

## DEGRADAÇÃO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: OCORRÊNCIA, PERMANÊNCIA E CONVERSÃO

Cláudio Aparecido de Almeida<sup>1</sup>, Luis E. P. Maurano<sup>1</sup>, Luciana S. Soler<sup>1</sup>, Cassiano Gustavo Messias<sup>1</sup>, André Carvalho<sup>1</sup>, Erison C. S. Monteiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515, 12227-010, São José dos Campos, SP, [claudio.almeida@inpe.br](mailto:claudio.almeida@inpe.br), [luis.maurano@inpe.br](mailto:luis.maurano@inpe.br), [lusoler@gmail.com](mailto:lusoler@gmail.com), [cassiano.messias@inpe.br](mailto:cassiano.messias@inpe.br), [afacarvalho@yahoo.com.br](mailto:afacarvalho@yahoo.com.br), [erison.monteiro@giz.de](mailto:erison.monteiro@giz.de)

### RESUMO

Desde 2012 o desmatamento na Amazônia Legal Brasileira vem crescendo novamente, fato que tem despertado grande repercussão tanto nos meios acadêmicos quanto na grande imprensa. Contudo, pouco destaque se dá à degradação florestal na região, cujos alertas emitidos pelo sistema do DETER atingiram **98.917,48** km<sup>2</sup> entre 1º de agosto de 2016 e 31 de julho de 2022. Este trabalho traz luz sobre as áreas degradadas na Amazônia brasileira, mostrando onde estão localizadas, qual sua prevalência temporal e espacial e qual a taxa de conversão de tais áreas em polígonos de desmatamento. Aqui, demonstramos que 87.405 km<sup>2</sup> já foram degradados ao menos 1 vez na Amazônia Legal Brasileira no período estudado (2017 a 2022), e destes, 6.974 km<sup>2</sup> foram identificados pelo PRODES como áreas onde houve a completa supressão da floresta primária.

**Palavras-chave** — degradação florestal, desmatamento, Amazônia, monitoramento, DETER.

### ABSTRACT

*Since 2012, deforestation has again increased in the Brazilian Legal Amazonia calling the attention back of the scientific community and the broad media to that matter. Nevertheless, little attention has been given to forest degradation whose alerts from DETER monitoring system have surpassed 98.917 km<sup>2</sup> from august/2016 to july/2022. Thus, this work aims to shed a light into recent degraded areas in the Brazilian Amazon by indicating their location, spatial-temporal prevalence and rate of conversion into deforested areas. Our findings show that a total forest area of 87.405 km<sup>2</sup> are already degraded in the Brazilian Legal Amazonia, out of which 6.974 km<sup>2</sup> were detected by PRODES systems as totally removed primary forest*

**Keywords** — forest degradation, deforestation, Amazonia, monitoring, DETER.

### 1. INTRODUÇÃO

O desmatamento na Amazônia Legal Brasileira (ALB) tem grandes impactos locais, regionais e globais sob o ponto de vista socioeconômico, ecológico e climático [1]–[4]. Em um

processo cronologicamente anterior ao desmatamento, outro grande problema consiste da degradação floresta que pode ser oriunda de diversos processos, como o efeito de bordas do desmatamento [6], recorrência do fogo [7] ou a extração seletiva de madeiras [8], que também afetam a biodiversidade, o balanço de carbono e mudanças do regime hídrico, mas é ainda pouco estudada [2], [5], [9].

Estudos anteriores avaliaram a ocorrência de degradação florestal na ALB, perfazendo uma área atingida pela degradação com centenas de milhares de km<sup>2</sup> [10], [11]. Neste estudo, o principal objetivo é avaliar os dados mais atuais produzidos e disponibilizados através do Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) [12], bem como determinar a prevalência da degradação e a taxa de conversão das áreas degradadas em áreas desmatadas segundo mapeamento do Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) [12].

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 2.1. Área de Estudo – Amazônia Legal Brasileira

A ALB, é uma representação espacial de uma concepção política cunhada para uso no desenvolvimento e planejamento regional no início da década de 1950 (Lei 1.806 de 06/01/1953, alterada posteriormente pela lei 5.173 de 27/10/1966 e pela lei complementar 31 de 11/10/1977). A área total da ALB é equivalente a 59% do território brasileiro e engloba totalmente oito estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins) e parte do Estado do Maranhão (a oeste do meridiano de 44°W), somando cerca de 5 milhões de km<sup>2</sup>. É importante ressaltar que a ALB compreende a totalidade do bioma Amazônia, mais uma porção ocidental do bioma Cerrado e uma pequena parte do Pantanal. Dentro desta região, observa-se uma enorme diversidade de ambientes florestais [13], as quais ocupam em torno de 79 % da ALB. O restante das áreas é constituída por vegetação com fisionomia não florestal, tais como as formações abertas localizadas em Roraima, Amapá e norte de Rondônia, as áreas de várzea, e a região de transição para os biomas Cerrado e Pantanal.

#### 2.2. Sistemas de monitoramento da Amazônia brasileira

Com a finalidade de quantificar a ocorrência de desmatamentos e degradação florestal na ALB, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mantém dois sistemas de monitoramento sumariamente descritos a seguir.

O sistema PRODES disponibiliza o inventário anual de perda de floresta primária (desmatamento) utilizando imagens de satélite de observação da Terra. Este sistema, pioneiro no mundo, provê informações de desmatamento para toda extensão da Amazônia Legal brasileira desde 1988. O desmatamento é definido como a supressão total de uma área de floresta primária, sendo que a área desmatada mínima mapeada é 6,25 hectares. O desmatamento pode ocorrer por corte raso, que resulta na remoção completa da cobertura florestal em um curto intervalo de tempo, ou por degradação progressiva, processo este que se dá pela intervenção em florestas degradadas sucessivamente ao longo dos anos, seja pelo uso recorrente do fogo e/ou pela retirada seletiva/predatória de madeira [12]. Estas áreas são consideradas como desmatamento quando se verifica a perda significativa do dossel e da capacidade de recuperação ecológica da área para uma composição de flora equivalente à floresta original. O intervalo adotado para reportar as taxas anuais de desmatamento (agosto-julho), comumente chamado de ano PRODES, baseia-se no entendimento de que julho e agosto são os meses com maior probabilidade de aquisição de imagens ópticas de satélite com baixa ocorrência de nuvens na maior parte da Amazônia.

Lançado em 2004, o DETER é um sistema de alertas de desmatamento essencialmente desenvolvido para o apoio à fiscalização e controle do desmatamento e da degradação florestal. O DETER produz diariamente avisos de alteração na cobertura florestal para áreas maiores que 3 hectares. Os avisos não só indicam áreas com remoção completa da vegetação (corte raso), utilizando o mesmo conceito do desmatamento utilizado pelo PRODES, como também mapeia áreas em processo de degradação (exploração de madeira, mineração, queimadas e outras degradações do dossel florestal). Esses avisos são emitidos diariamente e de forma automatizada enviados aos órgãos de controle ambiental, sendo o principal insumo para o planejamento das ações de fiscalização. Todos os resultados dos sistemas PRODES e DETER, sejam os dados tabulares ou os vetores gráficos, estão publicamente disponibilizados no portal da plataforma TerraBrasilis (<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>) para toda sociedade. A disponibilização dos dados está em conformidade com a Lei de Acesso à Informação (Lei 12.521/2011), permitindo que todos os resultados sejam consultados e até mesmo reavaliados por outros especialistas de forma transparente. Além de permitir aos órgãos de fiscalização ambiental planejar suas ações de combate aos ilícitos ambientais, os resultados do DETER permitem que toda a sociedade possa acompanhar em tempo “quase-real” a ocorrência de desmatamento e degradação florestal na Amazônia brasileira.

O DETER utiliza uma máscara com os polígonos de desmatamentos detectados pelo PRODES em anos pretéritos,

a fim de garantir que áreas já mapeadas pelo PRODES não sejam recontadas no DETER no ano corrente a ser mapeado. Outra característica importante do DETER é que os dados são reanalisados todos os anos, ou seja, os dados mapeados pelo DETER no ano anterior são descartados no ano seguinte, desde que não se torne um polígono PRODES, de tal sorte que uma área degradada pode ser mapeada novamente pelo DETER em anos seguintes.

### 2.3. Metodologia

Neste estudo, como primeiro conjunto de dados, utilizaram-se os produtos de degradação florestal gerados pelo DETER, mapeados entre 2016 e 2022, separados de forma anual e sendo utilizado o ano PRODES como referência (1º de agosto a 31 de julho). Assim, ao nos referirmos ao DETER 2017, estamos considerando os alertas de degradação detectados entre agosto/2016 e julho/2017, para fins de comparação com os dados do PRODES. Cada ano deste conjunto foi submetido a cruzamento espacial de intersecção com os anos subsequentes, a fim de identificar a reincidência de alertas de degradação. Para o segundo experimento, separou-se os incrementos de desmatamento do PRODES, intervalo 2017 a 2021, utilizando-o em processo de cruzamento espacial de intersecção entre as degradações do DETER, provenientes do primeiro conjunto de dados, e os desmatamentos PRODES. Seguindo a ordem cronológica dos conjuntos de dados, cruzou-se cada ano de degradação DETER com os anos iguais e posteriores aos anos DETER de referência.

## 3. RESULTADOS

A Figura 1 apresenta a quantificação da ocorrência dos dados de degradação florestal na forma de gráfico com agregação anual. A ocorrência de alertas de degradação na ALB para o intervalo desse estudo (2017-2022) totalizou 98.917,48 km<sup>2</sup>, com uma ocorrência média de 16.486 km<sup>2</sup>/ano. A Figura 2, mostra a distribuição das áreas mapeadas como degradação em função da Unidade da Federação, dentro do período estudado (anos PRODES 2017-2022).

Quando somadas todas as áreas degradadas no período do estudo (2017-2022) desconsiderando o valor das áreas com recorrência, chegou-se a um total de 87.405 km<sup>2</sup> já foram degradados ao menos 1 vez na Amazônia Legal Brasileira no período estudado.

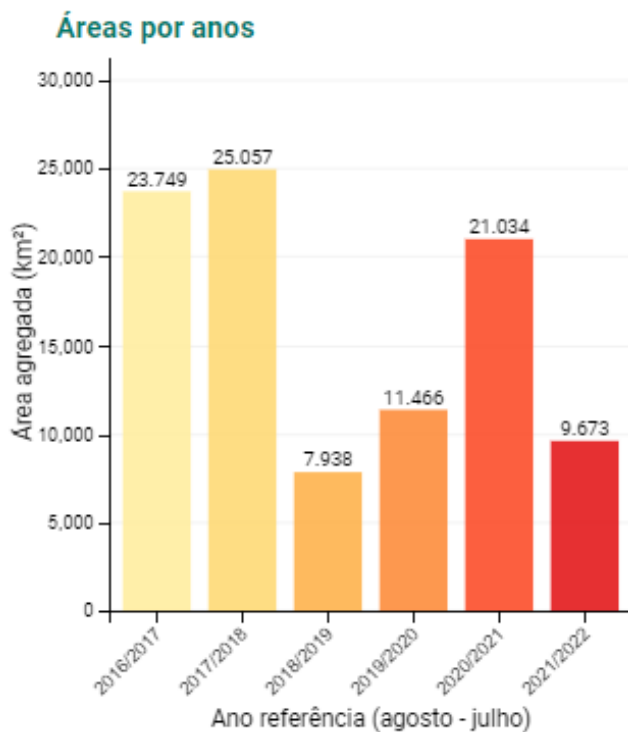


Figura 1. Totais anuais (ano PRODES) da ocorrência de degradação na ALB (fonte: <http://terrabilis.dpi.inpe.br>).

### Áreas por estados

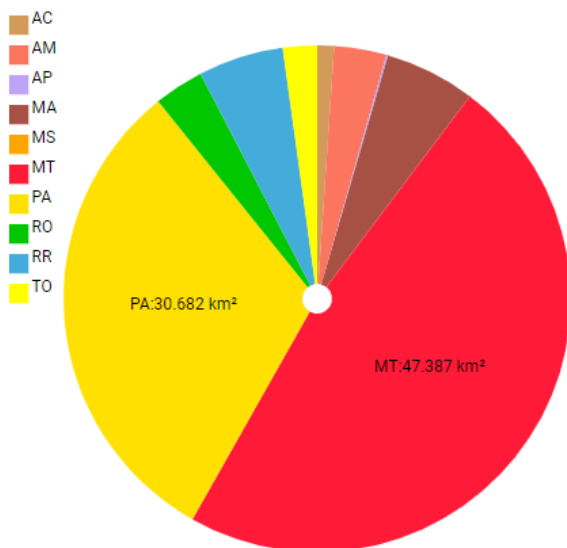


Figura 2. Totalização da ocorrência de degradação por UF (fonte: <http://terrabilis.dpi.inpe.br>).

A Tabela 1 mostra o resultado dos cruzamentos dos polígonos de Degradação do DETER com os de desmatamento do PRODES do mesmo ano e anos seguintes. A Tabela 2 mostra o resultado dos cruzamentos dos dados de degradação do ano avaliado com os dados de degradação de anos posteriores.

Ano da Degradação	PRODES 2017	PRODES 2018	PRODES 2019	PRODES 2020	PRODES 2021	TOTAL
2017	334,41 (1,4%)	212,31 (0,9%)	329,83 (1,4%)	315,06,41 (1,3%)	326,15,41 (1,4%)	1.517,76 (6,4%)
2018	-	743,30 (3,0%)	519,87 (2,1%)	740,54 (3,0%)	492,37 (2,0%)	2.496,09 (10,0%)
2019	-	-	609,46 (7,7%)	298,71 (3,8%)	286,64 (3,6%)	1.194,81 (15,1%)
2020	-	-	-	542,60 (4,7%)	270,04 (2,4%)	812,64 (7,1%)
2021	-	-	-	-	952,41 (4,5%)	952,41 (4,5%)

Tabela 1. Resultado cruzamento Degradação X PRODES.

Ano da Degradação	DETER 2018	DETER 2019	DETER 2020	DETER 2021	DETER 2022
2017	2.121,17 (8,9%)	1.472,93 (6,2%)	1.184,13 (5,0%)	1.476,74 (6,2%)	378,55 (1,6%)
2018	-	1.482,56 (5,9%)	2.948,15 (11,8%)	3.103,02 (12,4%)	911,26 (3,6%)
2019	-	-	625,29 (7,9%)	1.261,77 (15,9%)	445,40 (5,6%)
2020	-	-	-	791,73 (6,9%)	1.409,69 (12,3%)
2021	-	-	-	-	1.362,34 (6,34%)

Tabela 2. Resultado cruzamento Degradação X Degradação anos seguintes.

## 4. DISCUSSÃO

Um primeiro achado do estudo nos revela uma forte concentração de áreas florestais degradadas nos estados de Mato Grosso e Pará, que respondem por 79% do total de avisos de degradação no período estudado. A respeito da transformação de área degradada em área desmatada, a Tabela 3, contém os percentuais médios de áreas degradadas que foram convertidas em polígonos PRODES nos anos seguintes.

1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano	Total (4 anos)
4,3 %	2,3%	2,7%	1,6%	10,8%

Tabela 3. Percentual Degradação convertido para PRODES.

Ainda que a série histórica seja relativamente curta, é possível observar que nos 4 (quatro) primeiros anos após a ocorrência de degradação florestal, a parcela total convertida de degradação para desmatamento no PRODES foi de 10,8%.

A Tabela 4, contém os percentuais médios de áreas degradadas e que foram novamente identificados como polígonos de degradação pelo DETER nos anos seguintes à sua 1ª identificação. Deste modo, nossos resultados mostram

que parcelas significativas das áreas apontadas como degradadas ainda continua com sinais de degradação com o passar dos anos.

1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano
7,4 %	11,5%	7,7%	4,9%

**Tabela 4. Percentual de áreas de degradação identificadas novamente como degradação nos anos seguintes.**

Outro ponto relevante do estudo diz respeito à concentração espacial da área sob degradação. A Figura 2 mostra que somente os Estados do MT e PA são responsáveis por 79% da área mapeada como Degradação entre 2017 e 2022. Somente no MT ocorreu 47,9% de toda a degradação. Essa concentração é corroborada ao avaliar a ocorrência de degradação nos 10 municípios com maiores ocorrências de degradação no DETER entre 2017 e 2022, que foram responsáveis por 28,9% da área total de Degradação.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo apresenta importantes achados quanto a questão da Degradação florestal na Amazônia legal brasileira. A Degradação tem uma taxa de conversão para desmatamento que não é tão rápida, cerca de 10,8 % em 4 anos, apontando que parcela significativa das áreas degradadas irá permanecer no resultado do PRODES como áreas de florestas primárias, quando já apresentam relevantes degradações.

O total de áreas degradadas nos últimos anos superou em larga escala a área com remoção completa da vegetação, enquanto o total de áreas desmatadas foi de 47.902 km<sup>2</sup> as áreas degradadas chegaram a 87.405 km<sup>2</sup>, representando 1,8 vezes a superfície desmatada. Esse resultado chama a atenção para importância de reforçar o monitoramento das áreas degradadas na ALB, para uma contabilidade mais acurada das emissões brasileiras de gases de efeito estufa.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] M. Finer *et al.*, “Combating deforestation: From satellite to intervention,” *Science (80-. )*, vol. 360, no. 6395, pp. 1303–1305, Jun. 2018, doi: 10.1126/science.aat1203.
- [2] E. Berenguer *et al.*, “Chapter 19: Drivers and ecological impacts of deforestation and forest degradation,” in *Amazon Assessment Report 2021*, UN Sustainable Development Solutions Network (SDSN), 2021.
- [3] R. C. Prates and C. J. C. Bacha, “Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia,” *Econ. e Soc.*, vol. 20, no. 3, pp. 601–636, 2011, [Online]. Available: <http://www.scielo.br/pdf/ecos/v20n3/a06v20n3.pdf>.
- [4] L. V. Gatti *et al.*, “Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change,” *Nature*, vol. 595, no. 7867, pp. 388–393, Jul. 2021, doi: 10.1038/s41586-021-03629-6.
- [5] T. F. Pinheiro, M. I. S. Escada, D. Valeriano, P. Hostert, F. Gollnow, and H. Müller, “Forest degradation associated with logging frontier expansion in the Amazon: the BR-163 region in southwestern Pará, Brazil,” *Earth Interact.*, vol. 20, no. 17, pp. 1–26, 2016.
- [6] W. F. Laurance, S. G. Laurance, L. V. Ferreira, J. M. Rankin-de Merona, C. Gascon, and T. E. Lovejoy, “Biomass Collapse in Amazonian Forest Fragments,” *Science (80-. )*, vol. 278, no. 5340, pp. 1117–1118, Nov. 1997, doi: 10.1126/science.278.5340.1117.
- [7] M. Longo *et al.*, “Aboveground biomass variability across intact and degraded forests in the Brazilian Amazon,” *Global Biogeochem. Cycles*, vol. 30, no. 11, pp. 1639–1660, Nov. 2016, doi: 10.1002/2016GB005465.
- [8] A. M. e S. Figueira *et al.*, “Effects of selective logging on tropical forest tree growth,” *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, vol. 113, no. G1, p. n/a-n/a, Mar. 2008, doi: 10.1029/2007JG000577.
- [9] M. M. C. Bustamante *et al.*, “Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity,” *Glob. Chang. Biol.*, vol. 22, no. 1, pp. 92–109, Jan. 2016, doi: 10.1111/gcb.13087.
- [10] T. O. Assis *et al.*, “CO 2 emissions from forest degradation in Brazilian Amazon,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 15, no. 10, p. 104035, Oct. 2020, doi: 10.1088/1748-9326/ab9cfc.
- [11] E. A. T. Matricardi, D. L. Skole, O. B. Costa, M. A. Pedlowski, J. H. Samek, and E. P. Miguel, “Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon,” *Science (80-. )*, vol. 369, no. 6509, pp. 1378–1382, 2020.
- [12] C. A. . ALMEIDA *et al.*, “Methodology for Forest Monitoring used in PRODES and DETER projects.,” São José dos Campos, 2021. [Online]. Available: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/rep/8JMKD3MGP3W34R/443H3RE>.
- [13] H. de F. Leitão Filho, “Considerações sobre a florística de florestas tropicais e sub-tropicais do Brasil,” *Ipef*, vol. 35, no. 35, pp. 41–46, 1987, [Online]. Available: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/SCIENTIA/nr35/cap02.pdf>.