



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2021/01.25.18.31-NTC

## METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DA FLORESTA USADA NOS PROJETOS PRODES E DETER

Claudio Aparecido de Almeida  
Luis Eduardo Pinheiro Maurano  
Dalton de Morisson Valeriano  
Gilberto Camara  
Lubia Vinhas  
Alessandra Rodrigues Gomes  
Antonio Miguel Vieira Monteiro  
Arlesson Antonio de Almeida Souza  
Camilo Daleles Rennó  
Daniel E. Silva  
Marcos Adami  
Maria Isabel Sobral Escada  
Marisa da Motta  
Silvana Amaral

Programa de Monitoramento da  
Amazônia e Demais Biomas –  
PAMZ+  
Instituto Nacional de Pesquisas Es-  
paciais – INPE

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/443GTAS>>

INPE  
São José dos Campos  
2021

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)  
Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**

### **Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Divisão de Modelagem Numérica do Sistema Terrestre (DIMNT)

### **Membros:**

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Pesquisa Aplicada e Desenvolvimento Tecnológico (COPDT)

Dr. Alisson Dal Lago - Divisão de Heliofísica, Ciências Planetárias e Aeronomia (DIHPA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades (DIIAV)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Divisão de Mecânica Espacial e Controle (DIMEC)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Divisão de Pós-Graduação - (DIPGR)

Silvia Castro Marcelino - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

Cauê Silva Fróes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21c/2021/01.25.18.31-NTC

## METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DA FLORESTA USADA NOS PROJETOS PRODES E DETER

Claudio Aparecido de Almeida  
Luis Eduardo Pinheiro Maurano  
Dalton de Morisson Valeriano  
Gilberto Camara  
Lubia Vinhas  
Alessandra Rodrigues Gomes  
Antonio Miguel Vieira Monteiro  
Arlesson Antonio de Almeida Souza  
Camilo Daleles Rennó  
Daniel E. Silva  
Marcos Adami  
Maria Isabel Sobral Escada  
Marisa da Motta  
Silvana Amaral

Programa de Monitoramento da  
Amazônia e Demais Biomas –  
PAMZ+  
Instituto Nacional de Pesquisas Es-  
paciais – INPE

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/443GTAS>>

INPE  
São José dos Campos  
2021



Esta obra foi licenciada sob uma [Licença Creative Commons Atribuição-CompartilhaIgual 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported License](#).



**EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL (ordem alfabética)**

Alessandra Gomes, Dra.

Antônio Miguel Vieira Monteiro, PhD

Arlesson Souza, Ms.

Camilo Daleles Rennó, Dr.

Cláudio Aparecido Almeida, Dr.

Dalton de Morisson Valeriano, Dr.

Daniel E Silva, Dr.

Fabiano Morelli, Dr.

Gilberto Câmara, Dr.

Lubia Vinhas, Dr.

Luis Eduardo Pinheiro Maurano, Ms.

Marcos Adami, Dr.

Maria Isabel Sobral Escada, Dra.

Marisa da Motta, Ms.

Silvana Amaral, Dra.



## Índice

1. Introdução .....	4
2. Conceitos de desmatamento no monitoramento por satélite .....	4
2.1 Desmatamento por Corte Raso .....	4
2.2 Desmatamento por Degradação Florestal.....	6
3. PRODES – Materiais e Métodos .....	8
3.1 Área de abrangência .....	8
3.2 Imagens utilizadas.....	9
3.3 Metodologia.....	9
3.3.1 Fase da seleção das imagens.....	10
3.3.2 Fase do mapeamento dos polígonos de desmatamento.....	11
3.3.3 Fase do cálculo da taxa anual de desmatamento:.....	13
4. DETER – Materiais e Métodos .....	15
4.1 Imagens utilizadas.....	15
4.2 Metodologia.....	17
5. Software utilizado.....	19
6. Disponibilização .....	20
7. TerraBrasilis .....	21
ANEXO I.....	24
Metodologia para Cálculo da Taxa e Desmatamento do PRODES.....	24
1. Dados de entrada .....	24
2. Estimativa da área desmatada sob nuvens.....	25
3. Cálculo da taxa de desmatamento .....	26



## Metodologia Detalhada dos Sistemas PRODES e DETER do INPE

### 1. Introdução

O Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas (PAMZ+) é um programa desenvolvido na Divisão de Observação da Terra e Geoinformática (DIOTG) e na Coordenação Espacial da Amazônia (COEAM) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O PAMZ+ executa três projetos operacionais de monitoramento do uso e cobertura da terra com imagens de satélites de sensoriamento remoto na região da Amazônia: o Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e o sistema de mapeamento do uso e ocupação da terra, TerraClass. Os sistemas são complementares e foram concebidos para atender a diferentes objetivos. Este documento trata das metodologias do PRODES e do DETER.

### 2. Conceitos de desmatamento no monitoramento por satélite

O termo desmatamento utilizado no PRODES é definido como conversão por *supressão de áreas de fisionomia florestal primária por ações antropogênicas*.

O desmatamento pode ser visto como um processo único, que se inicia com a floresta intacta e termina com a conversão 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 ao longo do processo de desmatamento que pode ocorrer lentamente no tempo, pela contínua exploração madeireira e/ou pelas ocorrências sucessivas de fogo florestal.

A Figura 2.1 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, do ponto de vista da resposta espectral, mais heterogênea, até o momento em que a floresta praticamente desaparece e a paisagem torna-se novamente homogênea pela falta da cobertura original (Lambin, 1999). 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.

#### 2.1 Desmatamento por Corte Raso

O processo de desmatamento por corte raso 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 área pode ainda ser abandonada e entrar em um processo de regeneração. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra as principais etapas desse processo.

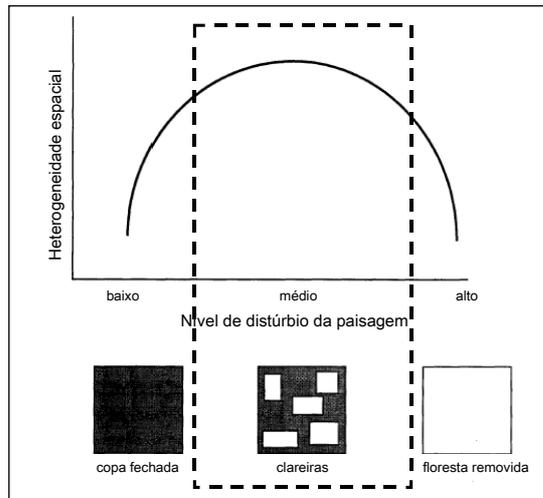


Figura 2.1 – Relação entre o nível de distúrbio e a heterogeneidade da paisagem observada por sensoriamento remoto, medida em uma mesma resolução espacial. Fonte: Lambin (1999).



Figura 2.2 – Processo de desmatamento por corte raso, denominado “corte e queima”, em que toda a vegetação é derrubada e queimada em pouco tempo.

O processo de desmatamento se inicia normalmente antes ou durante o período chuvoso que precede a derrubada 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 motosserras no início da estação seca. Fica a biomassa no solo, que normalmente é queimada no período mais seco entre julho e setembro na maior parte da Amazônia. No final desse processo pode-se ou não agregar a biomassa remanescente em leiras para queimas subsequentes. Forma-se a pastagem por semeadura de gramíneas forrageiras, bem adaptadas às condições Amazônicas e ao fogo. Essa estratégia de desmatamento foi predominante na região entre as décadas de 70 e 90. O desmatamento por corte raso deixa cicatrizes bem evidentes nas imagens de satélite de observação da Terra, em contraste com a floresta do seu entorno, tornando-o um evento relativamente de fácil detecção.

## 2.2 Desmatamento por Degradação Florestal

O segundo processo é a degradação progressiva da floresta, que é mais lento e mais difícil de detectar usando imagens de satélites. O primeiro passo é a retirada das madeiras de maior valor comercial, 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 por lei, como é o caso da castanheira, ou que não têm valor comercial, como as palmeiras, por exemplo. Essa biomassa remanescente pode dificultar 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 ocorre a degradação da floresta, levando um certo tempo para crescer. Depois de um ano o gado e a pecuária entram na floresta, enquanto ela ainda não desapareceu. Este capim é queimado no segundo ano, provocando uma segunda limpeza da floresta. Nesse momento, sobra apenas cerca de 10% a 20% do dossel florestal, 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 degradada. No terceiro ano é feita mais uma queimada que destrói de vez o que restou da floresta inicial. A Figura 2.3 e a Figura 2.4 ilustram o processo de desmatamento por degradação progressiva.

A fase final do processo de degradação progressiva, em que a pastagem é gradativamente introduzida, pode durar 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 identificar o ponto onde a degradação severa corresponde ao colapso da estrutura da floresta e pode então ser classificada como um desmatamento.



Figura 2.3 – Ilustração da degradação progressiva. Fonte: Barlow e Peres (2008).

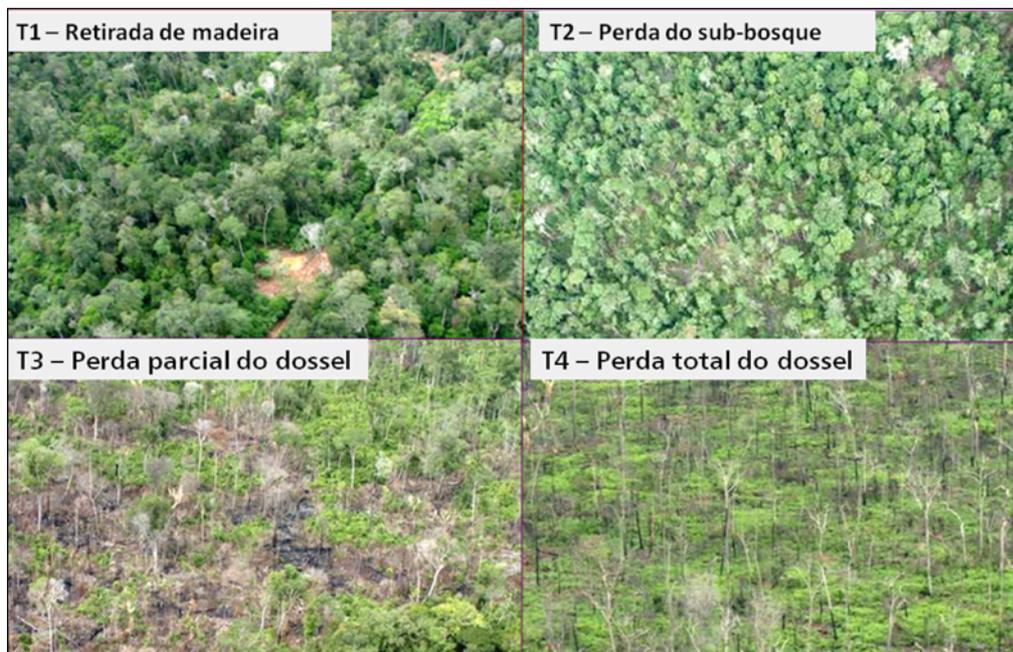


Figura 2.4 – Fotos do processo de degradação progressiva. Fonte: INPE e MMA (2008).



### 3.2 Imagens utilizadas

O PRODES usa imagens compatíveis com as geradas pelos satélites da série Landsat da NASA/USGS (EUA) chamadas de “imagens da classe Landsat”. Essas imagens caracterizam-se por uma resolução espacial na faixa de 20-30 metros e pelo menos três bandas espectrais. Atualmente podem ser utilizadas imagens do satélite Landsat-8, SENTINEL-2 (União Europeia) ou CBERS-4/4A do INPE/CRESDA (Brasil/China).

Essas imagens são disponibilizadas pelos seus provedores com correção geométrica de sistema e refinada pelo uso de pontos de controle e de modelos digitais de elevação do terreno. Ou seja, são imagens ortorretificadas no nível mais alto de correção geométrica, prontas para serem analisadas em conjunto com outros dados vetoriais e também com medições feitas no terreno, sem que haja necessidade de processamento adicional, em concordância com as normas cartográficas vigentes.

Para recobrir toda a ALB são necessárias 220 imagens Landsat. A Figura 3.2 mostra as localizações dessas cenas conforme a grade padrão de aquisição das imagens Landsat.



Figura 3.2 – Localização das cenas Landsat que recobrem a ALB.

### 3.3 Metodologia

A metodologia PRODES parte de pressupostos os quais serão considerados nas seções seguintes.

- O PRODES realiza anualmente o mapeamento dos incrementos de desmatamento por corte raso levando à remoção da cobertura florestal primária.
- Os incrementos são mapeados através de fotointerpretação por especialistas.
- Assume-se que dentro da estação seca ocorre a maioria dos desmatamentos, as características espectrais da vegetação são ideais para detecção do

desmatamento e a cobertura de nuvem é reduzida. Por isso, as imagens interpretadas são obtidas preferencialmente na estação seca.

- Devido à larga extensão da ALB a estação seca varia em função da latitude. Estabeleceu-se para cada uma das cenas (Figura 3.2) o intervalo do ano para a sua estação seca, com base em parâmetros climatológicos.
- As imagens candidatas a seleção apresentam resolução espacial da ordem de 20-30 metros, taxa de revisita entre 5 e 26 dias e possuem três ou mais bandas espectrais.
- O PRODES só identifica polígonos de desmatamento cuja área é superior a 6,25 ha.
- Os satélites utilizados (órbita baixa e quase polar) tornam impossível adquirir todas as imagens necessárias para cobrir a ABL no mesmo dia/mês de referência em todos os anos.
- Em situações de alta cobertura de nuvem em uma área específica, mais de uma imagem pode ser usada para compor uma cena, sendo imagens de sensores e/ou datas diferentes.
- O PRODES adota uma metodologia de mapeamento incremental, ou seja, para cada imagem são mapeados os incrementos de desmatamento que ocorreram no intervalo entre a data da imagem de um ano e a data da imagem no ano subsequente.
- A partir dos incrementos mapeados em um ano PRODES é calculada a taxa anual para aquele ano. Por exemplo, a taxa calculada para o ano PRODES 2020 estima o desmatamento ocorrido entre 01/08/2019 e 31/07/2020. Esse período é chamado **ano PRODES**, ou ano-calendário do desmatamento.
- O desmatamento em áreas não-observadas devido a cobertura de nuvens de uma imagem é estimado através da metodologia detalhada no item 3.3.3, e no Anexo I.
- Para fornecer uma taxa anualizada de desmatamento em uma cena, os incrementos de desmatamento nela mapeados são projetados para uma data de referência comum. Considerando o grande número de imagens cuja estação seca está entre os meses de junho e setembro, tomou-se a data de 1/agosto (dia juliano 211) como data de referência para o cálculo das taxas anualizadas.

A execução dessa metodologia, de maneira operacional, é descrita através das fases a seguir.

### 3.3.1 Fase da seleção das imagens

A escolha das imagens começa a partir do mês de agosto do ano PRODES que se está trabalhando. Busca-se as imagens com menor cobertura de nuvens e preferencialmente dentro ou próximo a estação seca de cada cena. O uso de imagens da “classe Landsat” garante que os resultados obtidos atualmente serão compatíveis com a série histórica da taxa de desmatamento produzida pelo INPE desde 1988. Atualmente são utilizadas imagens dos satélites Landsat-8 ou CBERS-4/4A, e mais recentemente do SENTINEL-2. As imagens são obtidas diretamente no catálogo disponibilizado pelo Centro de Dados de Sensoriamento Remoto – CDSR no link <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>, ou na plataforma de acesso aos dados da ESA.

Depois de selecionadas, as imagens são realçadas para evidenciar as áreas de corte raso. A Figura 3.3 mostra um recorte de uma imagem Landsat-8 original e o efeito conseguido após a aplicação de uma operação de realce de contraste.

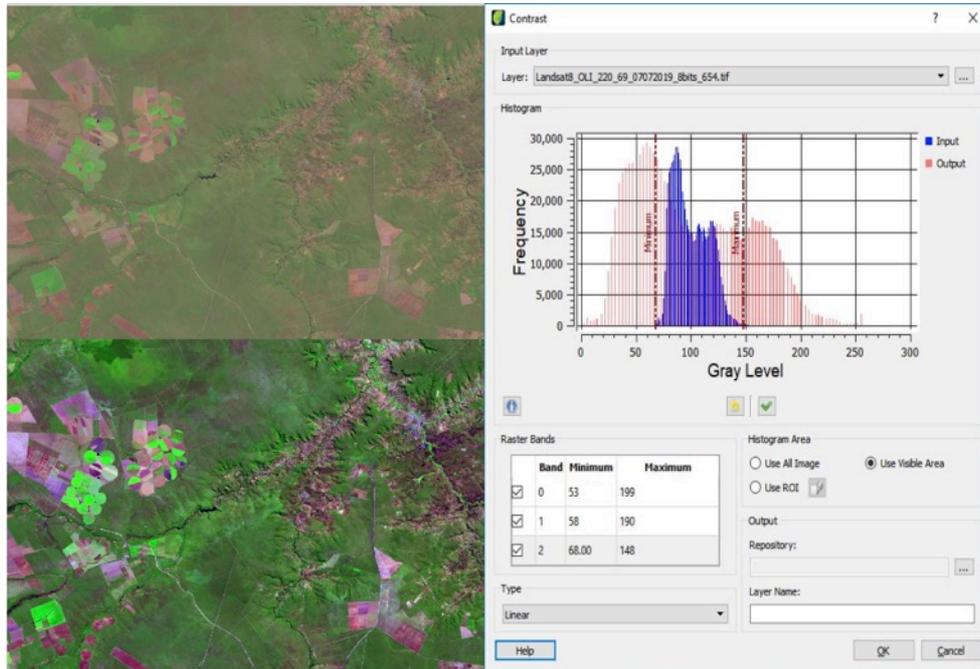


Figura 3.3 – Exemplo de aplicação de realce em imagem Landsat-8.

### 3.3.2 Fase do mapeamento dos polígonos de desmatamento

A identificação de desmatamento é feita por fotointerpretação de imagens, realizada por especialistas treinados, que delimitam os polígonos de desmatamento diretamente na tela do computador. Estes especialistas identificam o padrão de alteração da cobertura florestal para corte raso com base nos principais elementos observáveis nas imagens: tonalidade, cor, forma, textura e contexto, seguindo a padronização mostrada na Figura 3.4.

Imagem Landsat	Critério de interpretação
	<p>Tonalidade e cor magenta /avermelhada ou verde muito claro (esmaecido). Forma regular, textura lisa, limites bem definidos entre o polígono com solo exposto e a floresta.</p> <p>A cobertura da terra tem predomínio de solo exposto ou pastagem em formação.</p>

Figura 3.4 – Padrão de interpretação de imagens para identificação de desmatamento por corte raso.

Estes elementos são analisados comparativamente considerando imagens do ano subsequente, além das imagens da série histórica. Este procedimento é executado para todas as imagens selecionadas para o mapeamento do ano PRODES. A Figura 3.5 mostra alguns polígonos de desmatamento mapeados pelo PRODES na região de Boca do Acre/AM. Esses polígonos estão ressaltados na cor amarela e sobrepostos às imagens de 2017 e 2018. É possível identificar as mudanças entre os dois anos, e mapeá-las como incrementos de desmatamento para o ano PRODES 2018. Uma auditoria de todas as cenas e 100% da área mapeada é realizada por especialistas, no objetivo de evitar a geração de falsos positivos de desmatamento e de reduzir as omissões. Algumas cenas podem também ter uma auditoria reforçada, quando justificada por um maior grau de dificuldade na detecção do desmatamento, ou por ser cena de *hotspot* de desmatamento.



Imagem de 20/07/2017



Imagem de 24/08/2018

Figura 3.5– Recortes de Imagem Landsat-8, identificada pela órbita 001 e ponto 066, em região próxima ao município de Boca do Acre/AM, em 2017 e 2018.

O PRODES segue uma metodologia incremental, ou seja, para cada ano de referência o sistema mapeia os **novos** incrementos do desmatamento. Para assegurar essa característica da metodologia a cada ano, uma máscara de exclusão é atualizada, de maneira a conter todos os desmatamentos detectados pelo PRODES nos anos anteriores (Figura 3.6), impossibilitando que os foto intérpretes mapeiem incrementos em áreas já desmatadas em anos anteriores.

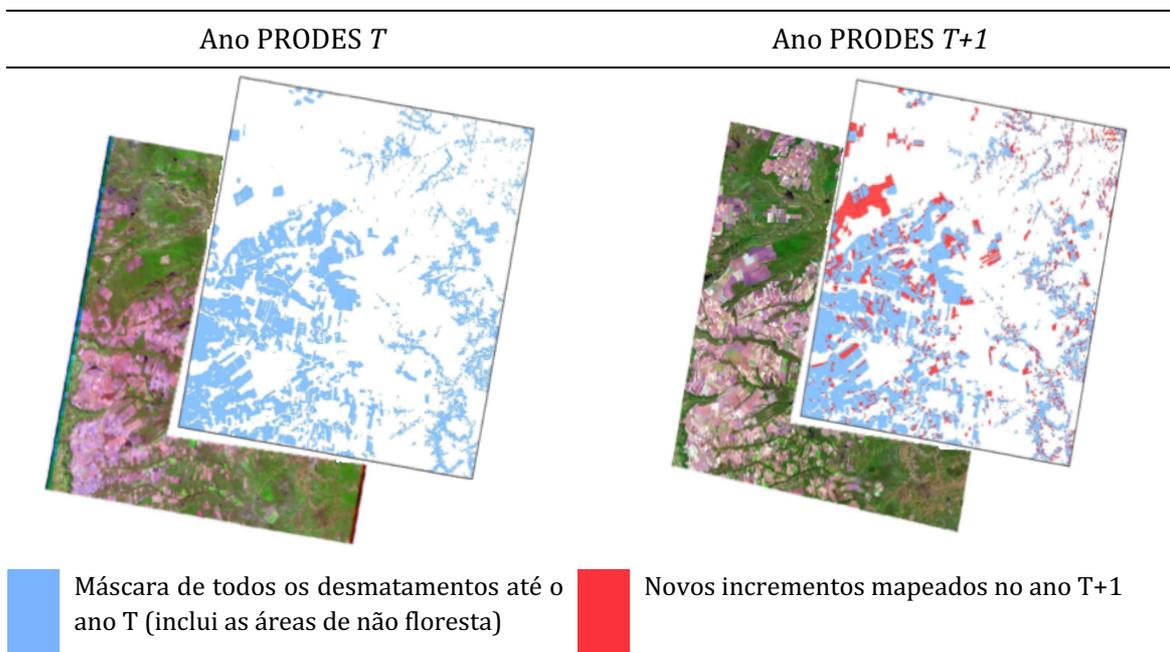


Figura 3.6 – Característica incremental da metodologia PRODES.

### 3.3.3 Fase do cálculo da taxa anual de desmatamento:

A taxa anual estima o desmatamento ocorrido dentro do ano PRODES, partindo do princípio de que toda a área de floresta dentro da ALB é observada anualmente. Porém, em algumas regiões da Amazônia, pode haver persistência de nuvens nas imagens disponíveis para o período de detecção, o que impossibilita a observação pelo PRODES, mesmo com o uso de vários sensores ou datas. Estas áreas não observadas ou “sob nuvens” integram o cálculo da taxa de desmatamento para toda a ALB, considerando que a proporção de desmatamento nelas é a mesma que na área observada, por cena.

No cálculo da taxa anual, a área dos incrementos mapeados no ano de referência que ocorreram em áreas cobertas por nuvens em anos anteriores é ponderada negativamente pelo número de anos cobertos por nuvens. Esse ajuste visa evitar que desmatamentos mapeados em determinado ano, mas que podem ter acontecidos em anos anteriores, sejam totalmente creditados ao ano corrente. Entretanto, destaca-se que a estimativa do desmatamento sob nuvens corresponde em média a apenas 5% da taxa de desmatamento calculada pelo PRODES.

A taxa anual estima o desmatamento ocorrido dentro do ano PRODES, considerando que ele seria distribuído linearmente dentro da estação seca. Entretanto não é possível garantir a aquisição de duas imagens na mesma data em anos subsequentes (como ilustrado na Figura 3.5). Para harmonizar estas diferenças de datas de aquisição faz-se um ajuste temporal de todos os incrementos para uma mesma data de referência. O procedimento detalhado do cálculo da taxa dependerá das datas de aquisição da imagem no ano em análise e nos dois anos anteriores. Os detalhes da estimativa sob nuvens e da harmonização para a data de referência estão descritos no Anexo I.

O cálculo da taxa anual do PRODES é realizado em duas etapas. A primeira etapa ainda dentro do ano civil das imagens do ano PRODES (no exemplo da figura 3.5 o ano de 2018). Para isso são mapeados os incrementos das cenas que compõem o conjunto de cenas prioritárias da ALB. As cenas selecionadas como prioritárias devem atender a três critérios: 1) cobrir a região onde foram registrados pelo menos 90% do desmatamento no período ano PRODES anterior; 2) cobrir regiões onde foram registrados pelo menos 90% dos avisos de desmatamento do DETER para o ano PRODES corrente; e 3) cobrir os municípios prioritários para fiscalização referidos no Decreto Federal 6.321/2007 e atualizado periodicamente por Portaria do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Com base no resultado do mapeamento das cenas prioritárias e usando a metodologia de cálculo da taxa, é feita a estimativa da taxa anual, divulgada entre final de novembro e dezembro. No ano seguinte, a taxa consolidada para o referido ano PRODES é calculada considerando a área de desmatamento mapeada em todas as cenas que recobrem a ALB.

A série histórica da taxa anual de desmatamento medida pelo PRODES desde 1988 é mostrada na Figura 3.7. Essa série, bem como os mapas dos incrementos, pode ser vista no portal TerraBrasilis disponível no endereço <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>.

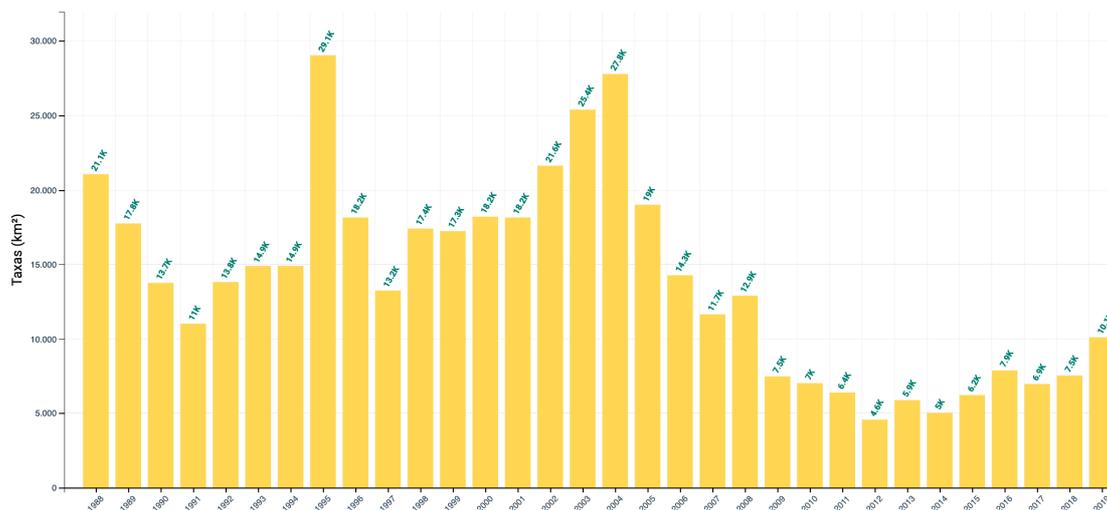


Figura 3.7 – Série histórica do PRODES

## 4. DETER – Materiais e Métodos

O **DETER**, lançado em 2004, é um sistema de apoio à fiscalização que mapeia de maneira expedita áreas desflorestadas e degradadas em formações de florestas tropicais na ALB, ou seja, na mesma área de abrangência do PRODES. O DETER produz diariamente alertas de alteração na cobertura florestal para áreas maiores ou iguais a 3 hectares. Os alertas indicam áreas totalmente desmatadas (corte raso, áreas de mineração e desmatamento com vegetação) e também áreas em processo de degradação florestal (exploração de madeira, queimadas e outras). Esses alertas estão disponíveis em ambiente de internet, via uma arquitetura de serviços geográficos na web, para todos os órgãos de fiscalização, como, por exemplo, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Secretarias Estaduais de Meio Ambiente, com o objetivo de serem usados no planejamento das ações de fiscalização. As informações ficam ainda disponíveis na internet para toda a sociedade no portal TerraBrasilis.

### 4.1 Imagens utilizadas

O DETER utilizou até o ano de 2015 imagens do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA/NASA, e do sensor WFI, a bordo do satélite brasileiro CBERS-2B/INPE. Como esses sensores apresentam resolução espacial de 250 metros era possível mapear alertas de desmatamento com uma área mínima de 25 hectares, sem, contudo, fazer a separação entre desmatamento e degradação. A partir de 2015, a metodologia do DETER foi aprimorada (Diniz, et al. 2018) passando a utilizar as imagens do sensor WFI a bordo dos satélites CBERS-4 e 4A/INPE. Essas imagens têm resolução espacial de 64 metros, o que tornou possível a separação dos alertas em categorias de desmatamento e degradação. Permitiu também a redução da área mínima dos alertas mapeados para 3 hectares.

As imagens WFI possuem um campo de visada de 866 km, e uma taxa de revisita de três dias, considerando a revisita combinada dos satélites CBERS-4 e 4A. Por outro lado, a órbita do satélite garante que todos os dias pelo menos uma faixa da Amazônia seja recoberta, o que permite o monitoramento contínuo da cobertura vegetal dessa área. Com o lançamento do Amazonia-1 do INPE previsto para fevereiro de 2021 a taxa de revisita deve cair para dois dias.

No DETER, é especialmente relevante compreender a distinção entre o tempo de ocorrência e o tempo de detecção. Uma floresta pode ser desmatada passo a passo, mas sua identificação como corte raso ou área degradada ocorre apenas quando é imageada pelo sensor a bordo do satélite. No DETER, todo desmatamento identificado em uma imagem, e que não foi detectado anteriormente, é considerado desmatamento novo e associa-se a ele a data da aquisição da imagem, independentemente da data real de ocorrência do evento que não é conhecida.

As imagens CBERS-4 do CDSR são selecionadas e acessadas diretamente pela internet através do catálogo disponível no endereço <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/> e do CBERS 4A no endereço <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. A equipe do DETER consulta diariamente esses portais para buscar por novas imagens adquiridas

sobre a área de interesse (ALB) e em condições de ser usadas no processo de mapeamento dos alertas, de modo a maximizar a área observada.

A Figura 4.1 mostra, a título de exemplo, uma amostra de uma cena CBERS-4/WFI, identificada pela órbita/ponto 162/105, obtida no dia 12 de julho de 2019. Neste exemplo é possível ver que apesar de alguma cobertura há uma grande parte da imagem livre de nuvens que pode ser usada no mapeamento.

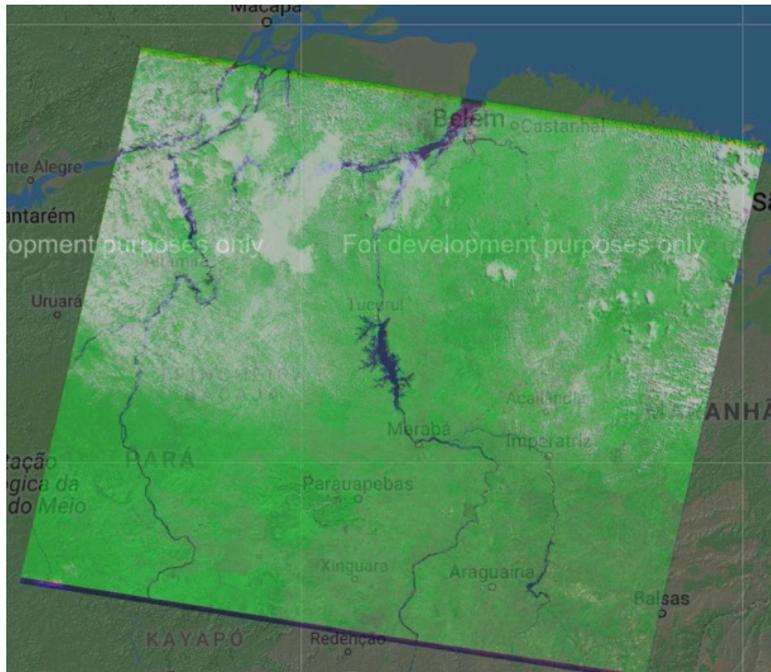


Figura 4.1 – Exemplo de imagem WFI/CBERS-4 selecionada para ser analisada no DETER.

O sensor WFI capta imagens em quatro bandas espectrais, sendo três da região visível do espectro eletromagnético (azul, verde e vermelho) e uma banda na região do infravermelho próximo, que são adequadas para o mapeamento de alterações na cobertura vegetal. Para realçar áreas de desmatamento e degradação, trabalha-se com uma composição colorida em que as bandas espectrais, sensíveis às respostas da contribuição do solo e da vegetação, geram padrões de cores semelhantes aos que o olho humano pode distinguir, tornando mais intuitiva a detecção de mudanças na cobertura vegetal da Terra. A composição colorida associa a banda do vermelho (630-690 nm), infravermelho próximo (770-890 nm) e verde (520-590 nm) aos canais vermelho, verde e azul respectivamente. A imagem colorida resultante tem uma resolução espacial de 64m.

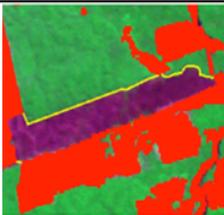
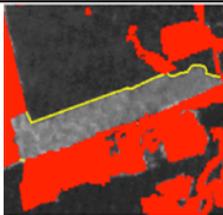
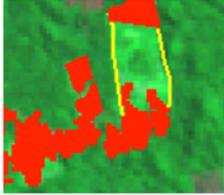
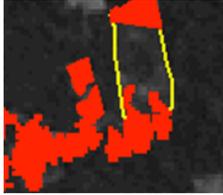
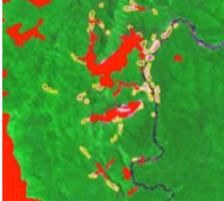
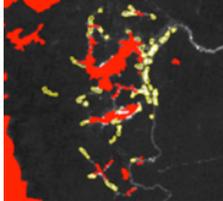
Além dessa composição colorida, no DETER também são obtidas e avaliadas as frações solo, vegetação e sombra de cada imagem, estimadas pela técnica conhecida como Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). O MLME estima a proporção dos componentes solo, vegetação e água/sombra dentro de cada pixel utilizando as assinaturas espectrais de pixels puros dessas componentes (Shimabukuro & Smith 1991). Essas frações subsidiam os foto-intérpretes na identificação das feições de desmatamento e degradação.

## 4.2 Metodologia

No início de cada ciclo de monitoramento do DETER, os mapas de desmatamento do PRODES do ano anterior, as áreas de não-floresta e as áreas de hidrografia formam uma máscara de exclusão onde não são mapeados novos alertas. Essa máscara impede que áreas já desmatadas, ou sem a presença de floresta, sejam indevidamente mapeadas em novos polígonos de desmatamento ou degradação.

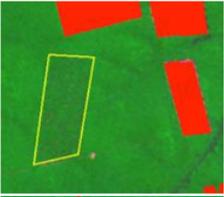
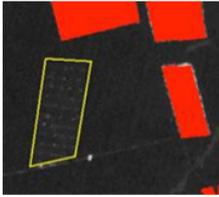
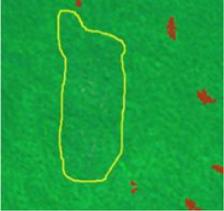
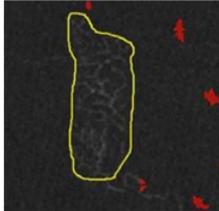
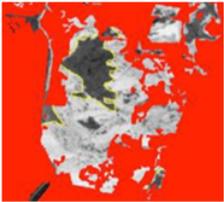
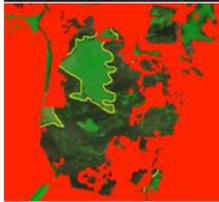
A identificação de desmatamento é feita através da fotointerpretação tendo como base a imagem fração solo. Imagens WFI com a composição colorida das bandas 5(R), 4 (G) e 3 (B), as frações sombra e vegetação geradas pelo MLME, além de séries multitemporais de imagens Landsat e CBERS são utilizadas para complementar a análise das imagens com informações contextuais. A identificação do padrão de alteração da cobertura florestal é feita com base nos principais elementos para a fotointerpretação: tonalidade, cor, forma, textura e contexto.

Os alertas indicados pelo DETER são divididos em dois grupos. O primeiro refere-se aos alertas de desmatamento e são classificados como: desmatamento com solo exposto, desmatamento com vegetação e mineração (Figura 4.2). No segundo grupo estão os alertas de degradação, e são classificados como: degradação, corte seletivo geométrico, corte seletivo desordenado e cicatriz de incêndio florestal (Figura 4.3).

WFI / CBERS-4	Fração solo	Tipo de alerta
		Desmatamento corte raso
		Desmatamento com vegetação
		Mineração

■ Máscara PRODES

Figura 4.2 – Exemplos de alertas de Desmatamento.

WFI / CBERS-4	Fração solo ou sombra	Tipo de alerta
		Degradação
		Corte seletivo geométrico
		Corte seletivo desordenado
		Cicatriz de queimada

■ Máscara PRODES

Figura 4.3 – Exemplos alertas de Degradação.

Os polígonos são digitalizados diretamente na tela do computador, sobre as imagens sobrepostas pela máscara de exclusão, na escala de 1:100.000. Isso permite detectar os alertas em porções da imagem que não estão cobertas por nuvens, cujas áreas são maiores que 3 hectares. A Figura 4.4 mostra, como exemplo, um alerta mapeado pelo DETER em 2019.

Localização: -5,59428 Sul, -51,70507 Oeste. Imagem WFI/CBERS-4, Cena 166/105

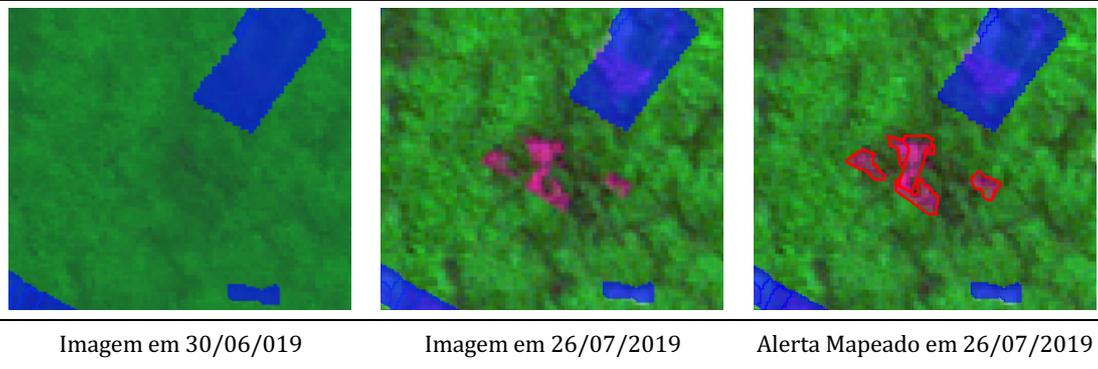


Figura 4.4 – Exemplo de um alerta do DETER. ■ Máscara do PRODES □ Alerta Mapeado.



Com essa metodologia o sistema é capaz de diferenciar distúrbio natural de distúrbio antrópico, pois o primeiro apresenta majoritariamente formas irregulares e não lineares, enquanto o segundo apresenta formas geométricas e lineares.

Uma vez detectado, o polígono é incorporado à máscara de exclusão dos alertas, que é atualizada diariamente. Polígonos identificados como desmatamento ficarão com seu formato e classe inalterados até o fim do ciclo de observação daquele período DETER. Já os polígonos mapeados como degradação podem ser reclassificados parcial ou inteiramente para uma das classes de desmatamento. Essa regra permite que uma área que foi inicialmente identificada como degradação possa ser reclassificada no futuro como desmatamento. Essa possibilidade torna o monitoramento mais efetivo para as ações de fiscalização, uma vez que as alterações passíveis de fiscalização são identificadas e classificadas já desde o início da intervenção na cobertura florestal original.

Os polígonos de alerta são inseridos em um banco de dados de maneira automatizada, onde podem ser consultados individualmente por data (ou intervalos entre duas datas) e/ou por recortes espaciais específicos (ex. municípios). O banco de dados também permite a consulta por classe de desmatamento ou de degradação florestal.

O número de alertas mapeados diariamente varia de acordo com a disponibilidade de imagens viáveis para serem analisadas. O tempo entre a passagem do satélite, o mapeamento dos alertas, sua auditoria e ingestão no banco de dados se dá entre 48 e 72 horas, salvas variações do calendário de trabalho da equipe.

É necessário enfatizar um aspecto metodológico: em função da disponibilidade de imagens com cobertura reduzida de nuvem, variável de um mês para outro, a comparação entre os dados do DETER de meses consecutivos ou mesmo mês de diferentes e anos é fortemente desaconselhada. As comparações, quando necessárias, devem ser realizadas considerando intervalos de no mínimo três meses, comparando-se o mesmo intervalo em anos diferentes, ainda assim com a devida parcimônia.

## 5. Software utilizado

Tanto o PRODES quanto o DETER são executados através do software TerraAmazon (Figura 5.1). Essa aplicação desenvolvida pelo INPE oferece um vasto conjunto de algoritmos de processamento de imagens e de dados vetoriais, ferramentas de edição vetorial com garantia de consistência topológica e gerência de bancos de dados geográficos, além de permitir a implementação de metodologias específicas para projetos com diferentes particularidades, por exemplo, que usam dados de sensores diferentes ou com diferentes propósitos.

Os algoritmos implementados no TerraAmazon utilizam técnicas de programação de alto desempenho, maximizando as capacidades de multiprocessadores disponíveis nos computadores atuais. Isso se reflete na robustez do sistema que é capaz de processar um grande volume de imagens, ou conjuntos de polígonos, em um tempo aceitável no cotidiano de projetos que monitoram grandes extensões geográficas, e utilizando a maior frequência temporal com que as imagens são geradas, como é o caso

do PRODES e também do DETER. Os técnicos do projeto, podem realizar todo o processo de análise de imagens de satélite exclusivamente no TerraAmazon, sem a necessidade de outras aplicações para a preparação das imagens usadas no monitoramento, o que agiliza o processo, equaliza os procedimentos e otimiza o trabalho.

Usando o TerraAmazon, o INPE mantém um banco de dados geográfico corporativo, que contém as imagens processadas e também os dados vetoriais resultantes (polígonos) dos mapeamentos realizados nos dois sistemas.

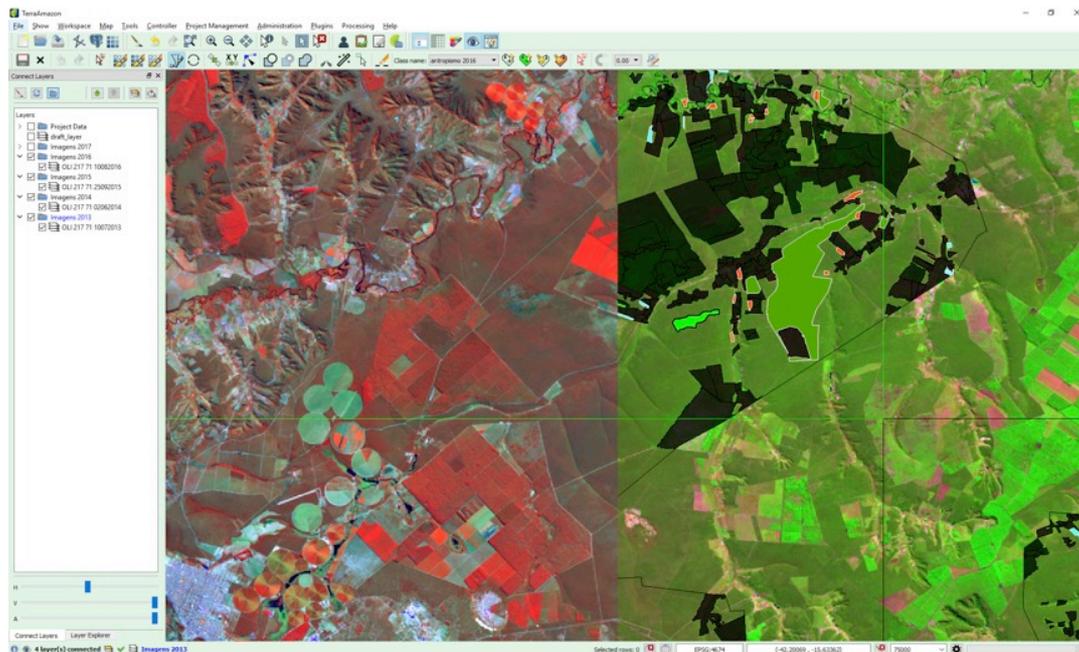


Figura 5.1 Tela do TerraAmazon.

Durante a execução do monitoramento, são mantidas duas instâncias do banco de dados, uma de produção interna à rede do INPE, e outra otimizada para a disseminação dos dados resultantes na internet, garantindo segurança da informação, redundância e tolerância a falhas. Rotinas automatizadas executam os processos de manutenção e sincronização dos bancos de dados.

## 6. Disponibilização

Na data de divulgação pública, o valor da taxa desmatamento para o ano de referência entra para a série histórica. Os incrementos mapeados são também disponibilizados na forma de mapas que mostram sua localização no terreno, em formato digital, no portal <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>, isso é feito tanto na divulgação da taxa estimada, como da taxa consolidada.

Já os alertas do DETER são disponibilizados na internet com um calendário diferenciado para os órgãos de fiscalização que recebem conforme são produzidos, através de acesso ao banco de dados, com controle de usuário e senha. O acesso público a esse banco de dados também se dá através do portal TerraBrasilis, entretanto a atualização dos dados para o acesso público é feita semanalmente sempre na sexta feira pela manhã, com a inclusão dos dados mapeados até a sexta-feira anterior.

Consolidações mensais dos alertas são feitas após o término do mês e seguindo o calendário de divulgação pública, sendo publicado no portal TerraBrasilis na aba de alertas agregados. Ainda assim é preciso sempre ter em mente que: **em função da cobertura de nuvens variável de um mês para outro e da resolução espacial (tamanho mínimo da área imageada pelo sensor) das imagens utilizadas, o INPE desaconselha fortemente a comparação entre a área de alerta medida em diferentes meses pelo sistema DETER.**

O INPE enfatiza que o DETER é um sistema expedito de alerta desenvolvido metodologicamente para suporte à fiscalização. A informação sobre áreas é para que as entidades responsáveis pela fiscalização possam identificar áreas prioritárias para fiscalização e não deve ser entendida como taxa mensal de desmatamento. O número oficial do INPE para medir a taxa anual de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal brasileira é fornecido, desde 1988, pelo projeto PRODES que trabalha com imagens de melhor resolução espacial.

## 7. TerraBrasilis

Visando modernizar a disseminação dos dados de mapeamento produzidos pelo Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas, o INPE desenvolveu um portal de internet que agrega em um único ponto de acesso os dados do PRODES e do DETER. Esse portal chamado TerraBrasilis é acessado no endereço <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>. O TerraBrasilis foi construído para implementar uma infraestrutura de dados espaciais dedicada aos dados do monitoramento (Assis et al., 2019).

O TerraBrasilis está organizado em dois grupos de funcionalidades: serviços de acesso interativo e acesso aos dados. No acesso interativo, o usuário pode acessar duas visões dos dados do DETER. A visão de mapa mostra a localização espacial dos alertas (Figura 7.1). A segunda visão apresenta análises sobre o número, área e tipo de alertas, através de gráficos interativos. A plataforma apresenta também a possibilidade de observar essas análises agregadas por recortes espaciais e políticos como municípios, estados ou áreas de conservação (Figura 7.2).

No acesso aos dados os usuários podem fazer download dos dados espacializados do PRODES e do DETER em formato shapefile, que é o formato padrão de intercâmbio de arquivos vetoriais de dados geográficos.

O TerraBrasilis oferece ainda uma interface de acesso via webservices, que permite que outras aplicações acessem através de interfaces de programação, de computador a computador, os dados do PRODES e do DETER. Isso permite que os dados dos projetos de monitoramento do INPE possam ser integrados à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), em acordo com o Decreto Nº 6.666, de 27 de novembro de 2008.

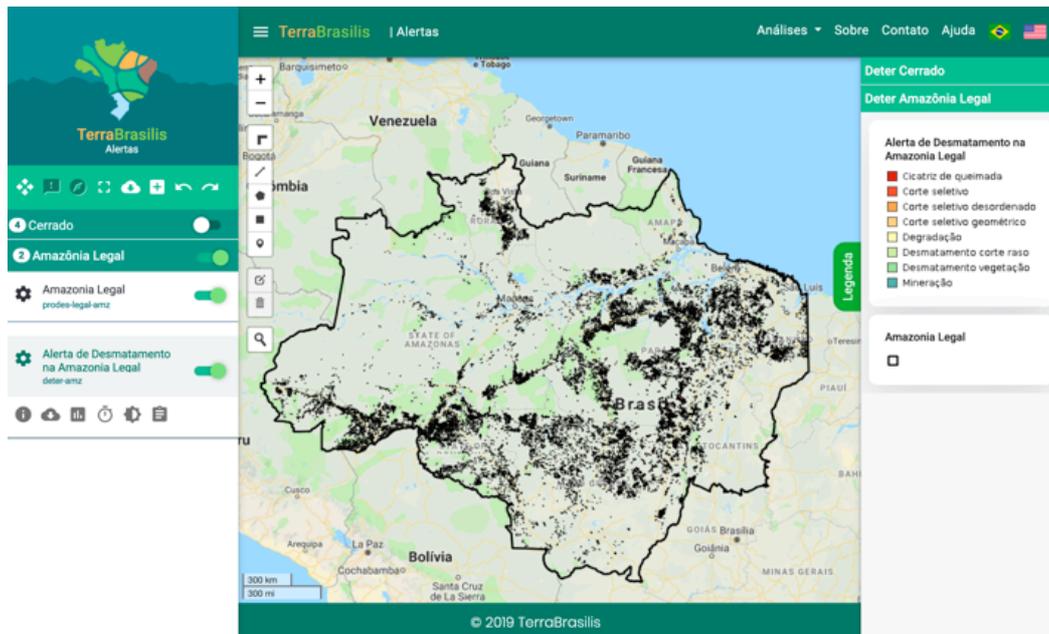


Figura 7.1 – Painel de acesso aos alertas produzidos pelo DETER desde 2016.

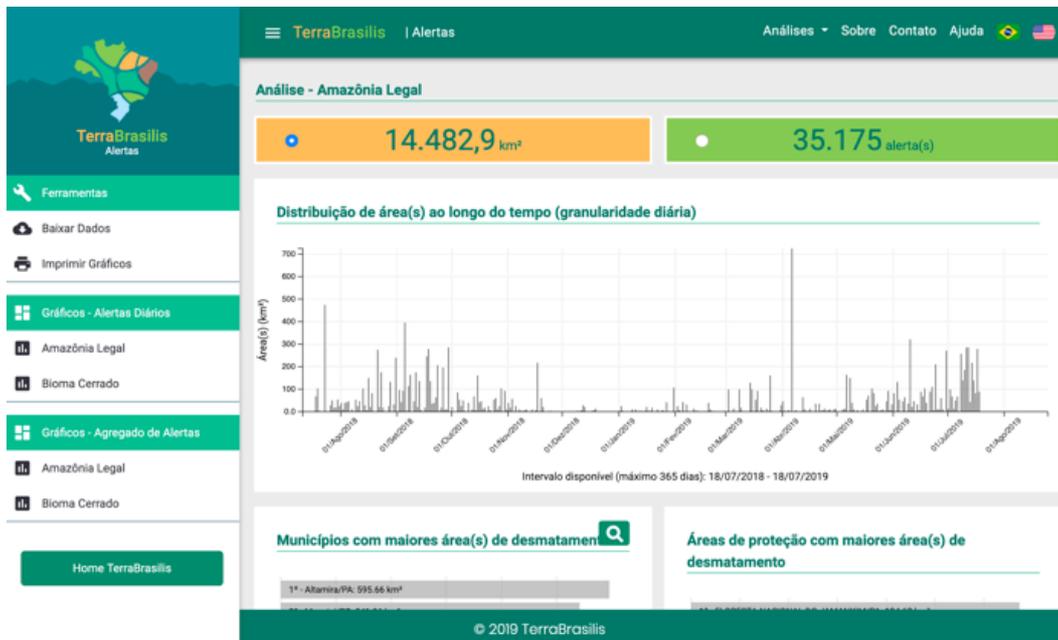


Figura 7.2 – Painel de acesso aos gráficos e consultas sobre os dados do DETER.



## Referências

- Assis, L. F. F. G.; Ferreira, K. R.; Vinhas, L.; Maurano, L. E. P. et al. (2019). TerraBrasilis: a spatial data infrastructure for disseminating deforestation data from Brazil. In: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos*. Anais eletrônicos... Campinas, GALOÁ, 2019.
- 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.
- Diniz, C. G., Souza, A. A. A., Santos, D. C. et al. (2015) DETER-B: The new Amazon near real-time deforestation detection system. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8, n. 7.
- Lambin, E. F. (1999). Monitoring forest degradation in tropical regions by remote sensing: some methodological issues. *Global Ecology and Biogeography*, 8, 191-198.
- RADAMBRASIL (1976). DNPM, Rio de Janeiro.
- Rennó, C. D. (2004) *Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas*. Diss. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 148p.
- 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.

## ANEXO I

### Metodologia para Cálculo da Taxa e Desmatamento do PRODES

#### 1. Dados de entrada

Após o mapeamento dos incrementos do desmatamento para o ano de referência, além dos polígonos que delimitam os incrementos também é gerada uma tabela com informações agregadas sobre cada imagem processada. A Tabela 1 mostra um extrato dessa tabela, considerando que os mapeamentos foram feitos para o ano de 2004. Esse exemplo será utilizado para explicar como são feitos os cálculos da taxa de desmatamento

Tabela 1 – Resultado do mapeamento dos incrementos de desmatamento em algumas imagens.

pathrow	state	codigo	julnday	fstarea	dfsarea	increm	fstclds	dfcld_01	dfcld_02	---	dfcld_07	dfcld_out
22466	PA	1	223	12215	11969	830	559	19	0	...	0	29
22765	PA	1	197	5778	378	82	9	0	0	...	0	5
22765	PA	2	197	17990	2226	546	80	0	0	...	0	25
22768	MT	1	213	13397	8472	897	201	0	0	...	0	83
22769	MT	1	228	11465	7660	893	0	0	0	...	0	85
22867	MT	1	204	14115	5482	673	0	0	0	...	0	5
22867	MT	2	204	4045	1070	177	0	0	0	...	0	0
22967	MT	1	211	19977	5753	669	0	0	0	...	0	27
22969	MT	1	211	7205	1572	103	0	0	0	...	0	60
22969	RO	1	211	1876	1615	51	0	0	0	...	0	23
23267	RO	1	215	15130	8537	866	295	1	0	...	0	443

O significado de cada coluna na Tabela 1 é:

- *pathrow*: órbita-ponto de cada imagem;
- *state*: estado da federação coberto;
- *cod*: identifica o recorte sem nuvens (ou com o mínimo possível) de uma das imagens usadas para processar a cena toda. A união dos recortes compõe a imagem toda;
- *julnday*: dia juliano da imagem observada;
- *fstarea*: área de floresta remanescente na imagem;
- *dfsarea*: área desmatada na imagem observada anteriormente;
- *increm*: incremento no desmatamento constatado na imagem;
- *fstclds*: área de floresta coberta por nuvens na imagem Ft;
- *dfcld\_01*: área desmatada, coberta por nuvens no ano anterior;
- *dfcld\_02*, *dfcld\_03*, *dfcld\_04*, *dfcld\_05*, *dfcld\_06*, *dfcld\_07*: área desmatada, coberta por nuvens nos (dois, três, quatro, cinco, seis e sete) anos anteriores à data de observação.
- *dfcld\_out*: área de desmatamento registrada em 2004, porém já existente em 2003 ou em anos anteriores. Este dado não é considerado na estimativa anual porque não é considerado um dado do ano corrente. Apesar de não entrar no cálculo da estimativa anual, a área desmatada é incorporada aos arquivos shape

que representam os desmatamentos acumulados até o momento (chamado de máscara PRODES).

## 2. Estimativa da área desmatada sob nuvens

Após o processamento de cada imagem é feita a estimativa da área desmatada sob nuvens. Esta estimativa supõe que a proporção de desmatamento na área não-observada é a mesma da área de floresta observada na imagem. O procedimento é ilustrado na Figura 1.

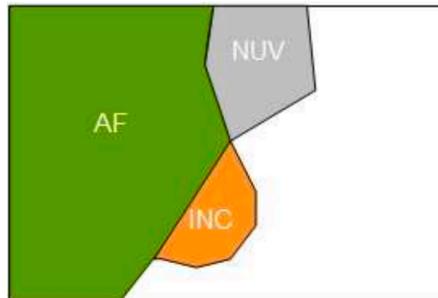


Figura 1 – Ilustração do procedimento de estimativa do desmatamento em área não observada.

Na Figura 1, sendo *AF* a área de floresta remanescente, *INC* o incremento constatado na imagem, e *NUV* a área não observada, o incremento estimado sob nuvens (*inc\_nuv*) é calculado como a proporção do desmatamento observado multiplicado pela área de nuvens. O incremento total (*inc\_tot*), usado no cálculo da taxa de desmatamento, é considerado como a soma do incremento observado com o incremento estimado sob nuvem, mais as parcelas de desmatamentos observados sobre a ocorrência de nuvens por um ou mais anos. Assim,

$$inc\_nuv = NUV * (INC / (AF + INC))$$

$$inc\_tot = INC + inc\_nuv + parcelas\_dsf$$

$$parcelas\_dsf = (dfcld\_01/2 + dfcld\_02/03 + dfcld\_03/04 + \dots + dfcld\_07/8)$$

onde cada parcela é calculada em função do número de anos que a área ficou coberta por nuvens, mais o ano corrente. Assim, se uma área ficou coberta por nuvens por 2 anos e no ano corrente foi possível observar o desmatamento (*dfcld\_02*), o valor observado é dividido por 3 anos, não onerando o ano corrente.

Para *dfcld\_01* considera-se 2 anos, *dfcld\_02* considera-se 3 anos e assim sucessivamente até o máximo de 7 anos de cobertura por nuvens. Como exemplo, os dados na imagem órbita ponto 224/66, onde em 2004 foram identificados 12215 km<sup>2</sup> de área de floresta remanescente, um incremento de 830 km<sup>2</sup>, uma área de nuvens de 559 km<sup>2</sup>, e uma área de desmatamento sobre nuvens por 1 ano de 19km<sup>2</sup>. O incremento total estimado foi de 875 km<sup>2</sup>.

Quando a melhor imagem selecionada tem muitas nuvens, a parte sem cobertura é processada e imagens de outros satélites de datas próximas são usadas para interpretar a parte coberta por nuvens. Os cálculos de *inc\_nuv* são feitos para cada parte usada para compor a imagem processada final. Quando isto acontece, os anos anteriores

são também recortados com o mesmo recorte usado para processar tal imagem para não afetar o cálculo das estimativas.

### 3. Cálculo da taxa de desmatamento

#### 2.1 Determinação da estação seca

Para o cálculo da taxa de desmatamento, o primeiro passo é estabelecer qual é a estação seca associada à imagem. Na Figura 2, estão mostradas as diferentes estações seca climatologicamente definidas para a Amazônia, com os respectivos dias de início e fim. Note-se que a grande maioria das imagens está associada a uma estação seca que começa no dia juliano 151 (31/mayo) até o dia juliano 242 (29/agosto). Estas imagens correspondem à região do Mato Grosso, Rondônia e Sul do Pará.

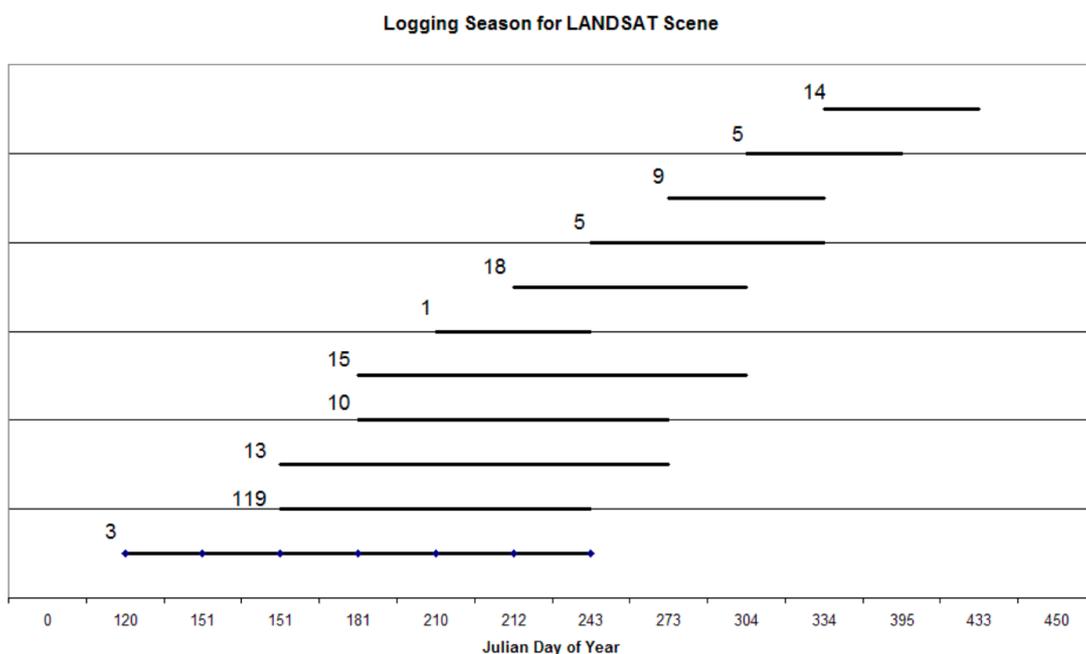


Figura 2 – Estação seca na Amazônia e número de imagens LANDSAT associadas.

#### 2.2 Estimativa proporcional para data de referência

O passo seguinte é fazer a compensação temporal de todos os incrementos, para uma mesma data de referência. Considerando o grande número de imagens cuja estação seca está entre os meses de junho e setembro (ver Figura 2), tomou-se a data de 1/agosto (dia juliano 211) como data de referência para o cálculo das taxas anualizadas. O procedimento detalhado do cálculo da taxa dependerá das datas de aquisição da imagem no ano em análise e nos dois anos anteriores. Para ilustrar o procedimento, tomou-se o exemplo no qual as duas datas de aquisição das imagens estão dentro da estação seca (vide Figura 3). Os demais casos são calculados de maneira similar.

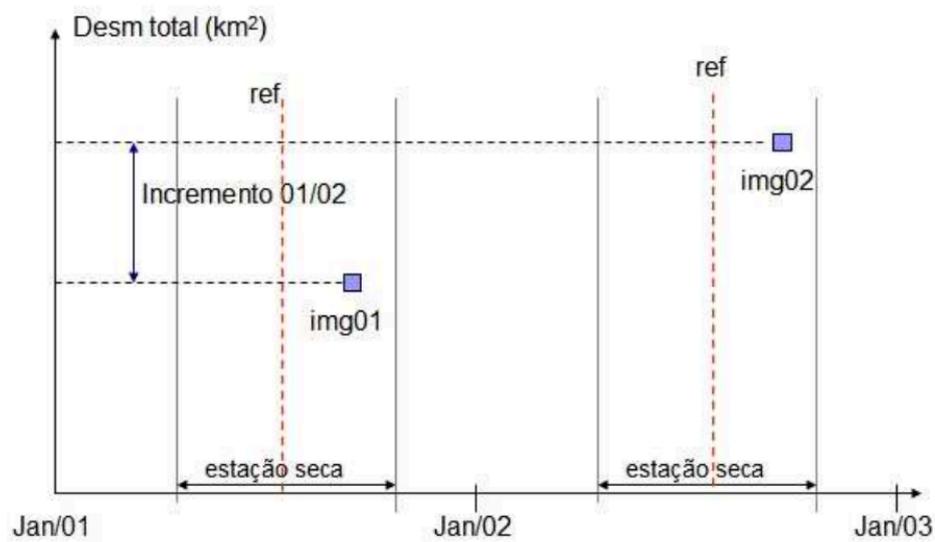


Figura 3 – Cálculo da taxa anual de desmatamento – passo 1: localização das imagens em relação a estação seca (*ref* é a data de referência).

Na Figura 3, a diferença entre o desmatamento total das duas imagens é o incremento entre as duas datas. Como o número de dias entre as duas imagens depende de fatores como a cobertura de nuvens, a diferença de data pode ser menor ou maior que um ano. Esta diferença tem de ser compensada para o cálculo da taxa. Assim, o segundo passo é o cálculo da taxa diária de desmatamento e a taxa anual, como mostra a Figura 4. Para o cálculo da taxa diária, divide-se o incremento observado pelo número de dias da estação seca entre as duas imagens.

$$\star T_{Anual} = (Td2 * nd1) + (Td2 * nd2r) + (Td1 * nd1r)$$

$$Td2 = (inc2) / (nd1 + nd2)$$

$$Td1 = (inc1) / (nd1_s + nd2_s)$$

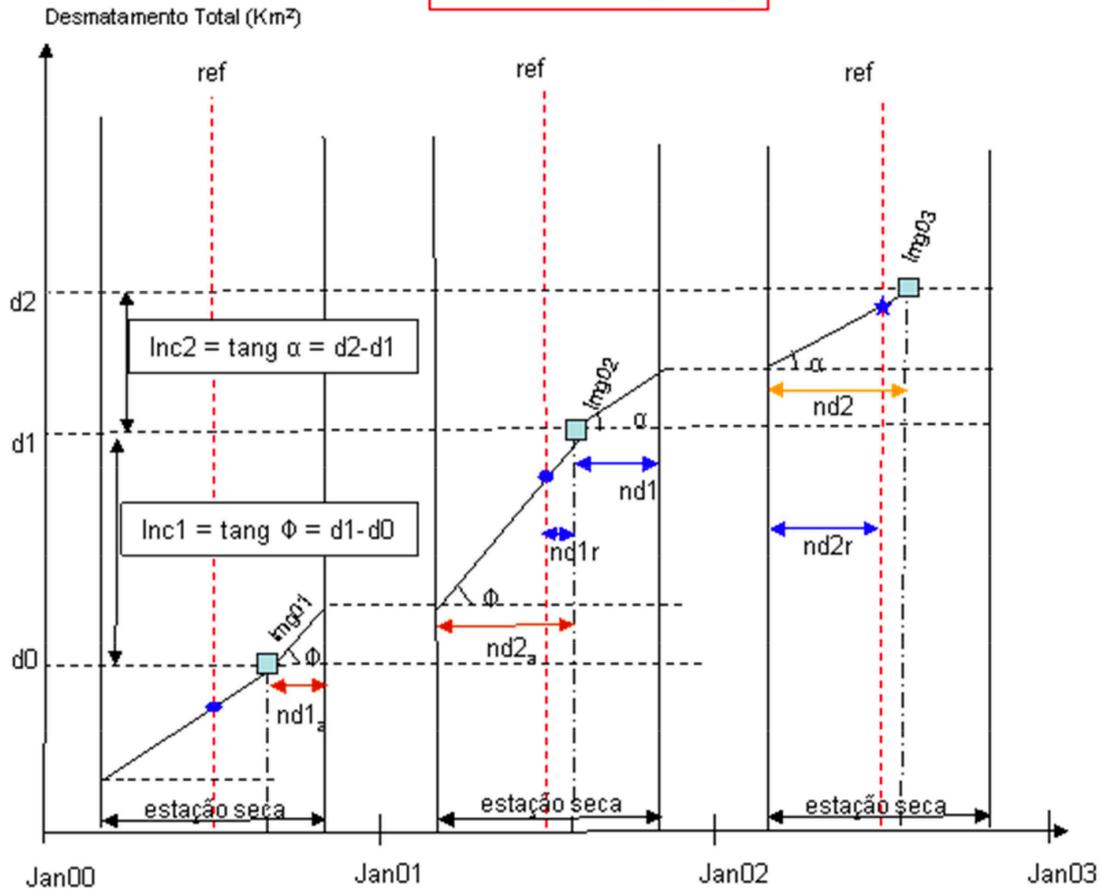


Figura 4 – Cálculo das Taxas Diária de desmatamento ( $Td2$  e  $Td1$ ) e Taxa Anual de Desmatamento para o ano observado ( $T_{Anual}$ ).

O cálculo da taxa de desmatamento anual é estimado como:

$$T_{Anual} = (Td2 * nd1) + (Td2 * nd2r) + (Td1 * nd1r),$$

onde:

- $Td2$  - taxa de desmatamento diária entre a imagem do ano analisado e a imagem do ano anterior;
- $Td1$  - taxa de desmatamento diária entre a imagem do ano anterior e a imagem do ano precedente;
- $nd2$  - número de dias de estação seca entre o início da estação seca e a imagem do ano;
- $nd2r$  - número de dias de estação seca entre o início da estação seca e a data de referência;
- $nd1r$  - número de dias da estação seca entre a data de referência e a imagem do ano anterior;

- $nd1$  - número de dias de estação seca entre a imagem do ano anterior e o final da estação seca;
- $nd1_a$  - número de dias de estação seca entre a imagem do ano precedente e o fim da estação seca;
- $nd2_a$  - número de dias de estação seca entre o início da estação seca e a imagem do ano anterior.

As Tabelas 3 e 4 mostram um exemplo de estimativa de taxas.

Tabela 2 – Dados de entrada – cena 22466

	pathrow	state	cod	julnday	fstarea	dfsarea	increm	fstclds	dfcld_01	dfcld_02	...	dfcld_07	dfcld_out
2004	22466	PA	1	223	12215.29	11969.00	829.87	558.74	18.53	0	...	0	28.53
2003	22466	PA	1	236	13661.41	11153.48	776.79	84.65	36.78	0	...	0	0
2002	22466	PA	1	209	13923.80	10402.36	751.13	635.83	0.00	0	...	0	0

Tabela 3 – Estimativa de Taxas de Desmatamento – cena 22466

	PathRow	Sta	Scld	Jul2	Jul1	Jul0	StClim	EndClim	Rate	Increm	CorrInc	...
2004	22466	PA	1	223	236	209	151	242	916.75	829.87	874.68	...
2003	22466	PA	1	236	209	214	151	242	619.79	776.79	799.73	...
2002	22466	PA	1	209	214	164	151	242	831.66	751.13	783.67	...
...	InclStYear	CorrLstYear	PercRate	PercClds	DRate2	nd2r	nd1r	DRate1	nd1			
...	776.79	799.73	5	5	10.93	61	7	6.66	26			
...	751.13	783.67	-23	3	6.66	61	32	8.91	0			
...	1078.83	1078.83	6	4	8.91	61	29	7.54	4			

Observe que o primeiro passo é corrigir o incremento na imagem de 2004 para levar em conta a área coberta por nuvens. O incremento total estimado de acordo foi de 874.87 km<sup>2</sup>. Com estes dados, pode-se calcular os parâmetros da equação anterior, mostrados na Tabela 3. Como se verifica, a taxa estimada para 2004 é de 916.75 km<sup>2</sup>. Esta taxa é superior ao incremento constatado (829 km<sup>2</sup>) porque a estimativa anual leva em consideração o incremento corrigido em função das nuvens existentes na imagem. Os dados apresentados na Tabela 3 são descritos como:

- *Pathrow* - órbita-ponto de cada imagem;
- *Sta* - estado da federação coberto;
- *Cod*- identifica o recorte com o mínimo de nuvens possível de uma das imagens usadas para processar a cena toda. A união dos recortes compõe a imagem toda;
- *Jul2* - dia juliano da imagem observada (ano corrente ex. 2004)
- *Jul1* - dia juliano da imagem do ano anterior (ex. 2003)
- *Jul0* - dia juliano da imagem do ano precedente (ex. 2002)
- *StClim*- Início da estação seca para a cena
- *EndClim* - Fim da estação seca para a cena
- *Rate* - taxa anual estimada pela fórmula apresentada acima (*T<sub>Annual</sub>*)
- *Increm* - incremento no desmatamento constatado na imagem
- *CorrIncr* - incremento corrigido em função das nuvens
- *InclStYear* - incremento constatado no ano anterior



- *CorrLstYear* - incremento corrigido no ano anterior
- *PerRate* - indica a diferença em porcentagem entre *Rate* e *CorrIncr*
- *PerClds* - indica a diferença em porcentagem entre *Increm* e *CorrIncr*
- *DRate2* - taxa diária do ano corrente
- *nd2r* - número de dias de estação seca entre o início da estação seca e a data de referência do ano corrente
- *nd1r* - número de dias de estação seca entre a data de referência e a imagem do ano anterior
- *nd1* - número de dias de estação seca entre a imagem do ano anterior e o final da estação seca
- *Drate1* - taxa diária do ano anterior
- *ndnxtY*: número de dias entre a data de referência e a data de passagem da imagem. Este intervalo será computado apenas no cálculo da taxa do ano seguinte. Observe que o incremento pode ser maior que a taxa estimada, porque a taxa é projetada para a data de referência.

A taxa anual total estimada é dada pelo somatório das taxas estimadas das imagens processadas. Para minimizar o possível efeito das nuvens na estimativa anual total, optou-se por considerar apenas o incremento para as imagens que obedecem as regras 1 e 2 descritas abaixo.

**Regra 1:** seleciona as imagens com grande diferença entre *increm* e *CorrIncr* corrigido pelo efeito de nuvens no ano corrente ou no ano anterior.

$(perClds1 > 100\% \text{ e } incr1 > 50km^2)$  – ano corrente ou

$(perClds0 > 100\% \text{ e } incr0 > 50 km^2)$  – ano anterior

**Regra 2:** A regra 2 é aplicada após a regra 1 e seleciona as imagens com grande diferença entre taxa calculada no ano (sem a parcela do ano anterior  $Drate1*ndr1$ ) e o incremento corrigido.

$100 * [(RATE - Drate1*nd1r) - CorrIncr] / CorrIncr > 50\%$

Os parâmetros de corte usados são 100% para nuvens e 50% para taxa.

### 2.3 Taxa anual projetada

A taxa anual projetada é um resultado intermediário que estima o valor de desmatamento em função de um conjunto significativo de imagens. Este valor é calculado em função das taxas de pares de imagens em dois anos consecutivos, e dos dados efetivamente processados no ano anterior.

Tabela 4 – Projeção de Taxas Anuais

	#IMGS Pairs	RATE-Pairs Km2	#IMGS good	RATE -good (Km2)	#IMGS regra 1 e 2	INCR- regra 1 e 2 (Km2)	Sum (Km2) RATE+INCR	#IMGS Total	ProjRATE Total-Km2
2005	94	17174							18831
2004	94	24279	164	24849	52	1773	26622	216	26622

Analisando a tabela para o par 2004-2005, temos que para as mesmas 94 imagens, a taxa estimada para 2004 é de 24279 km<sup>2</sup> e para 2005 é 17.174 km<sup>2</sup>. Do total



(216) de imagens processadas em 2004, as estimativas para 52 imagens foram descartadas pelas regras 1 e 2 descritas acima. Para essas 52 imagens usou-se o incremento observado no lugar das taxas estimadas (1.773 km<sup>2</sup>). Assim a taxa projetada em 2005 para as 216 imagens é de 18.831 km<sup>2</sup> ( $17.174 * 26.622 / 24.279$ ). A mesma regra de três é usada para o cálculo das taxas projetadas por estado.