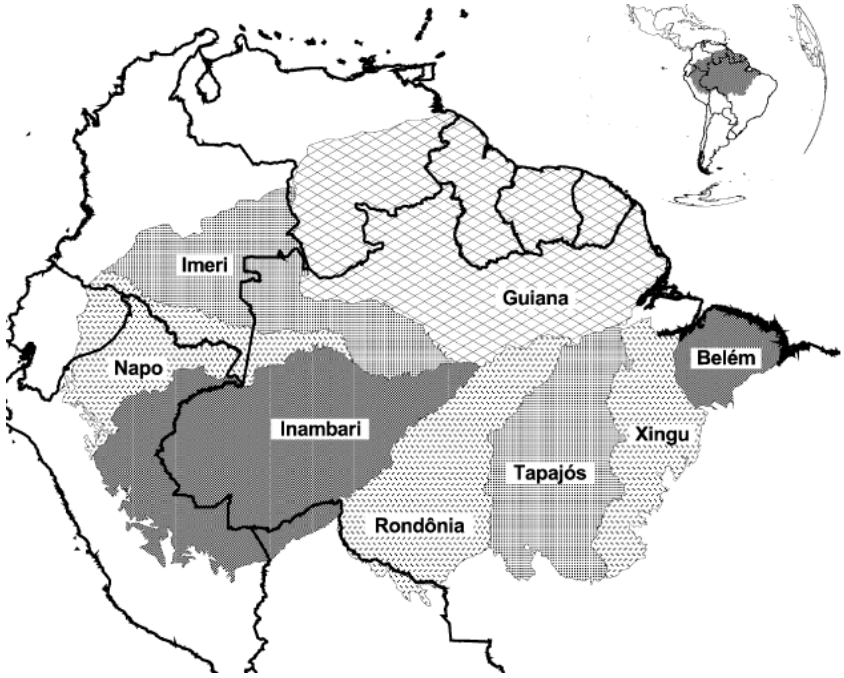


Figura 2.1 – Área de endemismo na Amazônia baseada na distribuição de vertebrados terrestres. Fonte: Da Silva et al. (2005).

A bacia Amazônica provê bens e serviços florestais reconhecidos em várias escalas. Na escala local, a floresta possui recursos que podem ser diretamente explorados, como madeiras, fibras, frutos e seivas, e abriga uma fauna o que produz sustento econômico e alimentar às populações tradicionais da Amazônia. No longo prazo, e na escala das bacias hidrográficas, as florestas têm participação no controle do regime hidrológico, reduzindo a intensidade de inundações e de vazantes dos rios da região.

Na escala global, a floresta tem uma participação relevante no ciclo do carbono, por possuir um enorme estoque deste elemento em sua biomassa e no solo (Lugo e Brown 1992, Malhi e Grace 2000), que está sendo transferido para a atmosfera pela conversão de florestas em áreas agrícolas e outros empreendimentos como represas, estradas, linhas de transmissão, etc. O Brasil é o quarto país em quantidade de gases de

efeito estufa emitidos para a atmosfera, sendo que três quartos da emissão brasileira provêm de conversão de florestas, principalmente na região amazônica.

A estrutura florestal também está intrinsecamente relacionada com o ciclo da água (Figura 2.2). As copas das árvores interceptam parte da precipitação e permitem a evaporação da água retirada do solo. O folhiço e a matéria orgânica mudam as propriedades do solo, que interferem na sua capacidade de retenção de água. A floresta influencia no regulamento do volume e freqüência dos fluxos de água e de nutrientes para a Bacia Amazônica.

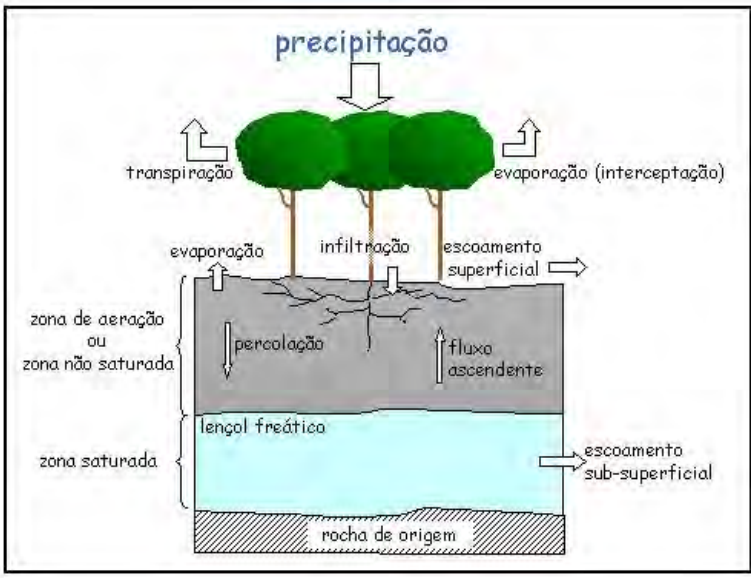


Figura 2.2 – O papel da floresta no ciclo hidrológico. Fonte: Rennó, (2008).

Vários estudos têm quantificado o efeito das alterações da cobertura florestal sobre o balanço hídrico nas bacias amazônicas (D'Almeida et al. 2007, Da Silva e Avissar 2006, Marengo 2004, Bruijnzeel 2004, Pielke, 2001, Costa e Foley 1999, Pielke et al. 1998). Com a retirada da cobertura vegetal original, há alterações na evapotranspiração, interceptação e recarga de água para o solo, de modo que a região não sustenta o mesmo volume de água, podendo tornar o clima mais seco. Sem a proteção do solo, há o aumento do escoamento superficial da água

(*runoff*), que favorece a perda da fertilidade dos solos, a erosão e o assoreamento dos rios. Esses processos acabam por alterar o funcionamento dos ecossistemas, a disponibilidade de água e as condições de fertilidade dos solos.

A influência da Floresta Amazônica no ciclo hidrológico transcende os limites da região, pela sua grande área florestada situada na faixa tropical, pois apresenta alta taxa de evapotranspiração e mantém alta a umidade atmosférica na região. Essa água precipitável contida na atmosfera amazônica é transferida para outras regiões através de correntes de jato de baixa altitude como, por exemplo, a Zona de Convergência do Atlântico Sul, que afeta o regime de chuvas nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Deste modo, a Floresta Amazônica tem um papel relevante no clima local e de outras regiões, influenciando a produtividade primária de diversos ecossistemas, a produtividade agrícola, a produção de energia hidroelétrica e mesmo outros processos biológicos, como disseminação de doenças e zoonoses.

Florestas representam importantes estoques de carbono, podendo funcionar como fonte ou sumidouro, dependendo da condição ambiental. Durante o processo de fotossíntese, as árvores e plantas em geral removem carbono da atmosfera, na forma de dióxido de carbono. Florestas primárias podem ser consideradas sumidouros líquidos de carbono. A Floresta Amazônica compreende aproximadamente 10% da produtividade primária terrestre mundial e de biomassa (Malhi e Grace, 2000). A Amazônia armazena 120+30 Pg de carbono, dos quais se estima que 0.5 Pg C yr-1 (0.3 a 1.1) foram liberados pelo desmatamento na década de 90 (Ramankutty et al. 2007).

Com o desmatamento, a decomposição e/ou queima de material vegetal liberam de volta para a atmosfera a maior parte do carbono armazenado. Durante o processo de desmatamento, o carbono armazenado no solo também é liberado para a atmosfera pela sua decomposição, agravando os efeitos de alterações climáticas associadas. A emissão total de carbono devido a desmatamento contabiliza 22% do

total emitido por atividades humanas (Figura 2.3). Ao fim da conversão de uma área florestada em outro tipo de cobertura, apenas uma pequena porção do estoque de carbono permanece no solo como carvão. A velocidade da taxa de emissão de carbono é menor quando a biomassa é convertida em bens duráveis, como papel e derivados de madeira, que têm uma vida mais longa, postergando assim a emissão de carbono para a atmosfera (Cramer et al., 2004; Fearnside, 1996; Hirsch et al., 2004; Houghton et al., 2000; Nogueira et al., 2007).

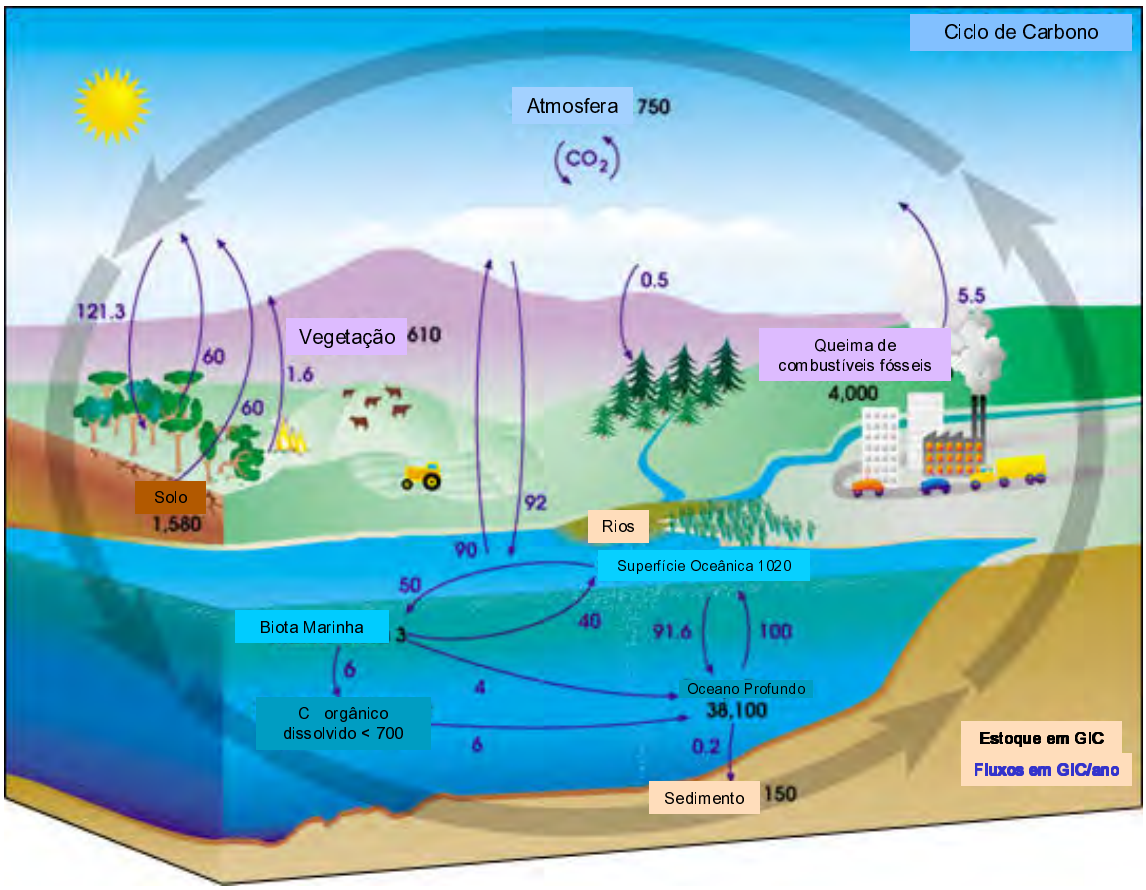


Figura 2.3 – O ciclo do carbono.
Fonte: http://earthobservatory.nasa.gov/Library/CarbonCycle/carbon_cycle4.html.

Para efeito de estimativas de balanço de carbono, alguns fatores não têm sido computados, como o fato positivo de as florestas em regeneração secundária serem sumidouros de carbono, e o fato negativo do desmatamento alterar o estoque de carbono das áreas vizinhas, através das mudanças locais do clima e do regime de fogo. Outro fator ainda não

considerado é a emissão de carbono causada pela degradação florestal (Asner et al., 2005). A principal causa de degradação florestal é a ação sinérgica de exploração madeireira e incêndios florestais (Uhl e Buschbacher, 1989; Nepstad et al. 1999). Alterações no ciclo de carbono dependem também dos diferentes processos de uso, abandono, regeneração ou exploração das áreas após o desmatamento (Figura 2.4).

Em relação ao clima, a Floresta Amazônica é um dos três centros de convecção dos trópicos que alimentam a circulação atmosférica global. Com o desmatamento e a conseqüente redução da evapotranspiração e do aquecimento atmosférico, ocorre a redução da circulação de umidade, que repercute sobre o clima da América do Sul (Nobre et al. 1991; Costa e Foley 2000).

A conversão da floresta original em coberturas herbáceas e arbustivas pode ter como conseqüência local o aquecimento da superfície e a diminuição da convecção, da precipitação regional e da cobertura de nuvens (Oyama e Nobre, 2003), além de alterações climáticas globais. O desmatamento e o corte seletivo de árvores podem ainda aumentar a disponibilidade de combustível e, com o clima mais seco, tornar as florestas mais vulneráveis à dissecação e ao fogo (Cochrane et al. 1999; Alencar et al. 2004; Barlow e Peres 2004; Barlow e Peres 2008).

Um importante serviço ambiental da floresta amazônica é moderar o risco de doenças infecciosas, regulando a população dos organismos causadores de doenças tropicais e os transmissores, hospedeiros e vetores associados. No caso da malária, que anualmente registra de 400 a 600 mil casos na Amazônia Brasileira, a presença de áreas desmatadas aumenta em 300 vezes o risco de infecção. Quando a paisagem é desmatada em torno de 20%, a atividade do mosquito já aumenta substancialmente (Vittor et al. 2006).

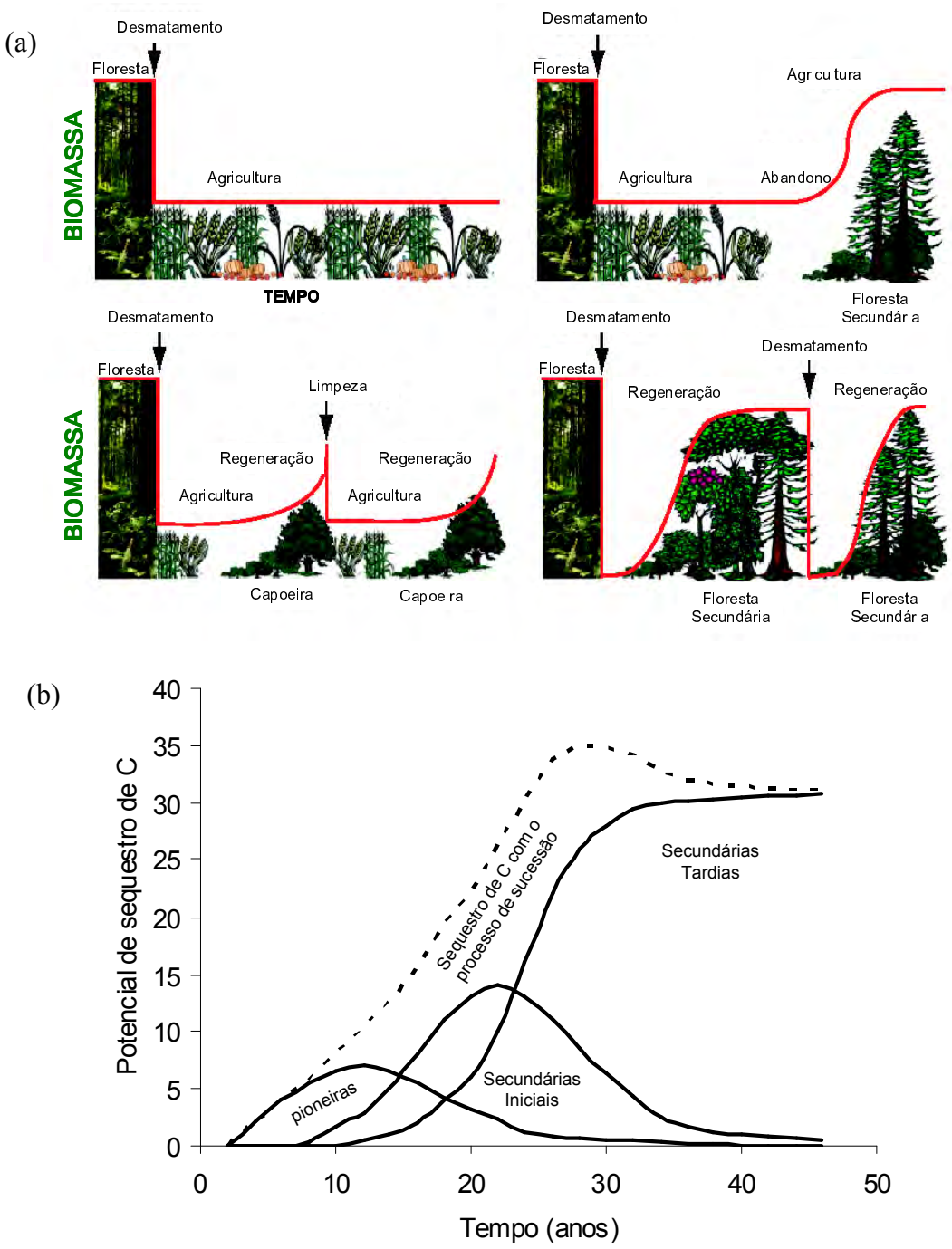


Figura 2.4 – Dinâmica do carbono seguindo de acordo com a prática de uso da terra. (a) O carbono pode manter-se em níveis baixos ou reacumular caso a regeneração secundária seja permitida. Fonte: Ramankutty et al. (2007). (b) Potencial de seqüestro de carbono em função do estágio sucessional da espécie vegetal. Fonte: Buckeridge (2007).

A transição de um sistema florestal sombreado para um sistema aberto conduz a mudanças de estado de funcionamento do ecossistema

que podem resultar, além dos efeitos listados, em maiores infestações de pragas nos cultivos, aumento de erosão do solo, eventos de inundação mais intensos e freqüentes e, redução na disponibilidade de polinizadores, comprometendo a manutenção da diversidade na floresta e da produtividade agrícola (Steffan-Dewenter et al. 2007).

As seções que seguem descrevem os processos de degradação florestal e a perda das funções florestais, mostrando a importância de um mapeamento mais abrangente do desmatamento que inclua classes de floresta degradada e considere o fogo como um elemento importante no processo de degradação.

2.2. PROCESSO DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL: DESMATAMENTO, EXPLORAÇÃO FLORESTAL E DEGRADAÇÃO POR FOGO

A perda e degradação das florestas tropicais e dos serviços que prestam podem ser maiores e mais abrangentes do que tem sido reportado nos estudos sobre desmatamento nas Florestas Tropicais (Foley et al. 2007). A caracterização do desmatamento, através de sensoriamento remoto, em apenas duas classes - floresta e área desmatada -, não retrata a dinâmica nem a complexidade da evolução da paisagem na Amazônia Brasileira. Há ciclos de cortes da floresta, de cultivo, pastagens e crescimento secundário que resultam em um complexo mosaico contendo floresta inalterada, áreas com diferentes regimes de uso e floresta secundária. Para este mosaico de feições, ainda não há entendimento completo sobre a dinâmica da paisagem em toda a Bacia Amazônica.

Uma inferência sobre o comprometimento das funções florestais em diferentes estágios de alteração pode ser obtida a partir dos estudos do efeito do fogo sobre a estrutura e a composição da floresta. Os aspectos mais relevantes da revisão de Cochrane et al., (2003) sobre o efeito do fogo na floresta são descritos a seguir.

Mesmo 15 anos após serem queimadas, as florestas não apresentam evidências de recuperação de espécies perdidas. Um fogo de fraca intensidade em áreas de floresta primária pode levar à morte de mais de 40% das árvores com troncos maior ou igual a 10 cm, de diâmetro na altura do peito (DBH) (Barlow e Peres 2006). O fogo recorrente reduz o tamanho e a densidade de fragmentos preservados e destrói a vegetação em regeneração, atrasando a regeneração e aumentando a flamabilidade das florestas.

O problema crucial de fogo em florestas tropicais não é apenas a introdução do fogo nestes ecossistemas, mas a freqüência com que as queimadas ocorrem. Registros de carvão no perfil de solos de diversas regiões indicam a ocorrência de queimadas raras, com intervalos de centenas a milhares de anos, associadas a eventos climáticos extremos como mega El Niños (Meggers, 1994). A ausência de fogo freqüente nas florestas tropicais úmidas as tornou mal-adaptadas evolutivamente para padrões de fogo recorrente, ou seja, elas não possuem tecidos protetores adaptados e, assim, sofrem maior mortalidade.

Florestas tropicais úmidas são resistentes à seca apresentando sistemas radiculares adaptáveis à oferta de água no lençol freático (Nepstad et al., 1994). Com essas adaptações, mesmo após longos períodos sem chuva, essas florestas permanecem com densa cobertura verde, mantendo níveis de umidade acima do nível de extinção de fogo no seu interior, o que torna impossível a propagação do incêndio florestal (Uhl e Kauffman, 1990). Essa resiliência a estresse climático pela ciclagem de umidade, reforçada pela capacidade de enraizamento profundo de muitas espécies, permitiu que as florestas tropicais persistissem ao longo de secas severas em períodos glaciais (Colinvaux et al., 2000; Kastner e Goni, 2003).

No entanto, incêndios em florestas tropicais estão se tornando eventos comuns na história recente, devido à conjunção de atividades humanas e condições climáticas apropriadas ao fogo. Durante o El Niño de alta intensidade de 1982-1983, 25.000 km^2 de floresta tropical

sofreram prolongado incêndio na Ilha de Borneo (Malingreau et al., 1985). Em outro evento de El Niño, em 1997-1998, 50.000 km^2 de florestas e de outras vegetações foram queimadas no Estado de Roraima, e em 2005 uma condição anômala de seca no sudoeste da Amazônia levou à proliferação de diversos incêndios florestais no Brasil, Bolívia e Peru (Aragão et al., 2008).

Uma vez submetidas a distúrbios naturais ou antropogênicos em sua copa, as florestas perdem a capacidade de manter a umidade e se tornam mais vulneráveis ao fogo (Holdsworth e Uhl, 1997; Cochrane, 2003).

A ocorrência de fogo em florestas tropicais está associada a bordas florestais, às atividades humanas e à influência da cobertura do solo (Figura 2.5). As bordas dos fragmentos florestais, em áreas anteriormente desmatadas, sofrem o efeito do vento e da luminosidade, que muda a estrutura da floresta: há o aumento da mortalidade de árvores, o decréscimo de biomassa viva e o aumento de material combustível, que predispõem os fragmentos ao fogo. Na região de Paragominas, PA, foi observado que em bordas de florestas primárias há a possibilidade do fogo se propagar da borda a até 80 m no interior da floresta (Uhl e Kauffman, 1990). Quanto maiores as áreas desmatadas nas regiões de fronteira, mais ameaçadas as florestas remanescentes estarão, devido à ação do fogo.

A freqüência do fogo é uma função da distância das áreas de bordas desmatadas, e a severidade do fogo aumenta com a freqüência. Na ausência de outros distúrbios modificadores, essas florestas continuarão a ser erodidas e os fragmentos isolados vão sendo colapsados.

Florestas tropicais submetidas ao desmatamento seletivo são também vulneráveis ao fogo, e permanecem suscetíveis por décadas depois de cessada a retirada da madeira. Os impactos deste desbaste seletivo variam com a intensidade de extração e as práticas de manejo, mas são sempre substanciais para a estrutura da floresta. Se após a

exploração a área permanecer intacta, há a possibilidade de recuperação dos níveis de biomassa anteriores, mas a composição de espécies dificilmente retornará à original.

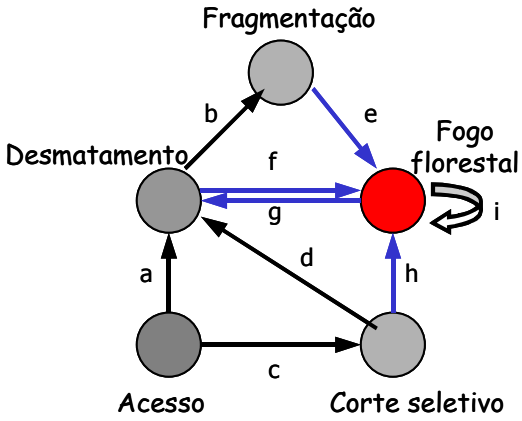


Figura 2.5 – Mudanças de uso do solo e ação do fogo sobre as florestas. a) acesso à floresta favorece o desmatamento; b) fragmentos florestais aumentam a quantidade de bordas; c) acesso favorece a exploração de madeira; d) após desmatamento seletivo, a colonização intensifica o desmatamento; e) efeitos de degradação sobre as bordas florestais aumentam a suscetibilidade ao fogo; f) desmatamento e manutenção de pastagens provocam fogo acidental; g) fogos florestais repetidos facilitam o desmatamento; h) desmatamento seletivo degrada a floresta, tornando-a suscetível ao fogo; i) fogo florestal pode criar um *feedback* positivo, em que a recorrência o torna mais provável e severo a cada ocorrência. Fonte: adaptado de Cochrane (2003).

Contudo, o mais freqüente é estas áreas serem revisitadas conforme o mercado de madeira se desenvolve, para exploração de outras espécies. Assim, a floresta torna-se degradada, com 40-50% da cobertura destruída ao longo desse processo de exploração seletiva, aumentando a suscetibilidade ao fogo das florestas exploradas, o que acelera o processo de desmatamento. A ação do fogo em áreas exploradas tende a ser mais severa, provocando maiores danos à floresta, e com maior dispersão, penetrando por áreas mais extensas do que em florestas intactas.

Fogo florestal, desmatamento e outros distúrbios também afetam a disponibilidade de água utilizada na transpiração da vegetação. A redução da taxa de transpiração implica em diminuição dos níveis de umidade

atmosférica local e aumento da probabilidade de recorrência de fogo, além de reduzir da precipitação local. A transpiração das florestas tropicais é responsável por 25% ou mais da precipitação anual de algumas regiões. Depois do fogo, as folhas das árvores mortas recobrem o solo, ao mesmo tempo em que descobrem o dossel, resultando em uma floresta mais seca, e com mais combustível. Se queimada, explorada seletivamente, ou sujeita a efeito do vento ou outro efeito de borda, essa floresta se torna suscetível ao fogo depois de algumas semanas sem chuva, o que em uma floresta intacta, aconteceria após meses de seca.

Com a recorrência, que provoca o aumento da intensidade e da capacidade de transferência de calor do fogo, mesmo as árvores maiores, com lenho mais espesso e protegido, serão mortas pelo fogo. O fogo nas florestas cria um *feedback* positivo e quando são mais freqüentes e severos resultam no desmatamento completo.

2.3. DEGRADAÇÃO FLORESTAL E O EFEITO DO FOGO SOBRE A ESTRUTURA DE BIOMASSA DA FLORESTA

A recorrência de fogo sobre florestas tropicais na Amazônia brasileira leva a pulsos repetidos de mortalidade de árvores (Figura 2.6). Como conseqüência, segue-se um rápido colapso na abundância de árvores características do último estágio da sucessão florestal e um *turnover* da comunidade análogo ao processo de secundarização de florestas primárias, com alterações significantes na composição da floresta ocorrendo após cada evento de fogo consecutivo (Barlow e Peres, 2008).

A floresta primária (Figura 2.6a) após uma alteração inicial, como um primeiro episódio de fogo (Figura 2.6b), perde ou tem danifica da aproximadamente metade da sua cobertura florestal. Após dois ou três eventos de fogo (Figura 2.6c) tem-se apenas uma cobertura semelhante à floresta secundária crescendo sobre o solo degradado. Nesse processo de degradação, há perda de biomassa, perda da estrutura vertical decorrente

da redução das copas do estrato superior, e perda de árvores emergentes, proliferação de espécies pioneiras, substituição da composição de espécies e simplificação do banco de sementes.

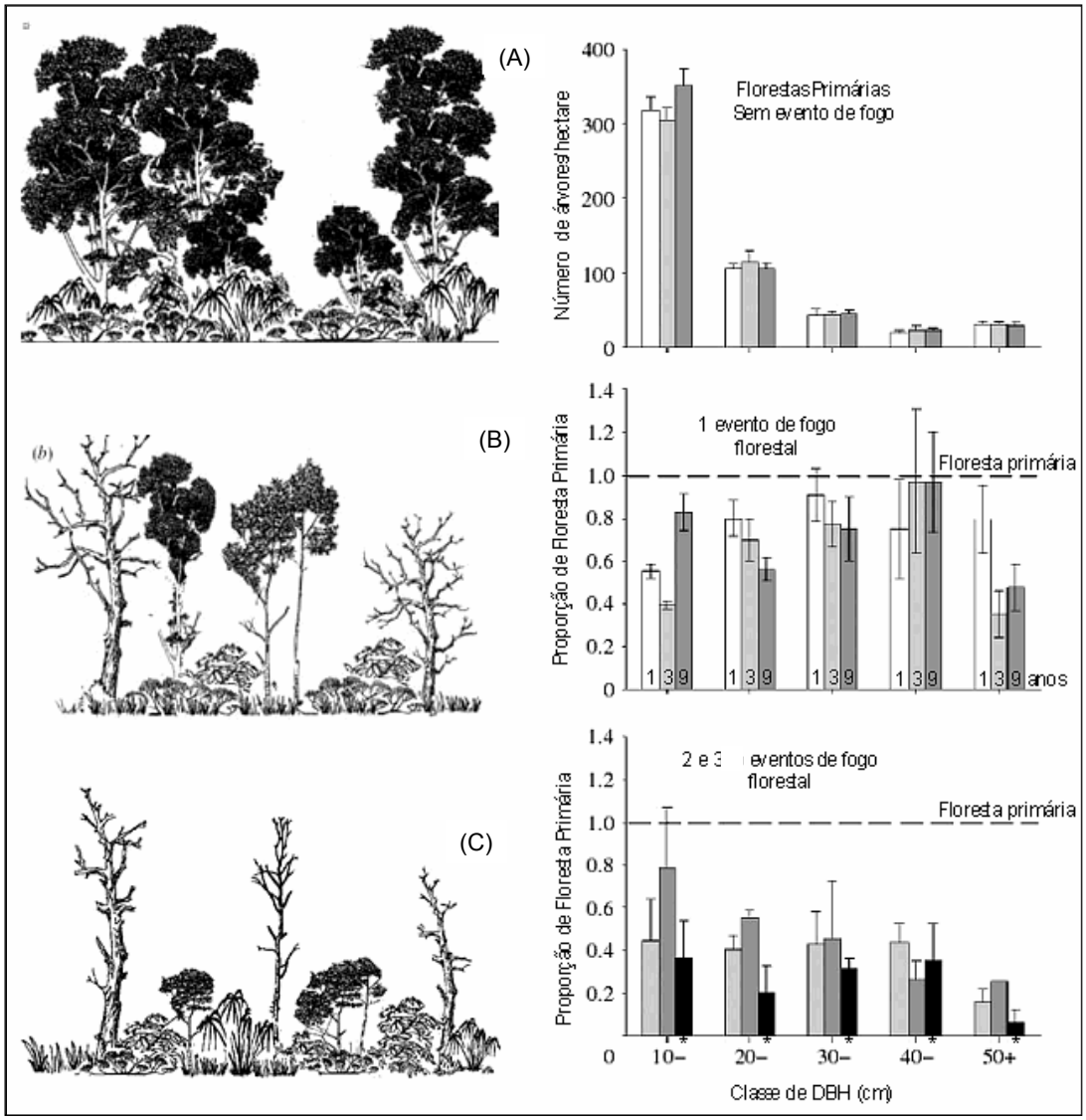


Figura 2.6 – Representação do processo de degradação da Floresta Amazônica e o efeito do fogo sobre a estrutura de biomassa da floresta. Fonte: adaptado de Barlow e Peres (2008).

Em termos de biomassa, uma floresta primária tem uma composição de árvores de DBH que expressa a estrutura da floresta e seu funcionamento (Figura 2.6a). Com o primeiro fogo (Figura 2.6b), mesmo após 9 anos de regeneração, apenas uma classe de DBH (40-) se aproxima

com a estrutura da floresta primária. Após o segundo evento de fogo (Figura 2.6c), as florestas não chegam a conter metade dos valores de DBH da floresta primária. A estrutura de biomassa é completamente comprometida após o terceiro evento de fogo (Figura 2.6c, barras negras), quase sem representação para as classes de DBH das árvores adultas.

A recorrência de fogo traz drásticas alterações na estrutura e composição das florestas, analogamente ao processo de formação de regeneração secundária. Há um colapso severo na fitomassa florestal, perda da estrutura vertical pela redução da copa e perda das árvores emergentes, proliferação de pioneiras, troca rápida da composição de espécies e simplificação do banco de sementes. Este colapso estrutural é acompanhado do empobrecimento funcional da parcela florestal, com conseqüências sérias para os serviços florestais, como a retenção de carbono e o ciclo da água (Barlow e Peres, 2008).

3. CONCEITOS DE DESMATAMENTO NO MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA POR SATÉLITE

Nos primeiros trabalhos publicados pelo INPE sobre o desmatamento na Amazônia com dados de sensoriamento remoto, no início da década de 80, não havia uma definição clara sobre o processo de desmatamento mapeado. Tardim et al (1980), no primeiro levantamento (de 1975 e 1978), definiram áreas desmatadas como todas aquelas que *apresentavam sinais de retirada da cobertura vegetal primitiva nas imagens de satélite*.

A cobertura vegetal considerada no mapeamento, desde então, refere-se a todas as formações florestais situadas na Amazônia Legal e classificadas segundo o projeto RADAMBRASIL (1976) em: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Decidual,

Áreas de Formação Pioneira de Influência Fluvial (Vegetação Aluvial), Vegetação Lenhosa Oligotrófica dos Pântanos e das Acumulações Arenosas (Campinarana) e áreas de Tensão Ecológica (Contato floresta/cerrado), com predominância de Fisionomia Florestal.

No estudo que se seguiu, depois de quase uma década (Tardim et al., 1989), e que iniciou os levantamentos e estimativas anuais de taxas de desmatamento da Amazônia, o desmatamento passou a ser definido como:*alteração da cobertura vegetal primitiva em áreas sob domínio da vegetação com fisionomia florestal* (Tardim et al., 1989). A definição adotada para o processo de desmatamento era ampla. Entretanto, na prática, de acordo com a metodologia descrita, os desmatamentos mapeados utilizando critérios de interpretação visual (tonalidade, forma e contexto) eram somente aqueles que apresentavam baixa ou nenhuma cobertura de vegetação. Assim, desmatamentos por degradação florestal progressiva não eram mapeados. A metodologia utilizada, como tem sido até o presente, não detectava derrubadas menores que 6,25 ha (1 mm^2 em imagens na escala 1:250.000), omitindo as derrubadas oriundas da agricultura itinerante e extração seletiva de madeira (Alves, 2001).

O motivo para a exclusão de outras formas de desmatamento, como a degradação florestal, pode ser encontrado no relatório de Tardim et al. (1980): os autores encontraram poucas ocorrências de corte seletivo e cicatriz de queimada no domínio florestal da Amazônia em 1988. Apesar disso, recomendaram a realização de pesquisas para detecção e acompanhamento de áreas em processo de exploração madeireira. Esses comentários são indicações de que a degradação florestal ainda era um processo menor, mas estava presente em seus estágios iniciais. Uhl e Buschbacher publicaram em 1985 um dos primeiros trabalhos indicando a existência de sinergismo entre a exploração madeireira e incêndio florestal na Amazônia, elementos associados ao processo de degradação florestal. Entretanto, a extensão deste processo era desconhecida.

A partir de 1989, foi criado o Programa Amazônia pelo decreto 7.797 (Brasil,1989) e as taxas de desmatamento da Amazônia passaram a

ser estimadas e divulgadas anualmente. Nos levantamentos da década de 90, o termo desmatamento foi substituído por *desflorestamento* para dar conotação mais explícita de que o desmatamento mapeado restringia-se apenas às áreas de fisionomia florestal. Assim, desflorestamento passou a ser definido como *a conversão de áreas de fisionomia florestal primária por ações antropogênicas, para desenvolvimento de atividades agrosilvopastoris, detectadas a partir de plataformas orbitais* (INPE, 1998; 2000a; 2000b).

No relatório sobre o desmatamento de 1998/1999 (INPE, 2000), a definição utilizada é a mesma dos anos anteriores, entretanto, pela primeira vez foi colocado de forma clara que o mapeamento excluía áreas de cobertura florestal afetadas por atividades de exploração madeireira ou por incêndios naturais. Desde então, não houve mudanças na definição do termo desflorestamento utilizado no PRODES.

Em 2002, as estimativas passaram a ser calculadas com dados obtidos por classificação digital de imagens, gerando como resultado, além das taxas anuais, um banco de dados geográfico multitemporal digital, com dados a partir de 1997, e atualizações anuais, formando a base temporal.

Em 2004, o Governo Federal estabeleceu o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal e, solicitou ao INPE que criasse um sistema de apoio à fiscalização e ao combate a todas as formas de desmatamento. Assim, o DETER passou a operar em conjunto com o PRODES, que fornece o mapa base inicial para o DETER, isto é, a referência das áreas desflorestadas em períodos anteriores, a partir dos dados históricos do PRODES Digital. Entretanto, como o principal objetivo do DETER é fornecer dados para a fiscalização, este sistema opera com um conceito de desmatamento mais abrangente do que o do PRODES, não mais se limitando a corte raso, mas incluindo agora o processo de degradação florestal progressiva. A caracterização do desmatamento em apenas floresta e área desmatada por corte raso não

retrata a dinâmica nem a complexidade da paisagem na Amazônia Brasileira.

Há evidências de que o processo de degradação progressiva vem se ampliando nos anos recentes. Os dados de queimadas do INPE registram um grande crescimento em toda a Amazônia. A Figura 3.1 mostra o número de *pixels* com fogo (1 x 1 km^2) na Amazônia em duas condições: (a) *pixel*s em áreas de floresta fechada (triângulos) e floresta aberta (círculos); (b) *pixel*s em áreas de reservas indígenas (quadrados), áreas de proteção estadual (círculos) e federal (triângulos). É possível que o grande aumento das áreas de queimadas esteja relacionado ao aumento do desmatamento pelo processo de degradação progressiva. Conforme mencionado na seção 2.2, sabe-se que florestas tropicais úmidas são resistentes à seca, apresentando sistemas radiculares adaptáveis à oferta de água no lençol freático (Nepstad et al., 1994). Mas, uma vez submetidas a distúrbios naturais ou antropogênicos em sua copa, perdem a capacidade de manter a umidade e se tornam mais vulneráveis ao fogo (Holdsworth e Uhl, 1997; Cochrane, 2003).

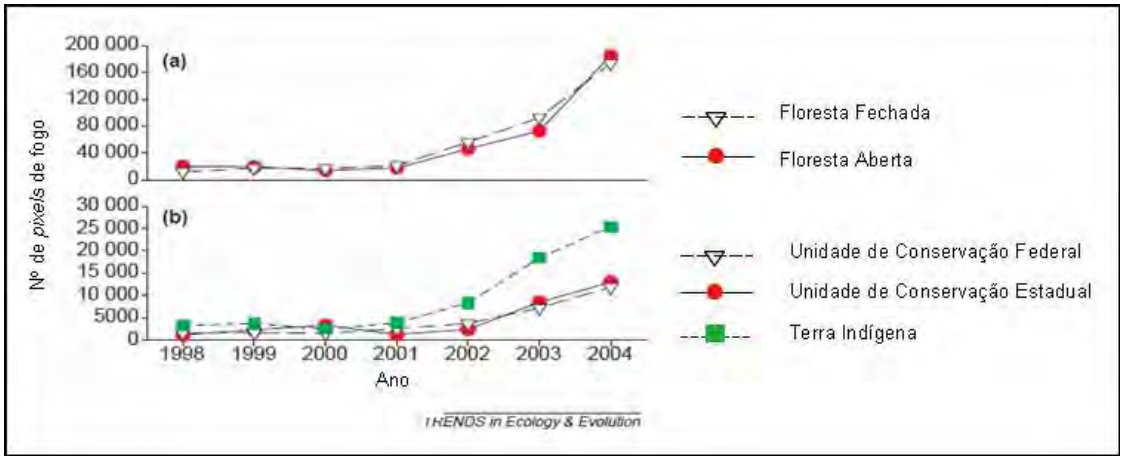


Figura 3.1 – Número de *pixel*s (1 x 1 km^2) com fogo em áreas de floresta na Amazônia (ver texto para detalhes). Fonte: adaptado de Peres et al., 2006, com dados do INPE. Note-se o grande aumento a partir de 2002.

Com base nas evidências apontadas e nos estudos mencionados, considera-se de grande relevância a inclusão do processo de degradação

florestal progressiva no monitoramento do desmatamento. O Alerta de degradação florestal é particularmente importante em termos de fiscalização. A inclusão dessa categoria de desmatamento permite informar precocemente aos responsáveis pela fiscalização, sobre processos que estão em estágios iniciais ou estão em curso com dinâmica mais lenta quando comparada ao corte raso, que quase sempre termina na conversão completa da cobertura florestal em outras coberturas de maior interesse econômico, como pastagens e culturas agrícolas. Estes dois processos de desmatamento, detectados pelo Alerta no sistema DETER, são definidos e exemplificados na seção seguinte, sob a perspectiva do monitoramento por satélite do Programa Amazônia do INPE.

3.1. OS PROCESSOS DE DESMATAMENTO OBSERVADOS PELO DETER

O desmatamento pode ser visto como um processo único, que se inicia com a floresta intacta e termina com a conversão completa da floresta original em outras coberturas. Ao considerarmos o desmatamento como um processo único, é preciso incluir não apenas os extremos deste processo, mais óbvios e fáceis de serem identificados, mas também o gradiente da degradação florestal produzido por processos de desmatamento que ocorrem lentamente no tempo, pela contínua exploração madeireira e ocorrências sucessivas de fogo florestal.

A Figura 3.2 mostra um diagrama em que as intensidades de distúrbios ambientais produzem um gradiente de paisagens que termina na remoção completa do dossel florestal. Conforme aumenta o distúrbio, a paisagem se torna mais heterogênea, até o momento em a floresta praticamente desaparece e a paisagem torna-se novamente homogênea pela falta da cobertura original (Lambin, 1999).

Detectar as alterações entre os extremos do gradiente é o desafio de mapeamentos como os do DETER. Essas alterações podem não ser evidentes, 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.

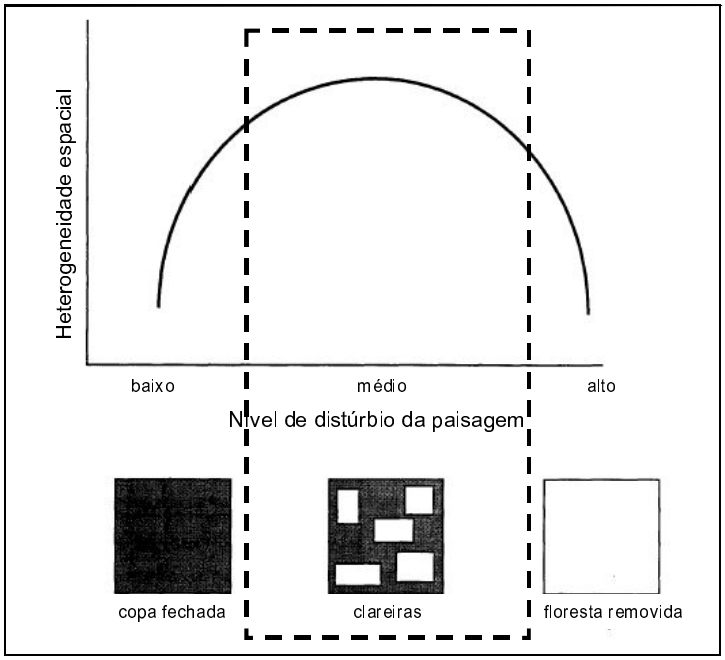


Figura 3.2 – Relação entre o nível de distúrbio e a heterogeneidade da paisagem observada por sensoriamento remoto, medida em uma mesma resolução espacial. Fonte: Lambin (1999).

3.2. DESMATAMENTO POR CORTE RASO

O processo de desmatamento por corte raso é aquele que resulta na remoção completa da cobertura florestal em um curto intervalo de tempo. Nesse processo, a cobertura florestal é totalmente removida e substituída por outras coberturas e usos (agrícola, pastagem, urbano, hidroelétricas, etc.). A Figura 3.3 ilustra as principais etapas.

O processo normalmente se inicia antes ou durante o período chuvoso que precede o corte de fato da floresta com o que é localmente denominado de "brocagem". É o corte com foice ou machado das árvores menores e, principalmente, das lianas (cipós), para facilitar o corte das árvores de maior porte que se dará na próxima fase.

Durante a estação chuvosa essas plantas se degradam e com isso evita-se acidentes na fase de corte propriamente dito. As árvores de maior

porte são derrubadas com motoserras no início da estação seca. Fica a biomassa no solo, que é queimada basicamente entre julho e setembro. No final desse processo pode-se ou não agregar a biomassa remanescente em leiras para queimas subseqüentes. Forma-se a pastagem por semeadura de gramíneas africanas, que se dão bem na Amazônia porque resistem ao fogo. Esse foi o processo mais comum na região durante as décadas de 80 e 90.

Figura 3.3 – Processo de desmatamento por corte raso, denominado "corte e queima", em que toda a vegetação é derrubada e queimada em pouco tempo.

3.3. DESMATAMENTO POR DEGRADAÇÃO FLORESTAL

O segundo processo é a degradação progressiva, que é mais lento e mais difícil de detectar via satélite. 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).

O capim é plantado ao mesmo tempo em que há o desmatamento, levando um certo tempo para crescer. Depois de um ano o gado e a pecuária entra na floresta, enquanto ela ainda não desapareceu.

O capim é queimado no segundo ano, provocando uma segunda limpeza da floresta. Nesse momento, sobra apenas cerca de 10% a 20% do dossel, com grande quantidade de árvores mortas em pé. O capim queimado, por não perder as suas raízes no fogo, brota novamente, o que permite que mais uma vez o gado seja colocado para pastar na área assim degradada. No terceiro ano, é feita mais uma queimada, que destrói de vez o que restou da floresta inicial. As Figuras 3.4 e 3.5 ilustram o processo de degradação progressiva.

A fase final do processo de degradação progressiva, em que a pastagem é gradativamente introduzida, dura de dois a três anos. O desafio de detecção por satélite para fins de fiscalização é significativo.

Devido à resolução espacial das imagens de satélites, é difícil indicar a existência de degradação antes que o corte atinja 50% do dossel. Nas sessões que seguem são definidos os processos de desmatamento detectados pelo DETER e apresentados exemplos de padrões identificados e confirmados com dados de campo, de corte raso e degradação florestal progressiva, com diferentes intensidades.

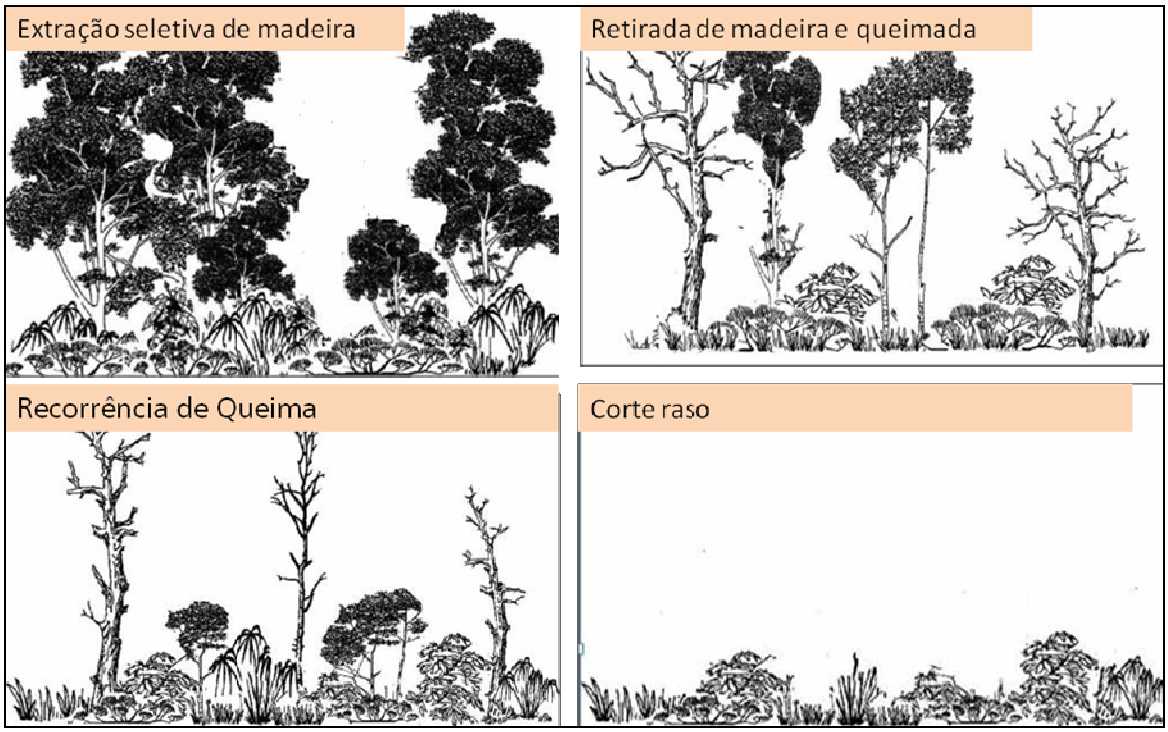


Figura 3.4 – Ilustração da degradação progressiva. Fonte: Barlow e Peres (2008).

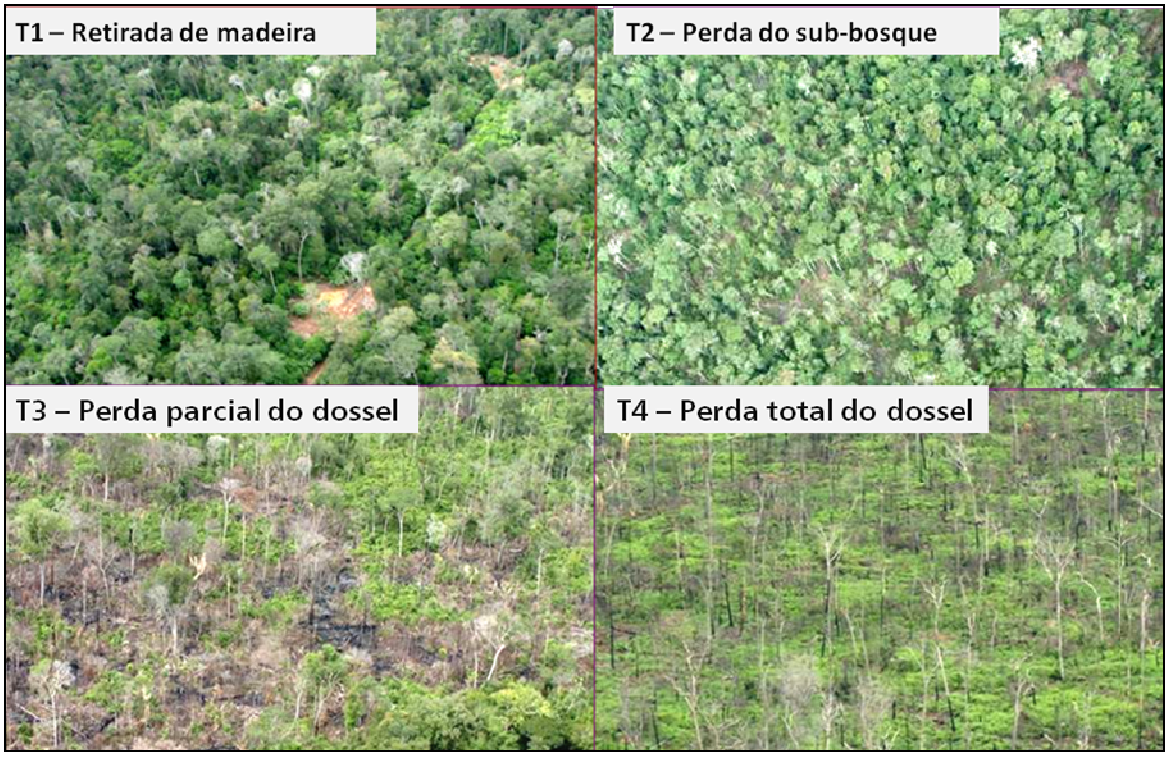


Figura 3.5 – Fotos do processo de degradação progressiva. Fonte: INPE e MMA (2008).

4. DETER: ASPECTOS METODOLÓGICOS

O programa de monitoramento da Amazônia do INPE conta hoje com dois sistemas operacionais, o PRODES e o DETER. Esses dois sistemas são complementares e foram concebidos para atender a diferentes objetivos em épocas distintas.

O PRODES utiliza imagens dos sensores TM (satélite LANDSAT da NASA), DMC (satélite da DMC International Imaging) 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 (Kintish, 2007)

O PRODES apresenta as taxas anuais de desflorestamento da Amazônia Legal desde 1988. A partir de 2002, estas estimativas passaram a ser divulgadas juntamente com polígonos de desflorestamento, que representam o Incremento de área desflorestada para o ano em questão. Designa-se extensão desflorestada a área desflorestada acumulada a partir de mapeamentos dos anos anteriores.

O DETER - Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real identifica e mapeia áreas desflorestadas em formações de florestas tropicais na Amazônia. Esse sistema 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 limitada de 250 metros. Com essa resolução espacial, as imagens desses sensores permitem a detecção de desmatamentos cujas áreas são superiores a 0,25 km^2 (ou 25 hectares). A alta freqüência de observação

reduz as limitações de observação impostas pela cobertura de nuvens, freqüente na região amazônica, ao mesmo tempo em que compensa a limitação da resolução espacial.

No DETER, é preciso distinguir entre o tempo de ocorrência e o tempo de detecção. Uma floresta pode ser desmatada passo a passo, mas sua detecção como corte raso ou área degradada ocorre apenas quando as condições de observação pelo satélite são favoráveis. No DETER, todo desmatamento identificado numa imagem e que não foi detectado anteriormente pelo PRODES é considerado desmatamento novo, independente do tempo cronológico (Figura 4.1).

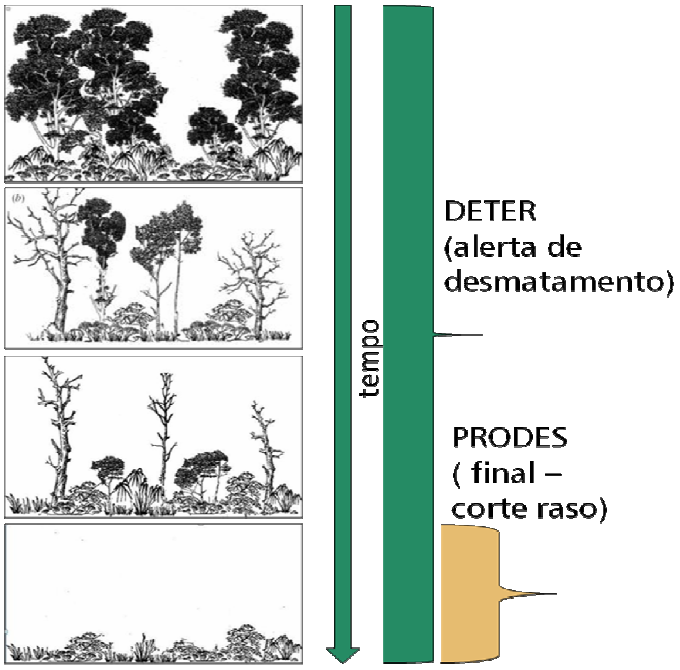


Figura 4.1 – Comparação dos sistemas PRODES e DETER quanto ao tempo de detecção e ao processo de desmatamento.

O PRODES apenas identifica e contabiliza as áreas que sofreram 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, ou seja, o DETER procura identificar os estágios intermediários do processo de desmatamento.

O objetivo do DETER é fornecer indicadores para fiscalização. 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, SEMA, Promotoria Pública) planejar suas ações de campo e operações de combate ao desmatamento ilegal.

O desafio científico do DETER é medir áreas onde ocorre degradação progressiva, com diferentes proporções de solo e vegetação. A detecção dessas áreas por satélite é dificultada pela grande variedade de respostas possíveis da floresta em processo de degradação.

A metodologia utilizada no DETER para detectar as áreas e delimitar os polígonos de desmatamento é descrita de forma resumida nas etapas que se seguem.

4.1. SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

Para os trabalhos de mapeamento são utilizadas as imagens True-color Rapid Response System do sensor MODIS, da NASA, disponíveis na rede no site http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/. Este sistema fornece composições coloridas das imagens do satélite MODIS para toda a superfície da Terra, algumas horas após a passagem diária do satélite.

Para mapear o desmatamento, trabalha-se com uma composição colorida em que as bandas espectrais sejam sensíveis às respostas da contribuição do solo e da vegetação, gerando padrões de cores semelhantes aos que o olho humano pode distinguir, tornando mais intuitiva a detecção de mudanças na cobertura da terra. Na composição colorida True-color MODIS, as bandas MODIS 1, 4 e 3, correspondentes às regiões do espectro eletromagnético do vermelho (620-670 nm), verde (545-565 nm) e azul (459-479 nm), são associadas respectivamente aos canais vermelho, verde e azul de uma imagem digital, com resolução espacial de 250m.

4.1.1. VERIFICAÇÃO DA COBERTURA DE NUVENS

As melhores imagens, quanto à cobertura de nuvens para a quinzena, são escolhidas no site http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/, de modo a cobrir a maior parcela dos seguintes *subsets*: FAS_Brazil1, FAS_Brazil3, FAS_Brazil6, FAS_Brazil7, AERONET_Rio_Branco, FAS_Bolívia.

Para cada *subset* são escolhidas uma ou mais imagens de maneira que a maior parcela possível do *subset* seja monitorada naquela quinzena (Figura 4.2).

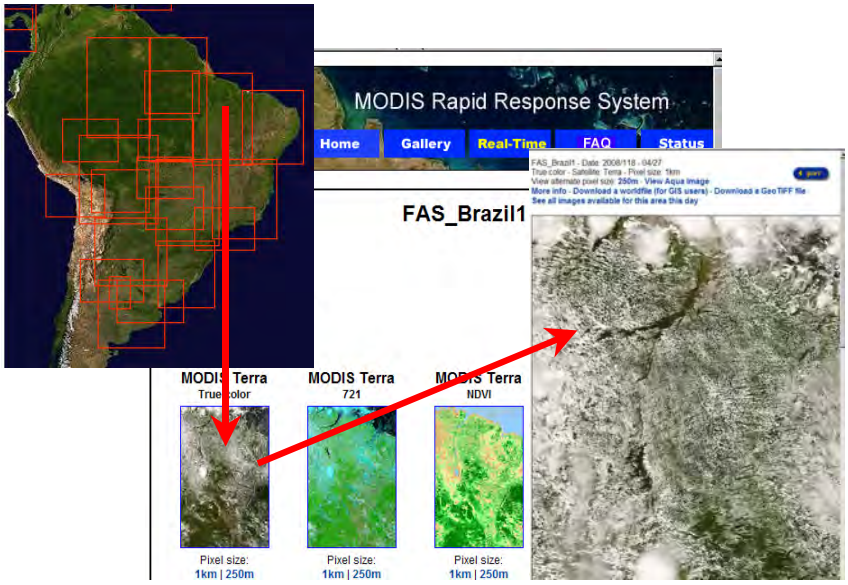


Figura 4.2 – Exemplo da seleção e aquisição do subset MODIS FAS_Brazil1. Fonte: http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?FAS_Brazil1/

As imagens WFI-CBERS2 são obtidas a partir do site http://www.dgi.inpe.br, e da mesma forma escolhidas, de modo a permitir maior capacidade de observação da Amazônia Legal Brasileira.

4.1.2. INCORPORAÇÃO DAS IMAGENS AO BANCO DE DADOS DO INPE

Usando-se protocolo de transferência ftp, as imagens selecionadas são descarregadas em formato jpeg, com o respectivo descritor de

arquivo jpw. As imagens são então importadas para o sistema SPRING, onde são realçadas por meio de um aumento linear de contraste, e em seguida exportadas no formato geotiff. As composições coloridas das imagens MODIS realçadas são então importadas para um banco de dados PostgreSQL denominado TerraAmazon.

Baseado na tecnologia aberta da Terralib[1], o TerraAmazon foi desenvolvido para sistematizar a base de dados resultante do monitoramento por satélites do desmatamento na Amazônia. Em uma única base estão sistematizados os dados (polígonos e imagens) do programa de monitoramento da Amazônia do INPE, o que permite agilizar o processo de análise, edição e produção de informação gráfica e tabular. O TerraAmazon, além de oferecer ferramentas de edição e consulta próprias de um Sistema de Informação Geográfica, permite que sejam criados algoritmos de consistência, que impedem que polígonos espúrios sejam gerados, analisando conjuntamente dados vetoriais e tabulares.

A identificação dos polígonos é feita no TerraAmazon a partir da análise das imagens MODIS e WFI, apoiada também nas imagens Landsat, DMC ou CCD de anos anteriores.

4.2. MAPEAMENTO DOS ALERTAS

No início de cada ano, os mapas de desflorestamento do PRODES do ano anterior são utilizados como um marco de referência das áreas desflorestadas. O mapa do PRODES, contendo o desflorestamento dos anos anteriores, juntamente com as áreas de não-floresta, gera uma máscara que contém todas as áreas de corte raso já detectadas. A máscara do PRODES é usada para eliminar a possibilidade de que desmatamentos antigos sejam identificados e contados novamente (Figura 4.3).

[1] TerraLib é uma biblioteca de classes escritas em C++ para a construção de aplicativos geográficos desenvolvida pelo INPE. Detalhes em www.dpi.inpe.br/terralib

A identificação de desmatamento é feita através da foto-interpretação da imagem MODIS, considerando apenas a porção da imagem que supostamente ainda possui cobertura florestal.

A identificação do padrão de alteração da cobertura florestal é feita com base em três principais elementos para a foto-interpretação: tonalidade, textura e contexto.

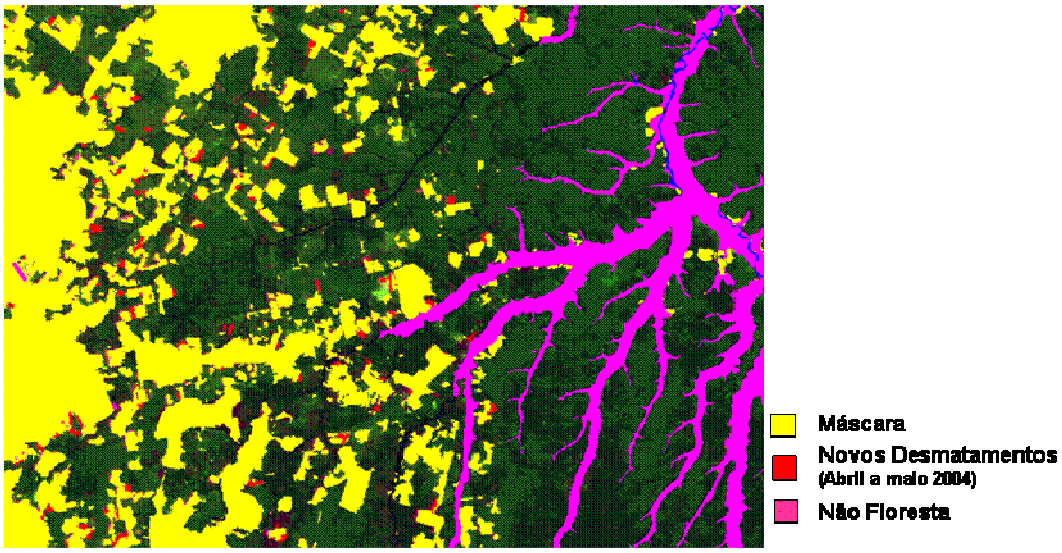


Figura 4.3 – Identificação de desmatamento pelo DETER. A máscara do PRODES com os desmatamentos antigos (amarelo) e áreas de não-floresta (magenta) é sobreposta à composição colorida MODIS, onde se identificam os desmatamentos novos (vermelho).

As áreas indicadas pelo DETER correspondem tanto a regiões de corte raso, quanto a áreas de degradação florestal progressiva. A detecção de degradação florestal progressiva por satélite é dificultada pela grande variedade de respostas possíveis da floresta em processo de degradação. A seção 5 descreve detalhadamente o reconhecimento de padrões nas imagens, exemplificando o processo de desmatamento com as observações de campo.

O limite dos polígonos é digitalizado sobre a visualização da composição colorida MODIS, com a máscara dos desmatamentos anteriores sobreposta, na escala 1:500.000. Com esse sistema, é possível detectar apenas os desmatamentos não cobertos por nuvens, cujas áreas são maiores que 25 ha.

Um desmatamento é detectado na primeira oportunidade de observação, o que não significa que ele ocorreu no período observado. Uma vez detectado, o polígono de desmatamento passar a ser incorporado à máscara, que é atualizada mensalmente.

A identificação e classificação dos polígonos como desmatamento dependerão da variação da resposta espectral da cobertura sobre a composição colorida das bandas MODIS originais.

4.2.1. MAPA DE NUVENS

Para cada composição colorida MODIS interpretada, extrai-se também os polígonos referentes às nuvens. O mapa de nuvens contém as informações de cobertura de nuvens de todas as imagens utilizadas para a avaliação da quinzena.

4.2.2. AUDITORIA

Após a interpretação visual das imagens, os polígonos de desmatamento detectados pelo DETER passam por um processo de revisão em que um auditor confere a identificação e os limites dos polígonos mapeados. Caso seja necessário, os polígonos são editados novamente e apenas serão divulgados após a certificação do auditor.

4.3. GERAÇÃO DOS PRODUTOS FINAIS E DIVULGAÇÃO

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 ao período.

Esses mapas digitais contendo os polígonos de Alerta e as tabelas que os descrevem são enviados quinzenalmente ao IBAMA, assim como o mapa de cobertura de nuvens no período, indicativo da área efetivamente monitorada. O IBAMA refaz a análise de consistência dos polígonos e

prepara um conjunto de *plotagens* que é encaminhado aos técnicos, para que possam fazer a fiscalização no campo.

Os mapas das duas quinzenas de cada mês são integrados e, juntamente com os mapas de cobertura de nuvens e as imagens trabalhadas no período, são colocados na Internet (http://www.obt.inpe.br/deter/) para consulta, permanecendo disponíveis para *download* (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Interface do DETER para divulgação e *download* dos dados.

Da interface principal é possível ter acesso aos centróides dos polígonos de Alerta, como pontos, em formato *shapefile* ou *ascii*. Requisitando-se o *download* das imagens MODIS e dados vetoriais, tem-se acesso por ftp às imagens referentes ao mês (em formato jpeg), aos polígonos com as nuvens *(shapefile*), e aos polígonos de Alerta do DETER (*shapefile*).

5. IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO DESMATAMENTO COM IMAGENS DE SATÉLITE

A identificação e classificação dos polígonos como desmatamento, conforme mencionado anteriormente, dependerão da variação da resposta espectral da cobertura sobre a composição colorida das bandas MODIS originais. Na composição colorida das bandas do visível nas faixas do azul, verde e vermelho, compara-se a resposta espectral da área identificada com a resposta da cobertura florestal. A área será classificada como desmatamento caso sejam observadas alterações no padrão de resposta espectral. O aumento da exposição do solo causado por alterações na estrutura ou na cobertura florestal é representado na imagem por tons de marrom ou tons avermelhados. As áreas identificadas como corte raso pelo projeto PRODES do ano anterior são usadas como máscara para a interpretação sobre a imagem MODIS. Desta forma, o intérprete avalia apenas se há alterações de tonalidade nos polígonos que estão em áreas supostamente de remanescentes florestais.

A variação da tonalidade dos polígonos dependerá da intensidade da alteração da cobertura. Para florestas intactas, a cor verde predomina, enquanto que para florestas que sofreram corte raso, a cor rosa/vermelha predomina. Entre esses extremos há um gradiente de tonalidades que representam a degradação progressiva da cobertura florestal.

5.1. PADRÕES E PROCESSOS DE DESMATAMENTOS OBSERVADOS PELO DETER

Para ilustrar, qualificar e quantificar esta análise, foi realizada uma missão de campo em fevereiro de 2008, quando foram vistoriados 43 pontos previamente selecionados no banco de Alertas do DETER. A

área vistoriada correspondeu à região nordeste do Estado do Mato Grosso, envolvendo parte dos municípios de Sinop, Itaúba, Santa Carmem, Tapurah, Cláudia, União do Sul, Nova Santa Helena, Vera, Feliz Natal, Nova Ubiratã. Essa região foi escolhida por conter os dois processos de desmatamento - corte raso e degradação florestal progressiva. Entretanto, o objetivo principal da missão foi documentar os desmatamentos por degradação florestal progressiva para estabelecer relações com os padrões espectrais encontrados nas imagens MODIS.

Durante o trabalho de campo, foram tiradas fotografias aéreas das áreas degradadas indicadas pelo Alerta, para compará-las ao padrão encontrado na imagem MODIS. As imagens MODIS apresentadas nas figuras desta seção correspondem àquelas utilizadas pelo analista na data em que a degradação florestal foi detectada. A máscara do PRODES também foi adicionada aos exemplos para facilitar o entendimento de como o processo de detecção do Alerta do DETER é realizado. O histórico de degradação dos Alertas foi obtido a partir da análise da série temporal das imagens TM/Landsat. A Figura 5.1 mostra como a análise dos Alertas foi realizada e exemplifica o processo de degradação florestal progressiva em uma área no município de Itaúba (MT), apontada pelo Alerta no DETER. Foi utilizada uma seqüência de imagens TM/Landsat, correspondendo a seis momentos distintos:

a) A primeira imagem é de 1990, quando a floresta estava intacta.

b) A imagem de 2000 mostra o início da degradação florestal com pequenas áreas de cicatriz florestal.

c) A imagem de 2002 mostra áreas maiores de cicatriz de fogo florestal. Em 2004 (ano de início do DETER), havia indícios de degradação, mas não eram de intensidade suficiente para serem detectados.

d) A imagem de 2006 mostra uma área degradada e com várias queimadas detectadas pelo INPE. Em 2006, foi gerado um Alerta DETER para essa área. Como a área não sofreu corte raso, não entrou no inventário do PRODES.

e) A imagem de 2007 mostra uma área de degradação intensa, para a qual foi emitido um Alerta do DETER em novembro de 2007.

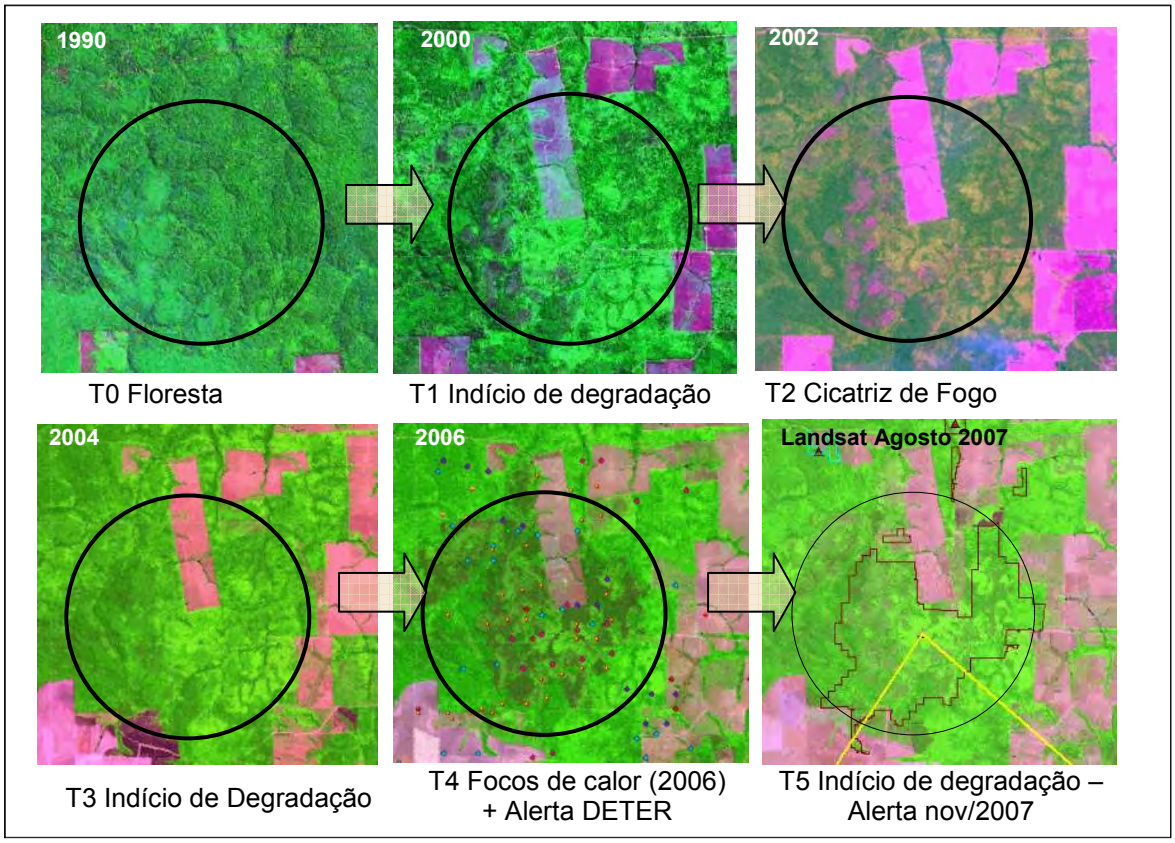


Figura 5.1 – Histórico de uma área em Itaúba (MT) em imagens TM/Landsat de diferentes anos.

Alguns exemplos da relação entre a intensidade da degradação florestal e a detecção pelo DETER são apresentados nas seções a seguir. Esses exemplos abrangem desde estágios iniciais de extração de madeira até o estágio em que a cobertura florestal é totalmente perdida, assemelhando-se ao corte raso ou a áreas em regeneração. A análise mais completa, com a descrição e o histórico dos 43 Alertas verificados em

campo e com imagens do TM/Landsat dos anos de 1990, 2000, 2002, 2004, 2006 e 2007, pode ser encontrada nos Anexos 1e 2, no final deste documento.

Do total verificado, 42 registros foram considerados válidos e um deles não apresentou condições de avaliação devido ao ângulo da foto que não permitiu uma análise satisfatória. Nesses 42 registros foram encontrados os seguintes resultados:

- 2% (n = 1) apresentaram corte raso;
- 5% (n = 2) apresentaram degradação florestal leve;
- 14% apresentaram degradação de intensidade moderada (n = 6);
- 33% apresentaram intensidade alta (n = 14) e;
- 38% (n = 16) apresentaram intensidade alta com perda completa da cobertura florestal;
- 7% não apresentaram indícios de degradação florestal (n=3), constituindo falsos positivos, isto é, Alertas em área de floresta.

Embora nesta análise tenham sido utilizados dados multitemporais de satélite, não foi possível estabelecer o início do processo de degradação das áreas analisadas. Algumas delas já apresentavam cicatriz de fogo florestal em 1990, podendo ter iniciado o processo de degradação há mais tempo.

Estes resultados mostraram que grande parte dos desmatamentos por degradação florestal (71%) indicados pelos Alertas correspondeu a estágios avançados de degradação, na maioria das vezes com a perda completa da cobertura florestal.

5.1.1. DEGRADAÇÃO FLORESTAL PROGRESSIVA DE INTENSIDADE LEVE

Os polígonos de Alerta 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 5.2), alguns *pixels* de tons amarronados

são encontrados juntamente com os *pixels* de cor verde escuro no polígono de Alerta. Entre os 43 pontos vistoriados em campo, apenas este exemplo foi representativo do tipo inicial de degradação florestal, representando cerca de 2% do total analisado.

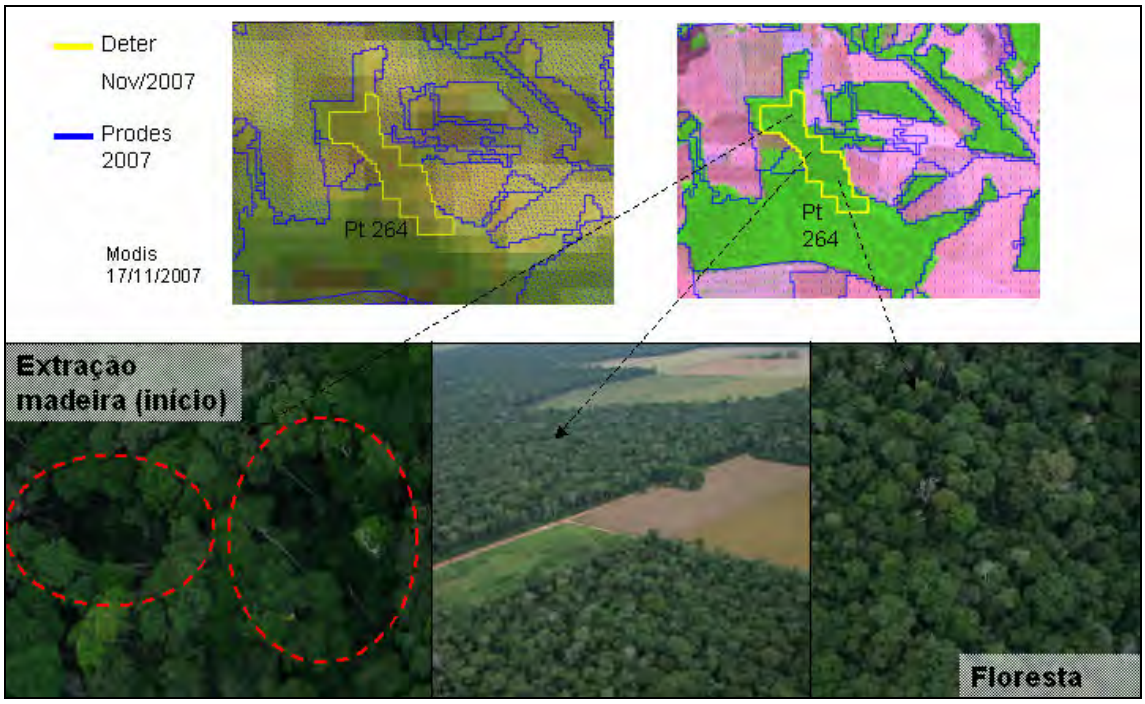


Figura 5.2 – Identificação do estágio inicial de alteração da cobertura florestal (P264 - S 11,94°; W 55,46°).

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, que indica a retirada das espécies emergentes (Figura 5.3). 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.

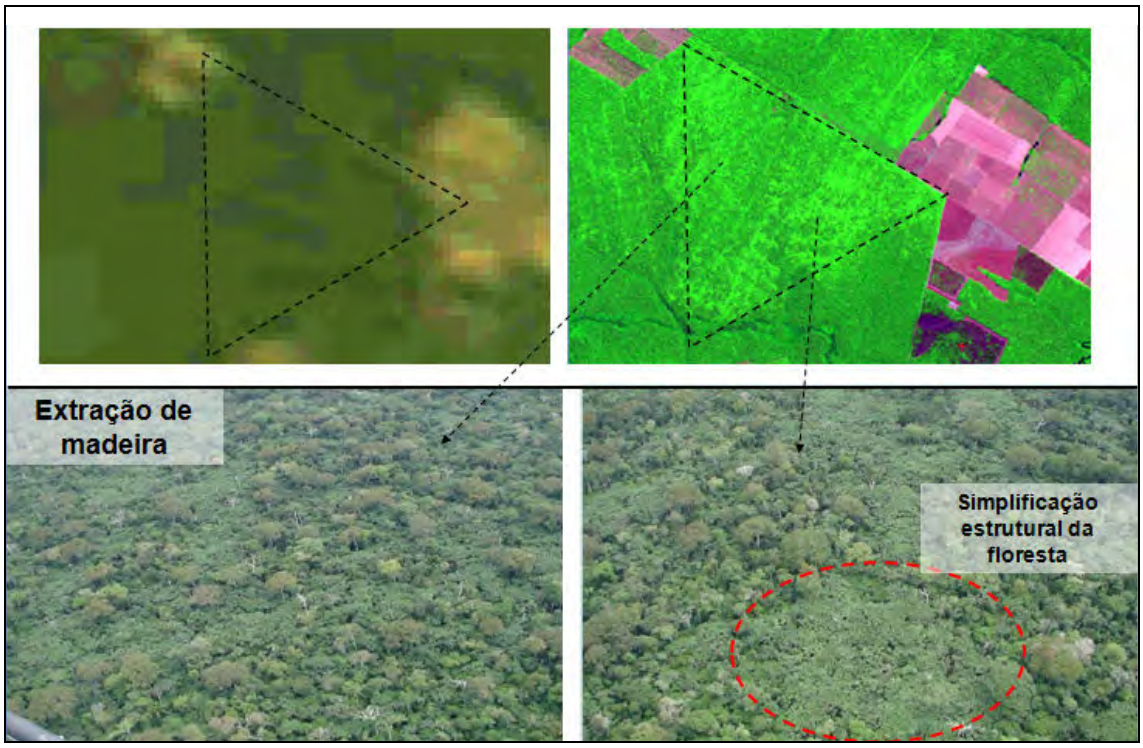


Figura 5.3 – Identificação do estágio inicial de alteração da cobertura florestal em que ocorre a simplificação da estrutura com a retirada das árvores emergentes (PB1 - S 11,37°; W 55,05°)

5.1.2. DEGRADAÇÃO FLORESTAL PROGRESSIVA 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 5.4 e 5.5). Cerca de 14% (n= 6) das amostras realizadas nas missões de campo foram representativas desse nível de degradação florestal.

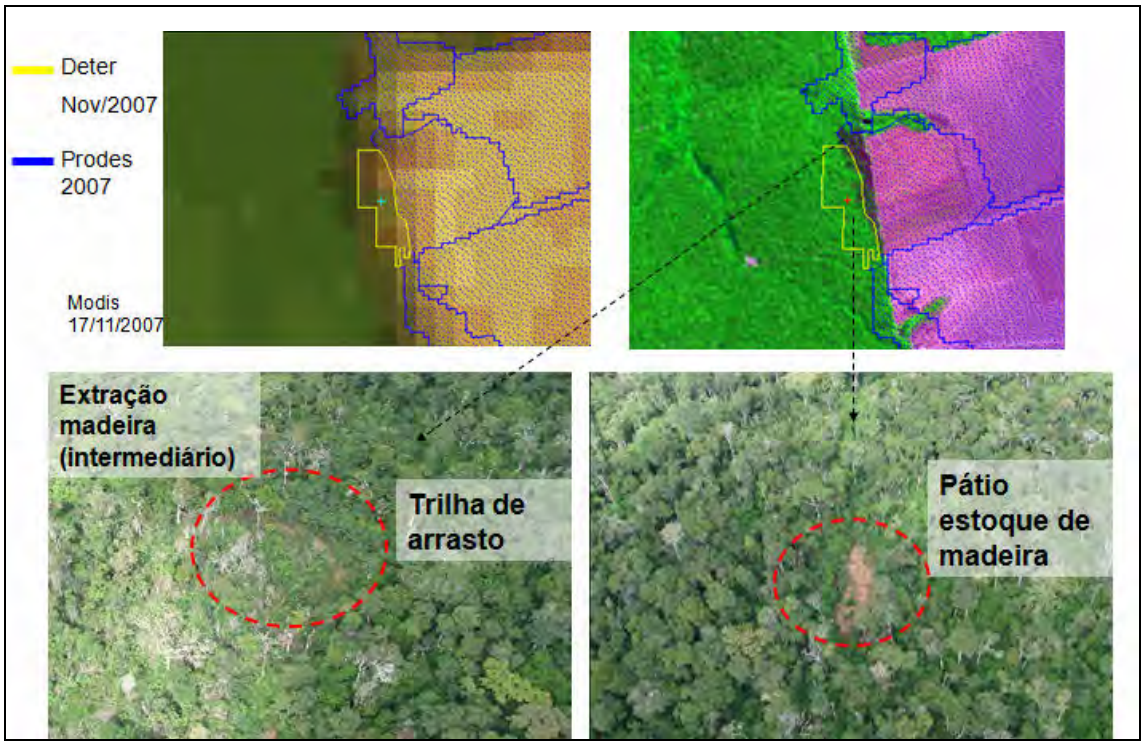


Figura 5.4 – Identificação do estágio intermediário de alteração da cobertura florestal em que a presença de trilhas de arrasto e pátios de estoque de madeira evidencia a extração de madeira (P184 - S 12,09º; W 54,42º).

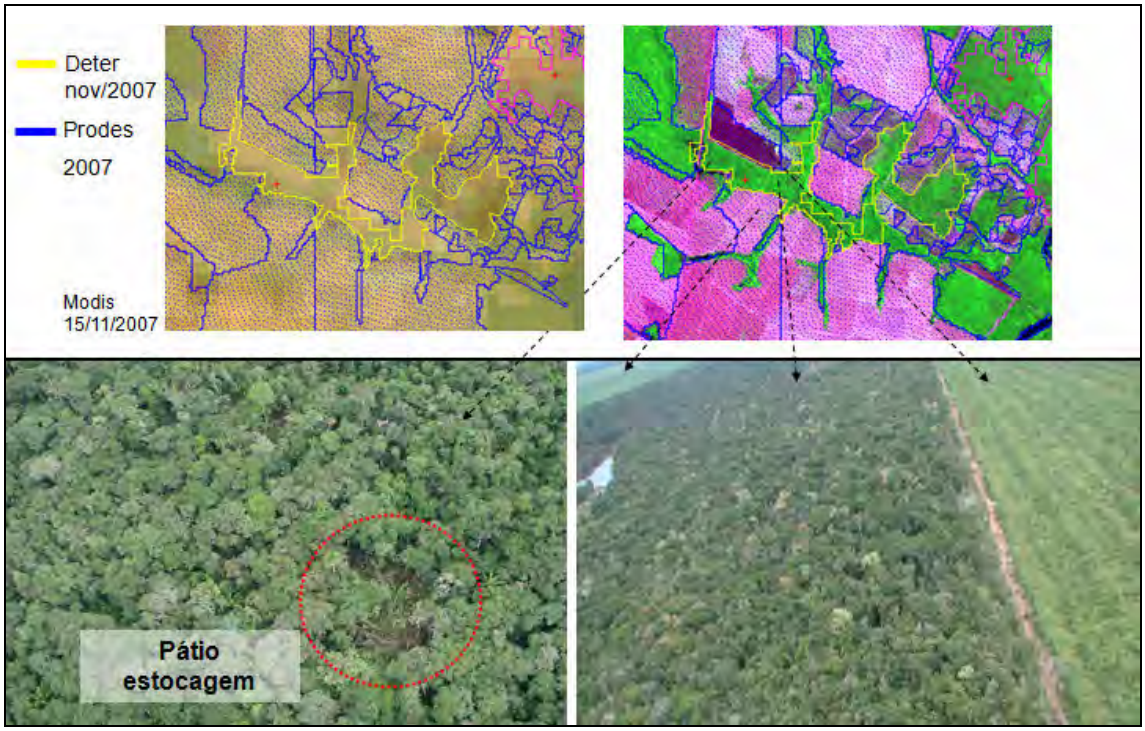


Figura 5.5 – Estágio intermediário de alteração da cobertura florestal realizado pela retirada de árvores emergentes e de dossel (P15 - S 11,6º; W 57,8º).

5.1.3. DEGRADAÇÃO FLORESTAL PROGRESSIVA 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 5.6). 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 7; pt 182). Esse tipo de estágio foi representado por cerca de 33% (n= 14) dos pontos de Alerta verificados em campo.

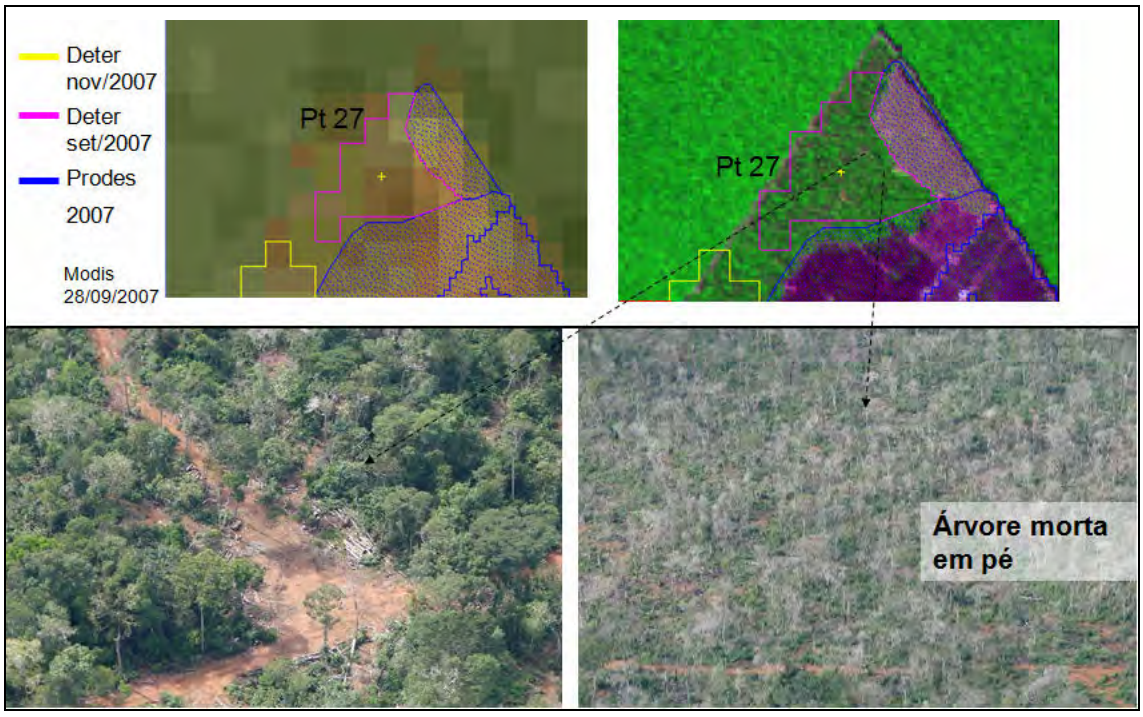


Figura 5.6 – Estágio avançado de degradação, com muitas árvores mortas em pé (P27 - S 12,27°; W 54,13°)

A presença de pátios de estoque de madeira e trilhas de arrasto é também evidente neste estágio (Figura 5.7). Variações no padrão podem ser percebidas pela presença de sub-bosque, indicando início do processo de regeneração secundária (Figura 5.8 e Figura 5.9).

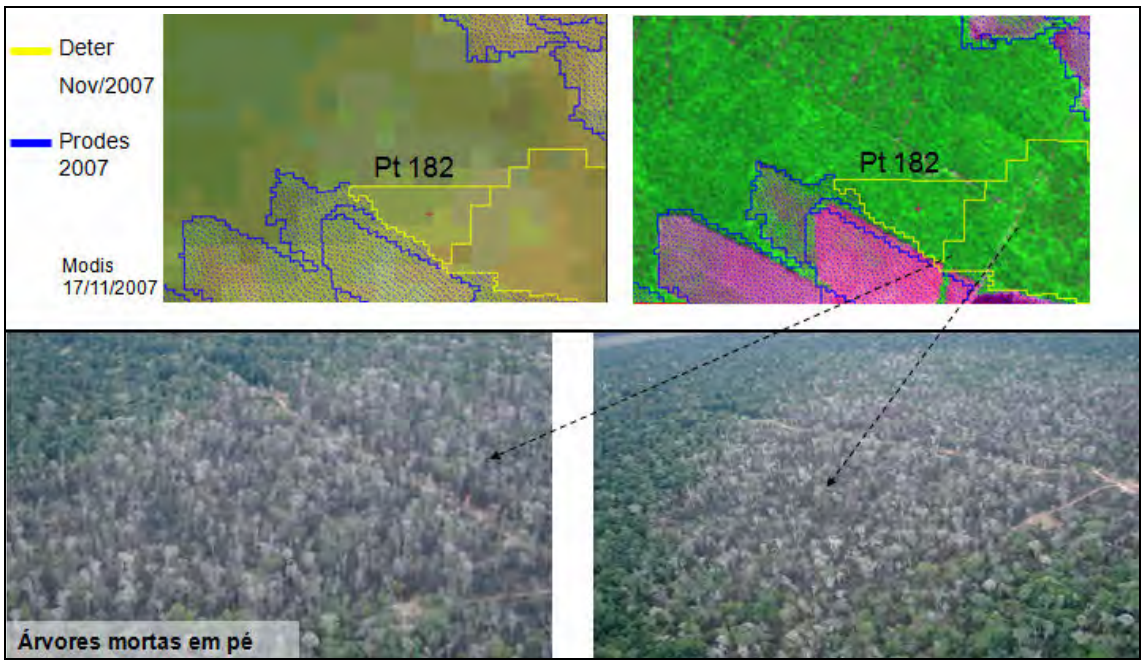


Figura 5.7 – Estágio avançado de degradação, árvores mortas em pé, ausência de sub-bosque (P182 - S 12,11°; W 55,06°).

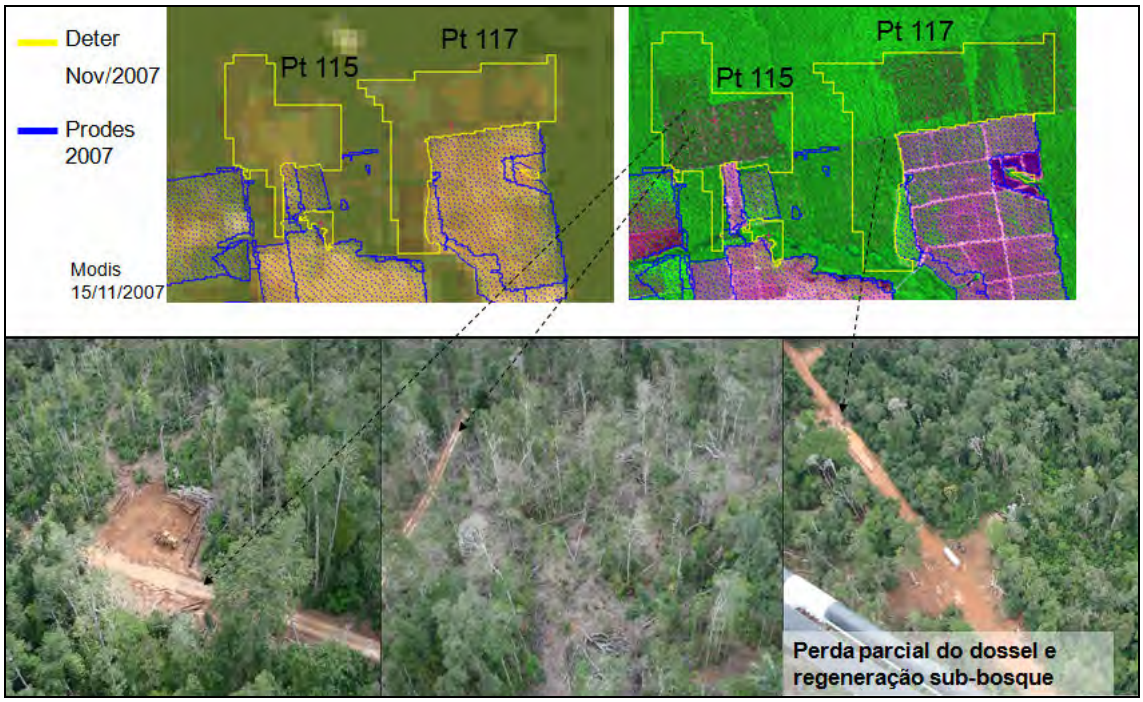


Figura 5.8 – Padrão de degradação avançada com pátios e estradas e com regeneração de sub-bosque (P115 - S 11,93° ; W 54,46° ; P117 - S 11,92°; W 54,41°).

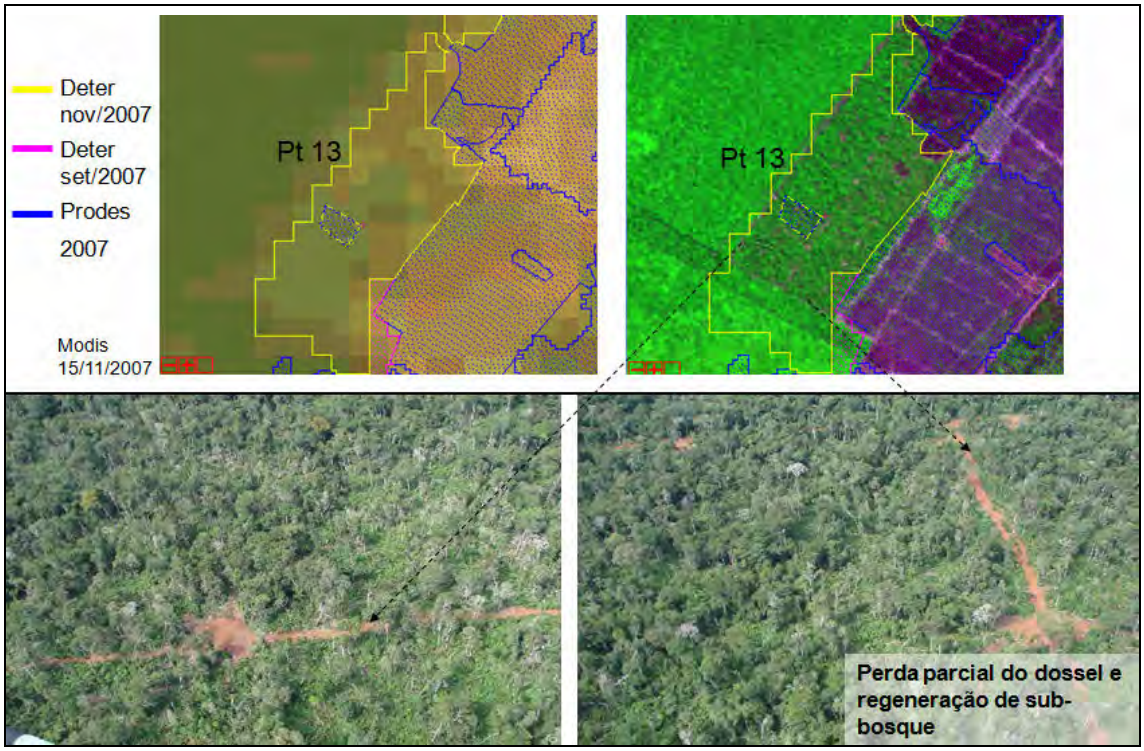


Figura 5.9 – Padrão de degradação avançada com perda parcial do dossel e regeneração do sub-bosque (P13 - S 12,30°;W 54,15°).

5.1.4. PERDA COMPLETA DA COBERTURA FLORESTAL

Esse estágio caracteriza-se pela perda completa da fisionomia florestal, situação em que as árvores remanescentes estão mortas em pé e não há nenhum indício de sub-bosque. Em geral, a área sofreu queimada. Nesse padrão, a vegetação original é substituída por uma vegetação totalmente arbustiva (Figura 5.10) ou pode apresentar aspecto de capoeira (Figura 5.11). A presença de árvores mortas em pé também pode compor esse cenário de degradação (Figura 5.12). Nesse estágio, a maioria dos *pixels* no polígono de Alerta apresenta tons amarronados, avermelhados, ou rosa claro, e eventualmente alguns poucos *pixels* com tons de verde. Esse estágio representou 38% do Alertas (n=16).

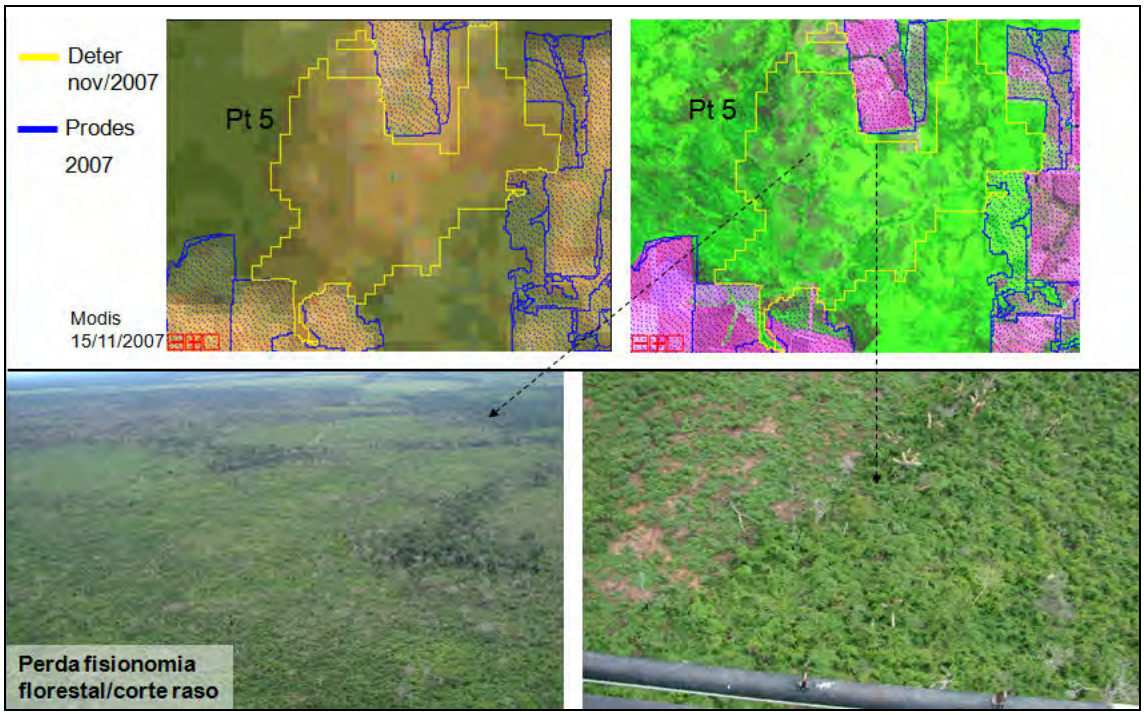


Figura 5.10 – Estágio de degradação em que a fisionomia florestal foi descaracterizada e substituída por vegetação arbustiva (P5 - S 11,21º;W 55,58º).

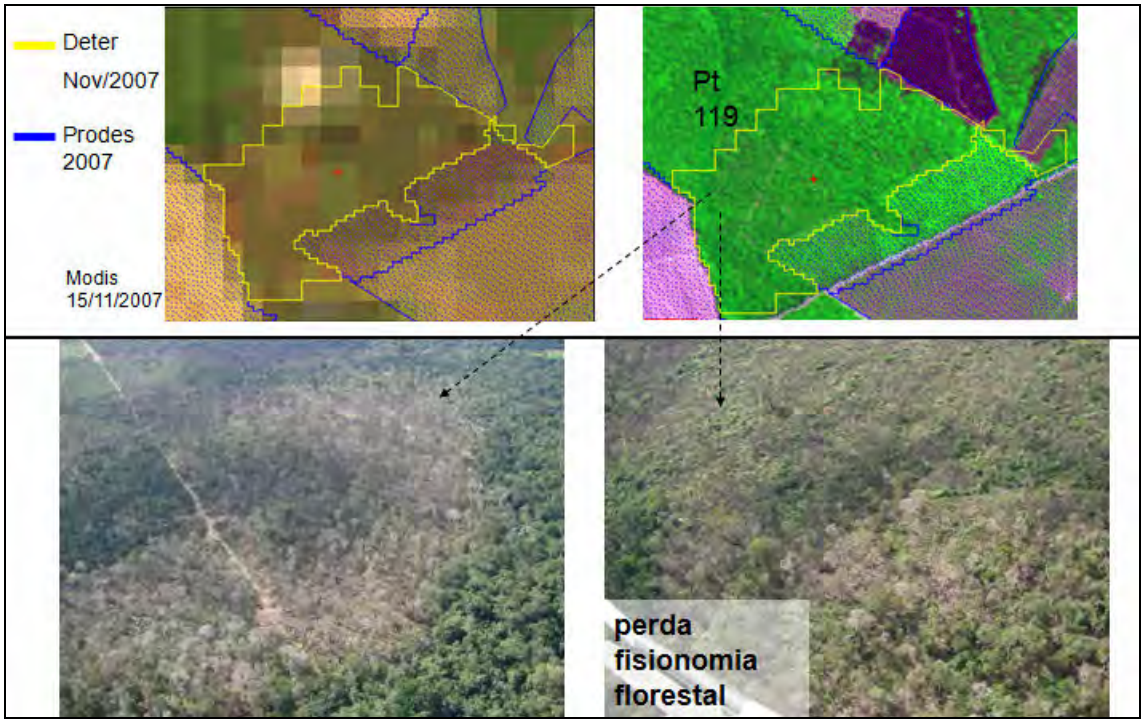


Figura 5.11 – Estágio de degradação florestal em que a floresta original foi substituída por uma vegetação secundária recente (P119 - S 11,91º; W 54,82º).

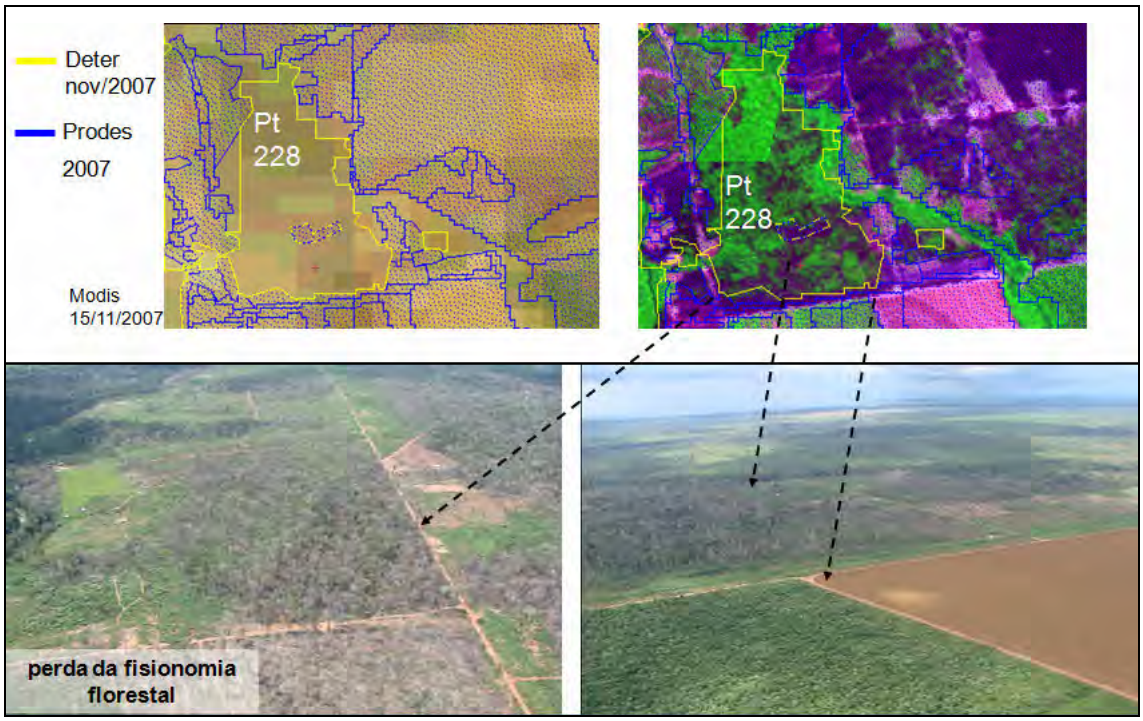


Figura 5.12 – Estágio de degradação em que a fisionomia florestal foi substituída por vegetação arbustiva, capoeira e árvores mortas em pé (P228 - S 12,45°; W 55,51°).

5.1.5. 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 5.13, 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 5.13.

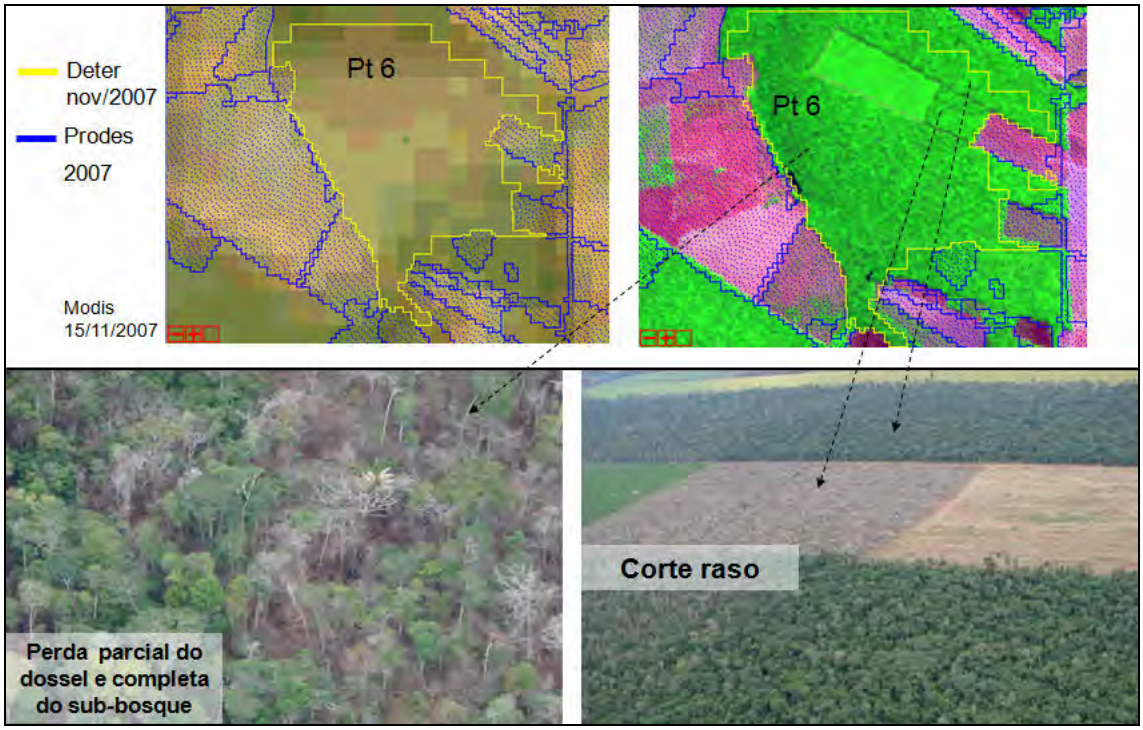


Figura 5.13 – Perda completa da vegetação por corte raso, com solo coberto por madeira (P6 - S 11,61°;W 54,91°).

6. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA PARA CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DO DETER

Devido à impossibilidade de realizar coletas sistemáticas de dados de campo que fossem representativas para toda a extensão da Amazônia Legal, a avaliação dos dados de desmatamento do DETER foi realizada tendo como referência dois tipos de dados: 1) Dados do PRODES, para avaliação do desmatamento por corte raso e; 2) Dados obtidos por técnicas de foto-interpretação em imagens TM/Landsat, produzidos para avaliação do desmatamento por degradação florestal progressiva.

Na avaliação do desmatamento por corte raso foram utilizados dados do PRODES como referência, correspondendo ao mesmo período dos dados obtidos pelo DETER, de agosto de 2006 a julho de 2007. Os dados de desmatamento do PRODES desse período serão chamados nas

seções que seguem de Incremento 2007. Os dados do DETER correspondendo ao mesmo período serão chamados de Alerta 2006/2007. Também foram considerados na análise os desmatamentos do PRODES referentes ao ano 2005/2006, que serão chamados nas seções posteriores de Incremento 2006. Esses desmatamentos foram incluídos devido à defasagem existente entre o início e o término do PRODES. Somente no início de cada ano, os dados do PRODES são atualizados e adicionados à máscara do DETER.

Essa avaliação teve como principal objetivo estimar o quanto dos polígonos de corte raso indicados pelo PRODES são detectados pelos Alertas do DETER do mesmo período e vice-versa.

Análises foram realizadas considerando o tamanho dos polígonos de Alerta e de Incremento. Essas análises permitiram verificar se a proporção de área de intersecção entre os dois dados (Incremento e Alerta) se mantém quando se analisa diferentes faixas de tamanho de desmatamento.

A abordagem utilizada para avaliação do desmatamento por degradação florestal progressiva foi realizada a partir de estudos de caso. Como não há dados de florestas degradadas disponíveis para toda a extensão da Amazônia, foram selecionadas quatro Cenas do sensor TM/Landsat de 2007, representando diferentes padrões e dinâmicas de desmatamento por degradação florestal. As imagens foram processadas em um Sistema de Tratamento de Imagens aplicando-se técnicas de modelo linear de mistura e de realce para a distinção das diferentes intensidades de degradação florestal. Essas classes de degradação foram mapeadas por técnicas de foto-interpretação. O objetivo foi avaliar quantitativamente como esse tipo de desmatamento é detectado pelo DETER e a partir de quais intensidades e tamanhos os desmatamentos passam a ser detectados.

Nas seções 6.1 e 6.2 as análises por corte raso e degradação florestal progressiva são apresentadas, respectivamente. Na seção 6.3 é apresentada uma síntese dos resultados mais importantes dessas análises.

6.1. AVALIAÇÃO DO DESMATAMENTO POR CORTE RASO

Antes de iniciar a análise do desmatamento por corte raso, foi necessário compatibilizar os dados do DETER com PRODES para que estes pudessem ser comparados para o mesmo período e região geográfica.

Os dados do DETER e do PRODES são produzidos em diferentes períodos, devido às características espaciais e temporais dos sensores envolvidos na coleta de dados. O DETER produz dados mensais, enquanto que o PRODES produz dados anuais. Para compatibilizar estes dois conjuntos de dados, os dados do DETER foram agregados para o período de agosto de 2006 a julho de 2007, quando é feito o mapeamento do PRODES de 2007. A escolha desse intervalo de tempo se deve ao fato de que, no PRODES, grande parte das imagens utilizadas é obtida com data próxima ao dia 1º de agosto, data de referência utilizada nas estimativas das taxas anuais de desmatamento (Câmara et al, 2006).

Os dados do DETER são obtidos mensalmente e foram reunidos em dois mapas, separadamente: um relativo ao segundo semestre de 2006, e o outro, ao primeiro semestre de 2007. Essa separação se deveu ao fato de que no DETER pode ocorrer a reincidência do Alerta em diferentes anos. O desmatamento por degradação pode ser detectado por vários anos consecutivos pelo DETER, até perder totalmente a cobertura florestal e ser incorporado ao PRODES como corte raso. Para evitar uma possível sobreposição entre os Alertas devido à reincidência, os dados foram reunidos em dois mapas.

Nos dados do PRODES, as áreas com nuvens foram excluídas a partir do mapa de desmatamento de 2007, que contém a classe de cobertura de nuvens, de acordo com o mapa observado na Figura 6.1, à direita.

No DETER, o mapa de nuvens é gerado quinzenalmente, juntamente com os dados de Alerta. Nove mapas de nuvens relativos ao primeiro semestre de 2007 foram utilizados e reunidos em uma base única. As áreas que apresentaram cobertura de nuvem em todas as datas, ou em oito das nove datas consideradas foram eliminadas da análise. Os mapas

de nuvens do segundo semestre de 2006 não foram incluídos nessa base, evitando-se, assim, analisar regiões que só foram observadas no início do período de estudo, quando parte dos desmatamentos ainda não haviam ocorrido. A Figura 6.1 da esquerda mostra o mapa de nuvens do DETER. As áreas mais escuras foram as que apresentaram cobertura de nuvens em quase todas as datas analisadas e foram excluídas da análise.

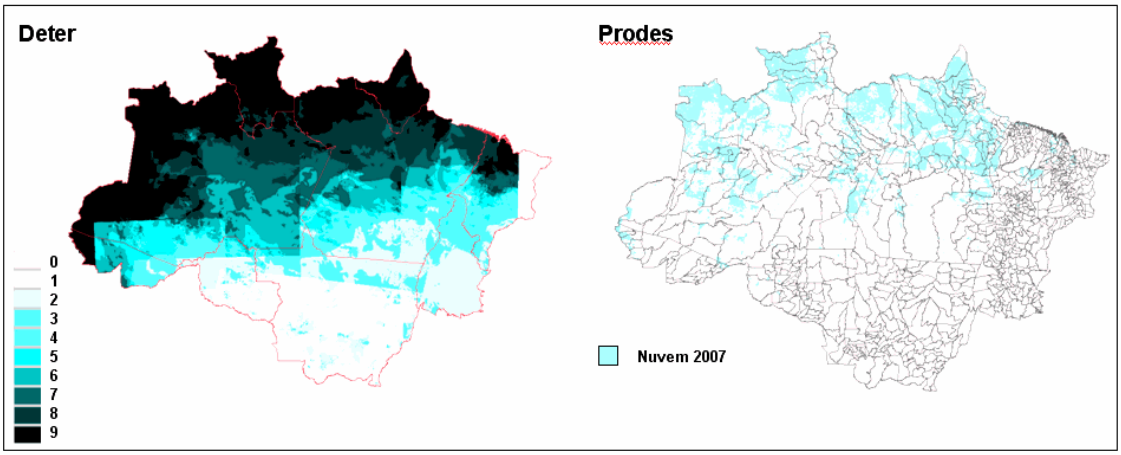


Figura 6.1 – Mapa de Nuvens DETER e PRODES. O mapa da esquerda mostra o número de vezes que cada *pixel* das imagens MODIS apresentou nuvens, no período de março a julho de 2007. O mapa da direita apresenta a distribuição de nuvens nas imagens Landsat do PRODES 2007.

6.1.1. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO DESMATAMENTO POR CORTE RASO

As análises do desmatamento por corte raso foram realizadas tendo como base a matriz apresentada na Tabela 6.1. As proporções de corte raso, degradação florestal/floresta, falsos negativos e floresta da Tabela 6.1 foram obtidas a partir do cruzamento de dados do DETER e do PRODES em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Dois cruzamentos foram realizados:

1) Alerta do DETER com Incremento do PRODES. Desse cruzamento obteve-se a proporção de área e polígonos de Alerta confirmados pelo PRODES (a) e a proporção de área e polígonos de Alerta que

correspondem à floresta degradada e floresta (falso positivo) (b). Como não estavam disponíveis dados de referência para floresta degradada, não foi possível separar os falsos positivos de floresta degradada;

2) Incremento do PRODES com os Alerta do DETER. Desse cruzamento obtiveram-se a proporção de área e polígonos de corte raso que não são detectados pelo DETER, os falsos negativos (c).

Tabela 6.1 – Cruzamento de dados do DETER com PRODES

	DETER (Alerta)	DETER (não-Alerta)
PRODES (Incremento)	Corte Raso (a)	Falso negativo (c)
PRODES (floresta)	Falso Positivo (b) e Floresta Degradada	Floresta e outras coberturas (d)

Os resultados dos cruzamentos descritos na Tabela 6.1 geraram índices de confirmação obtidos por meio de três diferentes abordagens: 1) Análise por área, em que a área de intersecção entre os polígonos do DETER e PRODES é contabilizada; 2) Análise por maioria, em que a área das classes de polígonos com maior intersecção com o polígono de desmatamento analisado é contabilizada e; 3) Análise por polígono, em que todos os polígonos que interceptam um polígono desmatamento são contabilizados.

Os resultados obtidos na abordagem por área (intersecção) não permitiram avaliar apropriadamente a capacidade de detecção do desmatamento pelo DETER. Os resultados provenientes dessa abordagem são afetados pela geometria e posicionamento dos polígonos (Figura 6.2) decorrentes das diferentes características dos sensores envolvidos na coleta de dados de desmatamento do DETER e PRODES.

As análises por maioria e por polígonos buscaram minimizar os efeitos relacionados com a diferença entre as resoluções espaciais dos

sensores e escalas dos dados gerados pelo DETER e PRODES. Na análise por maioria, ao invés de buscar a correspondência entre os desmatamentos do DETER e PRODES com a área resultante da intersecção entre os polígonos, foi considerado no índice de confirmação a área total daqueles polígonos que representavam a classe com maior área de intersecção dentro do polígono de desmatamento.

A Figura 6.2 mostra um exemplo em que não há um ajuste perfeito entre os polígonos de desmatamento do DETER e do PRODES. Nessa situação, que é a mais freqüente, se considerarmos apenas a área de intersecção entre os dois polígonos de desmatamento, dois efeitos poderiam ser observados, além da redução da área de intersecção: 1) Uma parte da área do Alerta seria contabilizada como falso positivo (Alerta em área de floresta); 2) Outra parte da área do Incremento seria contabilizada como falso negativo (área de corte raso não detectado pelo Alerta). Se considerarmos que o objetivo do DETER não é estimar área e sim indicar a ocorrência e localização dos desmatamentos para fiscalização, verificamos que a análise que considera apenas a área de intersecção não é a mais adequada para caracterizar este dado.

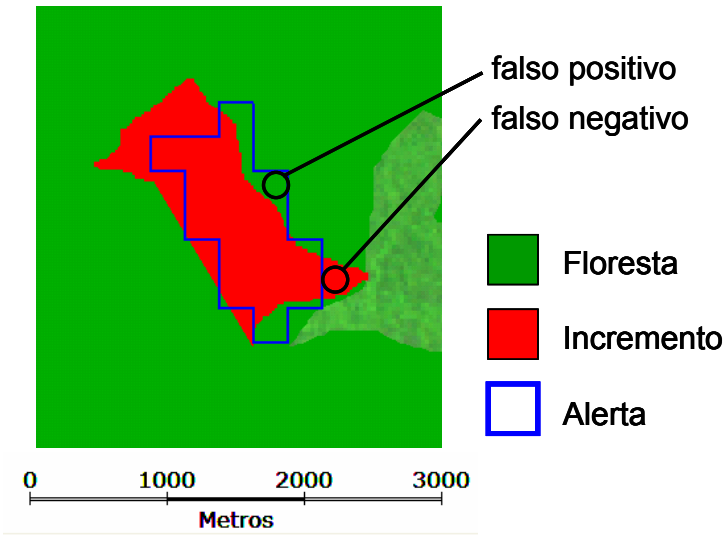


Figura 6.2 – Alerta do DETER e Incremento do PRODES, correspondendo ao mesmo desmatamento por corte raso. A geometria e o posicionamento dos polígonos apresentam diferenças que afetam análises que consideram a área de intersecção.

Na abordagem por polígono, todos os polígonos que interceptam um polígono de desmatamento são contabilizados. Entretanto, os polígonos de desmatamento podem interceptar vários polígonos ao mesmo tempo, de diferentes classes e tamanhos, gerando resultados que podem superestimar o índice de confirmação. Por este motivo, grande parte das discussões apresentadas nas seções seguintes baseia-se nos resultados obtidos com a análise por maioria, que foi a que apresentou maior coerência e resultados mais realistas para a caracterização dos dados do DETER.

Além do problema da geometria, a necessidade de se definir um recorte no tempo para efetuar as análises, pode introduzir incertezas nos resultados das análises. Devido às diferentes resoluções temporais dos sensores utilizados nos sistemas PRODES e DETER, bem como a presença de cobertura de nuvens, um desmatamento por corte raso pode ser detectado em tempos diferentes pelos dois sistemas. Polígonos detectados pelo PRODES em julho de 2007, por exemplo, e que só foram detectados pelo DETER em agosto de 2007, não foram incluídos neste estudo, podendo afetar os índices de confirmação dos Alertas.

6.1.2. DETER X PRODES

O cruzamento entre os Alertas do DETER com dados do PRODES pode ser ilustrado pelo esquema da Figura 6.3, onde a elipse central representa o total de Alertas do DETER e as possíveis intersecções com os dados do PRODES. Desse cruzamento foram obtidos os seguintes resultados:

1) A proporção de área e polígonos de Alerta que correspondem ao desmatamento por corte raso, confirmada pelo Incremento do PRODES 2007 e representada pela região (B);
2) A proporção de área e polígonos de Alerta que correspondem à floresta degradada (C) ou floresta (D) e;

3) A proporção de área e polígonos de Alerta que correspondem ao desmatamento anterior a 2006 (A), também chamado de desmatamento total, e áreas de não Floresta, representadas pela máscara do PRODES de 2006. Os polígonos de Alerta que fizeram intersecção com a máscara do PRODES de 2006 não foram recortados para possibilitar as análises que relacionam a índice de detecção dos Alertas com as faixas de tamanho dos desmatamentos.

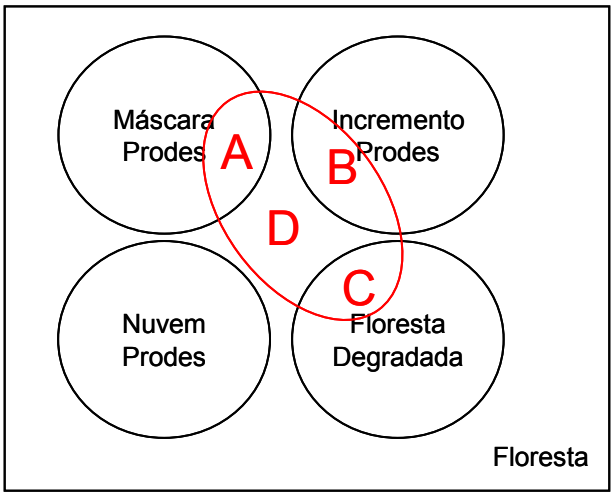


Figura 6.3 – Intersecções consideradas na análise: (A) Alerta e Máscara PRODES 2006; (B) Alerta e Incremento PRODES 2006 e 2007; (C) Alerta e Floresta Degradada e; (D) Alerta e Floresta.

Os Alertas que interceptaram nuvem do PRODES 2007 foram integralmente excluídos das análises. Os Alertas que caíram em floresta degradada não puderam ser separados dos falsos positivos (Alerta em floresta), pois este dado não é fornecido pelo PRODES. Esta análise de floresta degradada foi realizada a partir de estudos de caso, mencionados anteriormente.

Os dados foram ordenados e analisados por faixas de tamanho dos polígonos. O objetivo desta análise foi verificar se o índice de confirmação dos Alertas modifica-se quando o tamanho dos polígonos de desmatamento varia.

6.1.3. RESULTADOS DA ANÁLISE: DETER X PRODES

A área analisada foi de 5.108 km^2 relativos ao total de 2.377 polígonos de Alertas obtidos durante o período de estudo. Desse total, foram eliminados os polígonos de Alerta que estavam totalmente ou parcialmente cobertos por nuvens do PRODES 2007, restando 2.153 polígonos que somaram 4.728 km^2.

A análise por maioria gerou os resultados apresentados na Tabela 6.2. Aproximadamente 64% da área dos Alertas foram contabilizados como corte raso, 4% como máscara e 32% como floresta e floresta degradada (Diferença). Esse resultado mostra que grande parte dos Alertas detectados representa o desmatamento por corte raso, sendo o desmatamento por degradação florestal progressiva detectado em menor proporção.

Tabela 6.2 – Análise considerando a maioria.

	Nº Polígonos	Área (km^2)	%	
Máscara 2006	181	204	4	(A)
Incremento (*)	1329	3030	64	(B)
Diferença (**)	643	1494	32	(C+D)
Total	2153	4728	100	

OBS: A última coluna refere-se ao tipo de intersecção (ver figura 6.3). (*) Incremento = Incremento 2006 + Incremento 2007. (**) Diferença = Floresta Degradada (C) + Floresta (D).

Na análise que considera os Alertas que interceptam (tocam) os Incrementos, do total de 2.153 polígonos, 1.404 (65%) interceptaram Incremento (2006 ou 2007), 1.969 (92%) interceptaram corte raso (considerado como a soma das classes máscara 2006, Incremento 2006 e Incremento 2007) e apenas 41 (1,9%) Alertas não interceptaram corte raso. Essa alta proporção de Alertas que interceptam polígonos de corte raso reforça os resultados obtidos com a análise por maioria, sendo uma

indicação de que o Alerta está mais fortemente relacionado com a detecção de desmatamentos por corte raso. Apesar disso, é importante considerar que as florestas degradadas quase sempre ocorrem próximas à corte raso, o que justifica que mesmo detectando corte raso, o Alerta também pode tocar floresta degradada.

Com relação à análise por faixas de tamanhos, a Tabela 6.3 mostra que a área de Alerta confirmada pelo PRODES apresenta um índice de confirmação que varia em torno de 61% a 72%. O menor índice de confirmação (61%) ocorreu na última faixa, que conta com poucos (43), porém, grandes polígonos de Alerta (maior que 1.000 ha), geralmente associados a grandes áreas de floresta degradada. O índice geral de confirmação foi estimado em aproximadamente 69%, considerando todas as faixas analisadas. Os resultados indicam que o índice de confirmação não é influenciado pelo tamanho do polígono de Alerta do DETER, ou seja, polígonos de tamanhos pequenos (maior que 25 ha) têm praticamente as mesmas chances do que as dos grandes de terem suas áreas confirmadas pelo PRODES.

Tabela 6.3 – Índice de confirmação por faixas de tamanho de Alerta

Faixa (km^2)		Nº de polígonos	Área Alerta	%*	Área Corte Raso	%**
0,25	0,5	249	99	2	70	71
0,5	1	510	396	8	271	69
1	2	718	1047	22	735	70
2	5	506	1502	32	1075	72
5	10	127	861	18	585	68
>10		43	823	17	498	61
Total			4728		3234	68

OBS: * % relativa à área total de Alerta; ** % de confirmação de corte raso (máscara + Incremento)

Os resultados das análises do cruzamento do DETER com o PRODES levam às seguintes conclusões:

1) O índice de confirmação dos Alertas em relação aos Incrementos foi de 64%. Essa proporção aumenta para 88% quando a abordagem por polígonos é utilizada. Esses resultados indicam que o DETER é eficiente para informar a ocorrência e localização do desmatamento por corte raso;
2) 32% dos Alertas corresponderam a Floresta Degradada ou Floresta não alterada, não sendo possível distinguir falsos positivos (Alerta em áreas de Floresta) de Floresta Degradada;
3) O índice de confirmação do DETER pelo PRODES não varia em função do tamanho dos polígonos do Alerta e foi estimado em 68%.

6.1.4. PRODES X DETER

O cruzamento entre os dados do PRODES com Alerta do DETER pode ser ilustrado pelo esquema da Figura 6.4, onde o círculo da direita, em destaque, representa o total dos Incrementos do PRODES e suas possíveis intersecções com os dados de Alerta. Desse cruzamento foram obtidos os seguintes resultados:

1) A proporção da área de Incremento (Corte raso) que é detectado pelo Alerta (B);
2) Proporção da área de Incremento (Corte Raso) não detectada pelo Alerta do DETER (E), chamado falso negativo.

As análises da intersecção entre polígonos do PRODES e do DETER foram feitas com os polígonos de Incremento do PRODES ordenados em função do tamanho. Com este ordenamento buscou-se encontrar uma relação entre o tamanho dos polígonos de Incremento e suas chances de serem detectados pelo DETER. Os resultados das análises por maioria são apresentados na seção adiante.

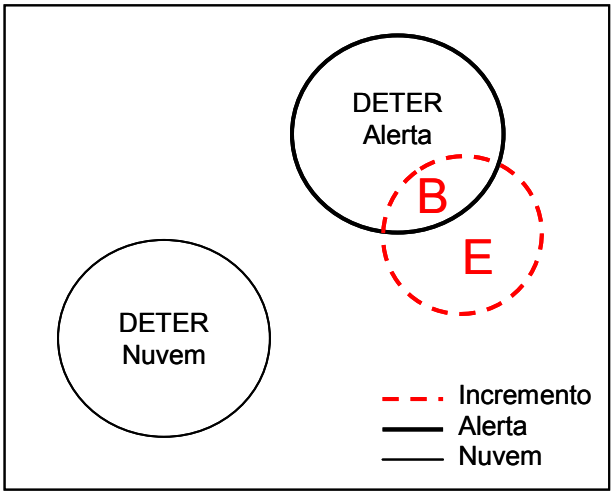


Figura 6.4 – Intersecções consideradas na análise: (B) Incremento 2007 e Alerta (2006/2007); (E) Incremento 2007 e áreas não mapeadas como Alerta.

Os Incrementos que interceptaram nuvem do DETER foram integralmente excluídos da análise.

6.1.5. RESULTADOS DA ANÁLISE: PRODES X DETER

Os dados de Incremento do PRODES 2007 totalizaram 58.520 polígonos representando uma área de 12.097 km^2. Ao eliminarmos os polígonos que interceptaram a área de nuvens do DETER, o número de polígonos foi reduzido para 49.995 polígonos, somando 10.780 km^2. Desse total, utilizando-se análise por maioria, foram detectados 2.074 km^2 (19%) de Incrementos pelo Alerta, como exemplificado pela região (B) da Figura 6.4. Os 8.706 km^2 (81%) restantes correspondem à região (E) da Figura 6.4, e não fazem intersecção com o Alerta. Isso foi devido a dois fatores: 1) ao fato de que o PRODES não mapeia Floresta Degradada e; 2) ao fato de que 43% da área total de Incrementos do PRODES, do conjunto de polígonos utilizados neste estudo, tinham área inferior a 25 ha, área mínima mapeada pelo DETER.

A proporção de Incrementos com área maior do que 25 ha varia a cada ano, como pode ser observado na Figura 6.5, de acordo com dados recentes do PRODES de 2002 a 2007. De acordo com o gráfico

apresentado, observa-se uma tendência nos últimos anos de aumento na contribuição dos polígonos de tamanho menor do que 25 ha, no desmatamento total, passando de 18% (2002) para 38% (2007). Os polígonos acima de 200 ha (0,2 km^2) apresentaram tendência contrária, nos anos analisados. Assim, não é possível estabelecer uma relação precisa entre a área dos Alertas do DETER e dos Incrementos do PRODES para estimar e/ou projetar área total desmatada.

Há uma pequena diferença nas proporções entre os dados de Incremento 2007 apresentados na Figura 6.5 com os dados de Incremento 2007 utilizados neste estudo e apresentados na Figura 6.6 (a). Essa diferença se deu devido à exclusão dos polígonos de Incremento sob nuvens nos levantamentos do DETER.

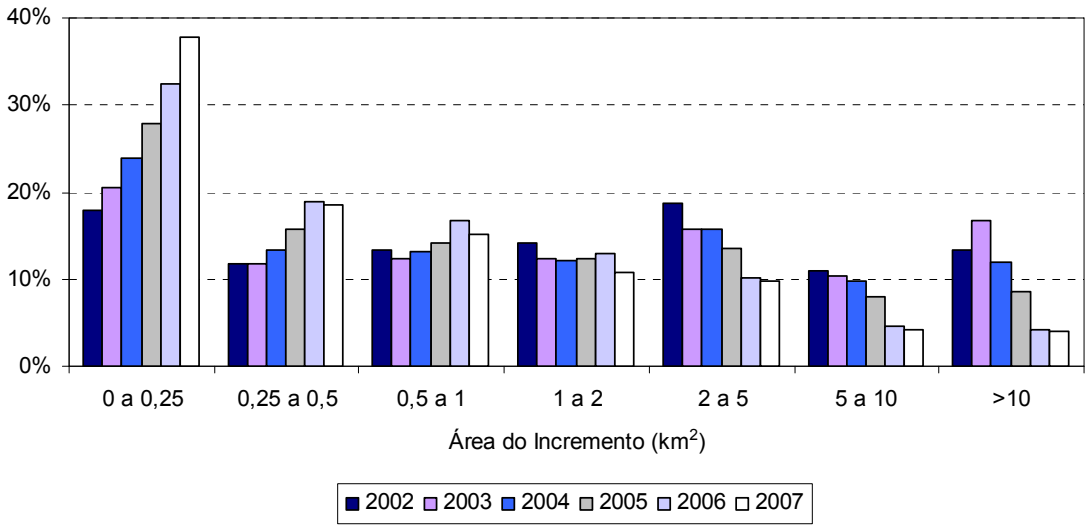


Figura 6.5 – Proporção de área dos Incrementos do PRODES em relação ao desmatamento total, por faixas de tamanho, para o período de 2002 a 2007. Fonte: INPE. 2008.

No período de tempo analisado, o DETER detectou 3% da área dos polígonos de Incremento do PRODES menores que 25 ha e 8% da área dos Incrementos com tamanho entre 25 e 50 ha (Figura 6.6 (a)). O gráfico da Figura 6.6(b) mostra que quanto maior o tamanho dos

polígonos de desmatamento do PRODES, maior é a intersecção de áreas com o Alerta e maior é o índice de confirmação dos Alertas. Quando apenas os polígonos maiores do que 300 ha são considerados, o índice de confirmação passa a ser de aproximadamente 73%. Esse índice aumenta ligeiramente quando se analisam áreas maiores, entre 500 ha e 1.000 ha. Entretanto, os polígonos de Incremento maiores do que 300 ha corresponderam a cerca de 10% da área total desmatada apenas, sendo pouco representativos em termos de área, segundo Figura 6.6 (b).

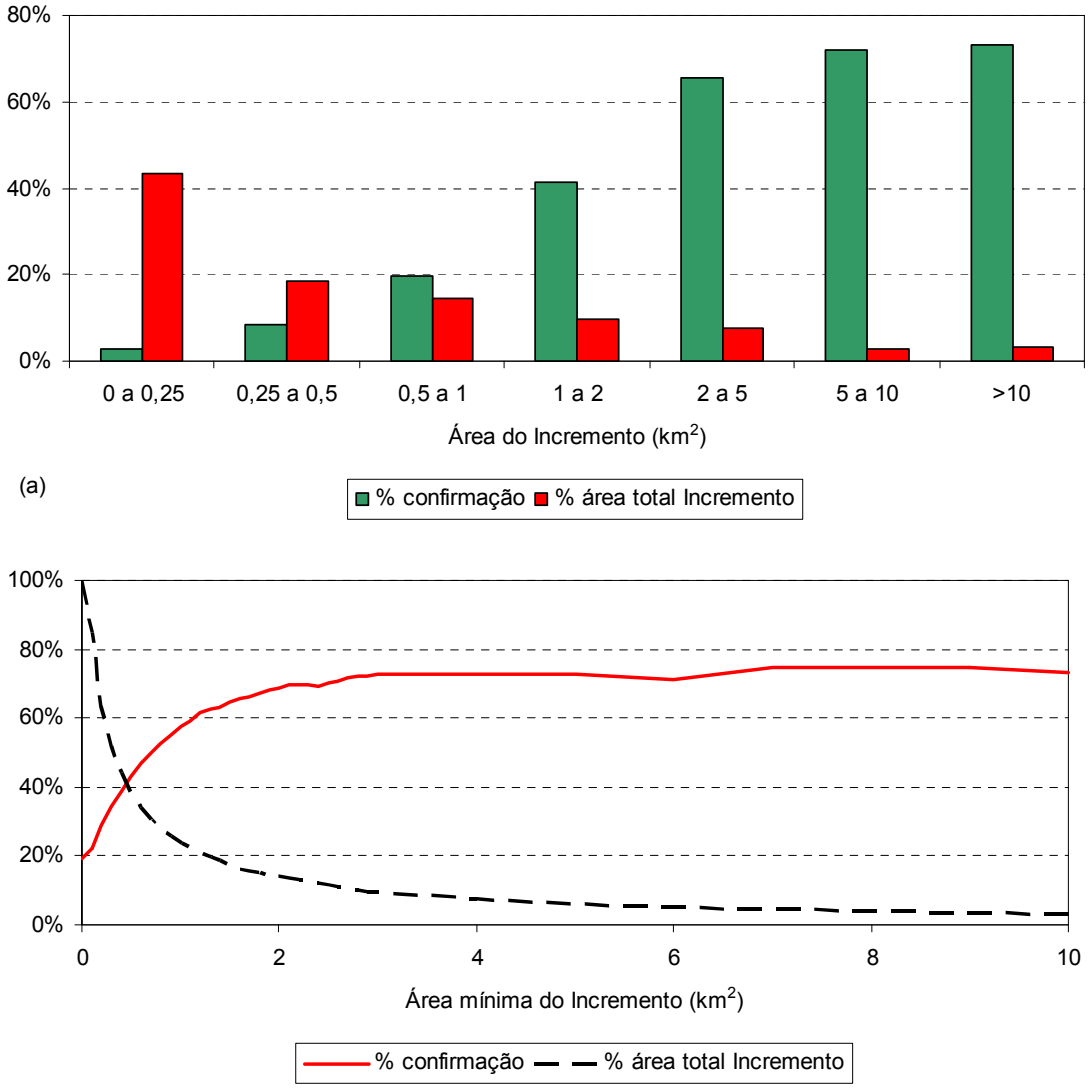


Figura 6.6 – Os gráficos (a) e (b) mostram a relação entre o tamanho dos polígonos do PRODES e a proporção de área indicada pelos Alertas. No gráfico (a) é considerada a área dos Incrementos dominantes por classe de tamanho do Alerta e em (b) é considerada a área do Incremento dominante.

As análises por intersecção não são apresentadas, mas os índices de confirmação são semelhantes aos obtidos com a abordagem utilizando maioria.

A partir das análises realizadas e dos gráficos da Figura 6.6 podemos concluir:

1) Há muitos Incrementos pequenos (menores que 25 ha) no PRODES que raramente são detectados pelos Alertas. Estes incrementos representaram 43% da área total desmatada, detectada pelo PRODES;
2) À medida que o Incremento aumenta de tamanho, aumenta a chance de ele ser apontado como Alerta do DETER;
3) Há uma estabilização por volta de 73% da área de Incremento identificada por Alertas quando a área dos Incrementos é superior a 300 ha. Porém, há uma redução da representatividade desses polígonos em termos da área total;

6.2. AVALIAÇÃO DO DESMATAMENTO POR DEGRADAÇÃO FLORESTAL PROGRESSIVA

A análise do desmatamento por degradação florestal progressiva foi realizada a partir de estudos de caso. Quatro Cenas de 185 X 185 km foram selecionadas utilizando a grade de órbita/ponto do sensor TM/Landsat.

Como foi visto nas análises dos Alertas com Incremento do PRODES, não foi possível estimar o quanto dos Alertas correspondeu aos desmatamentos por degradação florestal, devido à inexistência desse dado para a extensão da Amazônia.

Como o PRODES não faz o mapeamento do desmatamento por degradação, foi preciso incluir uma etapa de geração de dados de floresta degradada para as áreas de estudo. O mapeamento foi realizado empregando-se técnicas de processamento de imagens aliadas à foto-interpretação, seguindo a metodologia estabelecida pelo sistema DETEX -

Sistema de Monitoramento de Exploração Seletiva de Madeira na Amazônia, que começou a operar recentemente. Quatro etapas foram seguidas e descritas nas seções que seguem: 1) Seleção de Cenas; 2) Mapeamento de Floresta Degradada; 3) Cruzamento dos Alertas com Floresta Degradada; e 4) Avaliação dos Alertas com Floresta Degradada.

O objetivo dessas análises foi avaliar como e quanto este tipo de desmatamento é detectado pelo DETER e a partir de quais intensidades e tamanhos os polígonos de desmatamento são detectados.

6.2.1. SELEÇÃO DE CENAS PARA ESTUDOS DE CASO

A seleção das Cenas priorizou a escolha de imagens que atendessem aos seguintes requisitos:

- Apresentar indícios de degradação florestal com variadas intensidades;
- Fazer parte das Cenas utilizadas no PRODES de 2007, possibilitando discriminar áreas de corte raso das áreas de degradação florestal, para uma avaliação mais completa;
- Apresentar diferentes padrões, contextos e dinâmicas de desmatamento;
- Apresentar pouca ou nenhuma cobertura de nuvem.

Além desses critérios, a escolha das Cenas baseou-se no fato de existirem dados de campo recentes que confirmam a ocorrência de processos de degradação florestal. Como resultado, as seguintes Cenas do TM/Landsat (órbita/ponto), foram selecionadas:

- Cena 226/68 – Localizada no Estado do Mato Grosso, abrange parte dos municípios de Marcelândia, Sinop, União do Sul, Santa Carmem, Cláudia e Itaúba. É uma região de ocupação consolidada, onde é possível constatar com dados de campo de fevereiro de 2008 e nas imagens de 2007 intensa atividade de exploração madeireira e presença de numerosos pátios e ramais madeireiros;

- Cena 230/67 – Localiza-se no norte do Mato Grosso, próximo da fronteira com Rondônia, abrangendo parte dos municípios de Colniza, Aripuanã e Nova Aripuanã. As imagens mostram indícios de exploração madeireira em algumas áreas, com intensidades moderada e leve/muito leve.
- Cena 227/65 – Localiza-se no Estado do Pará na BR-163 e abrange parte dos municípios de Novo Progresso e Altamira. Engloba áreas de ocupação mais recente. Registros de campo e a existência de FLONAS evidenciam o desenvolvimento de atividades madeireiras na região.
- Cena 223/62 – Localiza-se no Estado do Pará e abrange parte dos municípios de Tailândia, Paragominas, Tomé-açu, e Ipixuna do Norte. A região apresenta histórico de intensa e contínua exploração de madeira, muitas vezes ilegal e sem plano de manejo.

6.2.2. MAPEAMENTO DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL

As composições coloridas das imagens TM sem processamento não evidenciam níveis de degradação florestal. Para a obtenção de mapas de referência com áreas de florestas degradadas, que permitissem avaliar o processo de degradação florestal progressiva em relação aos Alertas do DETER, foi preciso aplicar técnicas de processamento digital de imagens. Essas técnicas evidenciam elementos como pátios, estradas e clareiras, que permitem identificar e caracterizar o processo de degradação florestal. A metodologia utilizada para o mapeamento é a que foi estabelecida pelo sistema DETEX - Sistema de Monitoramento de Exploração Seletiva de Madeira - do INPE.

As imagens foram georreferenciadas tendo como referência as imagens ortorretificadas divulgadas pela NASA (https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid). Na seqüência, aplicou-se o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), descrito por Shimabukuro e Smith (1991). Essa técnica visa estimar a proporção das componentes solo,

vegetação e sombra para cada *pixel*, a partir da resposta espectral nas bandas 3, 4 e 5 do TM, gerando as imagens-fração solo, vegetação e sombra. É um modelo que estima a proporção dos componentes existentes dentro de cada *pixel*. Após a aplicação do modelo de mistura, são geradas três bandas sintéticas, representando as proporções de vegetação, de solo e de sombra existentes em cada *pixel* da imagem.

Em seguida, uma operação aritmética entre as frações solo e vegetação foi aplicada para realçar as áreas com presença de solo devido à abertura do dossel provocada pelo corte de árvores e existência de clareiras e pátios na floresta, para estocagem de toras. Essa operação de realce baseia-se na seguinte equação:

$$Img = Ganho * (A/B) + offset,$$

onde,

Img = Imagem razão resultante;

A = Fração solo;

B = Fração vegetação;

Ganho e offset são constantes com valores 90 e 50, respectivamente.

A Figura 6.7 mostra o exemplo de uma das imagens deste estudo (Cena 226/68) com degradação florestal antes (a) e após o processamento (b). Nas imagens processadas são evidenciados pátios, clareiras e ramais madeireiros que não são observados com nitidez nas imagens sem o processamento. Nas áreas onde o solo predomina, os *pixel*s ficam saturados, com coloração branca.

Depois de realçadas, as imagens foram utilizadas para o mapeamento de floresta degradada, com uso de técnicas de foto-interpretação. Elementos como tonalidade, textura e contexto foram utilizados para diferenciar áreas de floresta degradada das áreas de floresta não alterada. Pátios, estradas e clareiras são indicadores de degradação florestal. Quanto maior a freqüência e densidade destes elementos nas áreas mapeadas, mais intenso é o processo de degradação.

Quatro classes de degradação florestal foram definidas e mapeadas, de acordo com o nível de degradação: Alta, Moderada, Leve, Muito Leve. Exemplos das três primeiras classes são apresentados na Figura 6.8.

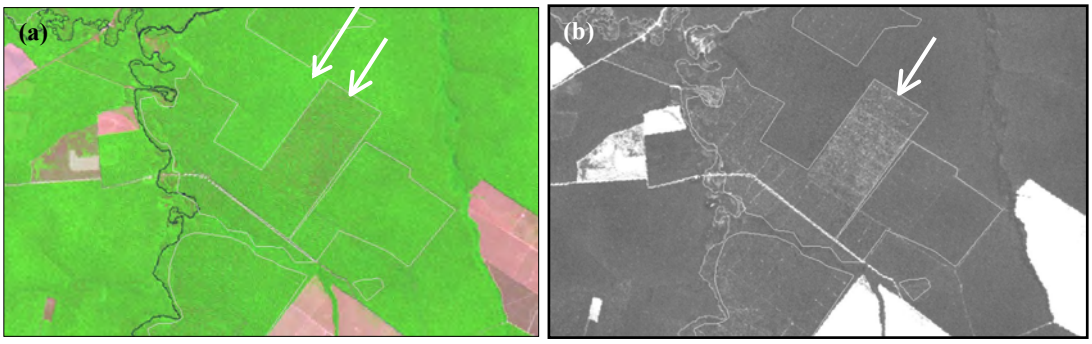


Figura 6.7 – Imagem com desmatamento por Degradação Florestal Progressiva (Cena 226/68, TM/Landsat, de agosto de 2007). (a) Composição colorida com as bandas 3 (B), 4 (G) e 5 (R) do TM/Landsat, sem processamento. (b) Imagem processada e realçada, evidenciando áreas de degradação florestal.

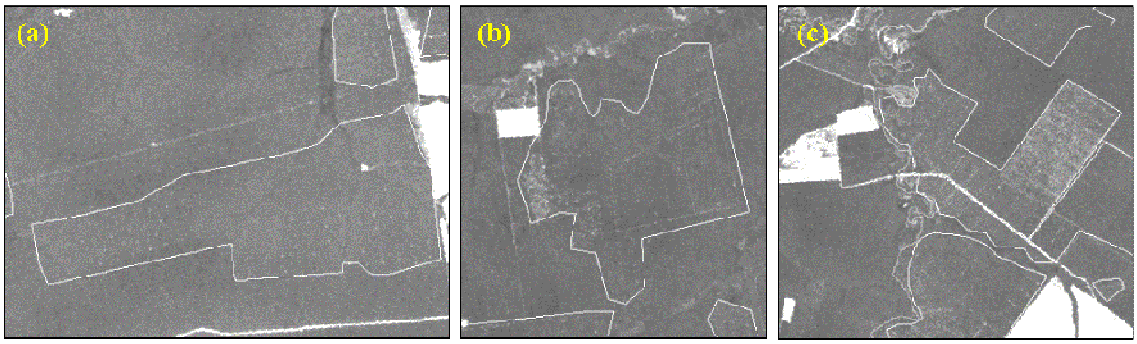


Figura 6.8 – Polígonos representando classes de intensidade da Degradação Florestal Progressiva: a) Leve; b) Moderada e; c) Alta.

A Figura 6.8(a) apresenta degradação Leve, provavelmente em estágios iniciais. Nessa imagem pode-se observar a presença de inúmeros pátios alinhados, característicos das atividades madeireiras. Na Figura 6.8(b), observa-se a presença de ramais que cortam toda a área explorada, além dos pátios. Na Figura 6.8(c), é possível observar pátios e ramais que se fundem em clareiras maiores, apresentando tonalidades mais claras do que as de floresta, indicando uma Alta intensidade de degradação florestal.

6.2.3. CRUZAMENTO DOS ALERTAS COM FLORESTA DEGRADADA

A avaliação dos dados de Alerta com floresta degradada foi realizada a partir do cruzamento ilustrado na Figura 6.9. Observa-se que além do cruzamento com dados de degradação, os Alertas foram cruzados com os dados do PRODES, de forma a se obter uma avaliação e caracterização mais completa dos dados do Alerta quanto aos dois processos de desmatamento. Nesta análise não foram eliminadas as áreas de nuvens, que representaram pequenas áreas das Cenas escolhidas, menor do que 1%, em média. Também não foram eliminados os Alertas reincidentes de 2006 e 2007, que representaram uma proporção muito pequena nas quatro Cenas.

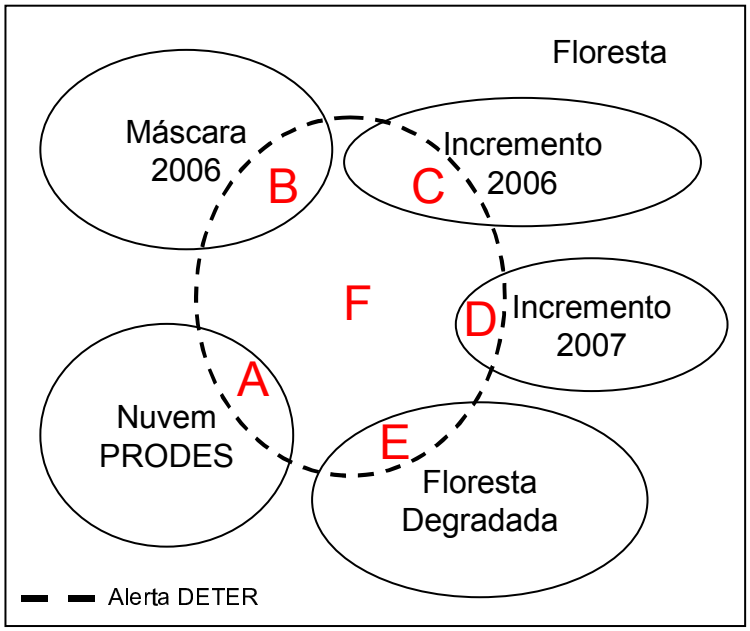


Figura 6.9 – Intersecções consideradas na análise: (A) Alerta e Nuvem PRODES 2007; (B) Alerta e Máscara 2006; (C) Alerta e Incremento 2006; (D) Alerta e Incremento 2007; (E) Alerta e Floresta Degradada; (F) Alerta e Floresta.

O cruzamento foi feito utilizando as abordagens por área, maioria e polígonos, como na avaliação do desmatamento por corte raso. As discussões basearam-se nos resultados das análises por maioria, pois

como já foi mencionado nas seções anteriores, esta abordagem minimiza possíveis efeitos das diferenças entre os polígonos de floresta degradada e do Alerta causados pela diferença de resolução espacial das imagens Landsat e MODIS. Na operação de maioria, a classe que tinha maior área dentro do polígono de Alerta teve sua área contabilizada.

Do cruzamento dos Alertas com floresta degradada, obtiveram-se os seguintes resultados, para cada Cena:

1. A proporção de área/polígono de Alerta em áreas com nuvem nas Cenas (A);
2. A proporção de área/polígono de Alerta em áreas da máscara 2006 representada pela região (B);
3. A proporção de área/polígono de Alerta que corresponde ao desmatamento por corte raso, confirmada pelo Incremento do PRODES 2006, representada pela região (C);
4. A proporção de área/polígono de Alerta que corresponde ao desmatamento por corte raso, confirmada pelo Incremento do PRODES 2007, representada pela região (D);
5. A proporção de área/polígono de Alerta que corresponde à floresta degradada (E);
6. A proporção de área/polígono de Alerta que corresponde à floresta (F), falsos positivos.

6.2.4. AVALIAÇÃO DOS ALERTAS COM FLORESTA DEGRADADA

Nesta seção são apresentados os principais resultados obtidos da análise dos Alertas com floresta degradada. A seção foi dividida em duas partes. Na subseção 6.2.4.1, são apresentados os resultados obtidos com o mapeamento de áreas degradadas. Na seção 6.2.4.2, os resultados dos cruzamentos entre DETER, floresta degradada e PRODES são discutidos e as principais conclusões são apresentadas.

6.2.4.1. RESULTADOS DO MAPEAMENTO DA FLORESTA DEGRADADA

Os resultados do mapeamento de floresta degradada das quatro Cenas são apresentados na Figura 6.10 e na Tabela 6.4.

Os Mapas de floresta degradada apresentados na Figura 6.10 incorporaram os dados do PRODES de 2007, como máscara 2006, Incrementos 2006 e 2007 e, nuvem de 2007. Esse dado foi utilizado para realizar o cruzamento com os dados de Alerta. Uma síntese dos resultados das classes mapeadas no PRODES, DETER e nas imagens com floresta degradada, para as quatro Cenas, é apresentada na Tabela 6.4.

A Tabela 6.4 mostra que comparada com as áreas de Incremento de 2006 e 2007, a área de floresta degradada detectada é bastante elevada. Duas Cenas tiveram uma contribuição maior somando cerca de 91% (Tabela 6.5) do total encontrado: 1) a Cena 226/68 no Estado do Mato Grosso, que envolve parte dos municípios de Sinop e Marcelândia, com 55% e; 2) a Cena 223/62 no Estado do Pará, que envolve parte dos municípios de Paragominas e Tailândia, com cerca de 36% do total mapeado.

A Tabela 6.5 mostra que grande parte da degradação, cerca de 48% (2.806 km^2), foi classificada como degradação de intensidade Moderada e somente 2% (143 km^2) está na classe Muito Leve. As classes de degradação com intensidade Muito Leve e Leve podem estar subestimadas, devido à resolução espacial do sensor TM (30m). Pequenas clareiras, explorações esparsas e mais antigas com vegetação secundária, podem não ter sido detectadas. A classe de degradação florestal de Intensidade Alta também pode estar subestimada, pois o PRODES detecta o final do processo e incorpora algumas destas áreas como Incremento.

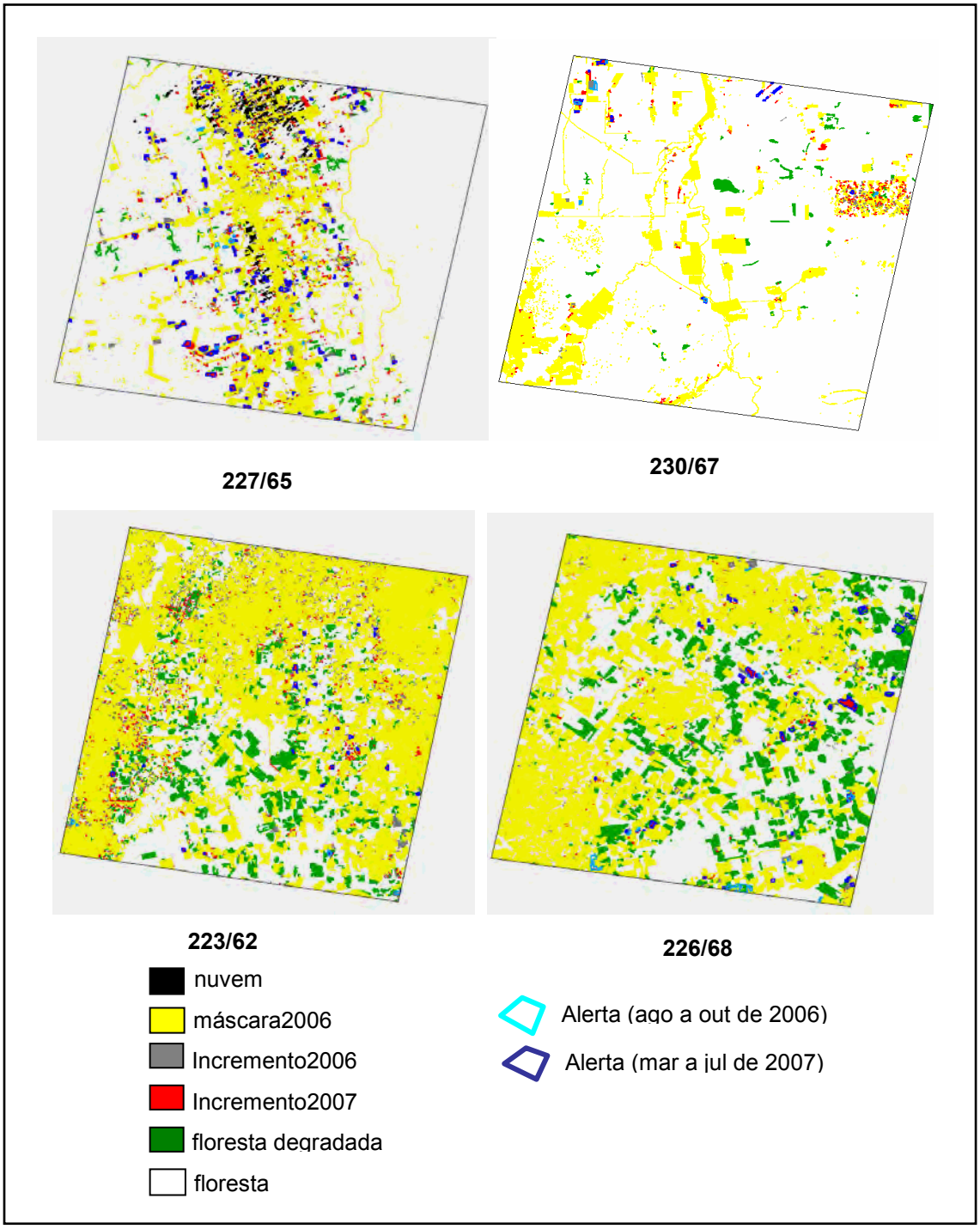


Figura 6.10 – Mapas de Floresta Degradada das Cenas selecionadas. Aos mapas foram adicionadas classes de desflorestamento, máscara do PRODES e Alertas do período analisado.

Tabela 6.4 – Resumo das quatro Cenas TM/Landsat contendo medidas de área das classes do DETER, PRODES e de Floresta Degradada.

Classes	Número de polígonos	Área (km²)
Alertas	278	571
PRODES		
Nuvem	899	293
Máscara 2006	39615	28968
Incremento 2006	3518	709
Incremento 2007	2161	825
Degradação Florestal		
Intensa	360	1917
Moderada	806	2805
Leve	480	1026
Muito Leve	88	143

Tabela 6.5 – Área de Floresta Degradada das Cenas (km²) por Classe de Intensidade de Degradação.

	227/65	230/67	223/62	226/68	Total
Alta	29	14	737	1137	1917
Moderada	143	74	1203	1386	2806
Leve	155	86	145	640	1026
Muito Leve	7	32	1	103	143
Total	334	206	2086	3266	5892

6.2.4.2. AVALIAÇÃO DO CRUZAMENTO DE DADOS: DETER, PRODES E FLORESTA DEGRADADA

Os resultados do cruzamento entre os dados do DETER com os mapas de floresta degradada foram gerados para todas as quatro Cenas TM/Landsat. Esses resultados foram reunidos e uma proporção foi calculada de acordo com a área total dos Alertas que interceptam polígonos que representam as classes dominantes do PRODES e de floresta

degradada dentro de cada Alerta. Os resultados são apresentados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Análise considerando a classe dominante da Intersecção entre Alertas e Mapas de Floresta Degradada e PRODES: valores totais baseados em resultados das Cenas 227/65, 230/67, 223/62 e 226/68.

	Número de polígonos	DETER (km²)	%	
Nuvem	1	3	1	(A)
Máscara 2006	18	18	3	(B)
Incremento (*)	209	423	74	(C+D)
Floresta Degradada	35	108	19	(E)
Floresta	15	20	3	(F)
Total	**278**	**571**	**100**	

OBS: A última coluna refere-se ao tipo de intersecção (ver figura 6.4). (*) Incremento = Incremento 2006 + Incremento 2007

Uma proporção de 74% (C + D) da área total dos polígonos de Alerta faz intersecção com Incremento, ou seja, são desmatamentos por corte raso confirmados pelo PRODES. Cerca de 19% da área dos polígonos de Alerta corresponderam à floresta degradada, enquanto 3% da área de intersecção corresponderam à floresta (falsos positivos).

As Tabelas 6.7 (a), (b), (c) e (d) mostram os resultados da abordagem por maioria para cada uma das Cenas analisadas. Há uma variação grande entre as Cenas com relação à proporção de Alertas em áreas com floresta degradada e corte raso. Com relação a floresta degradada a proporção variou de 0 a 45%. Essa variação tem relação com a quantidade de áreas de floresta degradada presente em cada Cena, de 206 a 3.266 km^2, como pode ser observado na Tabela 6.5.

Com exceção da Cena 226/68, que envolve o município de Sinop (MT), a proporção de Alertas que correspondeu ao Incremento (corte raso) variou de 84% a 98%. Esses valores são consistentes com os resultados

das análises realizadas com os dados na escala mais ampla, no sentido de que a maior parte da área dos Alertas corresponde a desmatamento por corte raso. A Cena 226/68 corresponde a uma parte da região vistoriada com trabalho de campo em fevereiro de 2008 e de acordo com as descrições feitas na seção 5, a Cena apresenta uma extensa área de floresta degradada (intensidade Alta) em estágio avançado.

De acordo com as análises das Cenas apresentadas na Tabela 6.8, o nível de degradação florestal mais intensa foi o que o Alerta identificou mais facilmente. É o caso das Cenas nas quais a classe de floresta degradada apresentou área significativa, como as Cenas 226/68, 227/65 e 223/62. A análise conjunta dos resultados obtidos com as quatro Cenas mostra que 6% da área de floresta degradada foram detectadas pelos Alertas, sendo que o nível de intensidade de degradação Alta o de maior detecção (5%).

Na análise por polígonos, é preciso considerar que os Alertas que interceptaram floresta degradada podem ter interceptado diferentes classes de degradação e Incremento ao mesmo tempo. De qualquer forma os resultados se confirmam mostrando que dos 278 Alertas compreendidos nas quatro Cenas TM/Landsat, 249 (89,6%) Alertas interceptaram algum polígono de Incremento (2006 e 2007). Desse total, 82 (29,5%) interceptaram alguma área de floresta degradada, se dividindo da seguinte forma, com relação à intensidade de degradação:

1. 48 (17,3%) Alertas interceptaram Degradação de intensidade Alta;
2. 23 (8,3%) Alertas interceptaram Degradação de intensidade Moderada;
3. 10 (3,6%) Alertas interceptaram Degradação de intensidade Leve;
4. 1 (0,04%) Alertas interceptaram Degradação de intensidade Muito Leve.

Tabela 6.7 – Análise considerando área de intersecção por maioria entre Alertas e Mapas de Floresta Degradada para as Cenas 227/65, 230/67, 223/62 e 226/68.

(a) Cena 227/65	Número de Polígonos	Área de Alerta DETER (km^2)	% de Área
Nuvem	1	3,06	1,1%
Máscara 2006	11	11,75	4,2%
Incremento	135	240,97	85,7%
Floresta Degradada	11	14,05	5,0%
Floresta	8	11,50	4,1%
Total	166	281,32	

(b) Cena 230/67	Número de Polígonos	Área de Alerta DETER (km^2)	% de Área
Nuvem	0	0,00	0,0%
Máscara 2006	1	0,36	0,9%
Incremento	20	40,71	97,8%
Floresta Degradada	0	0,00	0,0%
Floresta	1	0,55	1,3%
Total	22	41,62	

(c) Cena 223/62	Número de Polígonos	Área de Alerta DETER (km^2)	% de Área
Nuvem	0	0,00	0,0%
Máscara 2006	0	0,00	0,0%
Incremento	22	45,64	83,7%
Floresta Degradada	6	6,52	12,0%
Floresta	1	2,37	4,3%
Total	29	54,54	

(d) Cena 226/68	Número de Polígonos	Área de Alerta Deter (km^2)	% de Área
Nuvem	0	0,00	0,0%
Máscara 2006	6	5,62	2,9%
Incremento	32	95,38	49,2%
Floresta Degradada	18	87,77	45,3%
Floresta	5	5,18	2,7%
Total	61	193,95	

Tabela 6.8 – Análise da Intensidade de degradação florestal detectada para as Cenas 227/65, 230/67, 223/62 e 226/68.

(a) Cena 227/65	Nº Polígonos Floresta Degr.	Área de Degr. Florestal (km²)	Nº Polígonos Alerta	Área Detect. Alerta (km²)	% Detectada
Muito Leve	7	7,37	0	0,00	0,0%
Leve	95	155,45	1	2,37	1,5%
Moderada	54	142,97	4	4,12	2,9%
Alta	26	29,22	6	7,55	25,8%

(b) Cena 230/67	Nº Polígonos Floresta Degr.	Área de Degr. Florestal (km²)	Nº Polígonos Alerta	Área Detect. Alerta (km²)	% Detectada
Muito Leve	13	32,05	0	0,00	0,0%
Leve	35	85,61	0	0,00	0,0%
Moderada	18	73,63	0	0,00	0,0%
Alta	28	13,85	0	0,00	0,0%

(c) Cena 223/62	Nº Polígonos Floresta Degr.	Área de Degr. Florestal (km²)	Nº Polígonos Alerta	Área Detect. Alerta (km²)	% Detectada
Muito Leve	2	1,43	0	0,00	0,0%
Leve	131	144,92	0	0,00	0,0%
Moderada	503	1203,20	3	2,80	0,2%
Alta	140	737,00	3	3,73	0,5%

(d) Cena 226/68	Nº Polígonos Floresta Degr.	Área de Degr. Florestal (km²)	Nº Polígonos Alerta	Área Detect. Alerta (km²)	% Detectada
Muito Leve	66	103,16	0	0,00	0,0%
Leve	219	640,17	0	0,00	0,0%
Moderada	231	1385,66	2	0,81	0,1%
Alta	166	1136,90	16	86,96	7,6%

Os principais resultados obtidos a partir destas análises são resumidos a seguir:

1) A maior parte da área dos Alertas nas Cenas analisadas correspondeu à corte raso. Na análise das quatro Cenas, o índice de confirmação foi de 74%, estimado a partir da área de intersecção dos Alertas de todas as Cenas com Incremento do PRODES;
2) Somente 22% da área dos Alertas não foram confirmadas como corte raso, sendo que 19% foram detectadas como floresta degradada e apenas 3% como Floresta. Esse resultado indica que a proporção de falsos positivos é muito pequena;
3) Quando as cenas são analisadas em conjunto verificou-se que apenas 6% da área de floresta degradada foram detectadas pelos Alertas, sendo que 5% corresponderam à intensidade de degradação Alta. Estes resultados mostram que o DETER subestima os desmatamentos decorrentes desse processo, principalmente os que correspondem aos estágios iniciais. Esse resultado é consistente com os resultados obtidos pela análise dos dados de campo apresentados na seção 5.

7. CONCLUSÃO

Este documento apresenta uma avaliação detalhada do monitoramento da cobertura florestal na Amazônia Brasileira por satélites, com ênfase no sistema DETER. O processo de desmatamento na região amazônica é inicialmente descrito não apenas como a conversão de floresta em coberturas não florestais, mas como um processo contínuo de degradação. Ao longo desse processo, o sistema DETER é

capaz de detectar a alteração da cobertura florestal, mas com limitações inerentes às características dos sensores utilizados para a coleta de dados e à sua metodologia, também descrita neste documento.

Da avaliação do mapeamento do DETER, tendo como referência os dados de corte raso do PRODES e o mapeamento de florestas degradadas de quatro Cenas TM/Landsat, pode-se concluir que:

- O DETER é eficiente para indicar ocorrência de desmatamento por corte raso. A proporção de área dos polígonos de Alerta do DETER com desmatamento do tipo corte raso, confirmada pelo PRODES, correspondeu a 64% da área total dos Alertas.

- O processo de degradação florestal tem sido de uma maneira geral subestimado. Os dados de área de Alerta se sobrepõem em aproximadamente 32% às áreas de florestas não perturbadas e florestas degradadas. Nas análises das Cenas, foram constatados que 74% das áreas dos Alertas corresponderam à corte raso (Incremento), 19% à floresta degradada e apenas 3% à Floresta. Esse resultado indica que a proporção de falsos positivos é pequena. Em anos com seca prolongada é possível que o DETER identifique maior proporção de florestas degradadas.

- No PRODES, muitos polígonos pequenos são mapeados. Muitos deles, o sistema DETER raramente detecta. Quanto maior o número de desmatamentos e/ou áreas de floresta degradada de tamanho pequeno, maior a incerteza de que ele será detectado pelo DETER. No período de estudo, por exemplo, 43% do desmatamento total corresponderam aos Incrementos que tinham área menor que 25 ha.

- Aproximadamente 73% das áreas dos polígonos maiores que 300 ha, do PRODES, são detectadas pelo DETER. Porém, a área total desses polígonos é pouco significativa, correspondendo a 10% da área desmatamento total no período de estudo.

- Os dados de Alerta do DETER subestimam o processo de degradação florestal progressiva em curso na Amazônia Brasileira. Estágios iniciais e intermediários de degradação não são detectados com a mesma eficiência com que se detectam os estágios finais de degradação. Além disso, o sistema DETER registrou poucas áreas de degradação florestal. Dentre estas, há algumas áreas de degradação Leve/Muito Leve. A maioria dos Alertas refere-se à classe de degradação de intensidade Alta. Os dados de campo sustentam essa afirmação.

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da maioria dos polígonos de Alerta DETER ser referente a desmatamento do tipo corte raso, existem diferenças na geometria entre os dados PRODES e DETER, decorrentes das diferenças de resolução espacial desses sistemas. As análises de áreas entre dados obtidos com resoluções espaciais tão discrepantes, como as do MODIS e Landsat, não são adequadas. Análises por maioria são mais adequadas, uma vez que geram resultados mais próximos da realidade.

Há evidências de que a degradação florestal é um processo que tem se ampliado nos últimos anos. O aumento de desmatamento intensifica a presença e o efeito de bordas que tornam as áreas de floresta remanescentes suscetíveis ao fogo. A descrição do processo é recorrente na literatura e é evidenciada nas classificações das imagens seguindo a metodologia do sistema DETEX - Sistema de Monitoramento de Exploração Seletiva de Madeira e o que tem sido observado em campo.

É preciso conhecer melhor a extensão do processo de degradação florestal. O DETER não é o sistema mais adequado para mapear este processo, pois subestima e detecta, na maioria dos casos, processos já nos estágios finais de degradação, quando a floresta tem poucas condições de recuperação de sua funcionalidade original. As avaliações apresentadas e os dados de campo foram consistentes e mostram esta subestimação das áreas de floresta degradada.

Além de proporcionar commodities de madeira e agricultura, as áreas de florestas tropicais também seqüestram carbono, regulam o ciclo hidrológico, modulam padrões regionais do clima e minimizam a disseminação de doenças infecciosas. A degradação de florestas tropicais vai além da remoção de extensas áreas de corte de árvores: o desmatamento seletivo, danos colaterais à floresta e a substituição das matrizes florestais estão generalizados nos trópicos. A sustentabilidade da floresta amazônica e os bens e serviços que a floresta produz dependem de como estes recursos são gerenciados, e como as relações humanas afetarão esse ecossistema, ao priorizar escalas e rendimentos.

Para que o processo de degradação florestal possa ser identificado e quantificado para orientar ações de proteção e recuperação são necessários: o desenvolvimento de técnicas específicas para mapeamento de florestas degradadas; o uso de dados de sensoriamento remoto de resolução mais detalhada para mapeamento em escalas maiores, que permitam detectar também áreas pequenas; uma equipe de profissionais qualificados para operacionalizar esse mapeamento, além dos recursos financeiros para materiais e infra-estrutura.

Finalmente, o DETER faz parte de um sistema de monitoramento e fiscalização da cobertura florestal na Amazônia e cumpre o seu papel ao emitir Alertas para que alguma ação seja tomada rapidamente. Para que estes dados sejam usados adequadamente deve-se considerar que:

- O tempo de ocorrência do desmatamento não necessariamente coincide com o tempo de detecção e divulgação de Alerta do DETER, pois a cobertura de nuvens limita a observação e a detecção do desmatamento.

- Todo polígono de desmatamento não mapeado pelo PRODES é considerado desmatamento novo quando detectado no sistema DETER. Alertas referentes a áreas de florestas degradadas continuarão a ser emitidos até que o sistema PRODES venha a mapeá-las como corte raso.

- Quando uma área de desmatamento é mapeada pelo sistema PRODES, esta será incorporada à máscara para a interpretação das imagens no

DETER, e não será objeto de Alerta. Eventualmente a área poderá entrar em processo de regeneração e sofrer novo desmatamento, mas não haverá novo Alerta para esta área.

- As informações, dados e análises deste relatório contribuem para evidenciar o potencial e elucidar as limitações do sistema DETER no monitoramento da cobertura florestal da Amazônia. Não se trata de um sistema que objetiva contabilizar área de desmatamento, mas de um sistema de Alerta para que as regiões de atividade mais intensa possam ser priorizadas quanto às estratégias de fiscalização e planejamento.

8. BIBLIOGRAFIA

Alves, D. S. (2001). O processo de desflorestamento na Amazônia. *Parcerias Estratégicas*, 259-275

Aragao, L., Malhi, Y., Barbier, N., Lima, A., et al. (2008). Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 363*, 1779-1785.

Asner, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira, P. J. C., et al. (2005). Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science, 310*, 480-482.

Barlow, J. & Peres, C. A. (2004). Ecological responses to El Nino-induced surface fires in central Brazilian Amazonia: management implications for flammable tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 359*, 367-380.

Barlow, J. & Peres, C. A. (2006). Effects of single and recurrent wildfires on fruit production and large vertebrate abundance in a central Amazonian forest. *Biodiversity and Conservation, 15*, 985-1012.

Barlow, J. & Peres, C. A. (2008). Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, Published online*.

Brasil (1989). Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989.

Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture Ecosystems & Environment, 104*, 185-228.

Buckeridge, M. S., Mortari, L. C. & Machado, M. R. (2007 (prelo)). Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema? In Rego, G. M., Negrelle, . R. R. B&Morellato, L. P. C. (Eds.), *Fenologia - Ferramenta para conservação e manejo de recursos vegetais arbóreos* (pp. Colombo, PR: Embrapa Florestas.

Camara, G., Valeriano, D. M. & Soares, J. V. (2006). *Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal*. São José dos Campos: INPE.

Cochrane, M. A. (2003). Fire science for rainforests. *Nature, 421*, 913-919.

Cochrane, M. A., Alencar, A., Schulze, M. D., Souza, C. M., et al. (1999). Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science, 284*, 1832-1835.

Colinvaux, P. A., De Oliveira, P. E. & Bush, M. B. (2000). Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: The failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quaternary Science Reviews, 19*, 141-169.

CONABIO (2007). *Resolução CONABIO nº 4, de 25 de abril de 2007*.

Costa, M. H. & Foley, J. A. (1999). Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 104*, 14189-14198.

Costa, M. H. & Foley, J. A. (2000). Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO2 concentrations on the climate of Amazonia. *Journal of Climate, 13*, 18-34.

Cramer, W., Bondeau, A., Schaphoff, S., Lucht, W., et al. (2004). Tropical forests and the global carbon cycle: impacts of atmospheric carbon dioxide, climate change and rate of deforestation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 359*, 331-343.

D'Almeida, C., Vorosmarty, C. J., Hurtt, G. C., Marengo, J. A., et al. (2007). The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. *International Journal of Climatology, 27*, 633-647.

Da Silva, J. M. C., Rylands, A. B. & Da Fonseca, G. A. B. (2005). The fate of the Amazonian areas of endemism. *Conservation Biology, 19*, 689-694.

Da Silva, R. R. & Avissar, R. (2006). The hydrometeorology of a deforested region of the Amazon basin. *Journal of Hydrometeorology, 7*, 1028-1042.

Dirzo, R. & Raven, P. H. (2003). Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources, 28*, 137-167.

Fearnside, P. M. (1996). Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management, 80*, 21-34.

Foley, J. A., Asner, G. P., Costa, M. H., Coe, M. T., et al. (2007). Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment, 5*, 25-32.

Gardner, T. A., Barlow, J., Araujo, I. S., Avila-Pires, T. C., et al. (2008). The cost-effectiveness of biodiversity surveys in tropical forests. *Ecology Letters, 11*, 139-150.

Hirsch, A. I., Little, W. S., Houghton, R. A., Scott, N. A., et al. (2004). The net carbon flux due to deforestation and forest re-growth in the Brazilian Amazon: analysis using a process-based model. *Global Change Biology, 10*, 908-924.

Holdsworth, A. R. & Uhl, C. (1997). Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications, 7*, 713-725.

Houghton, R. A., Skole, D. L., Nobre, C. A., Hackler, J. L., et al. (2000). Annual fluxes or carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature, 403*, 301-304.

INPE (1989). *Programa Amazônia*. São José dos Campos: INPE-MCT.

INPE (1998). *AMAZÔNIA. Desflorestamento 1995-1997*. São José dos Campos: INPE-MCT, IBAMA-MMA.

INPE (1999). *Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite 1997-1998* Available: http://sputnik.dpi.inpe.br:1910/col/dpi.inpe.br/vagner/2000/04.28.17.40/doc/Index.htm.

INPE (2000a). *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1998-1999*. Available: http://sputnik.dpi.inpe.br:1910/col/dpi.inpe.br/banon/2000/09.12.17.24/doc/amz1998_1999/index_amz.htm.

INPE (2000b). *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1999-2000*. Available: http://sputnik.dpi.inpe.br:1910/col/dpi.inpe.br/lise/2001/05.16.09.55/doc/html/pag_2.htm.

INPE (2008). *Monitoramento da floresta amazônica por satélite, Projeto PRODES.* Available: http://www.obt.inpe.br/prodes/r2007.htm.

Kastner, T. P. & Goni, M. A. (2003). Constancy in the vegetation of the Amazon Basin during the late Pleistocene: Evidence from the organic matter composition of Amazon deep sea fan sediments. *Geology, 31*, 291-294.

Kintisch E. (2007) Improved Monitoring of Rainforests Helps Pierce Haze of deforestation.*Science*, *316*, 536-537.

Lambin, E. F. (1999). Monitoring forest degradation in tropical regions by remote sensing: some methodological issues. *Global Ecology and Biogeography, 8*, 191-198.

Lowe, A. J., Boshier, D., Ward, M., Bacles, C. F. E., et al. (2005). Genetic resource impacts of habitat loss and degradation; reconciling empirical evidence and predicted theory for neotropical trees. *Heredity, 95*, 255-273.

Lugo, A. E.; Brown, S.(1992). Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management*, 54, 239-255.

Malhi, Y. & Grace, J. (2000). Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology & Evolution, 15*, 332-337.

Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., et al. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science, 319*, 169-172.

Malingreau, J. P. (1985). Orbital Remote-Sensing - Space Technology Applications in Southeast-Asia. *Space Policy, 1*, 62-75.

Marengo, J. A. (2004). Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology, 78*, 79-96.

Meggers, B. J. (1994). Archaeological Evidence for the Impact of Mega-Nino Events on Amazonia During the Past 2 Millennia. *Climatic Change, 28*, 321-338.

Nepstad, D. C., Decarvalho, C. R., Davidson, E. A., Jipp, P. H., et al. (1994). The Role of Deep Roots in the Hydrological and Carbon Cycles of Amazonian Forests and Pastures. *Nature, 372*, 666-669.

Nepstad, D. C., Moreira, A. G. & Alencar, A. A. (1994). *Floresta em chamas. Origens, impactos e prevenção na Amazônia,* Brasília, Brasil: Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil.

Nepstad, D. C., Verissimo, A., Alencar, A., Nobre, C., et al. (1999). Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature, 398*, 505-508.

Nobre, C. A., Sellers, P. J. & Shukla, J. (1991). Amazonia deforestation and regional climate change. *Journal of Climate, 4*, 957-988.

Nogueira, E. M., Fearnside, P. M., Nelson, B. W. & Franca, M. B. (2007). Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest Ecology and Management, 248*, 119-135.

Oyama, M. D. & Nobre, C. A. (2003). A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. *Geophysical Reseach Letters, 30*.

Peres, C. A., Barlow, J. & Laurance, W. F. (2006). Detecting anthropogenic disturbance in tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution, 21*, 227-229.

Pielke, R. A. (2001). Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Reviews of Geophysics, 39*, 151-177.

Pielke, R. A., Avissar, R., Raupach, M., Dolman, A. J., et al. (1998). Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather and climate. *Global Change Biology, 4*, 461-475.

RADAMBRASIL (1976). DNPM, Rio de Janeiro.

Ramankutty, N., Gibbs, H. K., Achard, F., Defriess, R., et al. (2007). Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. *Global Change Biology, 13*, 51-66.

Rennó, C. D. (2003). *Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográfica* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos - SP, pp. 146.

Rylands, A. B., et al. (2002). Wilderness: Earth's last wild places. In Mittermeier;, R. A., Mittermeier;, C. G., Gil;, P. Robles, Pilgrim;, J., Fonseca;, G. A. B. da, Brooks;,

T.&Konstant, W. R. (Eds.), *Amazonia* (pp. 56-107). Agrupacion Serra Madre, S. C., Mexico.: CEMEX.

Shimabukuro, Y. E; Smith, J. A. (1991).The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE. Transaction on Geoscience and Remote Sensing,* 29, p. 16-20.

Steffan-Dewenter, I., Kessler, M., Barkmann, J., Bos, M. M., et al. (2007). Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*, 4973-4978.

Tardin, A. T. & Cunha, R. P. (1989). *Avaliação da alteração da cobertura florestal na Amazônia Legal utilizando sensoriamento remoto orbital,* São José dos Campos: INPE.

Tardin, A. T., Lee, D. C. L., Santos, R. J. R., Assis, O. R., et al. (1980). *Subprojeto Desmatamento. Convênio IBDF/CNPq-INPE 1979*. São José dos Campos: INPE.

Uhl, C. & Buschbacher, R. (1985). A Disturbing Synergism between Cattle Ranch Burning Practices and Selective Tree Harvesting in the Eastern Amazon. *Biotropica, 17*, 265-268.

Uhl, C. & Kauffman, J. B. (1990). Deforestation, Fire Susceptibility, and Potential Tree Responses to Fire in the Eastern Amazon. *Ecology, 71*, 437-449.

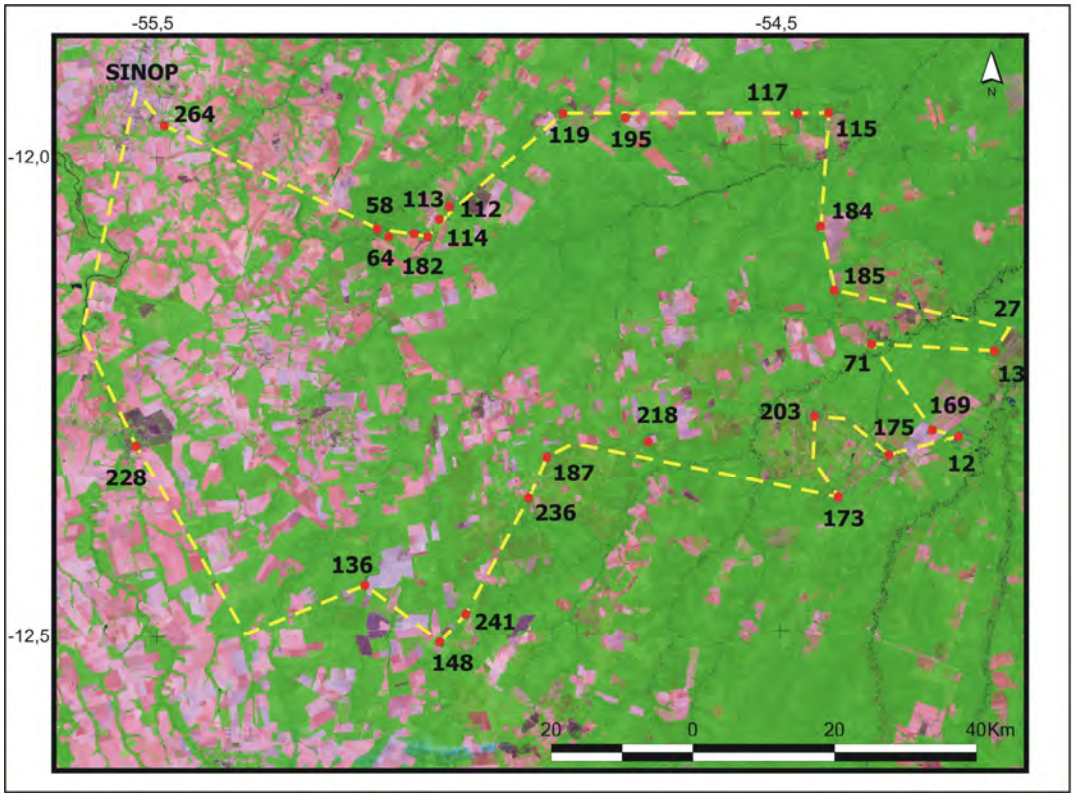
Vittor, A. Y., Gilman, R. H., Tielsch, J., Glass, G., et al. (2006). The effect of deforestation on the human-biting rate of Anopheles darlingi, the primary vector of falciparum malaria in the Peruvian Amazon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 74*, 3-11.

ANEXO 1

DETECÇÃO DO DESMATAMENTO

VERIFICAÇÃO DE CAMPO, DADOS DETER, DADOS PRODES, IMAGEM MODIS E TM-LANDSAT

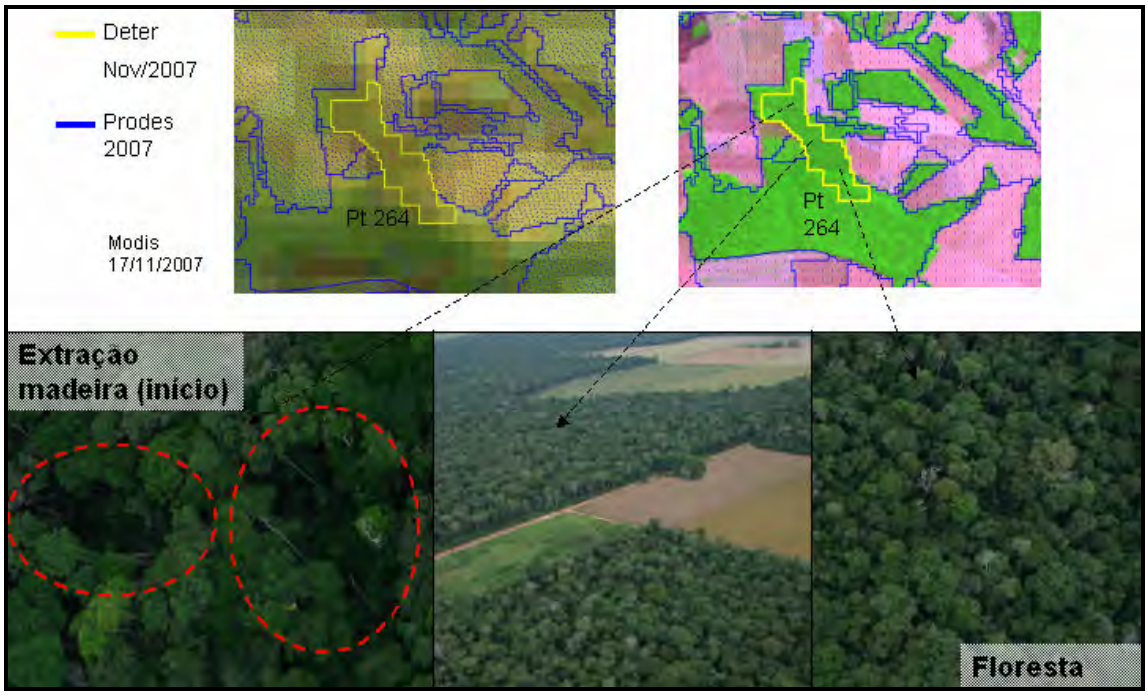
PERCURSO 1



DESCRIÇÃO PONTO 264

Coordenadas: S 11,94º; W 55,46º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Leve



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada/ estrada	Floresta degradada/ estrada	Regeneração/ estrada	Floresta degradada/ abertura de lote

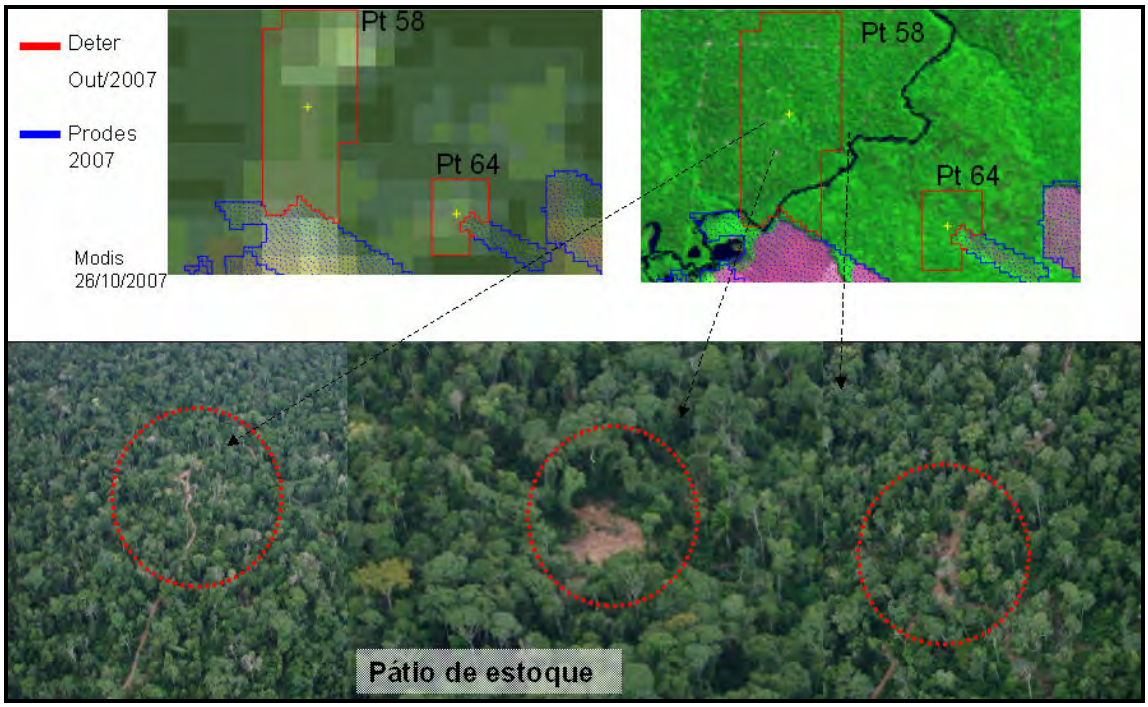
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Floresta densa que apresenta todos extratos florestais
- Indícios de extração de madeira devido à ocorrência de clareiras
- Plaquetas fixadas em árvores de interesse comercial (percurso terrestre)
- Área de entorno da floresta apresenta-se em diferentes estágios de preparação para plantio/pasto

DESCRIÇÃO PONTOS 58 E 64

Coordenadas: 58 (S 12,1º; W 55,12º) e 64 (S 12,12º; W 55,11º)

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Moderada (58 e 64)



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada (alerta out, 2007)

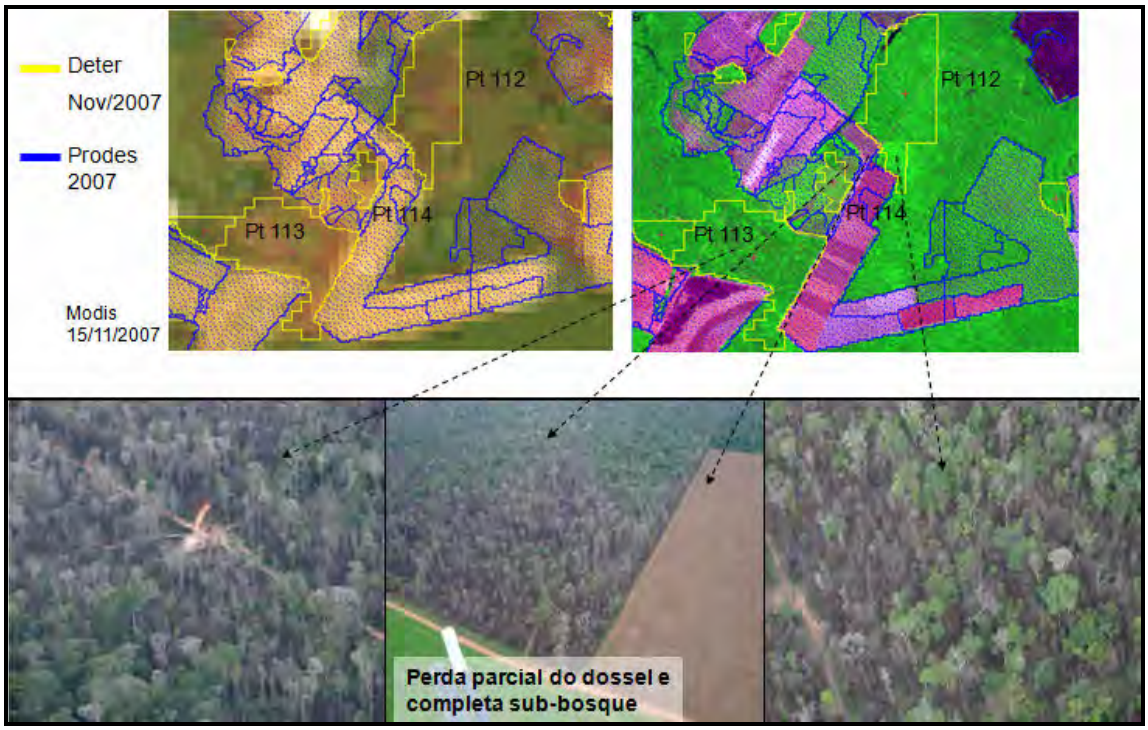
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda parcial do dossel
- Perda avançada do sub-bosque, acompanhada de regeneração
- Presença de estrada, trilha de arrasto e pátio de estoque de madeira

DESCRIÇÃO PONTO 112, 113, 114

Coordenadas: 113 (S 12,12º; W 55,04º), 114 (S 12,10º; W 55,03º) e 112 (S 12,09º; W 55,01º).

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

Ponto	1990	2000	2003	2004	2006	2007
Pt 112	Floresta	Cicatriz de fogo florestal	Regeneração	Abertura de estrada/ Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta out, 2007)
Pt 113	Cicatriz de solo exposto e queima	Cicatriz de solo exposto e queima	Regeneração	Floresta degradada/ alerta foco incêndio	Floresta degradada	Floresta degradada/ solo exposto (Alerta nov, 2007)
Pt 114	Cicatriz de solo exposto e queima	Cicatriz de solo exposto e queima	Regeneração	Floresta degradada/ alerta foco incêndio	Floresta degradada	Floresta degradada/ solo exposto (Alerta nov, 2007)

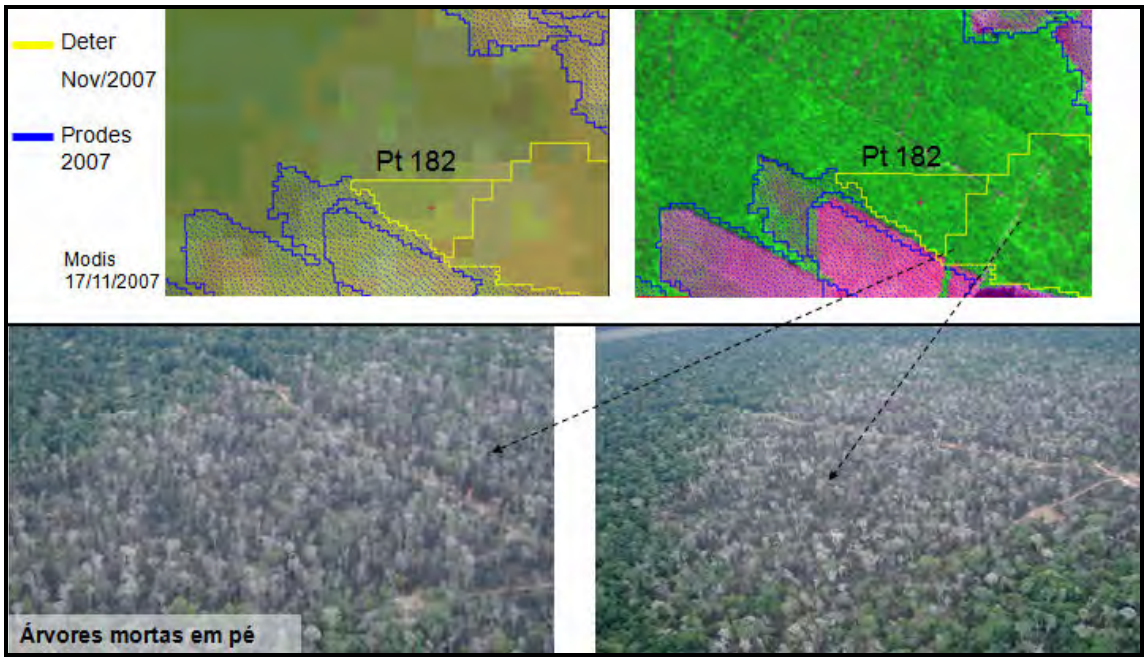
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda avançada do dossel e completa do sub-bosque
- Árvores mortas em pé em grande parte da área
- Presença de estrada, trilha de arrasto e pátio de estoque de madeira

DESCRIÇÃO PONTO 182

Coordenadas: S 12,11º; W 55,06º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO DE USO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Cicatriz de fogo florestal e solo exposto	Regeneração/ cicatriz de solo exposto	Alerta de foco de incêndio	Floresta	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

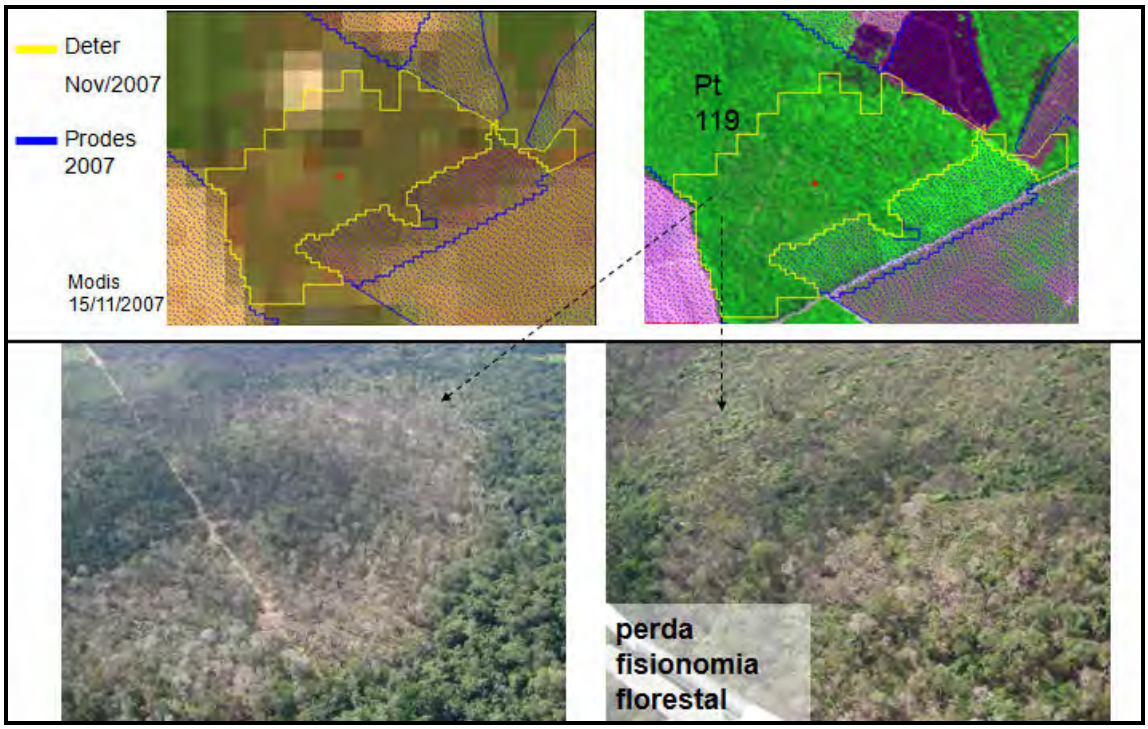
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda parcial do dossel e completa do sub-bosque
- Árvores mortas em pé em parte da área
- Presença de estrada, trilha de arrasto e pátio de estoque de madeira

DESCRIÇÃO PONTO 119

Coordenadas: S 11,91°; W 54,82°

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta (Perda da Cobertura Florestal)



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta/ abertura estrada na vizinhança	Cicatriz de fogo florestal/ nova abertura de estrada	Cicatriz de fogo florestal	Alerta de foco de incêndio	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta out, 2007)

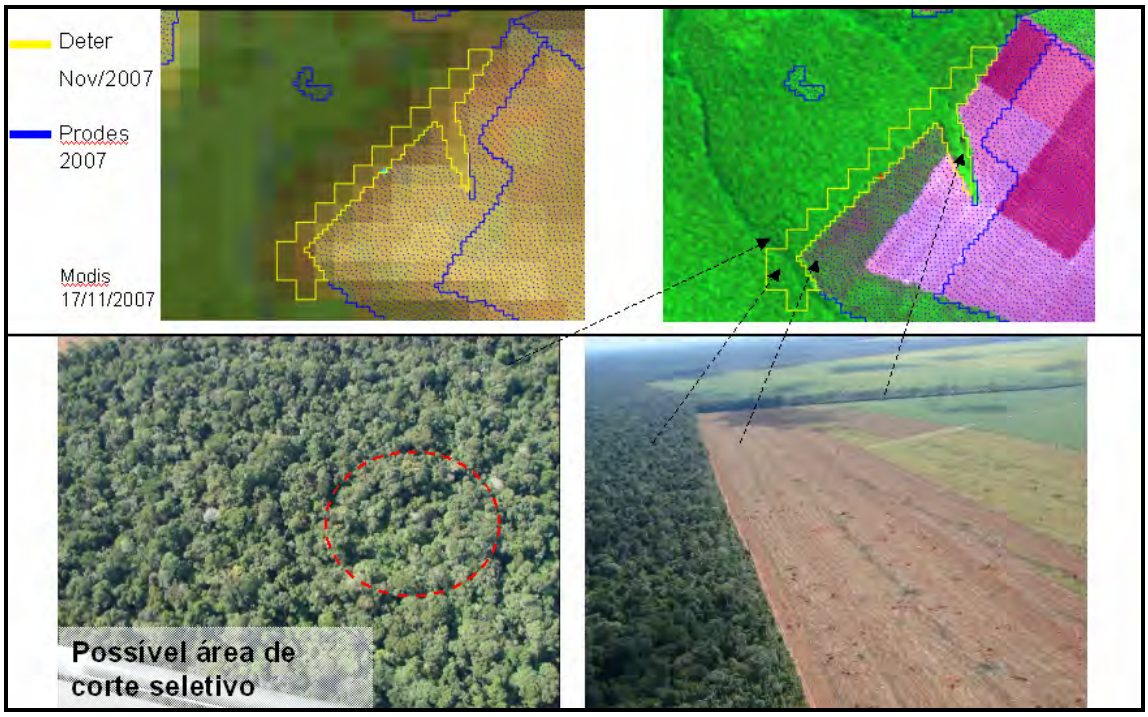
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda avançada do dossel e completa do sub-bosque
- Árvores mortas em pé em grande parte da área
- Presença de estrada e trilha de arrasto
- Em alguns pontos, a vegetação apresenta fisionomia de capoeira

DESCRIÇÃO PONTO 195

Coordenadas: S 11,92°; W 54,73°

Classificação: Floresta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Cicatriz de fogo florestal	Alerta de foco de incêndio	Regeneração	Sem indícios de degradação (Alerta nov, 2007)

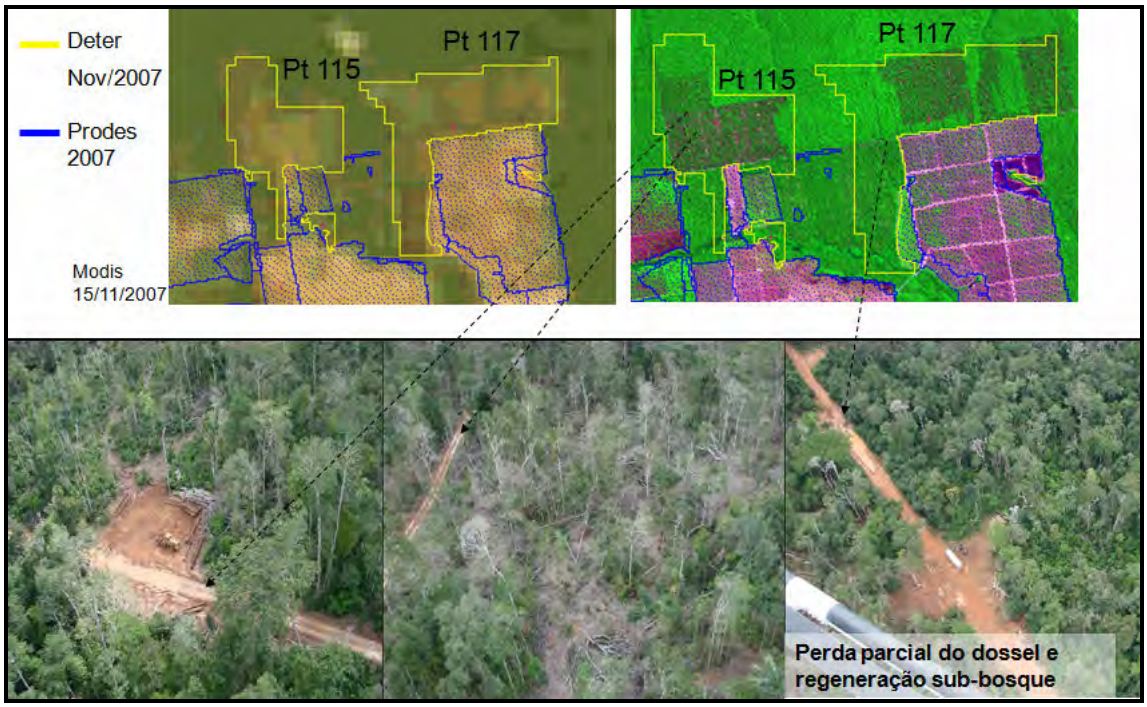
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Floresta densa que apresenta todos estratos florestais
- Há vestígios de extração de madeira devido à simplificação estrutural do dossel

DESCRIÇÃO PONTO 115 E 117

Coordenadas: 115 (S 11,93º ; W 54,46º) e 117 (S 11,92º; W 54,41º)

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta (Pontos 115 e 117)



HISTÓRICO

Ponto	1990	2000	2003	2004	2006	2007
Pt 115	Floresta	Floresta	Floresta/ Cicatriz de solo exposto	Floresta/ regeneração	Floresta/ regeneração	Floresta degradada/ cicatriz de solo exposto (Alerta nov, 2007)
Pt 117	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta degrada/ cicatriz de solo exposto (Alerta nov, 2007)

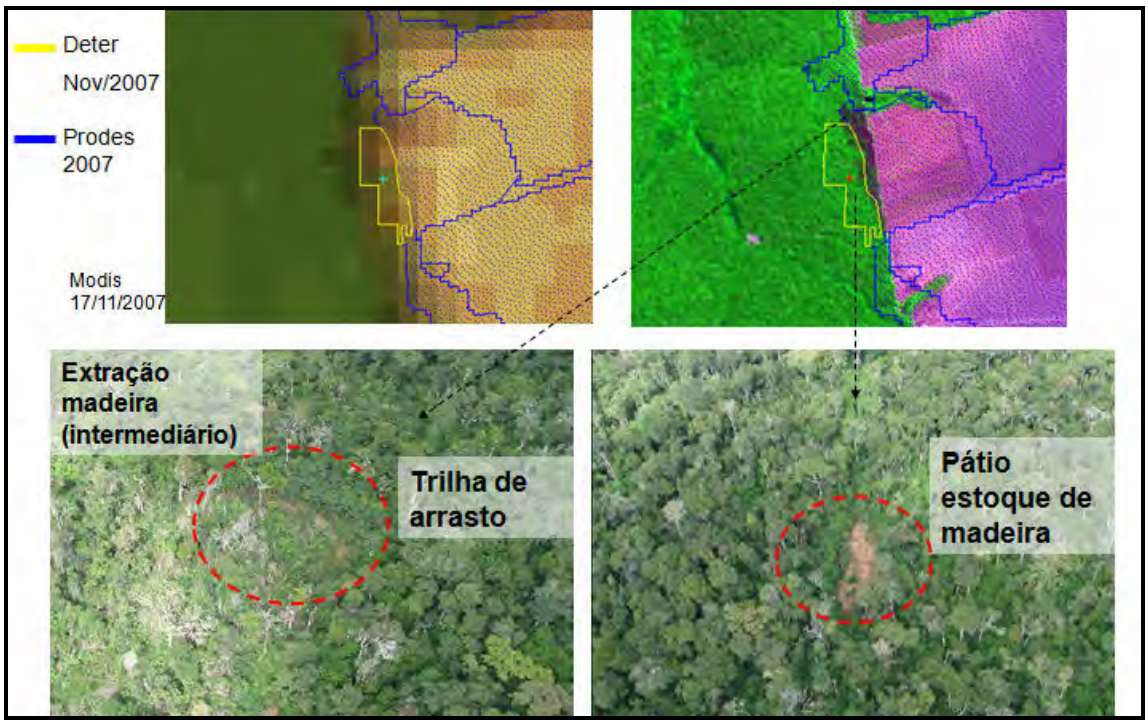
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda parcial do dossel
- Perda completa do sub-bosque com regeneração
- Troncos de árvores estocados em pátios
- Presença de algumas árvores mortas em pé

DESCRIÇÃO PONTO 184

Coordenadas: S 12,09º; W 54,42º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Moderada



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta out, 2007)

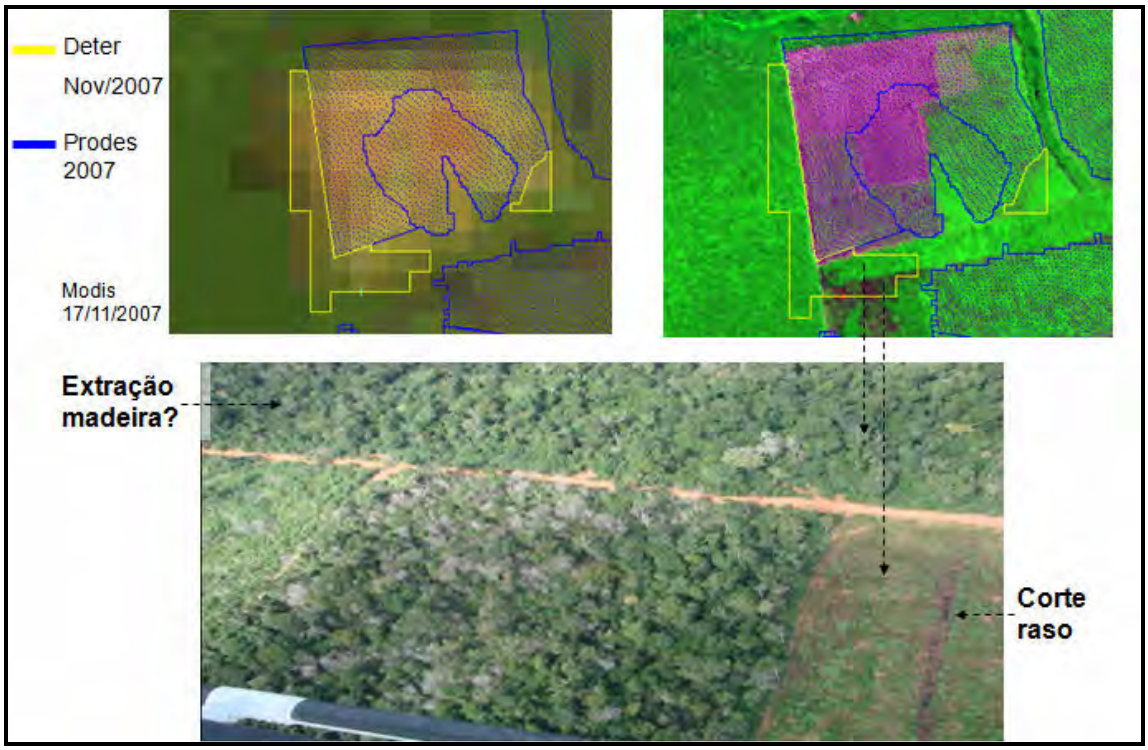
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Floresta com vestígios de extração de madeira em estágio intermediário
- Presença de pátio de estoque de madeira e trilha de arrasto

DESCRIÇÃO DO PONTO 185

Coordenadas: S 12,2º; W 54,4º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Moderada



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta/ cicatriz de estrada	Floresta/ cicatriz de estrada	Floresta/ cicatriz de estrada	Floresta degradada/ cicatriz de estrada	Floresta degradada/ cicatriz de solo exposto	Floresta degradada/ regeneração (Alerta nov, 2007)

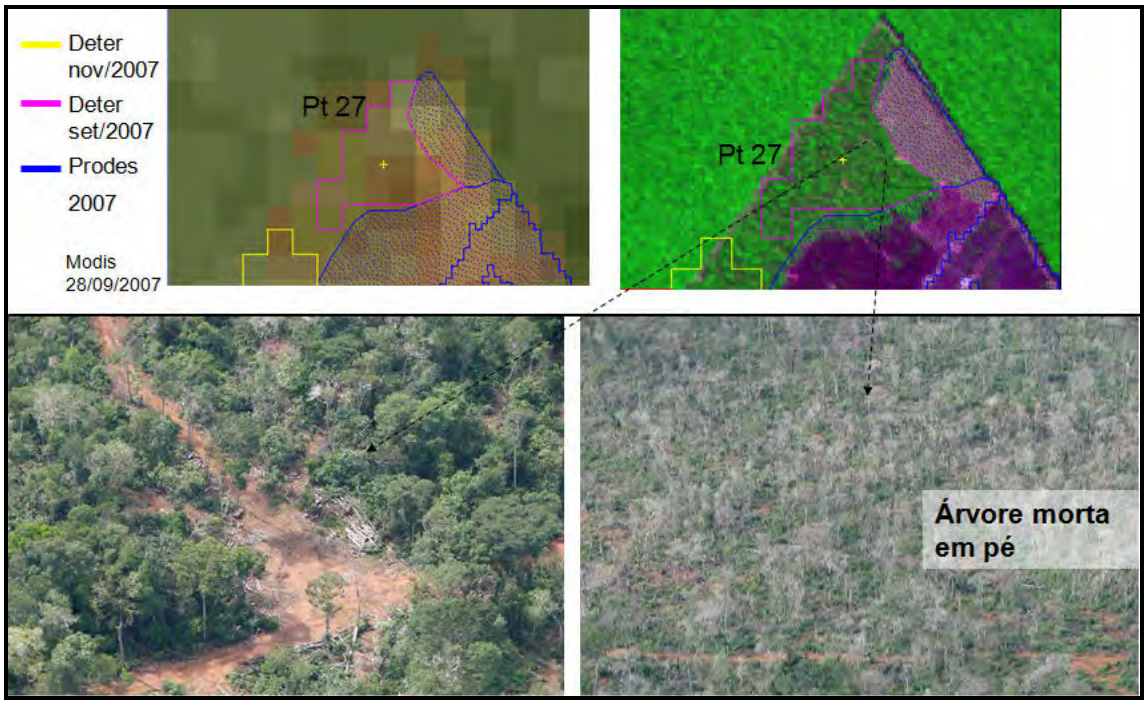
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Fotografia não permite analisar as condições da floresta
- Floresta fragmentada por atividades agropecuárias
- Algumas árvores mortas em pé no remanescente florestal

DESCRIÇÃO DO PONTO 27

Coordenadas: S 12,27º ;W 54,13º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta (Perda da Cobertura Florestal)



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta degradada (início)	Floresta degradada (Alerta set, 2007)

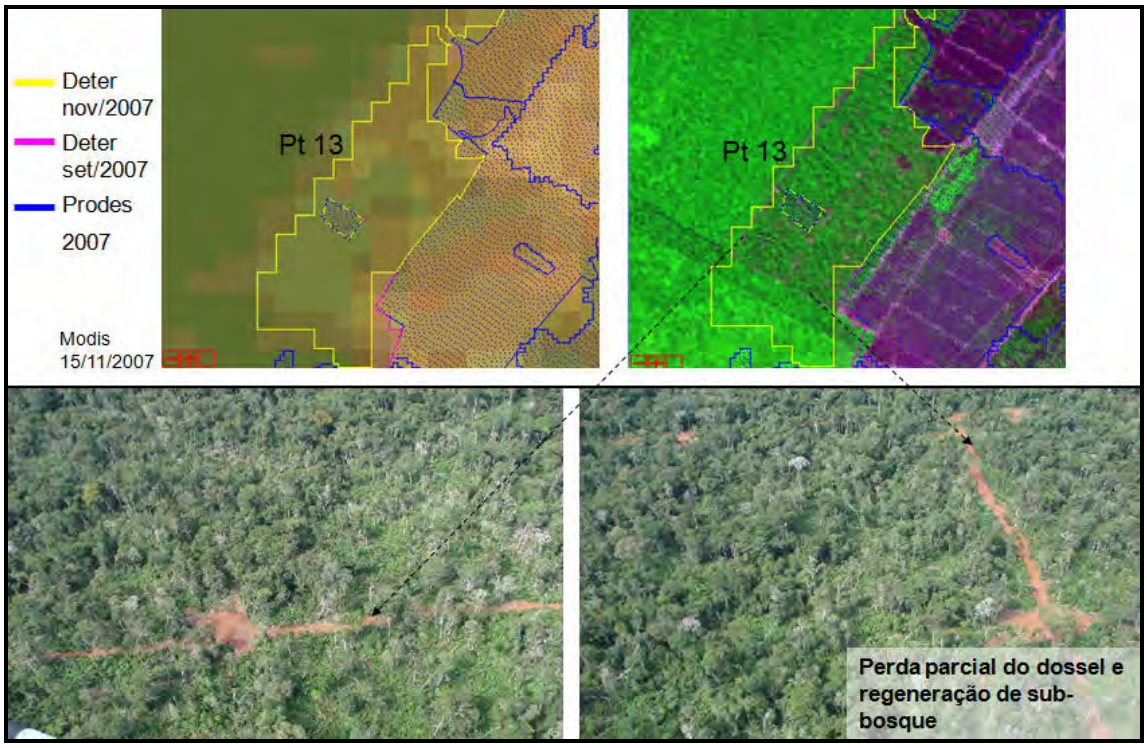
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda da fisionomia florestal em algumas áreas
- Perda do dossel e do sub-bosque em estágio avançado
- Árvores mortas em pé
- Presença de estrada principal, secundária e pátio de estoque de madeira
- Troncos de árvores estocados ao longo da estrada

DESCRIÇÃO DO PONTO 13

Coordenadas: S 12,30º; W 54,15º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta degradada em parte da área	Regeneração	Regeneração	Floresta degradada (início)	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

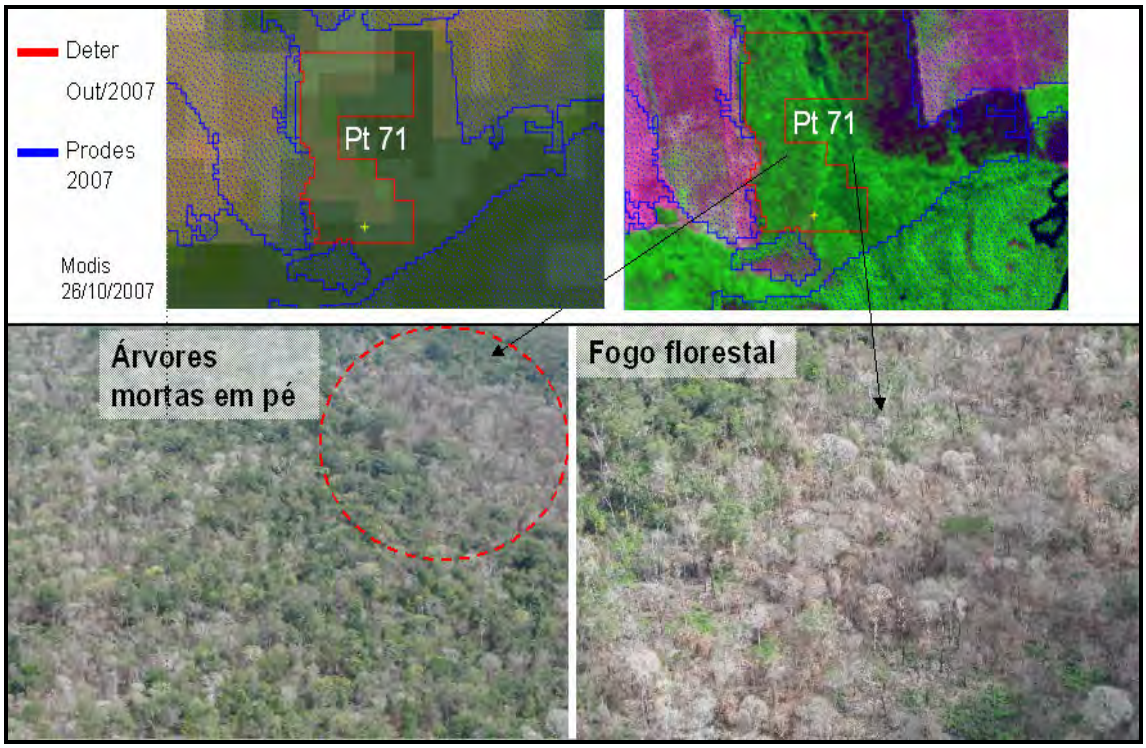
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda parcial do dossel
- Perda completa do sub-bosque com regeneração
- Presença de estrada principal e pátio de estoque de madeira

DESCRIÇÃO PONTO 71

Coordenadas: S 12,29º ; W 54,34º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta out, 2007)

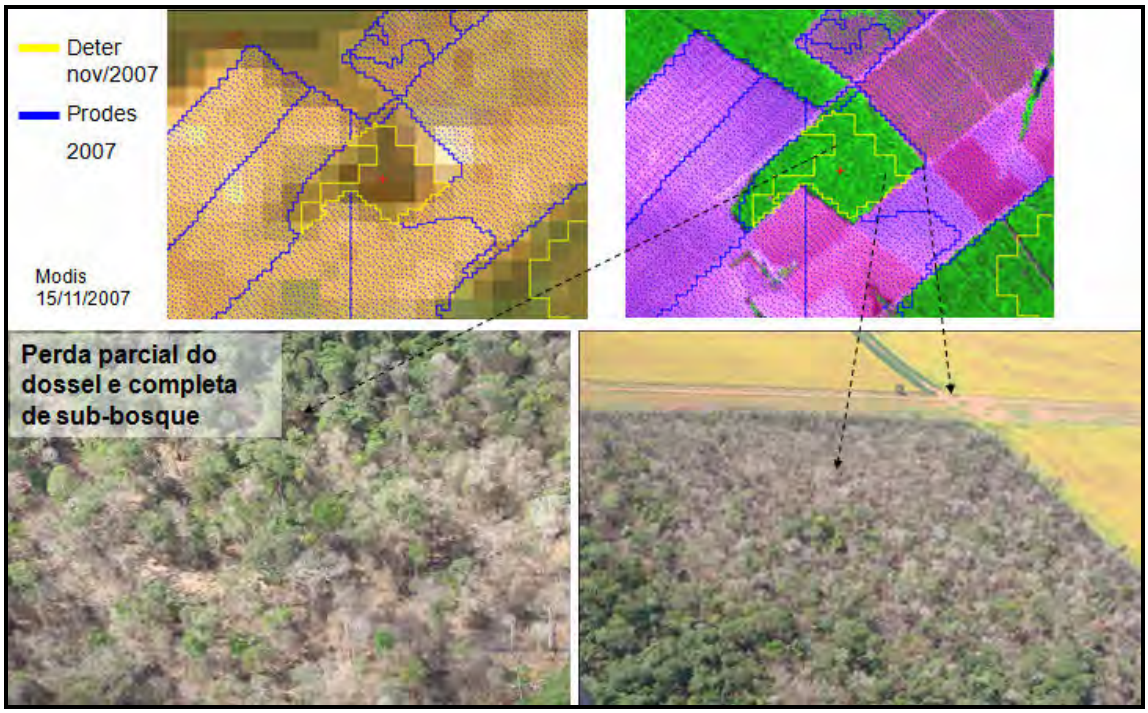
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda parcial do dossel e perda avançada do sub-bosque
- Maioria das árvores remanescentes está morta em pé
- Vestígios de fogo florestal

DESCRIÇÃO PONTO 169

Coordenadas: S 12,42º; W 54,24º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

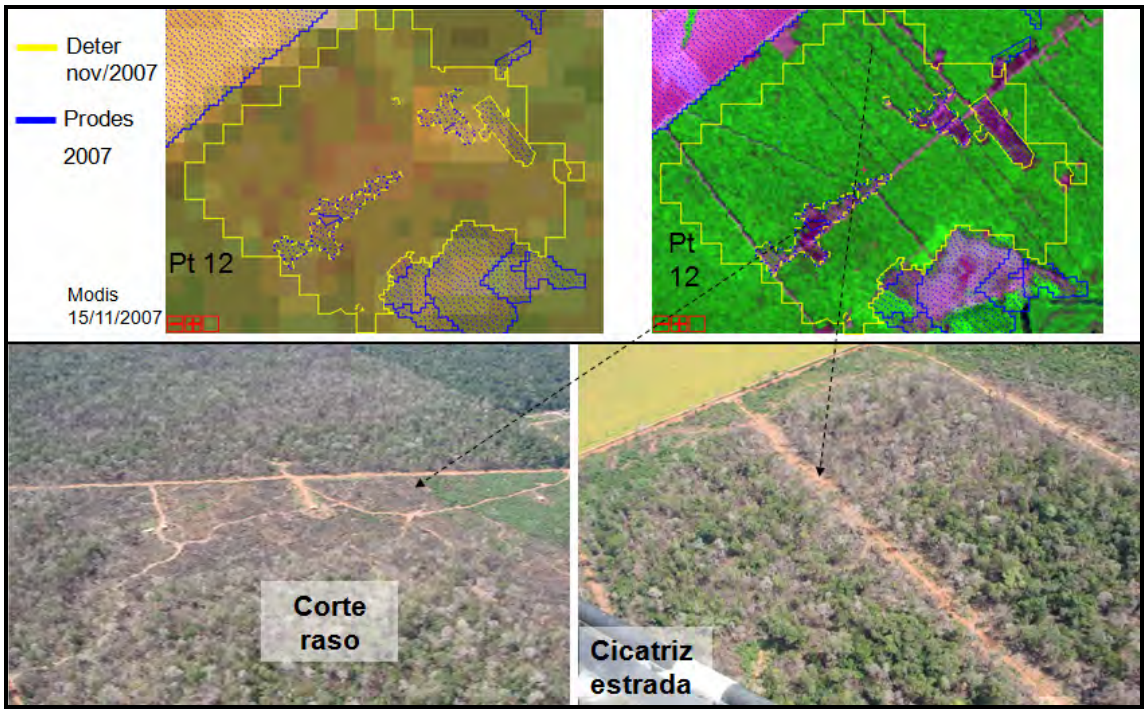
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda avançada do dossel e completa do sub-bosque
- Árvores mortas em pé indicam a ocorrência de fogo florestal

DESCRIÇÃO PONTO 12

Coordenadas: S 12,43º ; W 55,2º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada/ cicatriz de estrada	Floresta degradada/ cicatriz de estrada	Floresta degradada/ cicatriz de estrada (Alerta nov, 2007)

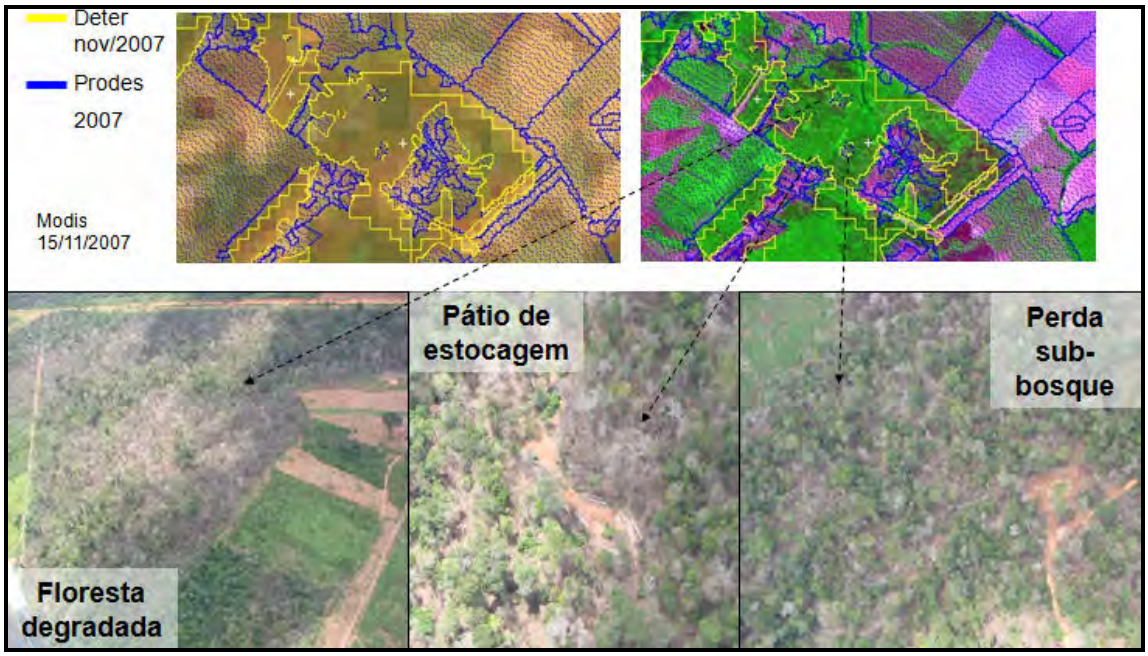
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda parcial do dossel e completa do sub-bosque
- Diversas estradas estão fragmentando a floresta
- Solo exposto
- Árvores mortas em pé
- Indícios de fogo florestal

DESCRIÇÃO PONTO 175

Coordenadas: S 12,43º; W 54,2º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta degradada/ cicatriz de solo exposto	Floresta degradada/ abertura de estrada/ solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de solo exposto (Alerta nov, 2007)

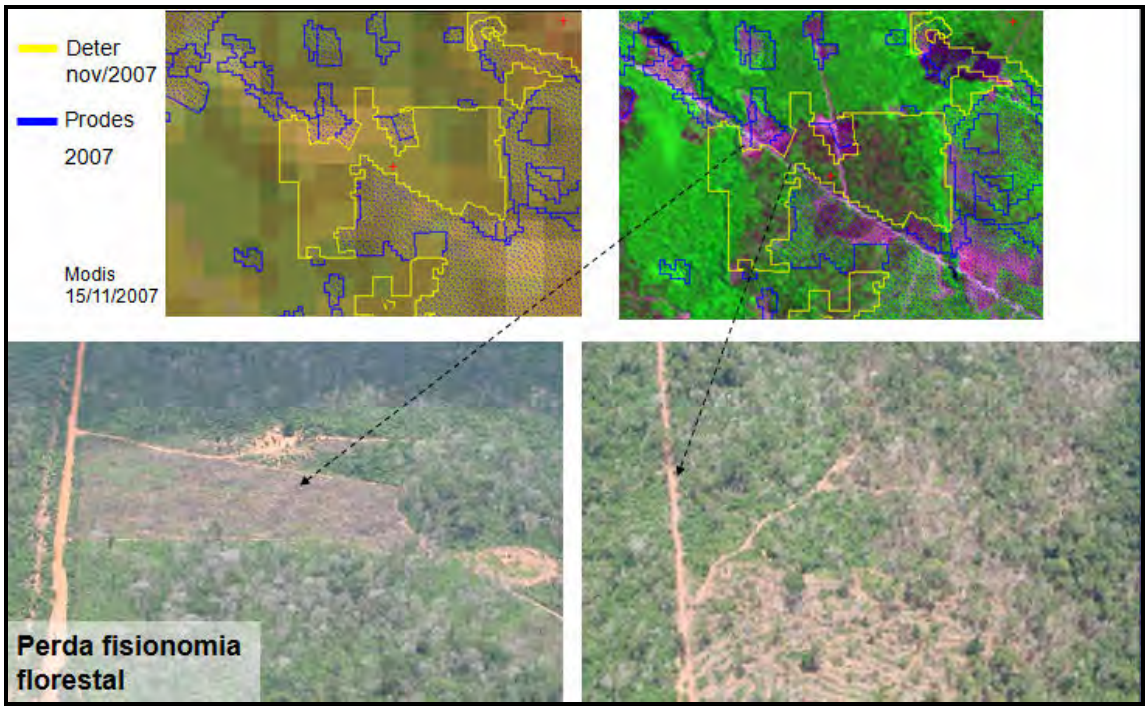
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda avançada do dossel e completa do sub-bosque
- Vestígios de incêndio florestal
- Árvores mortas em pé em grande parte da área
- Áreas de pasto e solo exposto

DESCRIÇÃO PONTO 203

Coordenadas: S 12,39º; W 54,43º

Classificação: Corte Raso com Degradação Florestal - Perda da Cobertura Florestal



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta degradada/ cicatriz de estrada e solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de estrada e solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de estrada e solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de estrada e solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de estrada e solo exposto (Alerta nov, 2007)

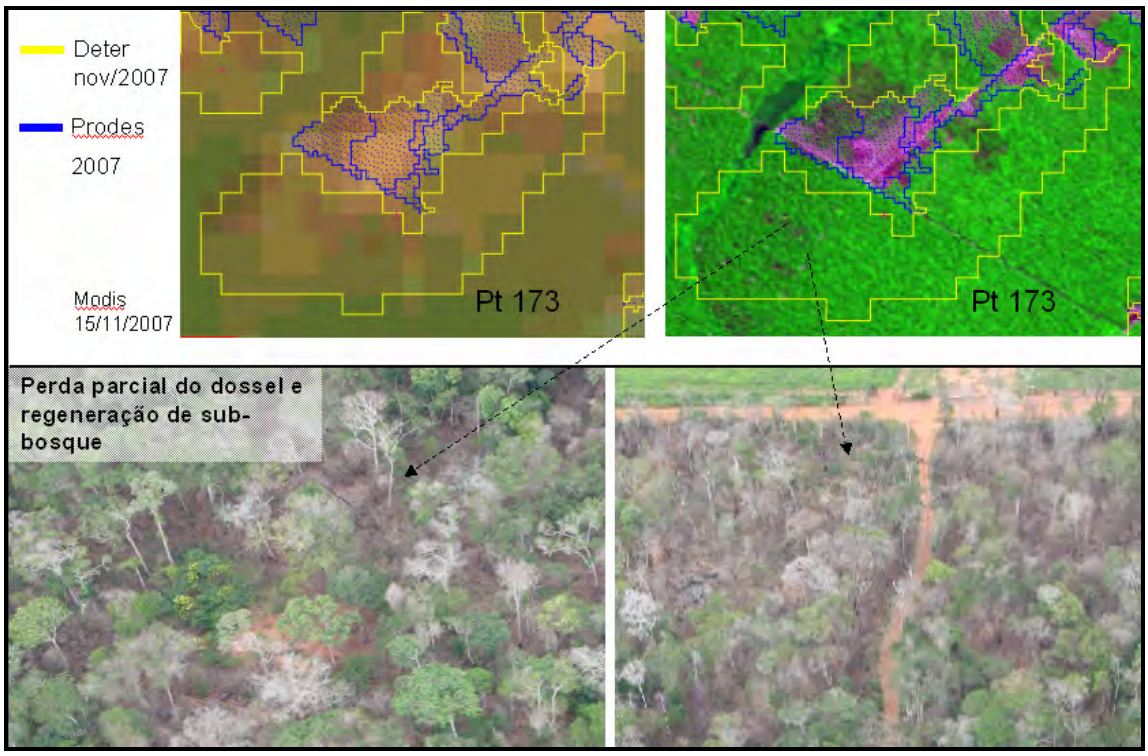
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda da fisionomia florestal
- Estradas principais e secundárias estão fragmentando a floresta
- Indícios de fogo florestal
- Áreas com solo exposto
- Árvores mortas em pé

DESCRIÇÃO PONTO 173

Coordenadas: S 12,54º; W 54,40º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta degradada/ cicatriz de solo exposto	Floresta degradada/ regeneração	Floresta degradada/ cicatriz de estrada e solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de estrada e solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de estrada e solo exposto (Alerta nov, 2007)

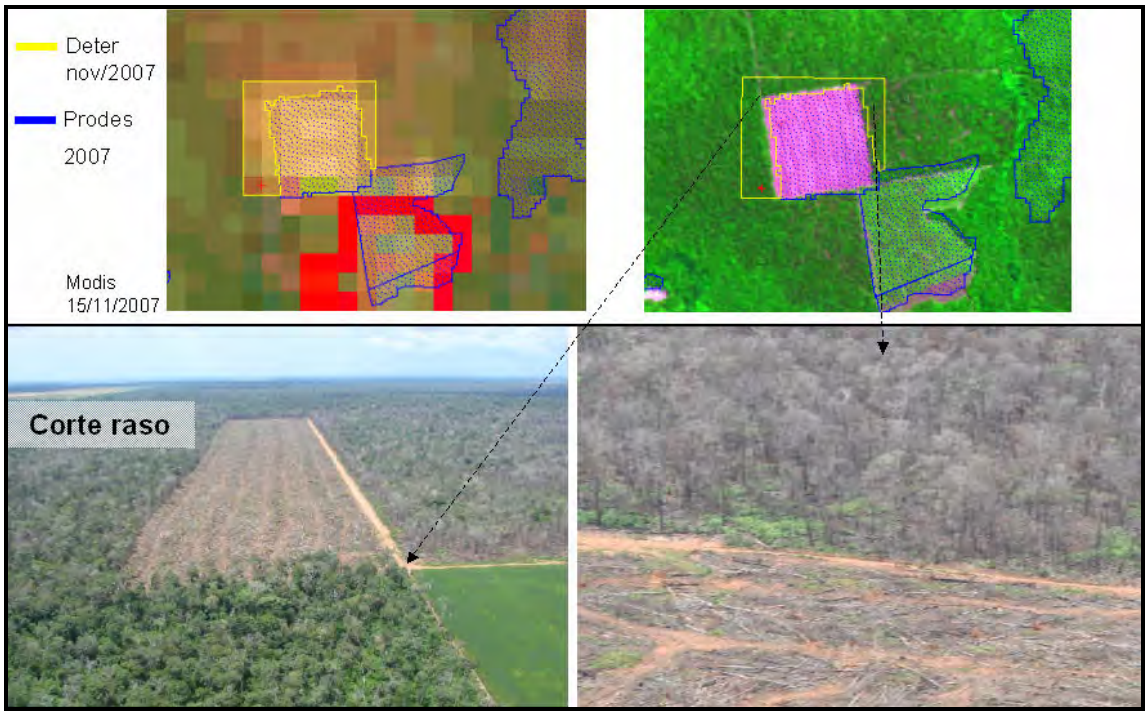
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Extração seletiva de madeira com consequente perda do dossel
- Perda completa do sub-bosque
- Indício de fogo florestal próximo à área de atividade agropecuária

DESCRIÇÃO PONTO 218

Coordenadas: S 12,44º; W 54,69º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada	Alerta de fogo florestal	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

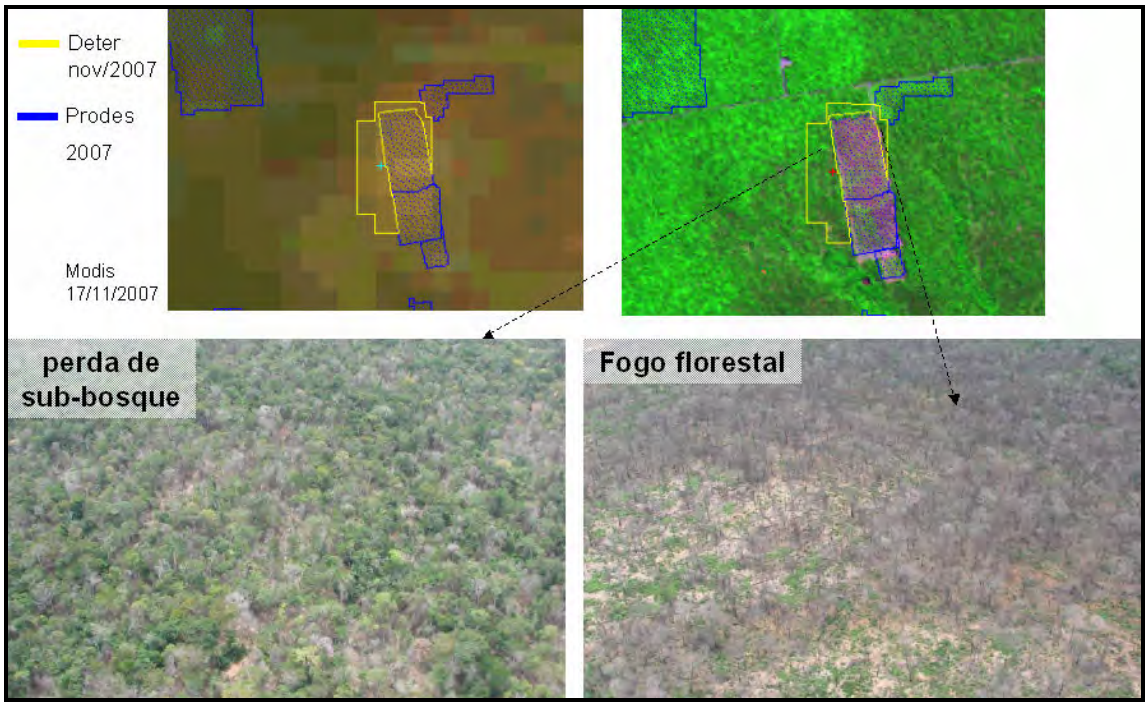
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Árvores mortas em pé em grande parte da área
- Restos de madeira morta que indicam corte recente da floresta
- Indícios de fogo florestal próximo ao corte raso
- Vestígios de extração de madeira na floresta

DESCRIÇÃO PONTO 187

Coordenadas: S 12,46º; W 54,85º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta (Perda da Cobertura Florestal)



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta degradada	Regeneração	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

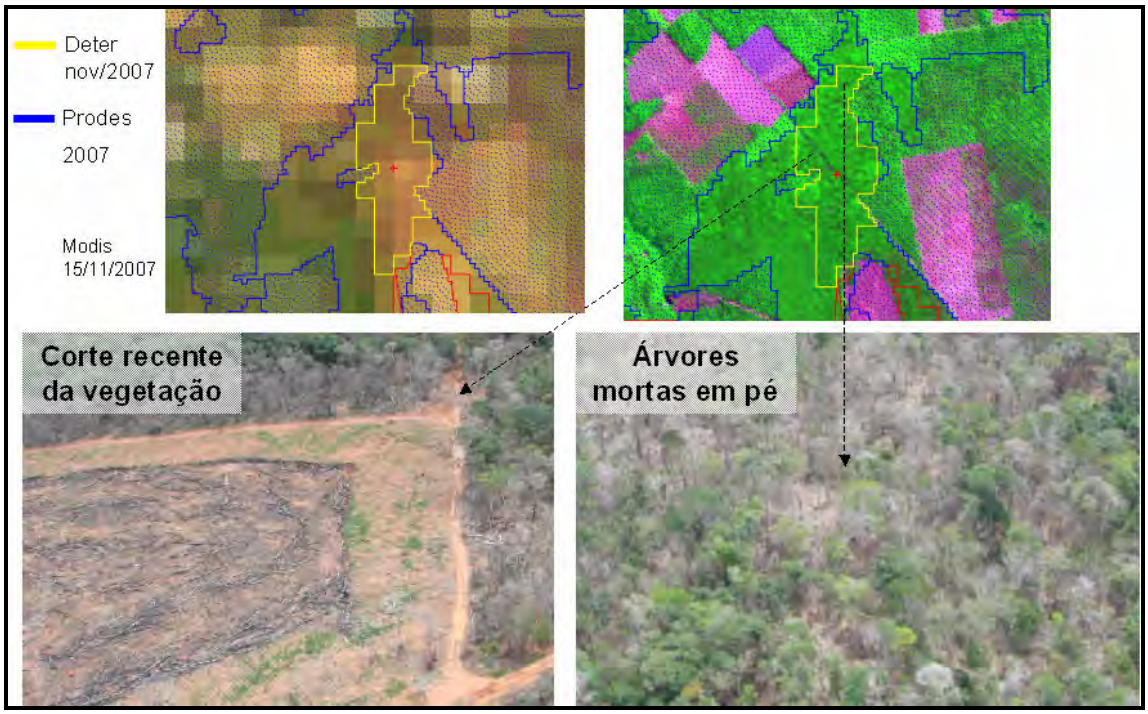
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Árvores mortas em pé em parte da área
- Indícios de fogo florestal
- Algumas áreas apresentam perda parcial do dossel e completa do sub-bosque

DESCRIÇÃO PONTO 236

Coordenadas: S 12,52º; W 54,88º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta/ capoeira	Cicatriz de fogo florestal/ cicatriz de estrada	Regeneração/ cicatriz de estrada	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta out, 2007)

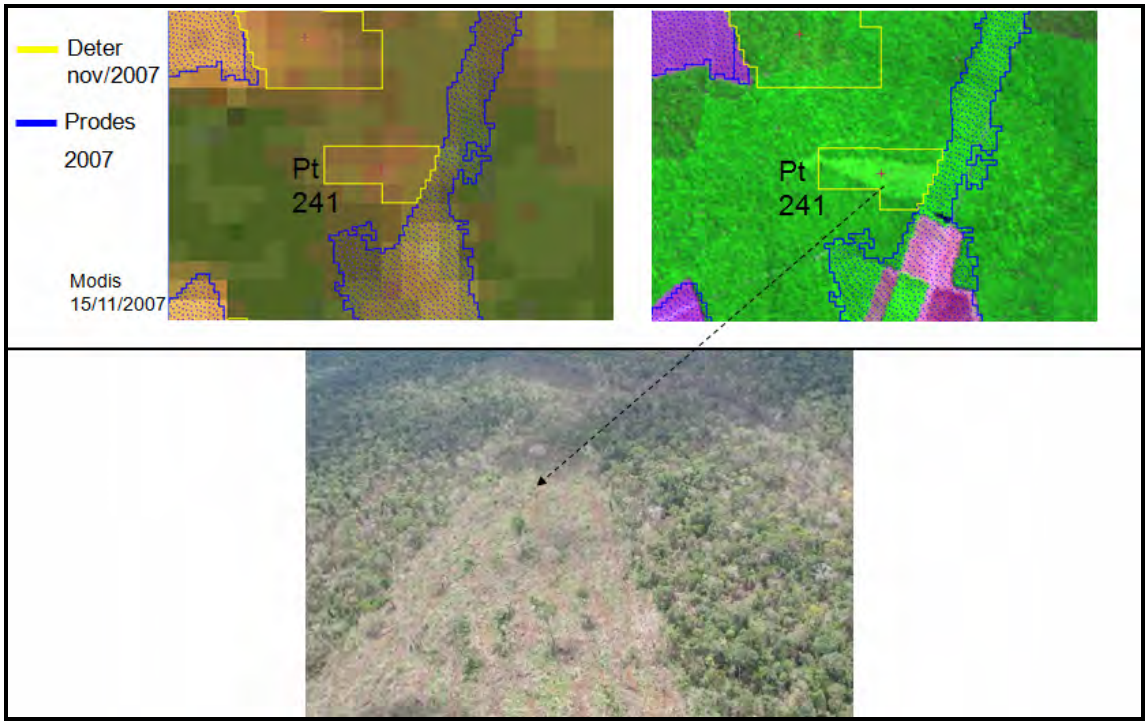
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Indício de incêndio florestal devido à presença de árvores mortas em pé
- Extração de madeira
- Estradas secundárias fragmentando a floresta
- Corte recente da floresta

DESCRIÇÃO PONTO 241

Coordenadas: S 12,72º; W 55,99º

Classificação: Degradação Florestal - Perda da Cobertura Florestal



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada	Capoeira	Capoeira (Alerta nov, 2007)

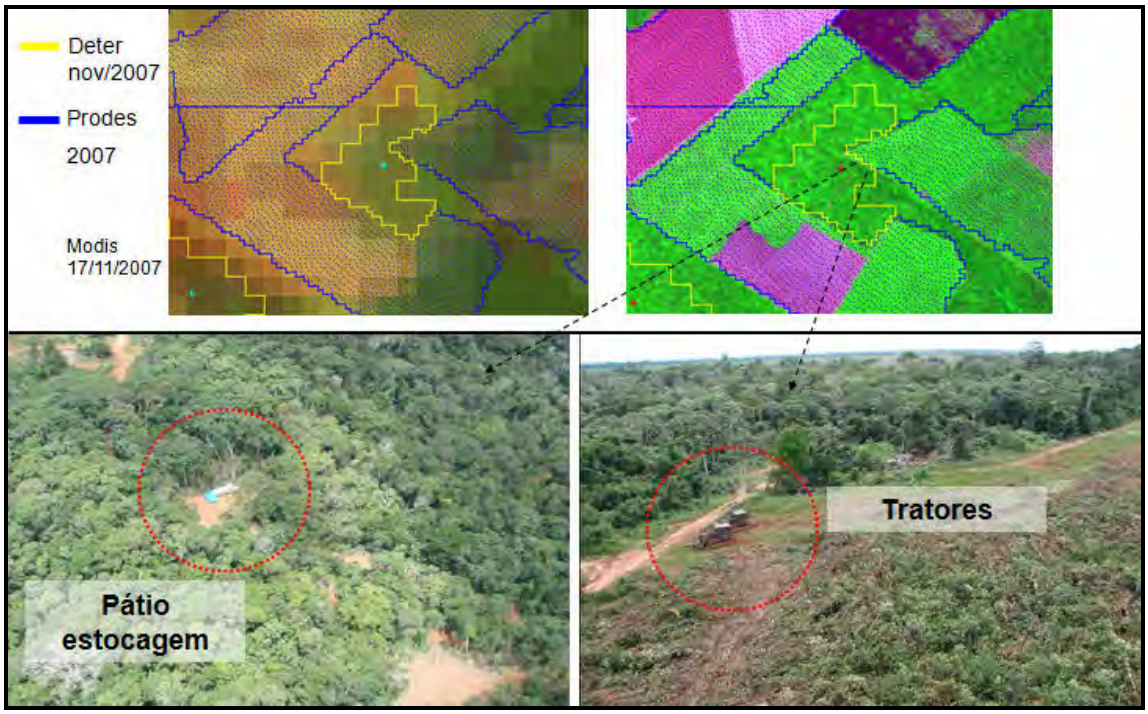
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda da fisionomia florestal devido à perda completa do dossel e do sub-bosque

DESCRIÇÃO PONTO 148

Coordenadas: S 12,75º; W 55,02º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Moderada



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

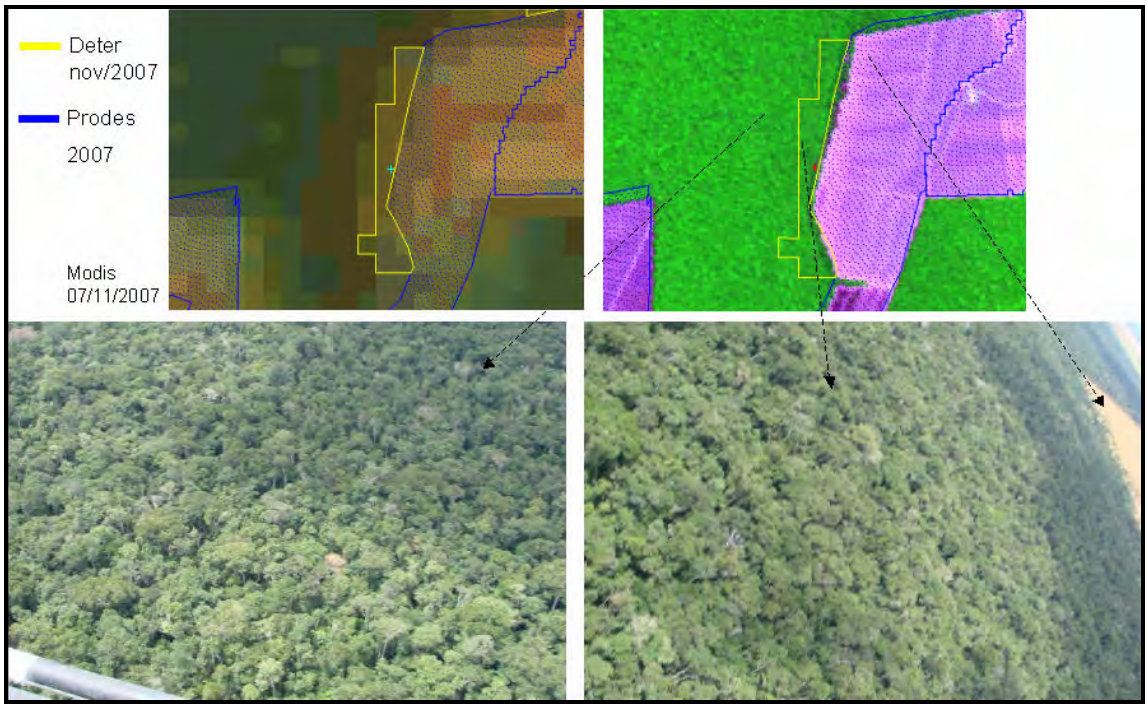
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Extração de madeira por corte seletivo
- Presença de pátios de estoque de madeira, trilhas de arrasto e tratores na floresta

DESCRIÇÃO PONTO 136

Coordenadas: S 12,66º; W 55,14º

Classificação: floresta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Sem indícios de degradação (Alerta nov, 2007)

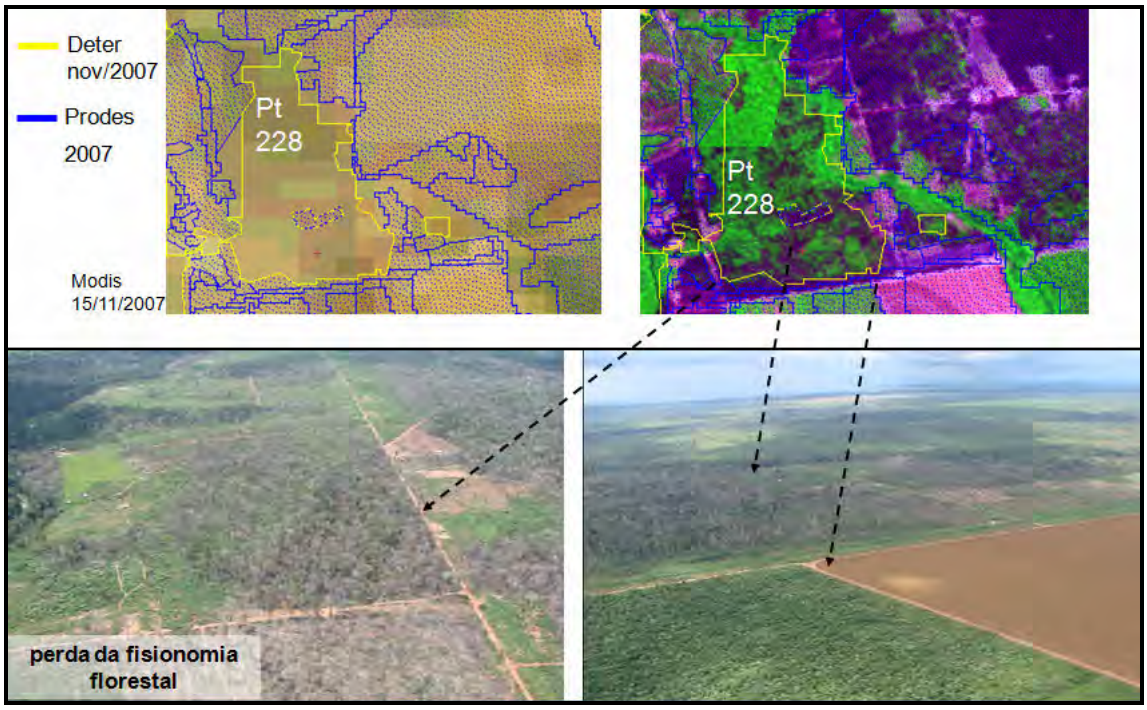
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Na foto não há indícios de exploração da floresta

DESCRIÇÃO PONTO 228

Coordenadas: S 12,45º; W 55,51º

Classificação: Degradação Florestal - Perda da Cobertura Florestal



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta degradada/cicatriz de solo (Alerta maio)	Floresta degradada/cicatriz de solo (Alerta nov, 2007)

DESCRIÇÃO DE CAMPO

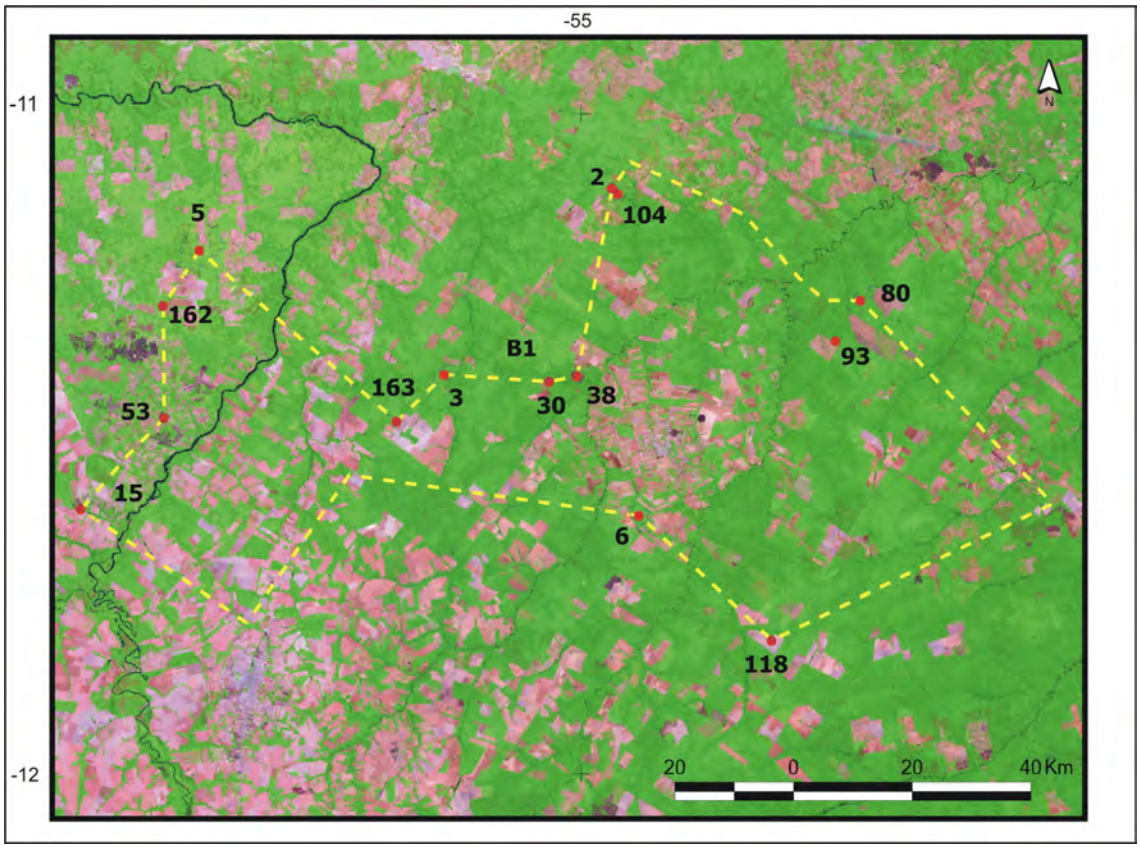
- Áreas com pastagem
- Árvores remanescentes estão mortas em pé
- Presença de diversas estradas
- Indício de fogo florestal

ANEXO 2

DETECÇÃO DO DESMATAMENTO

VERIFICAÇÃO DE CAMPO, DADOS DETER, DADOS PRODES, IMAGEM MODIS E TM-LANDSAT

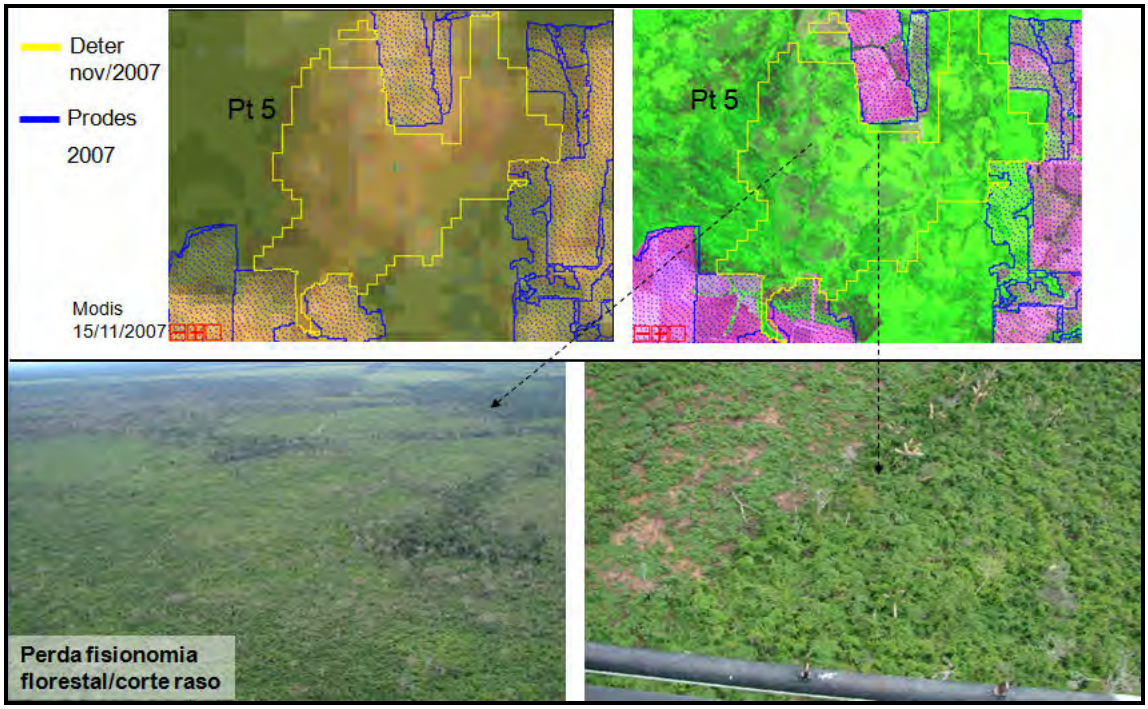
PERCURSO 2



DESCRIÇÃO PONTO 5

Coordenadas: S 11,21°; W 55,58°

Classificação: Degradação Florestal - Perda da Cobertura Florestal



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Cicatriz de fogo florestal	Regeneração	Regeneração	Cicatriz de fogo florestal (Alerta abril e jul, 2006)	Perda da cobertura florestal (Alerta, nov 2007)

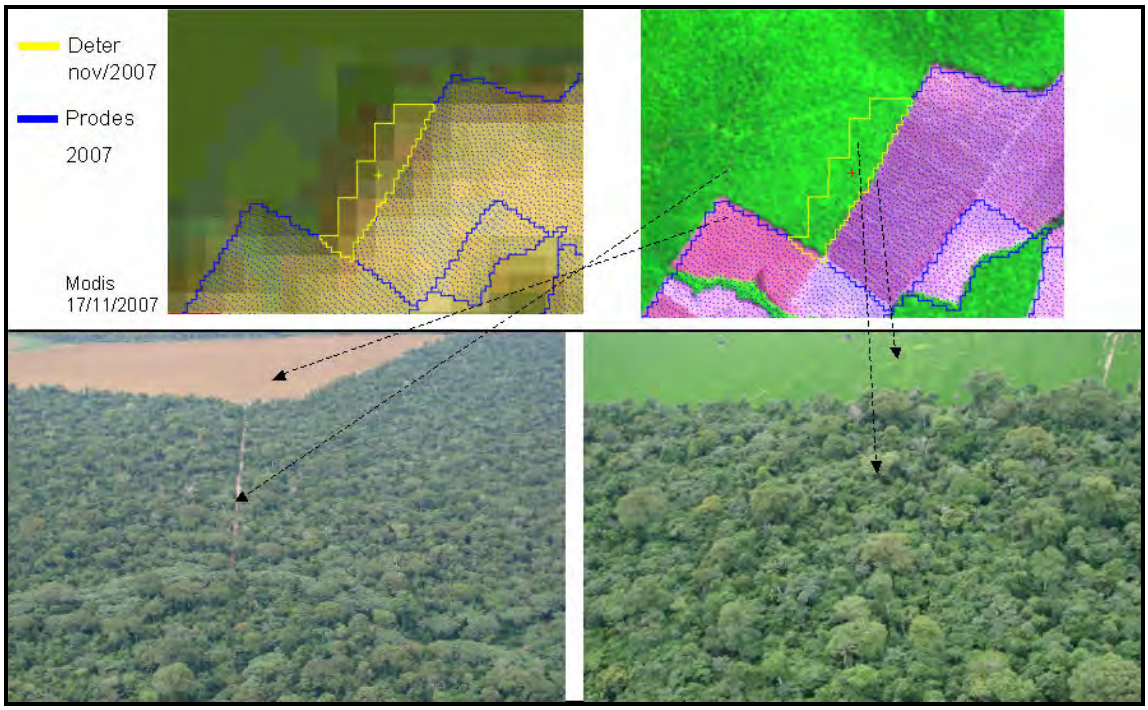
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Corte da vegetação, com substituição de vegetação arbustiva e rasteira
- Áreas de pastagem

DESCRIÇÃO PONTO 163

Coordenadas: S 11,47º; W 55,28º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Leve



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta (cicatriz estrada na vizinhança)	Floresta (cicatriz estrada na vizinhança)	Regeneração	Regeneração	Sem vestígios de exploração florestal (Alerta, nov 2007)

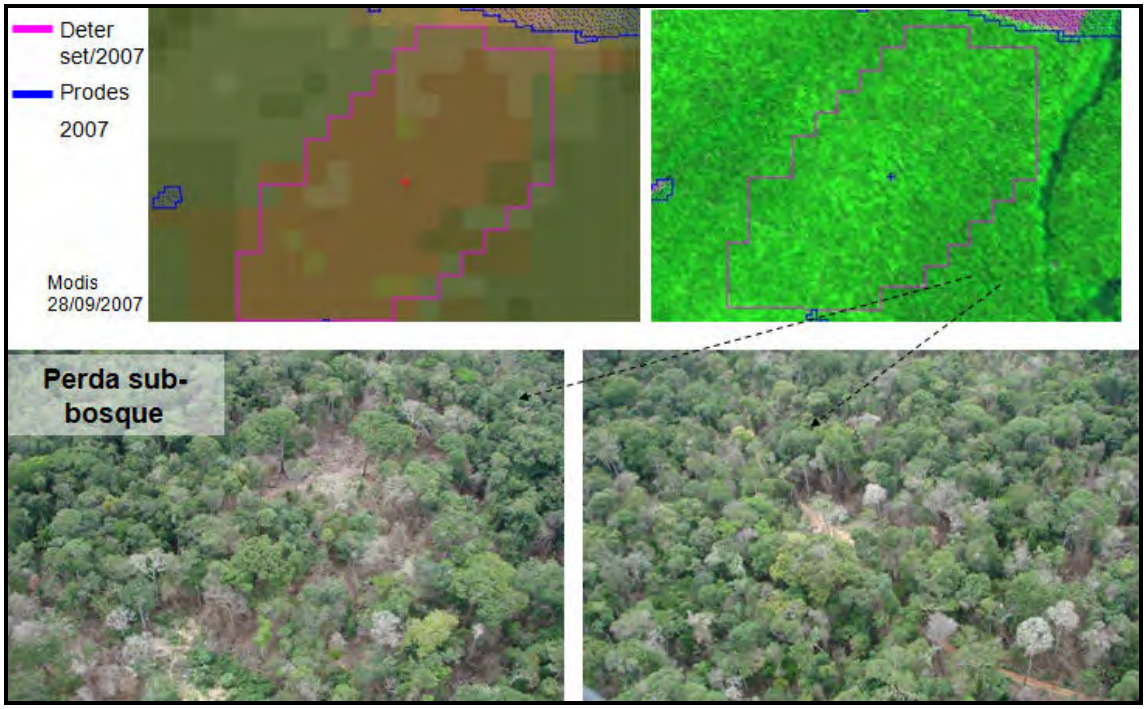
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Não foi detectado vestígio de extração de madeira por corte seletivo na floresta.
- A presença da estrada pode ser um indício de exploração da floresta, devido à facilidade de acesso ou devido o efeito da fragmentação.

DESCRIÇÃO PONTO 3

Coordenadas: S 11,4°; W 55,2°

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Cicatriz de fogo florestal	Floresta degradada (intensidade leve)	Floresta	Floresta	Floresta degradada (Alerta, nov 2007) Alerta fogo florestal (set, 2007)

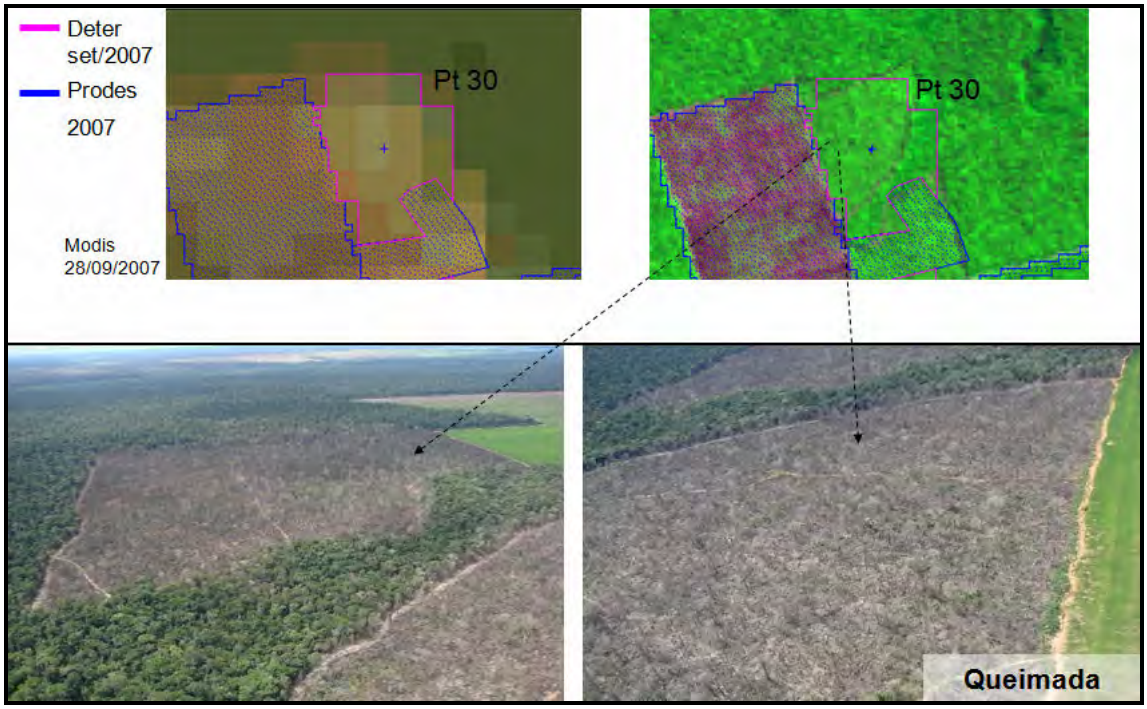
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Fotos adjacentes à área do Alerta indicam que há corte seletivo de madeira nas florestas da região
- Floresta degradada com perda parcial do dossel e completa do sub-bosque

DESCRIÇÃO PONTO 30

Coordenadas: S 11,41°; W 55,05°

Classificação: Degradação Florestal - Perda da Cobertura Florestal



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta (solo exposto vizinhança)	Floresta (solo exposto vizinhança)	Floresta (solo exposto vizinhança)	Floresta degradada (Alerta set, 2007)

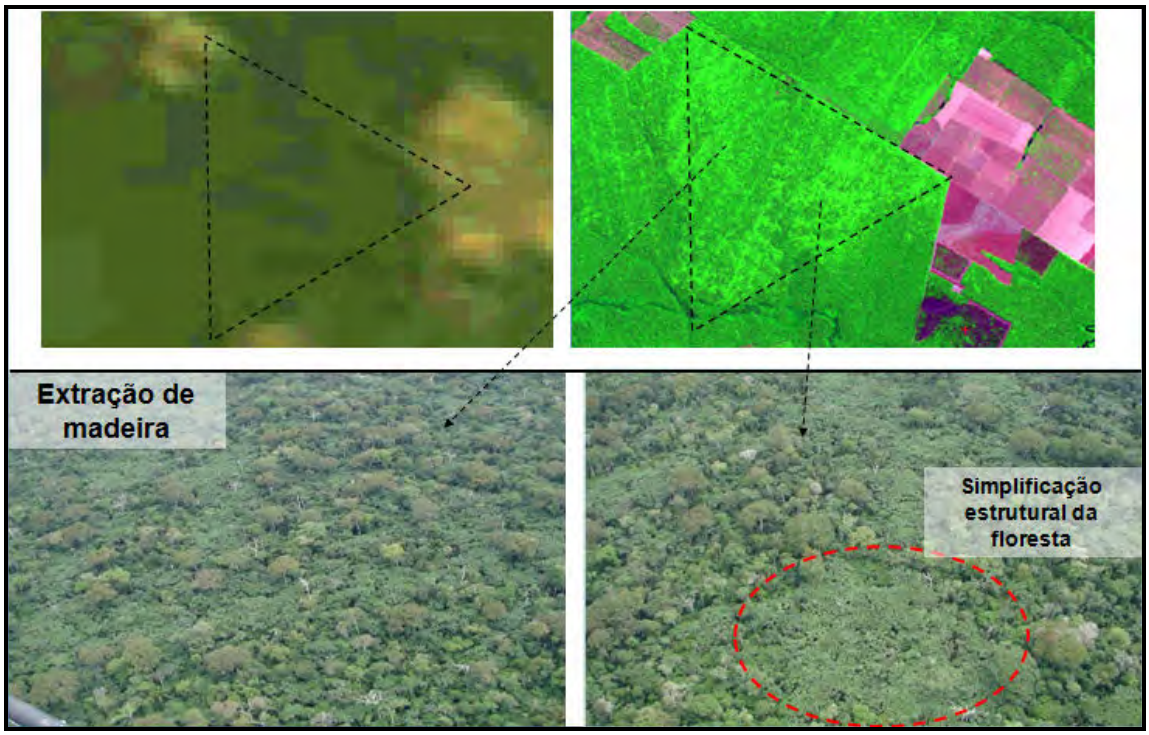
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda da fisionomia florestal
- Ocorrência de fogo florestal
- Árvores mortas em pé
- Presença de pátio de estoque de madeira é indício de que há extração seletiva de madeira no remanescente florestal

DESCRIÇÃO PONTO B1

Coordenadas: S 11,37°; W 55,05°

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade leve



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta/ capoeira	Cicatriz de fogo florestal	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada (sem Alerta)

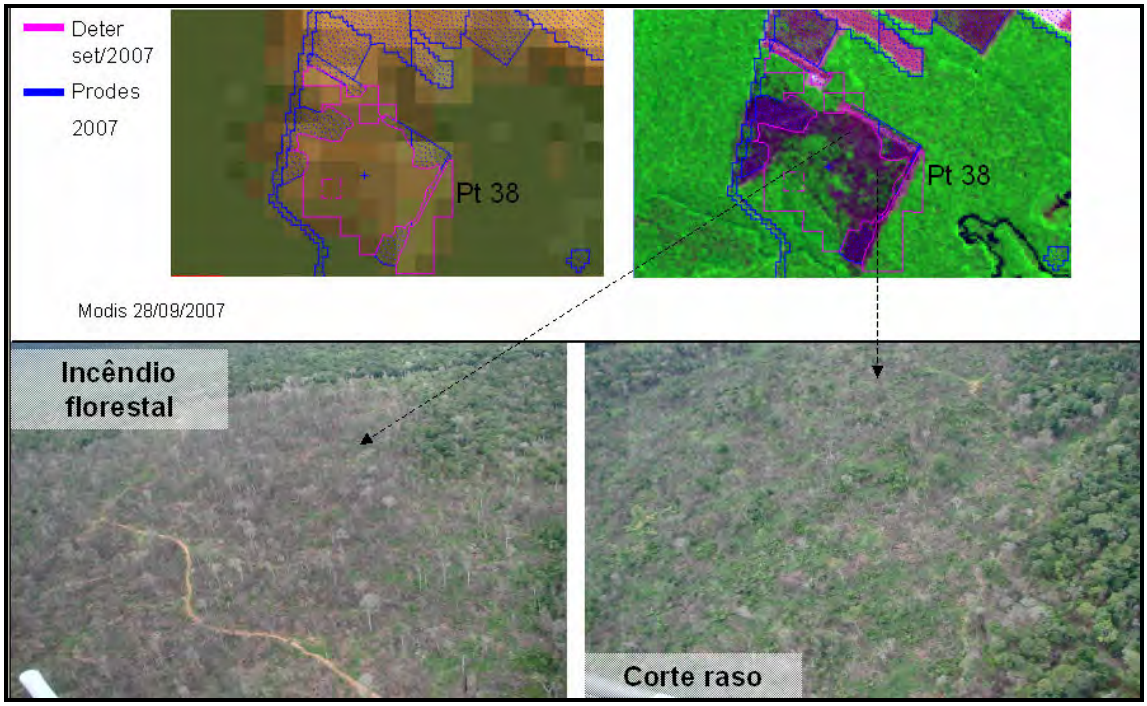
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Simplificação estrutural da floresta que pode ter sido causada por extração seletiva de madeira

DESCRIÇÃO PONTO 38

Coordenadas: S 11,4°; W 55,01°

Classificação: Corte raso



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Cicatriz de estrada	Floresta degradada	Floresta degradada	Cicatriz de fogo florestal (Alerta set)

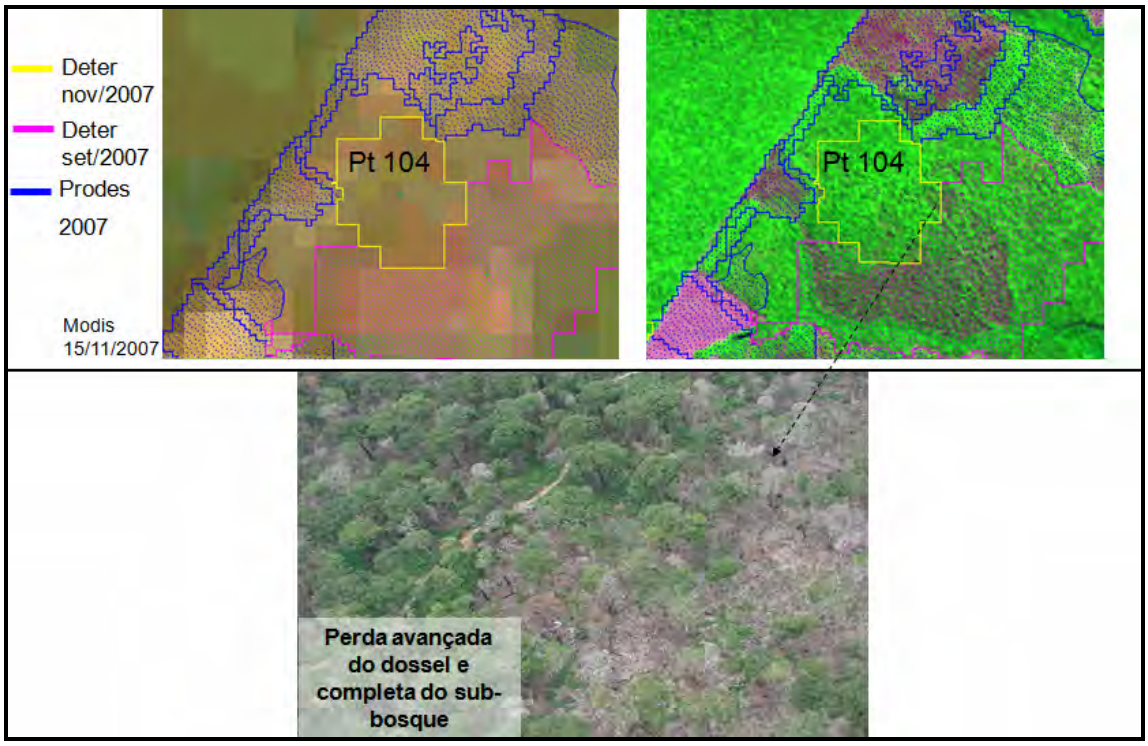
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda da fisionomia florestal
- Ocorrência de incêndio florestal
- Árvores mortas em pé
- Área com solo exposto e vegetação rasteira

DESCRIÇÃO PONTO 104

Coordenadas: S 11,12º; W 54,96º

Classificação: Degradação Florestal – intensidade alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada (alerta nov, 2007)

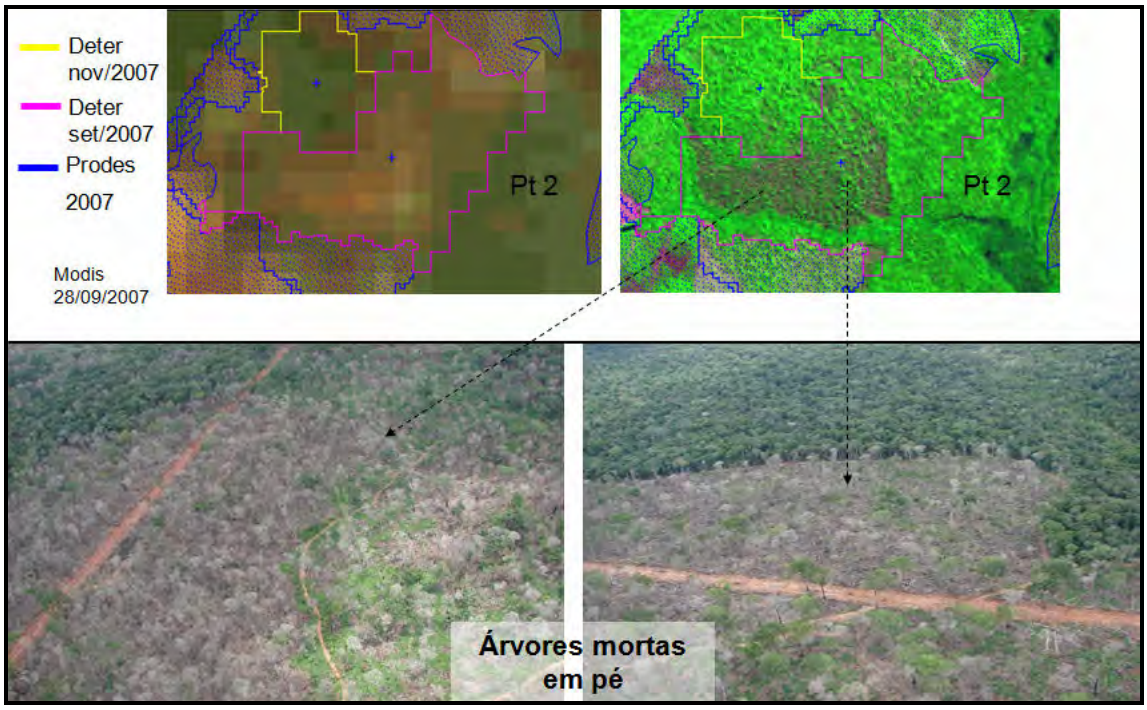
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda avançada do dossel e completa do sub-bosque
- Vestígios de incêndio florestal
- Presença de estradas

DESCRIÇÃO PONTO 2

Coordenadas: S 11,12º; W 54,94º

Classificação: Degradação Florestal - Perda da Cobertura Florestal



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta maio e set, 2007)

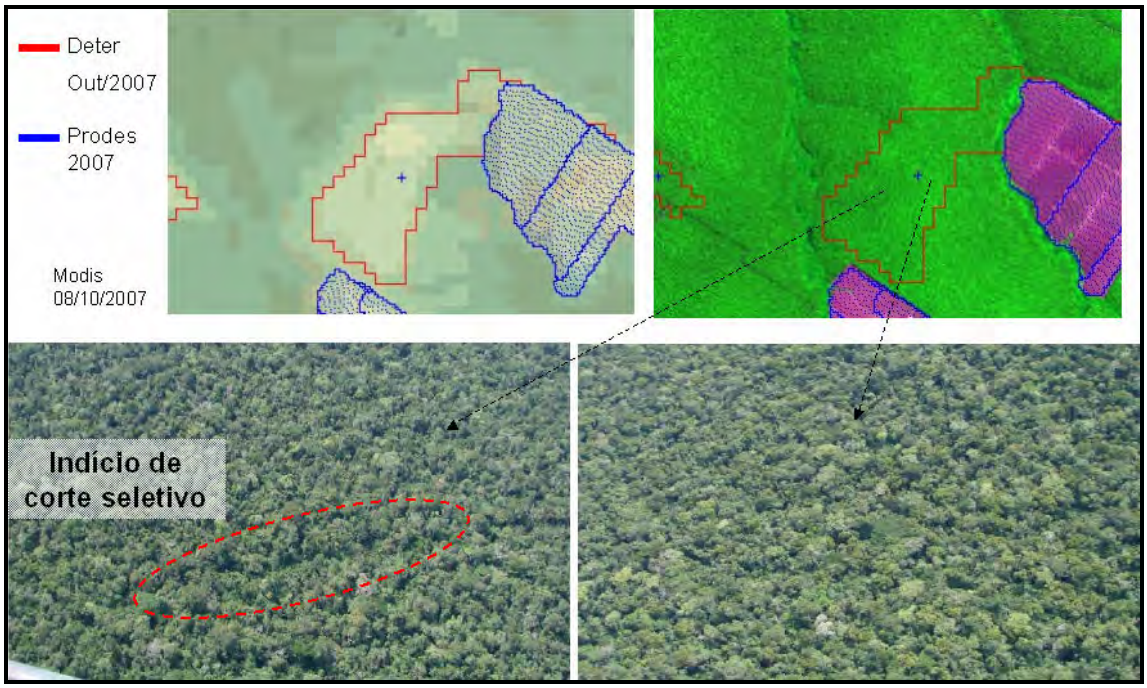
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda avançada do dossel e completa do sub-bosque
- Ocorrência de incêndios florestais
- Presença de estradas principais e secundárias

DESCRIÇÃO PONTO 80

Coordenadas: S 11,28º; W 54,57º

Classificação: Floresta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada	Regeneração	Floresta degradada (Alerta out, 2007)

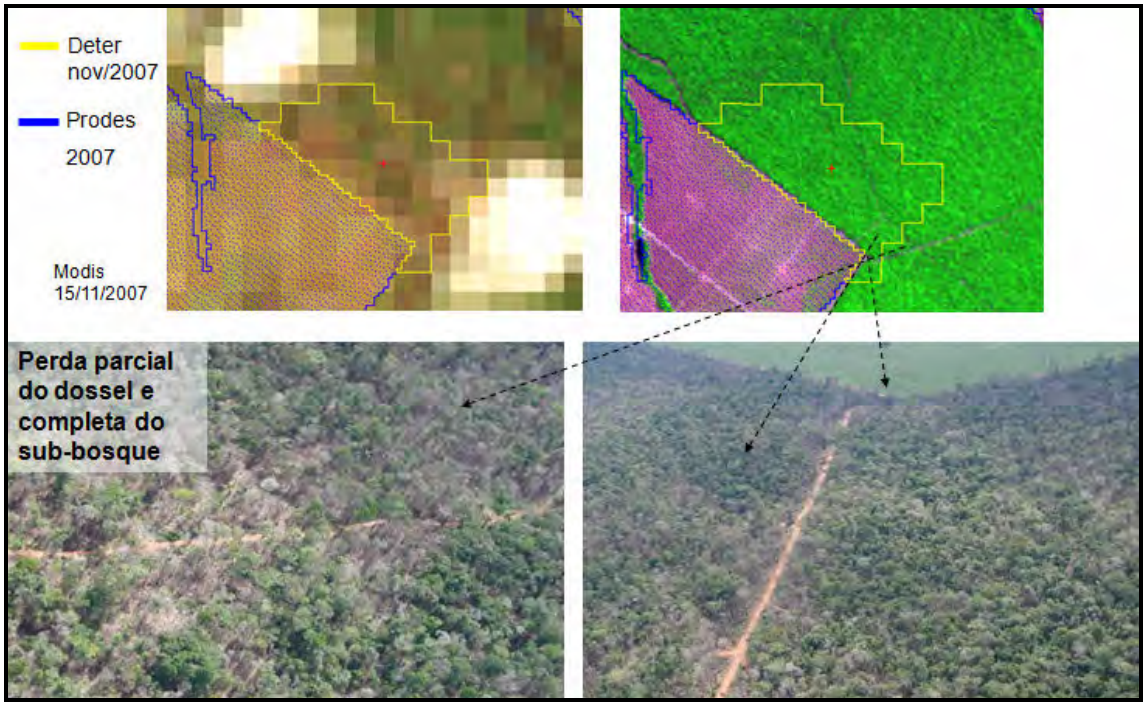
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Há indícios de extração seletiva de madeira de intensidade leve

DESCRIÇÃO PONTO 93

Coordenadas: S 11,34°; W 54,61°

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

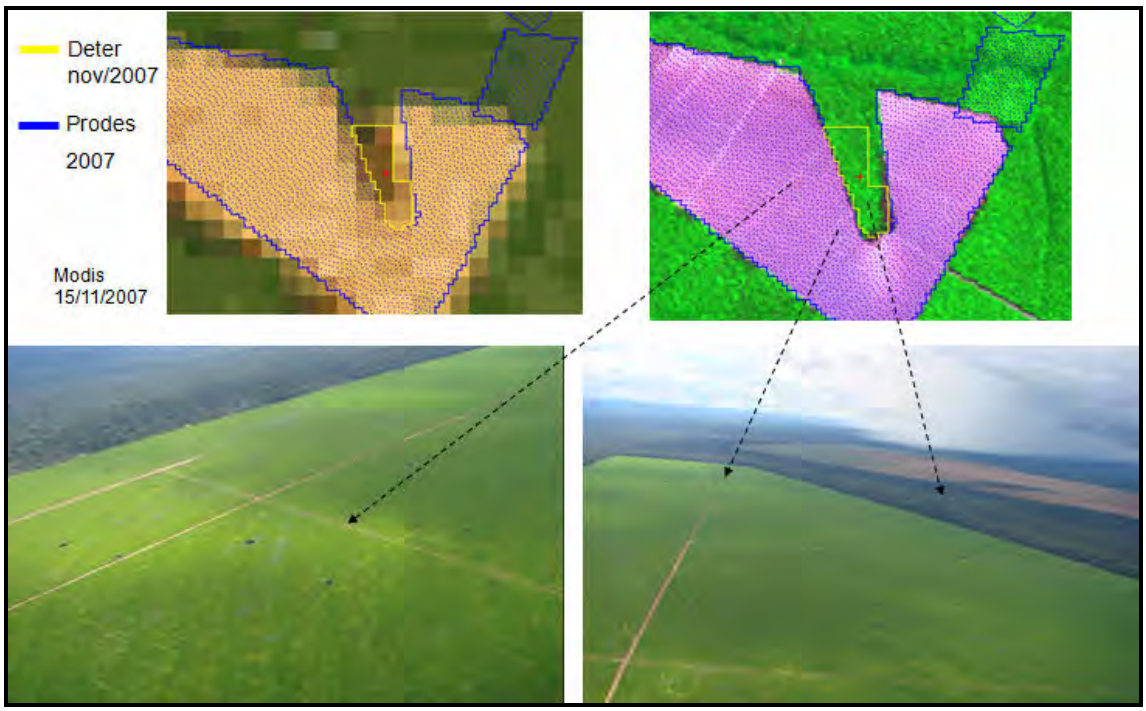
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda parcial do dossel e completa do sub-bosque
- Vestígios de incêndio florestal devido a presença de árvores mortas em pé
- Estrada fragmentando a floresta

DESCRIÇÃO DO PONTO 118

Coordenadas: S 11,79º; W 54,71º

Classificação: Sem condições de avaliar



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta (estrada na vizinhança)	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta degradada	Floresta	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

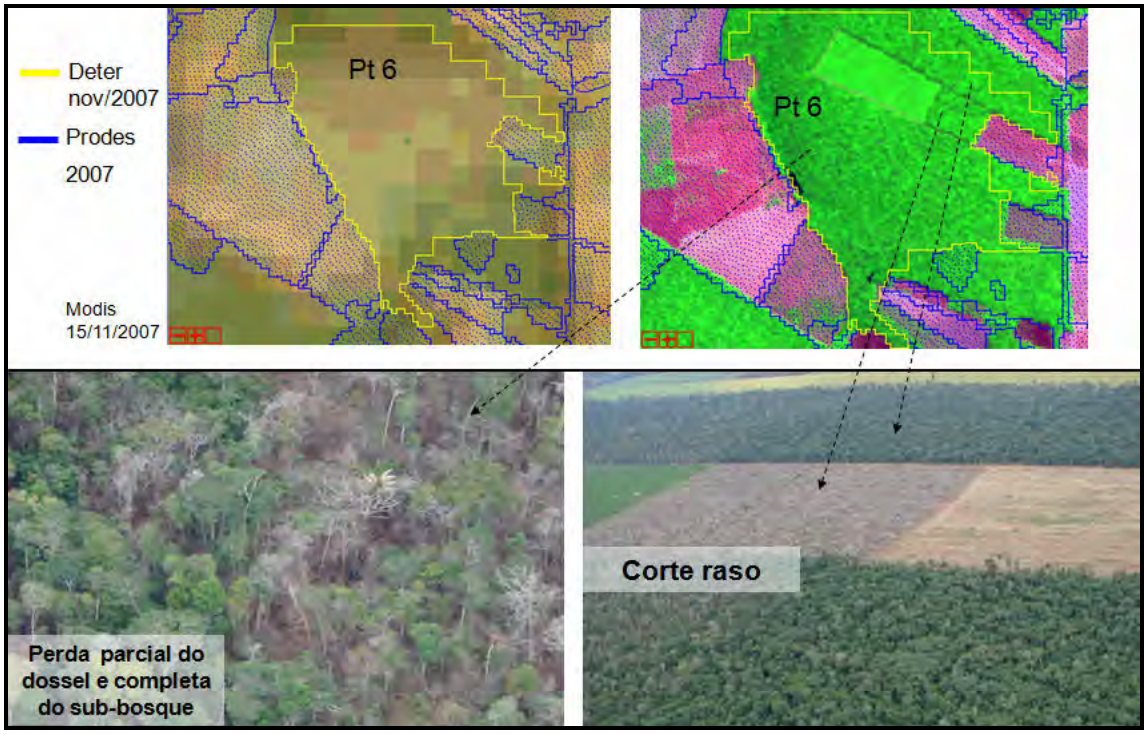
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- A foto não representa a área indicada como Alerta pelo DETER, portanto não há como avaliar as condições da floresta.

DESCRIÇÃO PONTO 6

Coordenadas: S 11,61°; W 54,91°

Classificação: Corte raso/ degradação florestal – intensidade alta



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta	Floresta degradada	Floresta degradada	Cicatriz de solo exposto	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

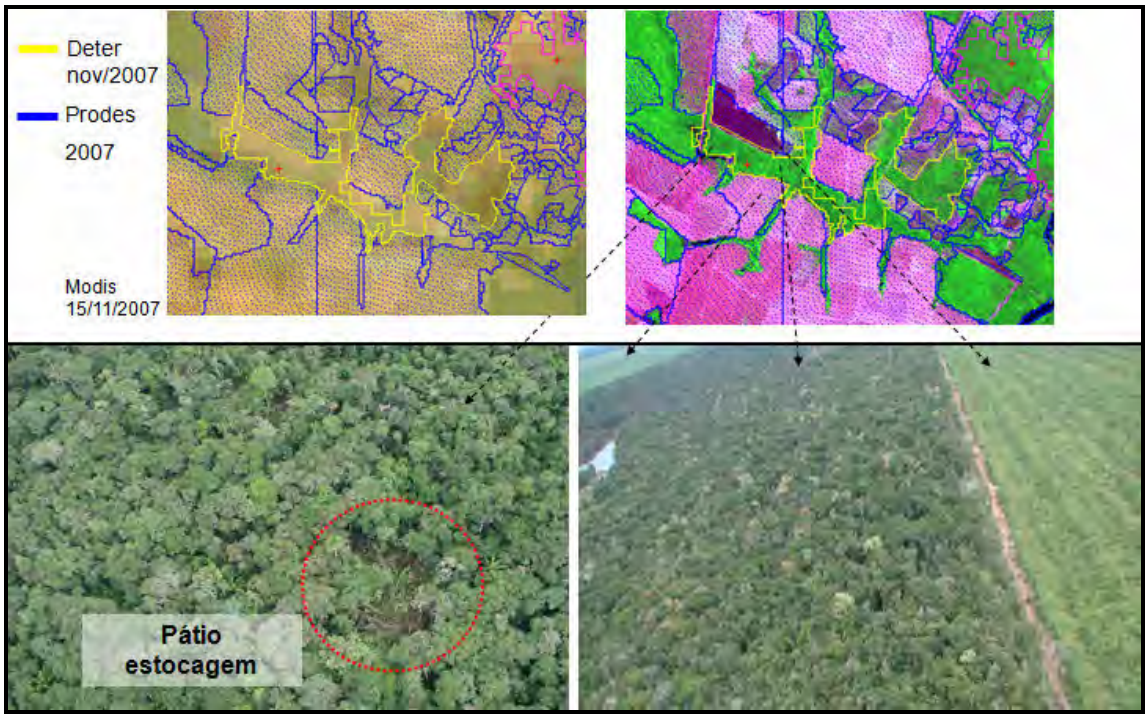
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Corte raso em diferentes estágios: área com madeira morta no chão, área limpa e pastagem
- Área de entorno com perda parcial do dossel e completa do sub-bosque

DESCRIÇÃO PONTO 15

Coordenadas: S 11,6º; W 57,8º

Classificação: Degradação Florestal - Intensidade Moderada



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta degradada	Cicatriz de fogo florestal e estrada	Floresta/ cicatriz estrada	Floresta/ cicatriz estrada	Floresta/ cicatriz estrada	Floresta degradada/ cicatriz estrada (Alerta nov, 2007)

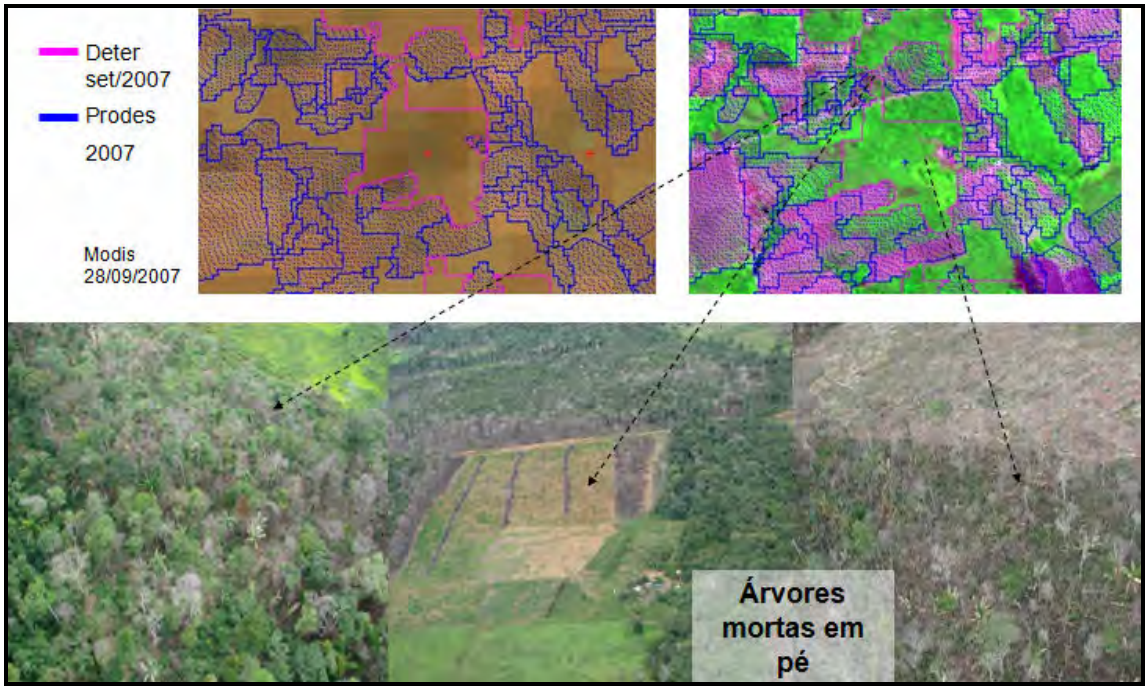
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Clareiras na floresta devido à extração de madeira seletiva
- Presença de pátio de estoque de madeira

DESCRIÇÃO PONTO 53

Coordenadas: S 11,46º; W 55,63º

Classificação: Degradação Florestal - Perda da Cobertura Florestal



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Floresta degradada/ Cicatriz de solo exposto	Floresta degradada/ cicatriz de solo exposto	Cicatriz de fogo florestal	Cicatriz de fogo florestal	Floresta degradada/ cicatriz de fogo florestal (Alerta set, 2007)

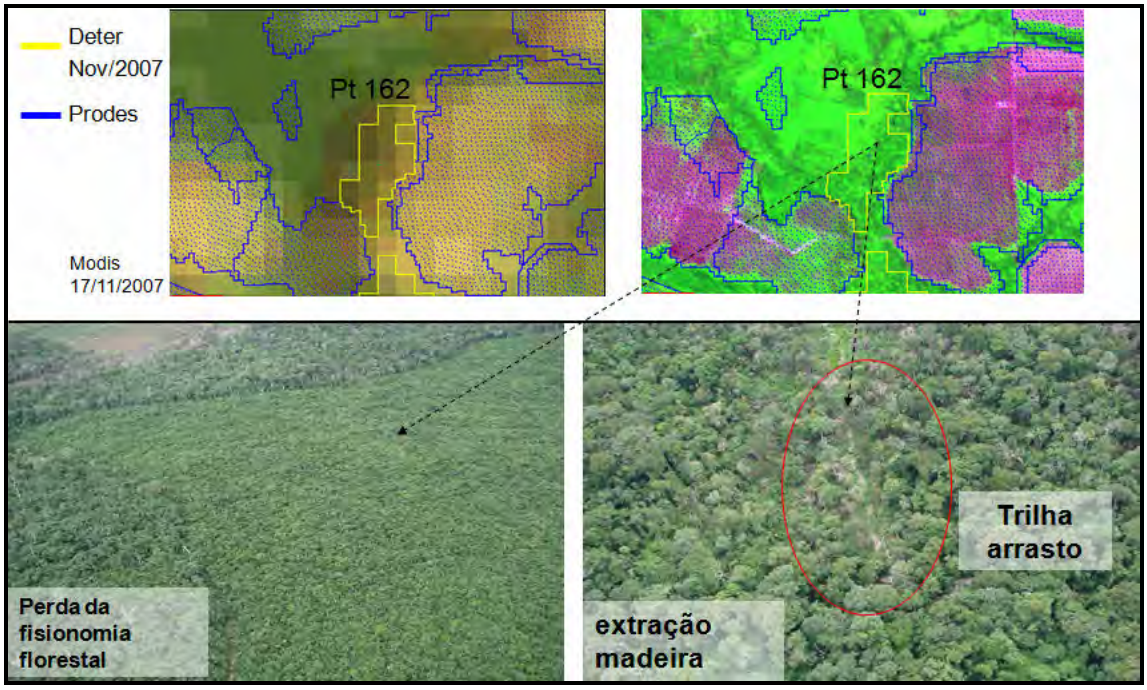
DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Perda de dossel em estágio avançado
- Perda completa de sub-bosque
- Árvores mortas em pé
- Solo exposto
- Ocorrência de fogo florestal

DESCRIÇÃO PONTO 162

Coordenadas: S 11,29º; W 55,63º

Classificação: Degradação Florestal - Perda da Cobertura Florestal



HISTÓRICO

1990	2000	2003	2004	2006	2007
Floresta	Indício de fogo florestal	Floresta degradada	Floresta degradada/ Cicatriz de solo exposto	Floresta degradada	Floresta degradada (Alerta nov, 2007)

DESCRIÇÃO DE CAMPO

- Presença de trilha de arrasto indica atividade de extração seletiva de madeira
- Remoção total da floresta e substituição por vegetação rasteira