



Sistema de Estimativa de Emissão  
de Gases de **Efeito Estufa**

**Nota Metodológica**  
**SEEG 7**  
**Setor Mudança de Uso do Solo e Florestas**

(Versão 2)

**Coordenação técnica:**

Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam)  
Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon)

**Equipe responsável:**

Ane Alencar  
Barbara Zimbres  
Julia Shimbo  
Amintas Brandão Jr.  
Vera Arruda  
Felipe Lenti  
Carlos Souza Jr.  
Tasso Azevedo

Fevereiro, 2020

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>2</b>
1.1. Escopo do setor.....	2
1.2. Descrição do setor.....	3
1.3. Processos contabilizados nas emissões e remoções.....	5
<b>2. Método de Cálculo.....</b>	<b>7</b>
2.1. Equações de cálculo - IPCC.....	7
2.1.1 Mudança de uso do solo.....	7
2.1.2. Queima de resíduos.....	8
2.1.3 Calagem de solos.....	8
2.2. SEEG 7: abordagem para calcular as emissões.....	9
2.2.1. Emissões brutas por desmatamento.....	9
2.2.2. Emissões por queima de resíduos.....	13
2.2.3 Emissões por calagem de solos.....	13
2.2.4. Remoções.....	14
2.2.5. Emissões por Queimadas não Associadas ao Desmatamento.....	16
2.3. Dados de nível de atividade necessários e respectivas fontes.....	17
2.4. Fatores de emissão utilizados.....	17
2.5. Modo de recepção dos dados.....	17
2.6. Sequência de tratamento dos dados.....	17
2.7. Softwares utilizados.....	18
<b>3. Quadro de Qualidade dos Dados.....</b>	<b>18</b>
<b>4. Diferenças para o Inventário e Estimativas de Emissões Oficiais.....</b>	<b>20</b>
<b>5. Resultados.....</b>	<b>21</b>
5.1. Emissões por alterações de uso da terra.....	21
5.2. Emissões por queima de resíduos florestais.....	23
5.3. Emissões por calagem de solos.....	25
5.4. Remoções em áreas protegidas.....	27
5.5. Remoções por vegetação secundária.....	28
5.6. Remoções por mudanças de uso do solo.....	31
5.7. Emissões e remoções líquidas para o setor de mudanças de uso da terra (MUT).....	31
<b>6. Referências.....</b>	<b>32</b>
<b>Anexo 1.....</b>	<b>33</b>
<b>Anexo 2.....</b>	<b>34</b>
<b>Anexo 3.....</b>	<b>40</b>

## 1. Introdução

Neste documento apresentamos os procedimentos metodológicos da sétima versão do SEEG para calcular as estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil para o setor de mudança de uso da terra e florestas, no período de 1990 a 2018. O cálculo das estimativas de emissões foi baseado no método dos Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (MCTI, 2010; 2016) associado à proposta metodológica do IPCC (2003; 2006). As estimativas das emissões de calagem no solo e de queima de resíduos florestais foram atualizadas e calculadas segundo o Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016).

As estimativas foram atualizadas até o ano de 2018 a partir dos dados oficiais de desmatamento do Prodes/INPE para os biomas Amazônia e Cerrado, para o bioma Mata Atlântica foram utilizados os dados anuais de desmatamento da SOS Mata Atlântica/INPE, e para os demais biomas (Caatinga, Pantanal e Pampa), por não haver dados oficiais anuais de desmatamento da vegetação nativa, foram utilizados os mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil da Coleção 4 do Projeto MapBiomas (<http://mapbiomas.org/>) (Anexo 1).

Assim como nas versões anteriores, as estimativas são disponibilizadas por estado e por bioma no Brasil, além das estimativas por municípios apenas para o estado de São Paulo, em um primeiro esforço no SEEG 6 (de 2007 a 2016) de cálculo das estimativas de emissões anuais de GEE para municípios (Anexo 2). Também foram atualizadas as estimativas das emissões brutas de queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil, no período de 2000 a 2018, utilizando a Coleção 4.0 do MapBiomas e dados anuais de área queimada gerados a partir de imagens MODIS (Anexo 3).

### 1.1. Escopo do setor

O setor de mudança do uso da terra e florestas reporta as emissões brutas e líquidas de GEE relacionadas aos processos de mudanças dos estoques de biomassa e matéria orgânica existentes acima e abaixo do solo, além de emissões associadas à calagem do solo em áreas recém desmatadas e emissões por queima de resíduos florestais.

Para gerar as estimativas do setor são necessárias duas informações principais: mapas de cobertura e uso do solo e informações sobre o estoque de carbono. Os mapas de cobertura e uso do solo abrangem todo o Brasil e são produzidos a partir de imagens de satélite para pelo menos dois pontos no tempo. Esses mapas são utilizados no cálculo das áreas de mudança entre as categorias de cobertura e uso do solo. Os dados de estoque de carbono são gerados com base em amostras de campo (na maioria dos casos), em dados disponíveis na literatura e/ou em imagens de satélite. O passo seguinte é usar equações que convertem área (extensão) de mudança de uso e cobertura em emissões de GEE a partir dos mapas e valores de estoque de carbono.

No Brasil, os mapas detalhados de cobertura e uso do solo são produzidos pelos Inventários Nacionais, enquanto os dados de estoque de carbono vêm da literatura e de informações secundárias. Na ausência de mapas anuais oficiais e atualizados de cobertura e uso do solo dos Inventários, o SEEG utilizou dados anuais de área desmatada como *proxy* para cálculo das estimativas de emissões de GEE, dada a relação entre estas duas quantidades para o setor. Para o bioma Amazônia, usamos os dados anuais de desmatamento do Prodes produzidos pelo INPE para 1990-2018, que estão acessíveis na plataforma TerraBrasilis<sup>1</sup>, assim como para o bioma Cerrado, de 2000-2018. Para o bioma Mata Atlântica, foram utilizados as taxas anuais de desmatamento da SOS Mata Atlântica/INPE, de 1990-2018. Para os demais biomas (Caatinga, Pantanal e Pampa), foram utilizados os dados gerados a partir dos mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil da Coleção 4 do MapBiomas (1990-2018) (Anexo 1).

## **1.2. Descrição do setor**

O Brasil é coberto por seis biomas (Figura 1). Além das diferenças biogeográficas que definem estes biomas, há condições específicas quanto aos tipos de vegetação, solos, condições climáticas e pressão humana. Essas características influenciam os estoques de carbono existentes e, conseqüentemente, a contribuição de cada bioma para as emissões do país. Por exemplo, o bioma Amazônia apresenta florestas com alta densidade de carbono em regiões com alta pressão por desmatamento. Isso aumenta a representatividade das emissões desse bioma em relação aos demais biomas brasileiros. O Cerrado também contribui criticamente, dada a continuidade da tendência de conversão de áreas extensas de vegetação nativa para produção agrícola e pecuária, acelerada nas últimas duas décadas.

---

<sup>1</sup> <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>

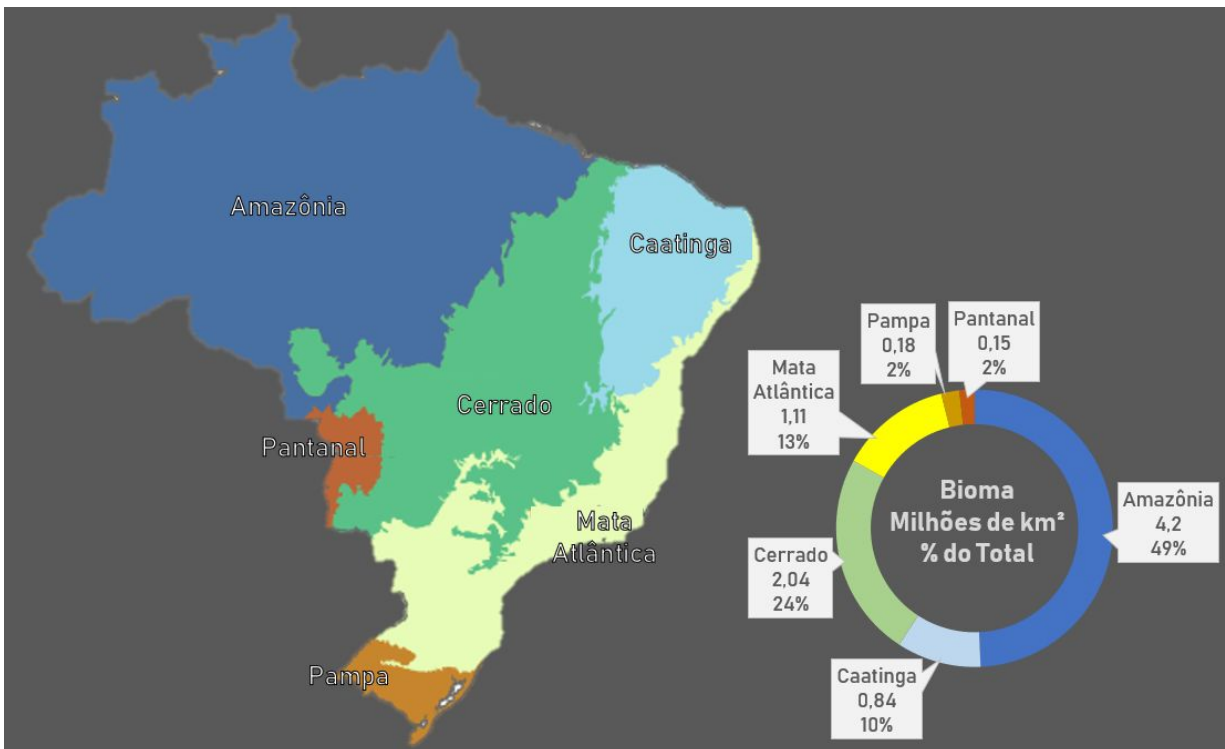


Figura 1. Limite e representatividade dos biomas brasileiros, em área (milhões de km<sup>2</sup>) e porcentagem.

Os maiores biomas brasileiros são a Amazônia (49% da extensão do país), o Cerrado (24%) e a Mata Atlântica (13%). Os biomas Caatinga, Pampa e Pantanal cobrem os 14% restantes do território nacional (Figura 1).

- **Amazônia (4,1 milhões de km<sup>2</sup>).** Concentrando uma vasta biodiversidade, o bioma Amazônia abrange nove estados brasileiros e contém o maior estoque de carbono florestal do Brasil (MCTI, 2016). O mapeamento do desmatamento, realizado pelo INPE no Projeto Prodes, contabilizou até 2018 mais de 699 mil km<sup>2</sup> de desmatamento no bioma Amazônia (aprox. 17% da área do bioma) associados a pressões da agricultura e pecuária. Iniciativas do governo federal e dos governos estaduais visam controlar o desmatamento na região, mas as taxas voltaram a subir em 2018, com uma área de desmatamento de 7033 km<sup>2</sup> (362 km<sup>2</sup> a mais que 2017, segundo Prodes/INPE).
- **Cerrado (2 milhões de km<sup>2</sup>).** Localizado na região central do Brasil, o Cerrado é o segundo maior bioma do país. Nele estão localizadas as três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata). Além disso, essa região é considerada a savana com mais biodiversidade no mundo (MMA, 2013). Mais de 11 mil espécies de plantas nativas já foram catalogadas nessa área, além de inúmeras espécies de mamíferos, peixes, répteis e anfíbios. Apesar de sua importância, o Cerrado vem sofrendo várias pressões humanas, relacionadas principalmente à agricultura e pecuária. O bioma já perdeu cerca de 50% da área originalmente vegetada, mas, segundo o Prodes Cerrado (INPE), houve uma queda na

taxa de desmatamento de cerca de 10% entre 2017 e 2018 (7312 km<sup>2</sup> e 6634 km<sup>2</sup>, respectivamente).

- **Mata Atlântica (1,1 milhão de km<sup>2</sup>).** O terceiro maior bioma brasileiro possui somente 12,4% de sua cobertura de floresta original (SOS Mata Atlântica/INPE). O desmatamento da Mata Atlântica entre 2017 e 2018 (taxa anual de 114 km<sup>2</sup>) caiu 9,3% em relação ao período anterior (2016-2017, com taxa anual de 126 km<sup>2</sup>). O bioma Mata Atlântica é de extrema prioridade para a conservação da biodiversidade, com milhares de espécies endêmicas já catalogadas. Mais de 120 milhões de pessoas vivem nesse bioma, que também concentra 70% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. A pressão humana está associada à ampliação de infraestrutura e a processos industriais.
- **Caatinga (844 mil km<sup>2</sup>).** Representando 11% do território nacional, a Caatinga possui uma grande riqueza em biodiversidade apesar do clima semiárido. Ali vivem 27 milhões de pessoas (MMA, 2013). A pressão humana sobre o bioma está associada a atividades agrossilvopastoris e industriais. Até 2018, aproximadamente 61% da sua área encontrava-se coberto com vegetação nativa (MapBiomias Coleção 4.0).
- **Pampa (176 mil km<sup>2</sup>).** Este bioma representa 2% da área brasileira. Restrito ao Rio Grande do Sul no Brasil, representa 63% da área do estado (MMA, 2013). Possui grande importância para a biodiversidade associada à fauna. Em relação à pressão humana, a pecuária extensiva e soja, têm sido as principais atividade da região. Aproximadamente 49% do bioma Pampa no território brasileiro está coberto com vegetação nativa (MapBiomias Coleção 4.0).
- **Pantanal (150 mil km<sup>2</sup>).** A maior extensão úmida contínua do planeta encontra-se no Pantanal. É o bioma mais preservado do país, mantendo 83% da sua cobertura de vegetação nativa (MapBiomias Coleção 4.0). Essa região é considerada o berçário de várias espécies e abriga em abundância espécies consideradas ameaçadas em outros biomas. A pressão humana predominante é a agropecuária (especialmente na região do Planalto).

### 1.3. Processos contabilizados nas emissões e remoções

Os processos que geram emissões no setor de uso da terra (Quadro 1) são:

i. **Mudança de Uso do Solo.** As emissões ocorrem quando é alterada a cobertura para um uso de solo de menor estoque de carbono por hectare (IPCC, 2003). Por exemplo, a conversão de floresta para pastagem ou agricultura gera emissões de CO<sub>2</sub> pela perda de estoques de carbono na retirada da floresta e sua queima. De forma semelhante, pode haver sequestro de CO<sub>2</sub> da atmosfera quando acontece a conversão para um tipo de uso com maior estoque de carbono por hectare (uma pastagem convertida em floresta secundária, por exemplo).

ii. **Queima de Resíduos Florestais.** Emissões por queima de biomassa florestal para lenha ou para uso madeireiro também geram emissões de outros GEEs não CO<sub>2</sub>, como NO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (esses gases possuem mais capacidade de acelerar o efeito estufa do que o dióxido de carbono). Tais emissões também foram contabilizadas nessa estimativa.

iii. **Calagem dos Solos.** A calagem consiste no processo de aplicação de calcário (CaCO<sub>3</sub>) ou dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) ao solo para melhorar sua fertilidade. No solo, seus cátions (Ca<sup>++</sup> ou Mg<sup>++</sup>) interagem com os íons de hidrogênio (H<sup>+</sup>), reduzindo sua acidez. Entretanto, o bicarbonato gerado nesse processo (2HCO<sub>3</sub>) pode reagir, produzindo CO<sub>2</sub> e água (H<sub>2</sub>O)(IPCC, 2003).

*Quadro 1: Fontes de emissão de gases contabilizados no setor mudança de uso da terra e florestas.*

<b>Fonte de Emissão</b>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	HFC <sub>s</sub>	CF <sub>4</sub>	C2F <sub>6</sub>	SF <sub>6</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC
<b>Transição de uso do solo</b>										
<b>Queima de resíduos</b>										
<b>Aplicação de Calcário</b>										

Além dos processos que geram emissões, são contabilizadas as remoções de CO<sub>2</sub> da atmosfera, entre eles:

i. **Em florestas e campos manejados em áreas protegidas.** Segundo o Terceiro Inventário (MCTI, 2016), no Brasil, as Unidades de Conservação (UCs) e Terras Indígenas (TIs) (Figura 2), são consideradas como áreas manejadas, portanto suas remoções de carbono pela vegetação nativa são de natureza antrópicas e devem ser contabilizadas nas emissões. Essas remoções ocorrem durante a fotossíntese, pela fixação de carbono (C) e liberação de oxigênio (O<sub>2</sub>) (IPCC, 2003). O cálculo das remoções de carbono por UCs e TIs está de acordo com a metodologia do IPCC, por se tratarem de florestas e campos manejados (MCTI, 2016). Não foram incluídas outras fontes de remoções em florestas remanescentes em áreas privadas ou terras públicas fora de UCs e TIs.

ii. **Em vegetação secundária.** São contabilizadas as remoções em áreas de vegetação secundária (florestas e campos secundários), conforme o Inventário Nacional (MCTI, 2016).

iii. **Alterações de uso da terra.** São contabilizadas as remoções associadas a mudanças de uso da terra com incremento de carbono em relação a cobertura e uso da terra anterior. Por exemplo, as transições em que se permanece como vegetação secundária, agricultura e pastagem para reflorestamento.

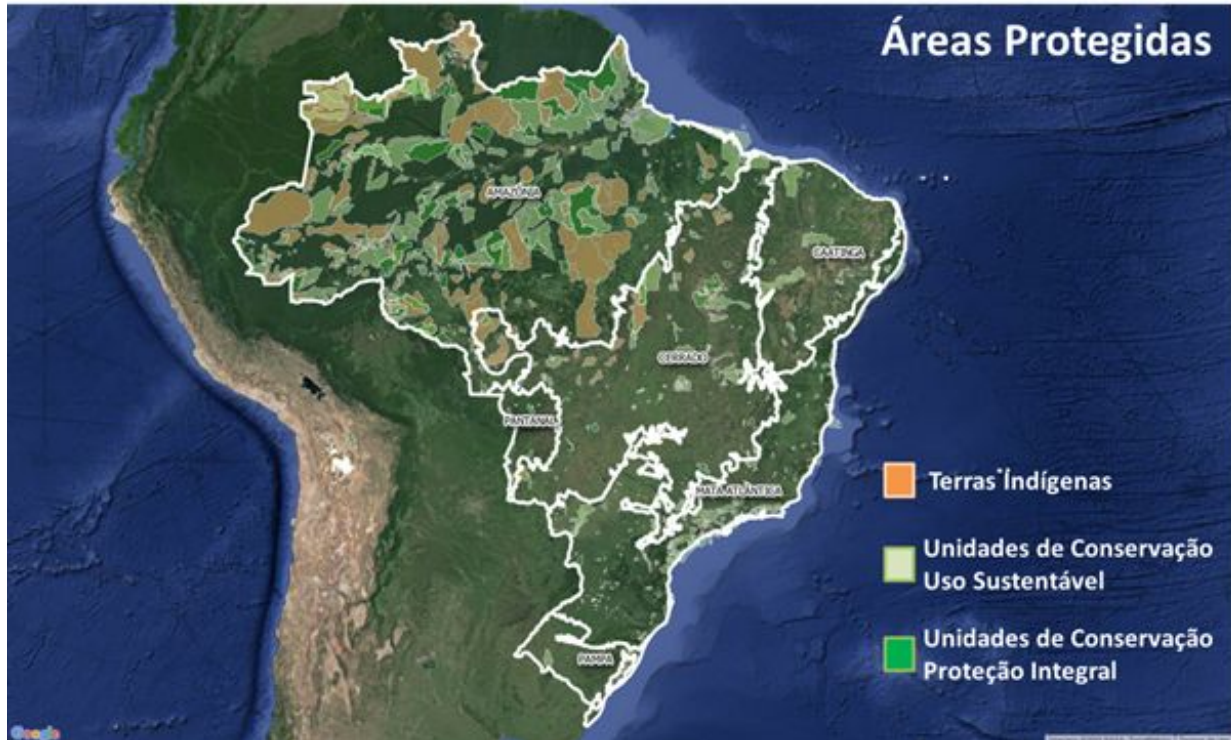


Figura 2. Áreas Protegidas (Terras Indígenas e Unidades de Conservação) no Brasil utilizadas para calcular as remoções em florestas e campos manejados.

## 2. Método de Cálculo

### 2.1. Equações de cálculo - IPCC

#### 2.1.1 Mudança de uso do solo

O Guia de Boas Práticas do IPCC (2003), e adotado pelo Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016), calcula as emissões por mudança do uso do solo usando duas abordagens, dependendo do tipo de transição de uso. No “método de incrementos e perdas” são considerados valores médios de mudança de estoques de carbono por unidade de área da transição.

Dessa forma, as emissões totais são calculadas pela soma das emissões e remoções de carbono:

$$\Delta C = \sum_{ijk} A_{ijk} \times (C_I - C_L)_{ijk}$$

Onde:

$C$ : Mudanças no estoque de carbono, em toneladas por hectare.

$C_I, C_L$ : Incrementos e perdas anuais de carbono, em toneladas por hectare/ano.

$A$ : Área de terra, em hectares.



ijk: Índices que correspondem ao tipo de clima (i), tipo de vegetação (j), e prática de manejo (k).

No “método das duas medições de estoques de carbono” as emissões são calculadas considerando os valores dos estoques médios de carbono no início e no final do período do inventário, e são dadas por:

$$\Delta C = \sum_{ijk} (C_{t2} - C_{t1}) / (t2 - t1)$$

Onde:

$\Delta C$ : Mudanças no estoque de carbono em toneladas por hectare.

$C_{t1}, C_{t2}$ : Estoques de carbono do reservatório nos tempos no início e final do período considerado.

t2 t1: Ano de início e fim do período considerado.

As remoções por florestas e campos manejados (Unidades de Conservação e Terras Indígenas, Figura 2), bem como por vegetações secundárias e outras alterações de uso do solo, são calculadas usando a equação do “método dos incrementos e perdas” ou pelo “método das duas medições de carbono”, dependendo dos dados disponíveis. Dessa forma, as remoções utilizam as mesmas equações apresentadas, sendo as remoções equivalentes a emissões negativas de CO<sub>2</sub>.

Para estimativa das mudanças nos estoques de carbono do solo, o IPCC usa estimativas baseadas em dados gerais sobre perda dos estoques de carbono do solo durante 20 anos.

$$ES_i = A_i \times CSolo \times (fc(t_0) - fc(t_f)) \times (T/2)/20$$

Onde:

$ES_i$ : Mudanças nos estoques de C do solo no polígono i.

$A_i$ : Área de mudança do polígono i.

$CSolo$ : Estoque médio de carbono do solo.

$fc(t_0), fc(t_1)$ : Fatores de mudança de carbono do solo.

T: Intervalo de tempo em anos.

Na equação, cada  $fc = f_{LU} + f_{MG} + f_l$  onde  $f_{LU}, f_{MG}$  e  $f_l$  são fatores de alteração nos estoques de carbono do solo pelo uso da terra, pelo regime de manejo e pelas adições referentes à transição, respectivamente. Os valores de  $f_{LU}, f_{MG}$  e  $f_l$  estão disponíveis no relatório para cada uma das transições consideradas.

### 2.1.2. Queima de resíduos

A metodologia do IPCC (2003) usa as seguintes equações para estimar as emissões de NO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> por queima de biomassa florestal:

$$CH_4 = (\text{carbono emitido}) \times (\text{razão de emissão}) \times \frac{16}{12}$$

$$N_2O = (\text{carbono emitido}) \times (\text{razão entre N/C}) \times (\text{razão de emissão}) \times \frac{44}{28}$$

### 2.1.3 Calagem de solos

Apesar do processo de emissão de CO<sub>2</sub> por calagem acontecer durante o período de alguns anos, o método básico assume que as emissões ocorrem no ano de aplicação, sendo calculadas pela multiplicação da quantidade do material aplicado pelo seu respectivo fator de emissão, como na equação abaixo:

$$\Delta C_{\text{calagem}} = M_{\text{calcário}} \times EF_{\text{calcário}} + M_{\text{dolomita}} \times EF_{\text{dolomita}}$$

Onde:

$\Delta C_{\text{calagem}}$ : Carbono emitido por calagem (tC/ano)

$M_{\text{calcário}}$ : Quantidade de calcário aplicado na calagem (t/ano)

$EF_{\text{calcário}}$ : Fator de emissão do calcário

$M_{\text{dolomita}}$ : Montante de dolomita aplicada na calagem (t/ano)

$EF_{\text{dolomita}}$ : Emissão de carbono da dolomita

## 2.2. SEEG 7: abordagem para calcular as emissões

O método adotado seguiu as versões anteriores do SEEG, utilizando os dados anuais de desmatamento como *proxy* para calcular as emissões. Para os biomas Caatinga, Pampa e Pantanal, usamos os dados de desmatamento da Coleção 4.0 do Projeto MapBiomas para o período de 1990 a 2018 (Anexo 1). No caso da Amazônia e do Cerrado, os dados do Prodes/INPE foram usados como *proxy* de desmatamento de 1990 a 2018, por serem oficiais e anuais. Para o bioma Mata Atlântica, foram utilizados os dados anuais de desmatamento de 1990 a 2018 da SOS Mata Atlântica/INPE. No SEEG, elaboramos um roteiro e uma ferramenta eletrônica no Microsoft Access para calcular as emissões, replicando o método aplicado nas Comunicações Nacionais (MCTI, 2016). Um limitante, no entanto, é a existência e disponibilidade de dados anuais com as mesmas características dos utilizados no Inventário de Emissões. Para contornar esse limitante, seguimos o método de cálculo de estimativa adotada pelo MCTI (2013). Esse método estima as emissões de GEE a partir de dados de desmatamento. Além disso, estimamos a alocação das emissões por estado. Nas seções seguintes, explicamos o passo a passo para replicar este método, bem como a abordagem para realizar a alocação das emissões nos estados.

### 2.2.1. Emissões brutas por desmatamento

O método para estimar as emissões anuais por mudança de uso da terra e florestas foi baseado no utilizado pelo MCTI para as emissões de 1990 a 2015 (MCTI, 2013). Esse método

foi adotado devido à carência de dados oficiais anuais de cobertura e uso do solo para reproduzir o método dos 2º e 3º Inventários brasileiros, que cobriram os períodos de 1994 a 2002 e 2002 a 2010 respectivamente (MCTI, 2010; 2016). A metodologia adotada implica que as emissões anuais foram calculadas usando a seguinte equação:

$$E_{CO_2e}(b, t) = \frac{D(b, t)}{\bar{D}(b, [1994, 2002])} \times \bar{E}_{CO_2e}(b, [1994, 2002]), t = 2006, \dots, 2012$$

Onde:

$\bar{E}_{CO_2e}(b, [1994, 2002])$  : Emissões brutas de CO<sub>2</sub> equivalente no ano t, t = 2006, ..., 2012.

$D(b, t)$  : Área desmatada no ano t, t = 2006, ..., 2012.

$\bar{D}(b, [1994, 2002])$  : Taxa de desmatamento anual no período de 1994 a 2002.

$\bar{E}_{CO_2e}(b, [1994, 2002])$  : Emissões anuais brutas médias de CO<sub>2</sub> equivalente no período de 1994 a 2002.

Essa equação assume que as emissões são proporcionais à área anual desmatada. Verificou-se que, no período de 1994 a 2002, houve alta correlação entre a área total desmatada e as emissões totais de CO<sub>2</sub> equivalente (Figura 3). Esse resultado teve boa compatibilidade com os resultados do inventário (MCTI, 2013).

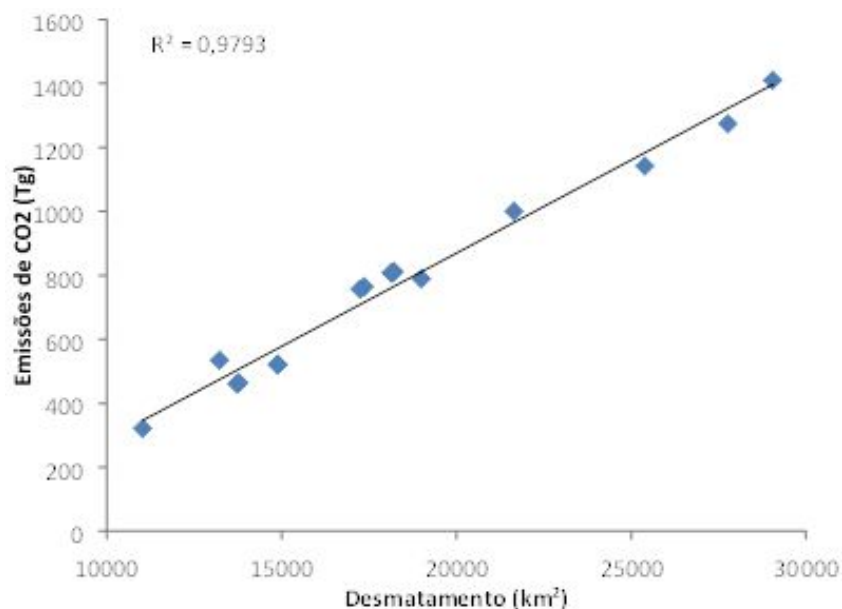


Figura 3. Relação entre o desmatamento e as emissões de CO<sub>2</sub> entre 1990 e 2002 (dados de MCTI, 2013).

No caso do SEEG os seguintes passos foram realizados:

- **Identificação das emissões brutas do 3º Inventário brasileiro para cada bioma.**
- O Terceiro Inventário Nacional de emissões atualizou os mapas de cobertura e uso do solo dos inventários anteriores e incluiu estimativas para os anos de 2005 (somente Amazônia) e 2010 (todos os biomas). Dessa forma, os períodos cobertos com mapas detalhados de cobertura e uso do solo são: (i) Amazônia: 1994-2002; 2002-2005; 2005-2010; (ii) Todos os outros biomas: 1994-2002; 2002-2010. A partir do Relatório de Referência do Terceiro Inventário (MCTI, 2015) identificamos o total de emissões brutas por bioma para os períodos descritos anteriormente.
- Para calcular as emissões brutas de cada bioma, consideramos a somatória dos valores positivos das tabelas existentes no anexo do Relatório de Referência (MCTI, 2015). Por exemplo, para o bioma Amazônia, a somatória das emissões brutas entre 1994 (agosto de 1993 a julho de 1994) e 2002 (agosto de 2001 a julho de 2002) foi de 8.570.835.000 tCO<sub>2</sub>e, com média anual de 1.071.354.375tCO<sub>2</sub>e (Tabela 1).

*Tabela 1. Emissões brutas de CO<sub>2</sub> por bioma para os períodos disponíveis no Terceiro Inventário (MCTI, 2016).*

Biomas	1994-2002		2002-2005		2005-2010	
	Total (tCO <sub>2</sub> )	Média (tCO <sub>2</sub> /ano)	Total (tCO <sub>2</sub> )	Média (tCO <sub>2</sub> /ano)	Total (tCO <sub>2</sub> /ano)	Média (tCO <sub>2</sub> /ano)
Amazônia	8.570.835.000	1.071.354.375	5.413.157.800	1.804.385.933	3.910.447.900	782.089.580
Outros biomas			2002-2010			
			Total (tCO <sub>2</sub> )		Média (tCO <sub>2</sub> /ano)	
Caatinga	225.707.200	28.213.400	299.106.600		37.388.325	
Cerrado	1.880.215.000	235.026.875	2.306.084.100		288.260.513	
Mata Atlântica	996.584.700	124.573.088	2.607.515.400		325.939.425	
Pampa	38.562.200	4.820.275	173.805.800		21.725.725	
Pantanal	176.982.300	22.122.788	142.465.400		17.808.175	

- **Cálculo da média anual de desmatamento para os períodos mapeados pelo inventário.** O passo seguinte foi estimar a média do desmatamento anual em hectares para os biomas nos mesmo período mapeados no inventário. Essa média foi calculada a partir dos dados secundários de desmatamento publicamente disponíveis para os biomas (Tabela 2).

*Tabela 2. Média anual de desmatamento dos biomas brasileiros para os períodos de 1994 a 2002, 2002 a 2005 (excepcionalmente para Amazônia) e 2002 a 2010.*

Biomass	1994-2002 (ha/ano)	2002-2005 (ha/ano)	2005-2010 (ha/ano)
Amazônia <sup>1</sup>	1.914.138	2.406.067	1.066.240
		<b>2002-2010</b>	
Caatinga <sup>2</sup>	570.600	255.151	
Cerrado <sup>2</sup>	1.123.463	1.239.628	
Mata Atlântica <sup>2</sup>	214.300	39.283	
Pampa <sup>2</sup>	4.715	35.515	
Pantanal <sup>2</sup>	80.750	58.199	

Fonte: (1) Prodes (INPE); (2) PMDBBS (IBAMA).

- **Cálculo da relação entre o desmatamento mapeado anualmente nos biomas com as médias para os períodos do Inventário.** Para calcular essa proporção primeiro foi organizada a base de dados anuais de desmatamento publicamente disponíveis para cada bioma do período de 1990 a 2018. Para os biomas Amazônia e Cerrado, utilizou-se dados do Prodes/INPE. Para a Mata Atlântica, foram utilizados os dados da SOS Mata Atlântica/INPE. Para os outros biomas, utilizou-se os dados da Coleção 4 do MapBiomas (Tabela 3).

*Tabela 3. Dados de desmatamento disponíveis por bioma para o período de 1990 a 2018.*

Bioma	1990-2000	2002-2012	2013-2018	Fonte
Amazônia	1	1	1	Prodes
Caatinga	1	1	1	MapBiomas
Cerrado	3	2	1	Prodes
Mata Atlântica	1	1	1	SOS Mata Atlântica/INPE
Pampa	1	1	1	MapBiomas
Pantanal	1	1	1	MapBiomas
1	Dado anual de desmatamento			
2	Dado bianual de desmatamento			
3	Estimativa de média anual de desmatamento			

A partir dos dados da Tabela 3 calculou-se a proporção do desmatamento detectado anualmente por bioma em relação à média de desmatamento para os períodos do Inventário ilustrados na Tabela 2. Isso está exemplificado na Tabela 4.

*Tabela 4. Exemplo de cálculo da proporção entre o desmatamento anual e a média anual por bioma referente ao período do Inventário.*

Bioma	Dado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Amazônia	Desmatamento (ha)	700.000	641.800	457.100	589.100	501.200	620.700	789.300
	Proporção do desmatamento anual médio (2005-2010)	66%	60%	43%	55%	47%	58%	74%

- **Estimativa de emissões brutas (tCO<sub>2</sub>).** Estimou-se as emissões brutas a partir da multiplicação entre as proporções de desmatamento de cada bioma com as emissões anuais brutas da Tabela 1. A Tabela 5 apresenta um exemplo das emissões brutas do bioma Amazônia para o período 2010-2016.

*Tabela 5. Estimativas de emissões brutas (tCO<sub>2</sub>) do bioma Amazônia para o período 2010-2016 a partir dos dados de desmatamento do Prodes (INPE).*

Dado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Emissões brutas (tCO <sub>2</sub> )	513.451.668	470.761.829	335.283.939	432.106.253	367.631.394	455.284.929	578.953.430

### **2.2.2. Emissões por queima de resíduos**

As emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) estão associadas ao carbono emitido pela queima de lenha e madeira extraída, bem como ao carbono vegetal produzido (MCTI, 2013). Foram utilizados os dados de carbono de lenha publicados pelo Balanço Energético Nacional (BEN) para estimar as emissões desses gases. A seguinte equação foi utilizada:

$$CO_2_{resíduos} = C \times EF_{resíduos}$$

*CO<sub>2</sub>resíduos*: Emissões de CO<sub>2</sub> por queima de resíduos (tCO<sub>2</sub>e).

*C*: Estoque de Carbono (tC).

*EF<sub>resíduos</sub>*: Fator de emissão associado à queima de resíduos.

### **2.2.3 Emissões por calagem de solos**

Os dados de calcário nos solos foram baseados segundo a Associação Brasileira dos Produtores de Calcário (Abracal) e o fator de emissão de 0,44 tCO<sub>2</sub>/tCaCO<sub>3</sub> foi utilizado para estimar as emissões de dióxido de carbono pela calagem, conforme equação a seguir:

$$ECO_{2e} = M_{\text{calcário}} \times 0,44$$

#### 2.2.4. Remoções

- **Áreas Protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas)**

As remoções de emissões para o setor de mudança de uso da terra são calculadas a partir das áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas), consideradas áreas manejadas em vegetação nativa (floresta e campo), segundo o MCTI (2016). Não estão no cálculo as reservas particulares do patrimônio natural. O primeiro passo foi estimar fatores de remoção médio a partir das matrizes de transição do Terceiro Inventário. Para calcular os fatores foi utilizado somente as regiões de persistência de Área Manejada, equivalente às áreas protegidas. Para a Amazônia o fator médio de remoção foi de 1,35 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano para todo o período, na Caatinga 0,57 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano para as áreas protegidas criadas até 2002 e 0,36 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano para as criadas a partir de 2002. No Cerrado, os fatores foram 0,88 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano para as áreas manejadas definidas até 2002 e 1 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano para as depois de 2002. Na Mata Atlântica o fator de remoção foi constante e igual a 1,02 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano. No Pampa os valores foram 1,57 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano para até 2002 e 1,55 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano para depois de 2002. Finalmente no Pantanal, até 2002 utilizou-se o fator de 0,94 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano e 0,92 tCO<sub>2</sub>e/ha/ano para depois de 2002. Esses fatores de remoção foram então multiplicados pela extensão das áreas protegidas criadas anualmente pelo ICMBio e FUNAI (2017).

- **Florestas secundárias**

As estimativas de remoções por floresta secundária foram feitas em duas etapas principais. Primeiro calculou-se um fator de remoção médio anual a partir das áreas de persistência de floresta secundária publicadas no Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016). Campos secundários não foram incluídos nas estimativas de remoções. A Tabela 5 apresenta esses fatores de remoção para todos os biomas brasileiros. Por exemplo, para o bioma Amazônia cerca de 109 milhões de tCO<sub>2</sub>e foram removidos por áreas em que florestas secundárias persistiram entre 1994 e 2002. Essas áreas ocupavam um total de 751 mil hectares. Combinando-se esses dois valores estimou-se um fator médio anual de -18,19 tCO<sub>2</sub>e por hectare pela persistência das florestas secundárias. O passo seguinte realizado foi estimar uma variação linear entre as áreas de floresta secundária para os períodos do Inventário. O passo final, foi aplicar o fator de remoção médio a partir das áreas de floresta secundária calculadas no passo anterior.

*Tabela 5. Fatores de remoção por floresta secundária por bioma calculados a partir do Terceiro Inventário (MCTI, 2016).*

Biomass	Remoções por Floresta Secundária	1994-2002	2002-2005	2005-2010
Amazônia	tCO <sub>2</sub> e	-109.279.300,00	-156.188.100,00	-376.110.700,00
	Ha	751.094,90	2.862.684,70	4.136.114,40
	tCO <sub>2</sub> e/ha/ano	-18,19	-18,19	-18,19
			<b>2002-2010</b>	
Caatinga	tCO <sub>2</sub> e	0,00		-11.797.900,00
	Ha	0,00		670.333,60
	tCO <sub>2</sub> e/ha/ano	0,00		-2,20
Cerrado	tCO <sub>2</sub> e	0,00		-39.502.700,00
	Ha	0,00		782.955,30
	tCO <sub>2</sub> e/ha/ano	0,00		-6,31
Mata Atlântica	tCO <sub>2</sub> e	0,00		-104.051.400,00
	Ha	0,00		663.029,60
	tCO <sub>2</sub> e/ha/ano	0,00		-19,62
Pampa	tCO <sub>2</sub> e	0,00		-1.665.400,00
	Ha	0,00		32.258,90
	tCO <sub>2</sub> e/ha/ano	0,00		-6,45
Pantanal	tCO <sub>2</sub> e	0,00		-2.127.700,00
	Ha	0,00		26.186,40
	tCO <sub>2</sub> e/ha/ano	0,00		-10,16

● **Mudança de Uso da Terra**

Nessa versão do SEEG também calculou-se as remoções por outros tipo de alteração de uso da terra. Esse fator foi calculado somente para todas as outras remoções fora de áreas protegidas e persistência de floresta secundária. Essas estimativas também foram calculadas a partir das matrizes de transição disponíveis no Terceiro Inventário (MCTI, 2016). A Tabela 6



apresenta os fatores de remoção médio que foram calculados. Esses fatores permanecem constantes na série temporal 1990-2018 calculada para o SEEG.

*Tabela 6. Remoção média associada às alterações do uso da terra por bioma a partir do Terceiro Inventário (MCTI, 2016).*

<b>Biomas</b>	<b>Remoção por Mudança de Uso da Terra</b>	<b>1994-2002</b>	<b>2002-2005</b>	<b>2005-2010</b>
Amazônia	tCO <sub>2</sub> e	-31.857.300,00	-5.851.200,00	-26.306.800,00
	tCO <sub>2</sub> e/ano	-3.982.162,50	-1.950.400,00	-5.261.360,00
			<b>2002-2010</b>	
Caatinga	tCO <sub>2</sub> e	-26.636.200,00		-195.590.800,00
	tCO <sub>2</sub> e/ano	-3.329.525,00		-24.448.850,00
Cerrado	tCO <sub>2</sub> e	-51.980.800,00		-244.973.300,00
	tCO <sub>2</sub> e/ano	-6.497.600,00		-30.621.662,50
Mata Atlântica	tCO <sub>2</sub> e	-61.854.300,00		-365.172.400,00
	tCO <sub>2</sub> e/ano	-7.731.787,50		-45.646.550,00
Pampa	tCO <sub>2</sub> e	-4.479.900,00		-60.548.500,00
	tCO <sub>2</sub> e/ano	-559.987,50		-7.568.562,50
Pantanal	tCO <sub>2</sub> e	-661.200,00		-2.053.400,00
	tCO <sub>2</sub> e/ano	-82.650,00		-256.675,00

### **2.2.5. Emissões por Queimadas não Associadas ao Desmatamento**

Emissões por queimadas não associadas ao desmatamento não são contabilizadas nos Inventários Nacionais principalmente devido à ausência de dados históricos sobre a área queimada no Brasil, assim como sobre as transições de uso e cobertura da terra associadas a essas áreas. Porém, a incidência de queimadas tem se agravado no Brasil e no mundo e essas queimadas são frequentemente relacionadas a atividades humanas (origem antrópica) (Caúla et al., 2015, Fonseca et al., 2017). Frente a este cenário, a equipe do SEEG iniciou um esforço para entender melhor o fenômeno e como ele afeta as emissões brasileiras. O Anexo 3 aborda com mais detalhes este esforço e seus desafios.

### **2.3. Dados de nível de atividade necessários e respectivas fontes**

Para as emissões brutas, utilizou-se os dados de desmatamento gerados por fontes secundárias e publicamente acessíveis (Tabela 3). Com exceção do bioma Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, utilizamos os dados de desmatamento gerados a partir dos mapas de cobertura e uso da terra da Coleção 4.0 do MapBiomas nas estimativas das emissões para os demais biomas. Para as remoções por áreas protegidas, os dados utilizados foram gerados pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Fundação Nacional do Índio (ICMBio, FUNAI, 2017). As remoções por floresta secundária e por alterações de uso do solo foram estimadas a partir do Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016).

### **2.4. Fatores de emissão utilizados**

Os fatores de emissões para o setor de mudança do uso do solo são representados por incrementos ou perdas médias de estoque de carbono por hectare de área sob mudança. Utilizamos os dados do Relatório de Referência (MCTI, 2015) para obter fatores de emissões para a transição de floresta por desmatamento para cada bioma. Os fatores de emissões médios foram calculados a partir de todas as emissões brutas geradas no 3º Inventário Brasileiro (Tabela 1), de acordo com o procedimento aplicado no Item 2.2.1.

As emissões das demais transições de uso da terra foram assumidas proporcionais às emissões da transição de floresta por desmatamento. Esse procedimento também implica nos pressupostos de que os estoques atuais médios de biomassa florestal nas áreas de desmatamento atual foram invariáveis ao longo do tempo, e de que as contribuições relativas de cada transição para as emissões totais permaneceram constantes. Esses pressupostos podem ser evitados com o uso de dados detalhados de mudança do uso da terra, quando estes estiverem disponíveis.

### **2.5. Modo de recepção dos dados**

Os dados espacialmente explícitos de nível de atividade para os biomas Amazônia e Cerrado foram obtidos diretamente do site do Prodes ([www.inpe.br/prodes](http://www.inpe.br/prodes)) e estão disponíveis para acesso gratuito no formato *shapefile* (.shp). Os dados para a Mata Atlântica estão disponíveis no Atlas da Mata Atlântica, publicada na plataforma do SOS Mata Atlântica (<http://mapas.sosma.org.br>). Para os demais biomas foram utilizados dados anuais de desmatamento derivados de pós-processamento dos dados da Coleção 4 do MapBiomas ([www.mapbiomas.org](http://www.mapbiomas.org)).

### **2.6. Sequência de tratamento dos dados**

Os dados de desmatamento foram organizados em um ambiente de sistema de informações geográficas (SIG) para cálculo de área.

## 2.7. Softwares utilizados

A plataforma *Google Earth Engine* foi usada para processamento dos dados MapBiomias (Coleção 4.0) e produção dos dados de desmatamento por biomas. O *software* ArcGis foi usado para obter os resumos de área total desmatada para cada bioma. O Microsoft Excel foi usado na tabulação e cálculo das emissões totais.

## 3. Quadro de Qualidade dos Dados

Dada a complexidade dos cálculos necessários para consolidar o SEEG e devido à opção de usar apenas dados disponíveis de forma pública e gratuita, considerou-se necessário divulgar uma avaliação da qualidade dos dados. Assim, qualquer usuário ou leitor pode aferir a confiabilidade de cada cálculo e eventualmente contribuir para aumentar a robustez dos dados. A Tabela 7 a seguir, qualifica os dados do SEEG de 1990 a 2018 e segue a seguinte legenda:

Tabela 7. Legenda utilizada para qualificar os dados do SEEG no período de 1990 a 2018.

Aspecto	Valores
TIER	1 Tier 1 do IPCC - fatores globais
	2 Tier 2 do IPCC - fatores nacionais ou regionais
	3 Tier 3 do IPCC - fatores específicos por planta
EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE	1 Dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 3º Inventário (inclui dados existentes em associações de classe, mesmo que não seja público). Dados que só existem nas empresas ou agentes econômicos específicos não serão considerados.
	2 Dados incompletos
	3 Dados não existentes
DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE	1 Dados disponíveis de forma pública e gratuita
	2 Dados disponíveis com alguma restrição (pago; em local físico específico, ou disponível apenas mediante solicitação específica)
	3 Dados não disponíveis
FATORES DE EMISSÃO	1 Fator explícito, com referência
	2 Fator implícito com correlação ( $R^2$ ) maior ou igual a 0,7

	3 Fator implícito com correlação ( $R^2$ ) menor que 0,7
<b>NECESSIDADE DE APRIMORAMENTO</b>	1 Sem necessidade de aprimoramento
	2 Necessidade de aprimoramento de método ou obtenção dos dados para cálculo
	3 Necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para cálculo
<b>QUALIDADE GERAL DO DADO</b>	1 Dado confiável; capaz de reproduzir 3º Inventário
	2 Dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas
	3 Dado pouco confiável ou de difícil avaliação

Além da tabela geral da qualidade de dados, estimamos também a qualidade da informação disponível para alocação das emissões por estado (Tabela 8).

*Tabela 8. Legenda da qualidade de dados utilizada para alocação das emissões para a escala estadual no SEEG no período de 1990-2018.*

Aspecto	Valores
<b>OCORRÊNCIA DE ALOCAÇÃO</b>	1 Alocação possível de toda emissão nacional nos E estados (não fica resíduo/montante não alocado)
	2 Alocação parcialmente possível. Parte das emissões nacionais não foi alocada.
	3 Alocação para os estados não foi possível
<b>CRITÉRIO DE ALOCAÇÃO</b>	1 Critério de alocação está diretamente relacionado com os fatores de emissão
	2 Critério de alocação usa fatores indiretos com alta correlação com os fatores diretos.
	3 Critério de alocação usa fatores indiretos com baixa correlação com fatores diretos.
<b>EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE</b>	1 Dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 3º Inventário (inclui dados existentes em associações de classe, mesmo que não públicos). Dados que só existem nas empresas ou agentes econômicos específicos não serão considerados.
	2 dados incompletos

	3 dados não existentes
<b>DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE</b>	1 dados disponíveis de forma pública e gratuita
	2 dados disponíveis com alguma restrição (pagos; em local físico específico, ou disponível apenas mediante solicitação específica)
	3 dados não disponíveis
<b>FATORES DE EMISSÃO</b>	1 fator explícito, com referência
	2 fator implícito com correlação R2 maior ou igual a 0,7
	3 fator implícito com correlação R2 menor que 0,7
<b>NECESSIDADE APRIMORAMENTO</b>	1 sem necessidade de aprimoramento
	2 necessidade de aprimoramento de método OU obtenção dos dados para cálculo
	3 necessidade de aprimoramento de método E obtenção de dados para cálculo
<b>QUALIDADE GERAL DA ALOCAÇÃO</b>	1 dado confiável; capaz de reproduzir 3o inventário
	2 dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas
	3 dado pouco confiável ou de difícil avaliação

A tabela com a qualidade de dados estará disponível no site do SEEG em formato de planilha comentada, explicando as razões para classificações '2' e '3' de cada dado. Esta tabela visa qualificar os dados que apresentamos quando comparado com a qualidade dos dados do inventário.

A precisão também pode ser aumentada se mapas espacialmente explícitos de biomassa forem utilizados em conjunto com os dados espacialmente explícitos de desmatamento. Entretanto, para esse inventário, o procedimento para obtenção dos fatores de emissões foi desenvolvido a partir das estimativas de desmatamento, que provavelmente ainda constituem a maior parte das emissões atuais.

#### 4. Diferenças para o Inventário e Estimativas de Emissões Oficiais

- Nossas estimativas são diferentes em relação às estimativas do Terceiro Inventário (MCTI, 2016) nos seguintes aspectos:

- As emissões foram apresentadas no Terceiro Inventário (MCTI, 2016) com valores líquidos sem segregar emissão e remoção. Calculamos as emissões e remoções das emissões de forma segregada e apresentamos as emissões em vários formatos na base de consulta de dados: Emissões brutas, emissões líquidas, remoções por áreas protegidas, florestas secundárias e de mudanças de uso da terra;
- Apresentamos por padrão apenas as emissões brutas de desmatamento. O MCTI (2016) calculou as emissões líquidas (emissões menos remoções). Na nossa estimativa calculamos as remoções por Unidades de Conservação e Terras Indígenas para fins de comparação com as emissões do MCTI; no entanto, apresentamos as emissões brutas;
- Utilizamos os dados de desmatamento gerados a partir dos mapas de uso da terra da Coleção 4.0 do MapBiomas para os biomas Caatinga, Pantanal e Pampa (1990-2018, nos quais usou-se o valor de 2017 em 2018, devido a limitações técnicas na produção do dado de cobertura e uso do solo para este ano na coleção utilizada) (Anexo 1). Esta informação supre a ausência dos dados oficiais anuais de desmatamento para estes biomas. Para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica foram utilizados dados oficiais;
- Para as estimativas de remoções adotamos uma redução de 3,5% do total de remoção por áreas protegidas (Unidade de Conservação e Terra Indígena). Esse valor foi calculado a partir de uma estimativa do desmatamento médio encontrado nas áreas protegidas do bioma Amazônia.

## **5. Resultados**

Os resultados são apresentados por emissões de CO<sub>2</sub> por mudanças de uso da terra, queima de resíduos florestais, por calagem de solos e emissões totais no setor de uso da terra e florestas, como também as remoções em áreas protegidas, florestas secundárias e de mudanças de uso do solo, no período de 1990 a 2018.

### **5.1. Emissões por alterações de uso da terra**

A Tabela 9 apresenta as emissões brutas de CO<sub>2</sub> por alterações do uso do solo por bioma no período de 1990 a 2018.

*Tabela 9. Emissões de tCO<sub>2</sub>e (GWP AR5) por alterações de uso da terra por bioma a cada cinco anos no período de 1990-2018.*

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
Amazônia	AC	30.783.834	67.612.493	30.615.922	44.395.963	18.997.712	19.364.463	32.567.506
	AM	29.104.716	118.321.863	34.254.011	58.119.715	43.643.392	52.225.370	76.650.999
	AP	13.992.652	503.735	0	2.474.775	3.887.563	1.833.756	1.760.406
	MA	61.567.668	97.668.709	59.608.696	69.143.713	52.225.370	15.330.200	18.557.610
	MT	225.001.840	581.590.576	356.476.795	535.826.279	63.888.057	117.433.731	109.291.855
	PA	273.696.268	439.089.411	373.379.918	442.384.775	276.530.398	157.923.063	201.273.054
	RO	93.470.913	264.740.970	137.967.546	243.277.880	31.907.354	75.550.745	96.528.913
	RR	8.395.591	12.313.534	14.160.564	9.974.093	18.777.661	11.442.637	14.303.296
	TO	32.462.952	44.608.574	13.656.828	20.323.152	3.594.162	4.180.964	1.833.756
Caatinga	AL	251.752	601.046	601.046	862.110	501.272	129.418	40.139
	BA	3.228.565	7.708.030	7.708.030	11.056.010	13.618.705	9.779.830	6.721.355
	CE	2.946.859	7.035.472	7.035.472	10.091.326	11.928.510	7.740.880	7.979.129
	MA	69.178	165.160	165.160	236.897	29.481	72.627	51.757
	MG	256.032	611.262	611.262	876.763	446.833	363.639	147.611
	PB	722.451	1.724.814	1.724.814	2.473.987	3.910.031	2.141.935	2.657.667
	PE	1.571.848	3.752.706	3.752.706	5.382.692	5.613.135	4.124.006	2.778.291
	PI	1.844.283	4.403.129	4.403.129	6.315.626	5.636.362	4.549.237	4.783.173
	RN	814.451	1.944.460	1.944.460	2.789.035	3.000.954	2.797.874	2.051.049
	SE	111.969	267.321	267.321	383.431	337.854	114.701	38.856
Cerrado	BA	20.210.663	24.145.704	24.145.704	42.005.919	28.155.306	31.240.347	16.207.893
	DF	183.218	218.890	218.890	632.673	281.238	125.222	186.030
	GO	21.589.158	25.792.594	25.792.594	57.311.618	33.731.855	28.834.121	16.579.953
	MA	32.335.752	38.631.563	38.631.563	53.838.365	40.825.130	40.692.778	34.183.074
	MG	19.471.249	23.262.325	23.262.325	65.262.452	31.589.230	28.825.080	10.952.536
	MS	15.601.864	18.639.566	18.639.566	37.043.665	12.020.888	14.687.659	5.999.478
	MT	38.384.119	45.857.555	45.857.555	64.387.933	23.293.213	40.567.109	22.974.746
	PI	9.189.243	10.978.400	10.978.400	22.712.493	19.353.819	18.727.616	11.231.581
	PR	1.091	1.303	1.303	647.731	481.160	165.094	23.254
	RO	17.449	20.847	20.847	0	0	0	0

	SP	1.969.591	2.353.073	2.353.073	5.099.178	1.827.927	639.652	348.807
	TO	26.605.835	31.786.024	31.786.024	61.332.678	42.248.005	71.770.390	35.578.301
Mata Atlântica	AL	0	0	0	43.217	0	2.593	5.186
	BA	8.085.334	0	0	4.602.607	2.504.207	2.591.073	1.286.785
	CE	0	0	0	0	0	1.945	4.538
	ES	2.233.364	2.607.722	1.968.871	799.514	77.142	99.183	12.317
	GO	84.289	75.569	394.123	259.302	103.721	22.041	187.346
	MG	5.608.405	10.341.368	14.074.492	9.821.055	4.041.218	4.992.856	2.190.452
	MS	1.552.659	487.713	2.122.335	648.254	38.247	170.491	90.756
	PB	0	0	0	86.434	0	7.131	21.392
	PE	0	0	0	183.672	0	88.163	58.343
	PI	0	0	0	0	0	1.896.793	1.361.334
	PR	16.769.409	9.836.798	20.672.854	5.855.898	1.052.765	1.288.730	1.328.273
	RJ	3.555.245	16.319.481	476.087	453.778	79.735	17.503	11.669
	RN	0	0	0	54.021	0	14.910	8.427
	RS	5.749.080	3.347.720	1.307.349	1.825.917	604.173	103.721	110.852
	SC	11.557.453	7.315.108	4.964.322	3.554.595	1.175.285	387.656	586.670
	SE	0	0	0	561.821	0	235.316	63.529
	SP	7.175.596	7.835.955	5.866.503	875.143	166.601	29.171	62.232
Pampa	RS	0	204.485	204.485	22.215.771	68.291.312	20.501.728	14.319.064
Pantanal	MS	9.380.420	7.858.495	7.858.495	7.624.192	9.406.516	11.638.944	13.288.514
	MT	17.468.288	14.634.147	14.634.147	14.197.827	6.023.324	7.548.054	8.482.017

## 5.2. Emissões por queima de resíduos florestais

A Tabela 10 apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> por queima de resíduos florestais (lenha e madeira extraída) por bioma e estado brasileiro no período de 1990 a 2017 (Fonte: MCTI, 2016; Balanço Energético Nacional).



*Tabela 10. Emissões de tCO<sub>2</sub>e (GWP-AR5) por queima de resíduos florestais por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2018.*

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
Amazônia	AC	1,305,100	2,866,475	1,297,982	1,707,235	746,915	761,335	1,280,427
	AM	1,233,913	5,016,332	1,452,221	2,234,979	1,715,887	2,053,297	3,013,616
	AP	593,227	21,356	0	95,167	152,844	72,096	69,212
	MA	2,610,201	4,140,728	2,527,149	2,658,904	2,053,297	602,723	729,612
	MT	9,539,098	24,656,907	15,113,064	20,605,062	2,511,828	4,617,033	4,296,927
	PA	11,603,530	18,615,479	15,829,682	17,011,793	10,872,090	6,208,915	7,913,267
	RO	3,962,760	11,223,864	5,849,223	9,355,188	1,254,472	2,970,359	3,795,138
	RR	355,936	522,040	600,346	383,551	738,264	449,880	562,349
	TO	1,376,288	1,891,209	578,990	781,522	141,308	164,379	72,096
Caatinga	AL	120,818	288,446	288,446	169,666	98,652	25,470	7,899
	BA	1,549,413	3,699,142	3,699,142	2,175,860	2,680,207	1,924,703	1,322,785
	CE	1,414,220	3,376,376	3,376,376	1,986,007	2,347,571	1,523,431	1,570,319
	MA	33,199	79,261	79,261	46,622	5,802	14,293	10,186
	MG	122,871	293,349	293,349	172,550	87,938	71,565	29,050
	PB	346,710	827,751	827,751	486,889	769,507	421,540	523,038
	PE	754,342	1,800,952	1,800,952	1,059,332	1,104,684	811,618	546,777
	PI	885,085	2,113,095	2,113,095	1,242,937	1,109,255	895,305	941,344
	RN	390,861	933,161	933,161	548,892	590,598	550,631	403,653
	SE	53,735	128,289	128,289	75,461	66,491	22,574	7,647
Cerrado	BA	2,292,466	2,738,812	2,738,812	5,209,408	3,491,710	3,874,305	2,010,039
	DF	20,782	24,828	24,828	78,462	34,878	15,529	23,071
	GO	2,448,827	2,925,616	2,925,616	7,107,561	4,183,292	3,575,894	2,056,180
	MA	3,667,797	4,381,922	4,381,922	6,676,822	5,062,972	5,046,558	4,239,250
	MG	2,208,595	2,638,611	2,638,611	8,093,592	3,917,572	3,574,773	1,358,290
	MS	1,769,697	2,114,259	2,114,259	4,594,009	1,490,783	1,821,506	744,032
	MT	4,353,854	5,201,555	5,201,555	7,985,138	2,888,732	5,030,973	2,849,237
	PI	1,042,322	1,245,264	1,245,264	2,816,714	2,400,184	2,322,525	1,392,896
	PR	124	148	148	80,329	59,672	20,474	2,884
	RO	1,979	2,365	2,365	0	0	0	0
	SP	223,408	266,906	266,906	632,380	226,692	79,327	43,258

	TO	3,017,861	3,605,442	3,605,442	7,606,237	5,239,431	8,900,681	4,412,281
Mata Atlântica	AL	0	0	0	1,923	0	404	231
	BA	330,048	0	0	204,753	111,403	135,973	57,244
	CE	0	0	0	0	0	0	0
	ES	91,167	106,449	80,370	35,567	3,432	577	548
	GO	3,441	3,085	16,088	11,535	4,614	721	8,334
	MG	228,938	422,141	574,529	436,902	179,779	163,197	97,445
	MS	63,380	19,909	86,635	28,838	1,701	15,342	4,037
	PB	0	0	0	3,845	0	173	952
	PE	0	0	0	8,171	0	923	2,595
	PI	0	0	0	0	0	163,716	60,561
	PR	684,537	401,544	843,878	260,507	46,834	57,331	59,090
	RJ	145,127	666,171	19,434	20,187	3,547	346	519
	RN	0	0	0	2,403	0	0	0
	RS	234,681	136,656	53,367	81,228	26,877	1,154	4,931
	SC	471,782	298,607	202,647	158,131	52,284	20,129	26,099
	SE	0	0	0	24,993	0	288	2,826
SP	292,912	319,868	239,474	38,932	7,411	1,788	2,768	
Pampa	RS	0	4,746	4,746	1,047,306	3,219,421	966,502	675,036
Pantanal	MS	812,468	680,649	680,649	718,558	886,536	1,096,936	1,252,403
	MT	1,512,984	1,267,510	1,267,510	1,338,103	567,681	711,382	799,405

### 5.3. Emissões por calagem de solos

A Figura 4 apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> por prática de aplicação de calcário nos solos no Brasil no período de 1990 a 2018 e a Tabela 11 por estado brasileiro a cada cinco anos (fonte: MCTI, 2016; ABRACAL).

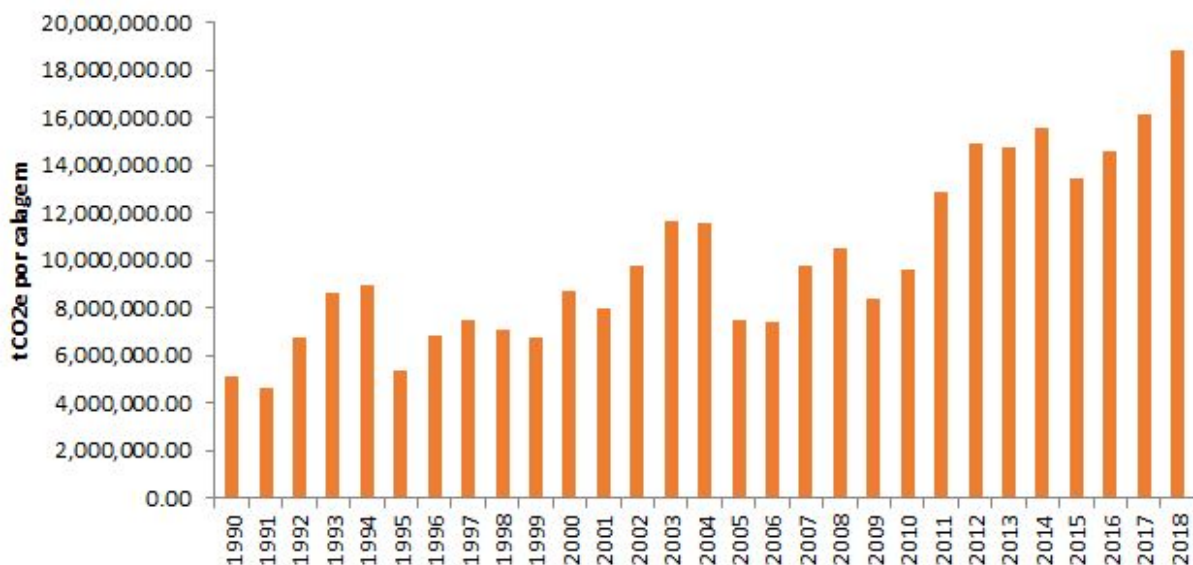


Figura 4. Emissões de tCO<sub>2</sub>e por calagem de solos no Brasil no período de 1990 a 2018.

Tabela 11. Emissões de tCO<sub>2</sub>e (GWP-AR5) por calagem de solos por estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2018.

Estado	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
AL	17.750	26.400	35.200	0	0	32.804	53.472
BA	71.856	65.164	329.252	118.096	389.620	400.687	462.118
ES	26.998	57.728	181.236	64.900	73.480	124.973	84.693
GO	533.533	519.200	1.122.000	857.208	1.035.188	1.021.814	1.861.050
MA	71.795	79.200	167.200	37.400	149.600	178.401	350.689
MG	617.017	778.624	1.314.148	993.476	1.633.104	1.792.055	2.232.495
MS	221.682	171.600	357.984	394.548	748.396	1.221.850	1.482.569
MT	493.008	340.428	1.363.912	1.287.880	1.672.000	2.617.615	4.387.464
NA	33.235	55.880	134.552	532.576	764.720	504.729	1.164.992
PE	22.463	26.400	40.480	70.400	0	33.508	46.172
PR	773.656	814.880	1.005.268	762.124	1.248.236	1.954.186	1.679.879
RS	785.101	612.480	881.892	379.808	0	1.312.611	1.604.508
SC	241.959	354.904	262.240	264.000	268.444	286.620	292.644
SP	1.126.600	1.479.280	1.462.164	1.475.716	1.486.232	1.472.499	2.181.354

TO	66.776	13.200	59.840	236.280	171.600	519.988	984.920
<b>Total</b>	<b>5.103.428</b>	<b>5.395.368</b>	<b>8.717.368</b>	<b>7.474.412</b>	<b>9.640.620</b>	<b>13.474.341</b>	<b>18.869.020</b>

#### 5.4. Remoções em áreas protegidas

A Tabela 12 apresenta as remoções de CO<sub>2</sub> contabilizadas em áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) por bioma no período de 1990 a 2018 (Fonte: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Fundação Nacional do Índio, 2017).

*Tabela 12. Remoções de tCO<sub>2</sub>e (GWP-AR5) em áreas protegidas por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2018.*

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
Amazônia	AC	-6680616	-6680616	-6886115	-9544183	-9573485	-9573485	-9537940
	AM	-72543302	-74416293	-78503915	-93579097	-108334715	-110361340	-114547039
	AP	-4203321	-4203321	-5403740	-10564678	-13759796	-13759796	-13637009
	MA	-2053074	-6434656	-6435135	-6555923	-6552137	-6552137	-5836586
	MT	-12994961	-12994961	-13880096	-14441552	-14710857	-14714447	-14236937
	PA	-51478820	-51490785	-54987057	-65228549	-92695425	-92826015	-92424953
	RO	-9360824	-10167382	-10785861	-11942349	-12338965	-12339087	-12331471
	RR	-15349042	-15349042	-15638811	-15997179	-18094746	-18094746	-20099497
	TO	-6332	-6332	-45350	-69886	-69846	-69846	-30236
Caatinga	AL	-6869	-6869	-6869	-4336	-8288	-8679	-8807
	BA	-223437	-333490	-899121	-596131	-1057894	-1058372	-1052464
	CE	-53291	-53291	-566576	-366570	-381503	-384553	-368239
	MA	0	-5092	-8601	-5429	-14326	-14326	-12530
	MG	-19346	-19346	-36780	-23215	-35691	-35691	-34586
	PB	-83	-83	-83	-832	-832	-832	-907
	PE	-69551	-69551	-255163	-183481	-185928	-190806	-231096
	PI	-61077	-61077	-1032429	-651787	-651835	-651835	-650193
	RN	-769	-1201	-1201	-4184	-4391	-4391	-8563
SE	0	0	0	0	-2428	-2502	-2409	
Cerrado	BA	-110126	-373341	-522696	-823958	-1990163	-1992408	-1972563
	DF	-212026	-215973	-227842	-637484	-637951	-637951	-541110

	GO	-273927	-276679	-446222	-1846976	-1885184	-1889017	-1886324
	MA	-1032594	-2048755	-2191889	-3031385	-3253420	-3253510	-2167330
	MG	-619312	-990906	-1191303	-1896503	-1950852	-1985211	-1926484
	MS	-416385	-416385	-535539	-620106	-631895	-632859	-638960
	MT	-4640629	-4872443	-5589900	-6687734	-6758987	-6759503	-6680818
	PI	-119101	-119170	-647779	-1000061	-1000524	-1000524	-1000048
	PR	0	-179780	-179780	-205780	-206507	-206507	-205332
	RO	-33837	-33837	-33837	-38731	-38731	-38731	-38491
	SP	-431476	-511929	-511929	-723901	-725091	-725890	-661911
	TO	-2301881	-2309859	-4106402	-5725275	-5727462	-5731710	-5759692
Mata Atlântica	AL	-54059	-54059	-183099	-191691	-191871	-191871	-189109
	BA	-222574	-534602	-721759	-851369	-1049940	-1050724	-1216540
	ES	-88144	-98675	-101522	-124313	-151018	-156096	-166646
	GO	0	0	0	0	-958	-958	-958
	MG	-392939	-560663	-1017722	-1152425	-1185702	-1641696	-1528447
	MS	-147218	-147218	-951426	-953083	-956941	-961014	-953618
	PB	-42853	-50977	-51140	-51352	-52017	-52017	-48375
	PE	-6751	-6751	-47711	-47790	-109363	-111884	-111865
	PR	-564094	-1212409	-1545146	-1575069	-1646243	-1781952	-1610472
	RJ	-361927	-370332	-396332	-634875	-778758	-848733	-834596
	RN	-12252	-14152	-59922	-60194	-60216	-60216	-86390
	RS	-152188	-161737	-259178	-261767	-262116	-262116	-261081
	SC	-242853	-259161	-338189	-428174	-438167	-443981	-445506
	SE	-4010	-4010	-4010	-12367	-13306	-14110	-14160
	SP	-2054027	-2418185	-2835975	-3003999	-3313503	-3351423	-3058697
	Pampa	RS	-100289	-597023	-759997	-754341	-754366	-754837
Pantanal	MS	-200077	-200077	-304942	-299952	-311525	-311525	-313034
	MT	-187945	-187945	-188044	-379480	-379717	-379717	-380168

## 5.5. Remoções por vegetação secundária

As remoções brutas de CO<sub>2</sub> por vegetação secundária por bioma no período de 1990 a 2018 estão apresentadas na Tabela 13.

*Tabela 13. Remoções de tCO<sub>2</sub>e (GWP-AR5) por vegetação secundária por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2018.*

<b>Bioma</b>	<b>UF</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2018</b>
Amazônia	AC	21.166	21.166	21.166	413.510	2.553.383	2.553.383	2.553.383
	AM	724.352	724.352	724.352	2.566.910	10.040.269	10.040.269	10.040.269
	RR	294.938	294.938	294.938	510.566	1.173.173	1.173.173	1.173.173
	PA	7.098.815	7.098.815	7.098.815	24.418.888	27.216.481	27.216.481	27.216.481
	AP	55	55	55	10.697	248.490	248.490	248.490
	TO	822.046	822.046	822.046	2.337.869	2.764.640	2.764.640	2.764.640
	MA	1.289.441	1.289.441	1.289.441	7.021.175	5.812.802	5.812.802	5.812.802
	MT	2.574.587	2.574.587	2.574.587	9.554.120	17.508.685	17.508.685	17.508.685
	RO	834.512	834.512	834.512	5.228.965	7.904.216	7.904.216	7.904.216
Caatinga	MA	0	0	0	5.281	5.281	5.281	5.281
	PI	0	0	0	220.486	206.453	206.453	206.453
	CE	0	0	0	301.120	262.243	262.243	262.243
	RN	0	0	0	165.860	157.943	157.943	157.943
	PB	0	0	0	126.245	116.650	116.650	116.650
	PE	0	0	0	168.505	155.525	155.525	155.525
	AL	0	0	0	36.715	26.191	26.191	26.191
	SE	0	0	0	7.932	5.065	5.065	5.065
	BA	0	0	0	531.263	465.631	465.631	465.631
	MG	0	0	0	81.021	73.756	73.756	73.756
Cerrado	PA	0	0	0	0	0	0	0
	TO	0	0	0	336.773	336.773	336.773	336.773
	MA	0	0	0	1.005.919	1.005.919	1.005.919	1.005.919
	PI	0	0	0	172.210	172.210	172.210	172.210

	BA	0	0	0	1.429.617	1.429.617	1.429.617	1.429.617
	MG	0	0	0	862.102	862.102	862.102	862.102
	SP	0	0	0	116.818	116.818	116.818	116.818
	PR	0	0	0	435	435	435	435
	MS	0	0	0	142.084	142.084	142.084	142.084
	MT	0	0	0	453.698	453.698	453.698	453.698
	GO	0	0	0	415.206	415.206	415.206	415.206
	DF	0	0	0	0	0	0	0
	RO	0	0	0	0	0	0	0
Mata Atlântica	RN	0	0	0	36.155	36.155	36.155	36.155
	PB	0	0	0	0	0	0	0
	PE	0	0	0	804	804	804	804
	AL	0	0	0	26.758	26.758	26.758	26.758
	SE	0	0	0	0	0	0	0
	BA	0	0	0	505.603	505.603	505.603	505.603
	MG	0	0	0	3.388.615	3.388.615	3.388.615	3.388.615
	ES	0	0	0	140.991	140.991	140.991	140.991
	RJ	0	0	0	9.103	9.103	9.103	9.103
	SP	0	0	0	1.615.112	1.615.112	1.615.112	1.615.112
	PR	0	0	0	5.015.556	5.015.556	5.015.556	5.015.556
	SC	0	0	0	1.404.714	1.404.714	1.404.714	1.404.714
	RS	0	0	0	425.799	425.799	425.799	425.799
	MS	0	0	0	382.915	382.915	382.915	382.915
	GO	0	0	0	54.301	54.301	54.301	54.301
Pampa	RS	0	0	0	208.175	208.175	208.175	208.175
Pantanal	MS	0	0	0	33.805	33.805	33.805	33.805

---

MT	0	0	0	232.157	232.157	232.157	232.157
----	---	---	---	---------	---------	---------	---------

---

## 5.6. Remoções por mudanças de uso do solo

A Tabela 14 apresenta as remoções brutas de CO<sub>2</sub> em decorrência de alterações do uso do solo por bioma no período de 1990 a 2018.

*Tabela 14. Remoções brutas de tCO<sub>2</sub>e (GWP-AR5) por alterações do uso do solo por bioma a cada cinco anos no período de 1990 a 2018.*

Bioma	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
Amazônia	3.982.163	3.982.163	3.982.163	1.950.400	5.261.360	5.261.360	5.261.360
Caatinga	3.329.525	3.329.525	3.329.525	24.448.850	24.448.850	24.448.850	24.448.850
Cerrado	6.497.600	6.497.600	6.497.600	30.621.663	30.621.663	30.621.663	30.621.663
Mata Atlântica	7.731.788	7.731.788	7.731.788	45.646.550	45.646.550	45.646.550	45.646.550
Pampa	559.988	559.988	559.988	7.568.563	7.568.563	7.568.563	7.568.563
Pantanal	82.650	82.650	82.650	256.675	256.675	256.675	256.675

---

## 5.7. Emissões e remoções líquidas para o setor de mudanças de uso da terra (MUT)

O total de emissões e remoções líquidas para todo o setor está apresentado por bioma na tabela 15, para o período de 1990 a 2018.

*Tabela 15. Total líquido de emissões (valores positivos) e remoções (valores negativos) para cada bioma a cada cinco anos no período de 1990 a 2018.*

Bioma	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
Amazônia	608.744.119	1.496.018.792	853.160.784	1.198.817.251	177.025.100	114.410.546	211.334.873
Caatinga	13.724.697	37.873.700	35.616.877	20.502.848	25.617.138	9.799.702	4.318.346
Cerrado	189.918.049	227.986.915	224.150.853	402.360.936	202.440.399	250.127.267	114.361.485
Mata Atlântica	52.839.169	46.917.145	37.718.438	-37.058.300	-58.582.116	-57.070.431	-61.461.153
Pampa	-660.277	-947.780	-1.110.754	14.731.999	62.979.630	12.936.655	6.432.004
Pantanal	28.703.488	23.970.129	23.865.165	22.676.611	15.670.178	19.781.437	22.606.501

---



## 6. Referências

Caúla, R. H., Oliveira-Júnior, J.F., Lyra, G. B., Delgado, R. C., Heilbron Filho, P. F. L. 2015. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environmental Earth Sciences*, 74:1497–1508.

Fonseca, M. G., Anderson, L. O., Arai, E., Shimabukuro, Y. E., Xaud, H. A., Xaud, M. R., ... Aragão, L. E. 2017. Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015/2016 El Niño event. *Ecological applications*.

Fundação S.O.S Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2017. Relatório Técnico: Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2015-2016.

IBAMA, 2013. Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS. Disponível em: [siscom.ibama.gov.br/monitoramentobiomas](http://siscom.ibama.gov.br/monitoramentobiomas). Acessado em: 10 de outubro de 2013.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto Prodes – Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite. Disponível em: [www.obt.inpe.br/prodes](http://www.obt.inpe.br/prodes); Acessado em: outubro de 2019.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Disponível em: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/gpoglulucf\\_files/GPG\\_LULUCF\\_FULLL.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/gpoglulucf_files/GPG_LULUCF_FULLL.pdf).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2013. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Relatório técnico.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2015. Relatório de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório Técnico. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2016. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2013. Biomas. Disponível em: [www.mma.gov.br/biomas](http://www.mma.gov.br/biomas). Acessado em: 10 de outubro de 2013.

Projeto MapBiomas – Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em setembro de 2019, através do link: <http://mapbiomas.org/>.

## **Anexo 1 - Método dos dados de desmatamento do MapBiomas Coleção 4 (para os biomas Caatinga, Pantanal e Pampa)**

Para os biomas Caatinga, Pantanal e Pampa, as estimativas foram atualizadas de 1990 a 2018 a partir dos dados do módulo de desmatamento gerados pelos mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil da Coleção 4 do Projeto MapBiomas (<http://mapbiomas.org/metodo-desmatamento>). Este dado é gerado a partir da análise da trajetória de cada pixel ao longo da série temporal de classificação de uso e cobertura da terra. Trajetórias consistentes com os processos de desmatamento e regeneração são identificadas com base em critérios de permanência antes e após um dado evento de transição entre uso-cobertura natural ou vice-versa. Por exemplo, um pixel é alocado na classe de desmatamento quando há transição de uma dada classe de vegetação natural para uso antrópico, apenas se tiver sido classificada por dois anos consecutivos como vegetação natural anteriormente à transição e por dois anos consecutivos como uso antrópico após a transição (incluindo o ano da transição). Este procedimento visa retirar das análises de mudança de uso e cobertura aquelas áreas com transições espúrias devido a ruídos na série temporal original de uso e cobertura do solo, por exemplo, em casos de pixels impuros (e.g. situado na borda entre área de pasto e fragmento florestal).

A trajetória de classificação de um pixel na série temporal MapBiomas representa 34 anos, ou seja, consiste na sequência de classes atribuídas ao um dado pixel para cada ano entre 1985 e 2018. Os mapas de 1985 - 1987 foram desconsiderados no método dos dados de desmatamento do MapBiomas (Coleção 4), pois a baixa disponibilidade de imagens Landsat nestes anos resultou em mosaicos anuais mais ruidosos e, conseqüentemente, em resultados de classificação que geram maior quantidade de transições espúrias, em relação a anos posteriores. Considerando o critério de permanência anterior à transição para identificar pixels de desmatamento, de dois anos, os anos de 1988 e 1989 servem apenas para avaliação das transições observadas em 1990, de forma a identificar trajetórias consistentes com tal critério. Desta maneira, o critério de permanência por dois anos como uso antrópico após transição a partir de vegetação natural permite identificar pixels de desmatamento até o ano de 2017, uma vez que 2018 serve para checagem da permanência por dois anos (2017 sendo o primeiro ano). Para regeneração este intervalo é maior no final da série, com resultados até 2013 e os anos de 2013 a 2018 usados para checagem do critério de permanência por seis anos como vegetação natural. Com isso, os dados de desmatamento usados para os biomas Caatinga, Pantanal e Pampa cobrem o período de 1990 a 2017. Esses dados também estão disponíveis na plataforma do MapBiomas (<http://plataforma.mapbiomas.org/>).

## Anexo 2 - Método das estimativas de emissões por transições de uso da terra com dados do MapBiomas - SEEG Cidades - por município (versão Beta no Estado de São Paulo)

O método beta para estimar as emissões e as remoções associadas às mudanças de uso da terra utiliza os dados das transições anuais de uso da terra observadas no projeto MapBiomas. Nesta abordagem, apresentada no SEEG 6, os mapas de transição de uso da terra da Coleção 3.1 do MapBiomas, cobrindo anualmente o período de 1985 a 2017 passam por passos de estabilização e filtragem para consolidar as transições principais que ocorrem a cada ano, para depois aplicar os fatores de emissão e remoção apresentados no Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2015). Embora haja semelhanças, este procedimento difere daquele aplicado para geração das taxas de desmatamento estimadas pelo MapBiomas (Anexo 1).

O passo-a-passo para o cálculo das estimativas de emissões e remoções por transições de uso da terra e tratamento dos mapas anuais de cobertura e uso do solo do MapBiomas são descritos nos itens a seguir (Figura 1).

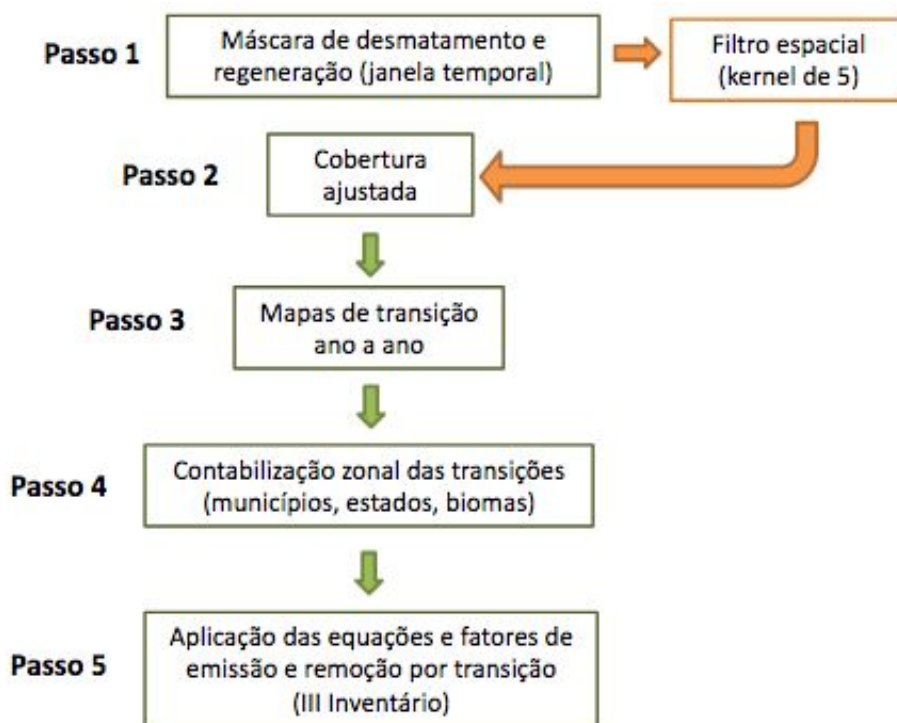


Figura 1. Etapas para o cálculo das estimativas de emissões e remoções por transições de uso da terra utilizando os mapas anuais de cobertura e uso do solo da Coleção 3.1 do MapBiomas no SEEG 7 MUT versão beta (por municípios em São Paulo).

## 1. Máscaras de desmatamento e regeneração

O primeiro passo para os cálculos do SEEG MUT municipal (beta) é gerar máscaras de desmatamento e regeneração anuais que incluem apenas as transições consistentes com estes processos ao longo do período (de 1985 a 2017). Dessa forma, transições espúrias, resultantes de erros de classificação, são minimizados.

A construção dessas máscaras envolve, primeiramente, reclassificação das classes de cobertura e uso da terra do MapBiomas em duas categorias de interesse (vegetação natural e uso antrópico). Com relação ao nível 3 da legenda da Coleção 3.1 do MapBiomas ([https://mapbiomas.org/downloads\\_codigos](https://mapbiomas.org/downloads_codigos)), essas duas classes incluem:

- Vegetação Natural: Formação Florestal (3), Formação Savânica (4), Mangue (5), Área Úmida Natural não Florestal (11), Formação Campestre (12) e Outra Formação Natural não Florestal (13).
- Uso antrópico: Floresta Plantada (9), Pastagem (15), Cultura Anual e Perene (19), Cultura Semi-Perene (20), Mosaico de Agricultura e Pastagem (21), Infraestrutura Urbana (24) e Outra Área não Vegetada (25).

As demais classes (e.g. Mineração, Rio, Lago e Oceano, Aquicultura e Não Observado) não são consideradas.

O segundo passo é a aplicação de um filtro temporal em todos os pixels, de pelo menos 6 anos (três anos antes da transição, o ano da transição, e dois anos depois da transição). A filtragem identifica pixels com classificação consistente antes e depois do evento de transição. Por exemplo, um pixel é identificado como desmatamento apenas quando a transição de vegetação natural para uso antrópico é precedida por três anos de classificação como vegetação natural e seguida de três anos de classificação como uso antrópico (incluindo o ano da transição). Para minimizar a incerteza associada aos anos nas extremidades da série temporal, o filtro considera mais anos antes ou depois do ano avaliado, dependendo da disponibilidade na série. Flexibilizando-se os critérios para os anos na extremidade da série, esta abordagem permite gerar estimativas para o período de 1986 a 2017 (Figura 2).

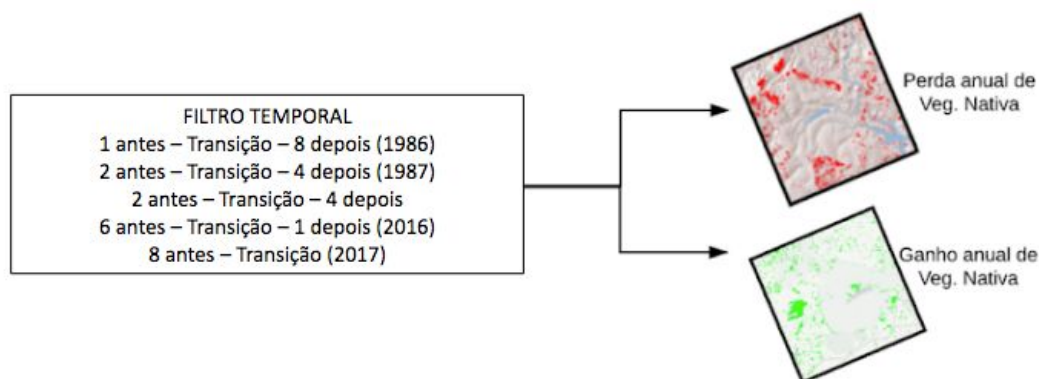


Figura 2. Regras da janela temporal para a geração das máscaras de perda (desmatamento) e ganho (regeneração) de vegetação nativa a cada ano.

Por fim, os mapas anuais de perda e ganho de vegetação nativa passam por um filtro espacial, com um kernel de 5 pixels, para exclusão de transições muito pequenas e isoladas.

## **2. Estabilização das coberturas anuais**

O próximo passo para geração das transições consistentes para os cálculos do SEEG foi a obtenção das coberturas anuais estáveis em todo o período e a estabilização das mudanças de uso da terra observadas dentro das máscaras de perda e ganho de vegetação nativa.

O passo-a-passo para estabilização das coberturas anuais, aplicado a todos os anos do período, está resumido na Figura 3 e é o seguinte:

- 1) A nível de pixel, gera-se a frequência de cada classe em todo o período da coleção.
- 2) Gera-se uma camada de vegetação nativa estável, onde somente os pixels que foram vegetação nativa (ou água) durante 95% do período (32 anos entre 1985 e 2017) são mantidos, e a classe mais frequente é alocada.
- 3) Gera-se uma camada de uso estável, onde somente os pixels que foram classe de uso durante 100% do período (33 anos) são mantidos, e a classe mais frequente é alocada.
- 4) Fora dessas duas coberturas estabilizadas (vegetação nativa e uso antrópico), as áreas passíveis de mudança são completadas com as classes originais de cada ano apenas nas áreas das máscaras de desmatamento e regeneração geradas no passo anterior.
- 5) Dentro das áreas passíveis de mudança (áreas dentro das máscaras), a classe de maior frequência antes e depois da mudança são alocadas.
- 6) Nas áreas de regeneração, as classes nativas são multiplicadas por 100 para indicar vegetação secundária.
- 7) Pixels vazios após este procedimento são indicativos de trajetória de classificação com alto grau de incerteza e são desconsiderados.

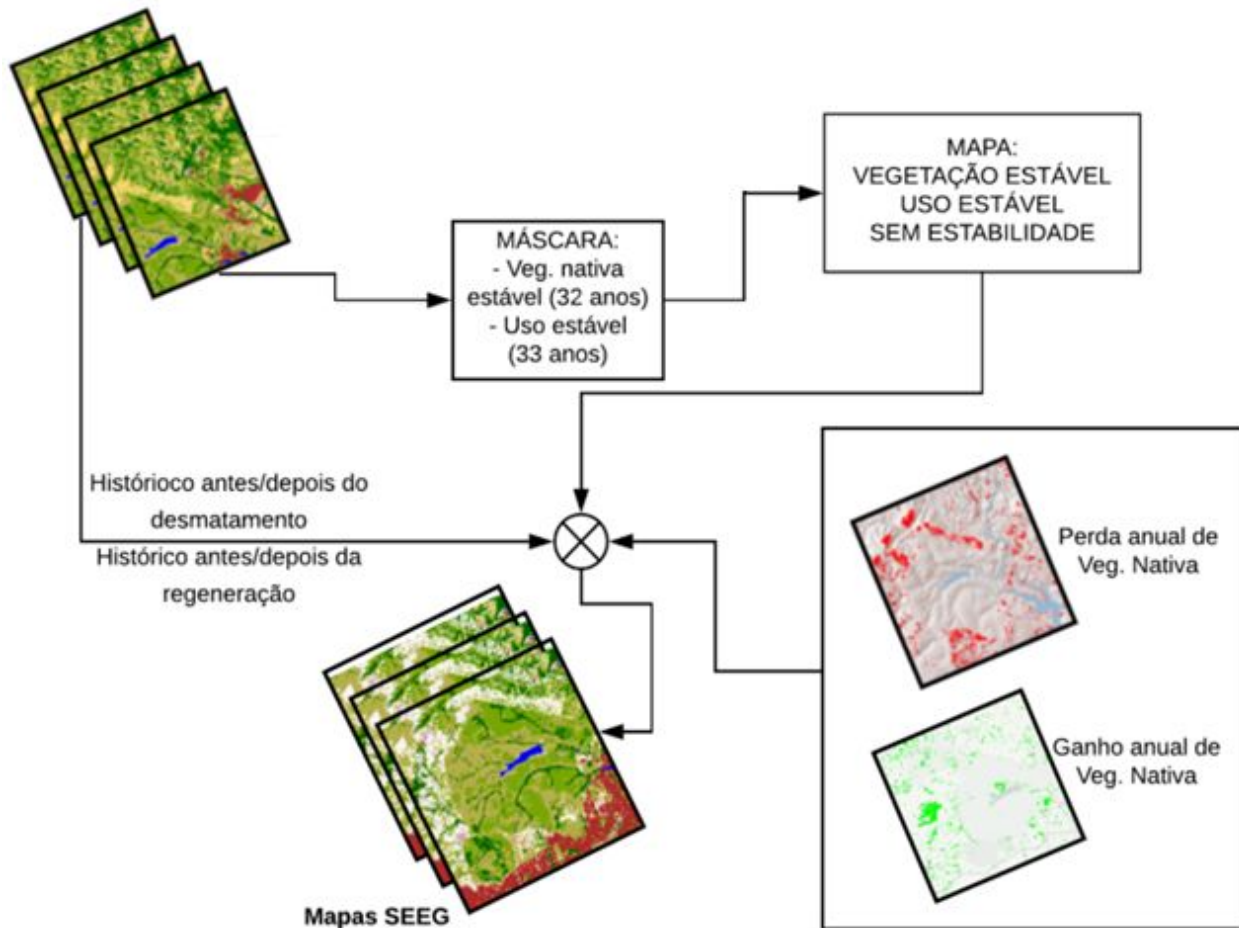


Figura 3. Passos envolvidos na geração das coberturas ano a ano a partir da Coleção 3.1 do MapBiomas, que serão utilizados para estimativas de emissão e remoção por mudanças de uso da terra no SEEG 6 MUT beta para municípios do estado de São Paulo.

### 3. Geração das transições ano a ano

A partir das coberturas estabilizadas, as transições ano a ano foram geradas pela aplicação da seguinte aritmética por pixel:

$$\text{Transição} = t1 * 10000 + t2$$

Dessa forma, foram gerados 29 mapas de transição (de 1990-1991 a 2017-2018), em que a informação das classes no primeiro ano (t1) e no segundo ano (t2) foram mantidas em um único código. O valor de 10000 foi necessário para acomodar os maiores valores de classe nativa secundária. Por exemplo, vegetação campestre secundária (classe 12000) constante na transição:

$$\text{Transição} = 12000 * 10000 + 12000 = 120012000$$

#### **4. Cálculo zonal das áreas das transições**

O objetivo do SEEG 7 no setor MUT é obter estimativas de emissões e remoções associadas à mudanças no uso da terra que sejam relacionáveis aos biomas, estados, municípios e que estejam associadas às coberturas dentro e fora de áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras indígenas do ICMBio e da FUNAI), conforme descrito no texto principal desta Nota Metodológica.

As áreas de cada transição par a par foram então calculadas por níveis “zonais”, que incluem códigos dos municípios, biomas e estados (geocódigo do IBGE de 10 algarismos, em que o primeiro algarismo define o bioma, os dois seguintes definem o estado e os sete últimos definem os municípios), e a informação dentro (1) e fora (0) de áreas protegidas.

#### **5. Aplicação dos fatores de emissão e remoção sobre as áreas de transição**

Com base nos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa por transição de uso da terra do Terceiro Inventário Nacional (MCTIC, 2015), os valores de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>) associados à cada mudança e à cada ano foram aplicados sobre as áreas calculadas anteriormente.

Os tipos de transição foram classificados em desmatamento, regeneração e outras mudanças de uso da terra, permitindo a geração das estimativas nas seguintes categorias:

- 1) Emissão por alteração de uso do solo;
- 2) Remoção por vegetação secundária;
- 3) Remoção dentro de áreas protegidas;
- 4) Remoção por outras mudanças de uso da terra.

Essas categorias foram calculadas diretamente pela aplicação de fatores de emissão e remoção sobre as áreas de transição calculadas.

As emissões por queima de resíduos florestais foi calculada pela multiplicação de fatores fixos de emissão de gases associados à queima dos resíduos de vegetação após o processo de desmatamento (NO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) sobre a área total classificada como desmatamento. Por sua vez, as emissões por calagem foram calculadas com a mesma metodologia descrita no texto principal desta Nota Metodológica, e derivou da distribuição do consumo aparente anual de calcário por estado (ABRACAL) proporcionalmente à área anual de agricultura e pastagem nos municípios.

#### **6. Ajuste dos padrões de desmatamento de acordo com o PRODES**

No caso da Amazônia, um ajuste nas áreas de desmatamento foi realizado, para que as emissões associadas a essas mudanças sejam consistentes com o dado oficial proveniente do PRODES Amazônia. Para o Cerrado, a cobertura da série PRODES (2000 - 2017) é mais que curta o período considerado no SEEG 6, o que impediu aplicação desta etapa. Esse ajuste

consistiu na multiplicação das proporções anuais da área total desmatada no período conforme observado nas transições do MapBiomias pelas taxas anuais de desmatamento calculadas pelo PRODES Amazônia. Dessa forma, a área de desmatamento acumulado observada com base nos dados MapBiomias e no procedimento descrito foi redistribuída nos anos da série com base nas taxas anuais oficiais, em nível de estado.

## **Referências**

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2015. Relatório de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório Técnico. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI.



### **Anexo 3 - Desafios das emissões de queimadas não associadas ao desmatamento**

Queimadas não associadas ao desmatamento são uma das principais perturbações em áreas de vegetação nativa, contribuindo para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), tais como CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, e afetando processos climáticos locais a globais (Yamasoe et al., 2000; Alencar et al., 2006; Artaxo et al., 2006). As emissões e os impactos dessas queimadas são distintos entre biomas e a depender do tipo de vegetação (fitofisionomia), época do ano, frequência e intensidade da queima, fazendo com que seja mais desafiador a sua contabilidade.

Embora parte das emissões causadas por queimadas de origem antrópica não associadas ao desmatamento seja revertida pelo processo de regeneração da vegetação, com fixação de carbono atmosférico, os regimes observados, com frequência e intensidades crescentes, comprometem essa remoção potencial ao danificar a vegetação regenerante sucessivamente. Esse processo tem se agravado, aumentando as emissões em relação às remoções e, assim, tornando crítica a necessidade de contabilizar as emissões resultantes (líquidas).

No Relatório de Referência sobre mudança de uso da terra do Terceiro Inventário (MCTI, 2015) é apresentado um estudo sobre a área afetada por queimadas em 2010 nos biomas Cerrado, Caatinga e Amazônia, servindo de base para estabelecer fatores de emissões. Isso permitiu uma primeira estimativa das emissões por queimadas não associadas ao desmatamento descritas na Tabela 1 a seguir:

*Tabela 1. Emissões de GEE referentes às queimadas não associadas ao desmatamento nos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga no Brasil, em 2010. Fonte: MCTI, 2015.*

Bioma	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
	Gg				
Amazônia	67.249	4.426,5	289,4	8,51	68,1
Cerrado	172.632	6.956,6	246,2	22,48	417,4
Caatinga	5.696	229,5	8,1	0,74	13,8

Estas emissões, apesar de significativas, não foram ainda incorporadas nos inventários por três motivos que demandam melhorias metodológicas:

- (i) as emissões de CO<sub>2</sub> podem ser revertidas dependendo das condições de regeneração da vegetação natural e apenas o acompanhamento desta regeneração permitirá indicar se há ou não neutralidade no processo;
- (ii) com relação aos demais gases, havia falta de dados históricos para incorporar o dado no inventário; e

(iii) não foi possível avaliar a trajetória sucessional ou de transição de uso nas áreas queimadas ao longo da série histórica para garantir consistência temporal da série de Inventários Nacionais a esse tipo de emissões (MCTI, 2015).

Em resumo, a ausência de dados históricos sobre área afetada por queimadas no Brasil e sua trajetória sucessional é o principal fator que impediu a incorporação desta fonte nas estimativas oficiais de emissões de GEE.

Apesar de fundamental, o mapeamento sistemático da área queimada no Brasil ainda representa um grande desafio. Para que os incêndios sejam capturados em suas diversas situações, dependendo do tipo de vegetação afetada e época da queima, faz-se necessário uma maior frequência temporal e uma melhor resolução espacial dos dados de satélite utilizados nesse mapeamento. Dados de satélite mais frequentes de cicatrizes de incêndios possibilitam o mapeamento de áreas queimadas em tipos de vegetação arbustivas e gramíneas como as que ocorrem no Cerrado, pois o sinal das mesmas desaparecem em poucas semanas. Já uma melhor resolução espacial dos dados de satélite facilita a captura das áreas queimadas por incêndios florestais, que afetam principalmente as bordas das áreas de floresta densa da Amazônia (Alencar et al., 2015).

Como um primeiro passo, para detecção da ocorrência e frequência das áreas queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil, foram combinados os dados disponíveis do sensor MODIS de área queimada entre 2000 a 2018 com mapas de vegetação nativa (formações florestais, savânicas e não florestais) por bioma da Coleção 4.0 do MapBiomas.

Foi utilizado o produto MCD45A1 (*Burned Area Monthly*) do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dos satélites Terra e Aqua da NASA, que representa áreas queimadas com resolução espacial de 500 m, disponível na página web da NASA (<https://search.earthdata.nasa.gov>) a partir de 2000. Esses dados oferecem uma resolução temporal apropriada (captura diária de dados) para o mapeamento dos incêndios, principalmente em tipos de vegetação nativa não florestal, mas sua resolução espacial (500 m) apresenta dificuldades em capturar pequenos incêndios, portanto subestimando a área afetada por incêndios (Alencar et al., 2011).

Para o mapeamento das vegetações nativas associadas às áreas queimadas foram utilizados os mapas anuais de uso e cobertura da terra no Brasil no mesmo período de mapeamento das áreas queimadas, entre 2000 a 2018, da Coleção 4.0 do MapBiomas ([www.mapbiomas.org](http://www.mapbiomas.org)). Visto que essa é a informação mais recente disponível para todo o país, mas que ainda está em processo de melhoria, principalmente em relação às variações do mapeamento dos tipos de vegetação nativa (florestal, savânica e campestre) entre os anos mapeados.

Após o cálculo das áreas queimadas anualmente por tipo de vegetação e bioma, para as estimativas de emissões de GEE de queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil foi aplicada a seguinte equação baseada nos valores de área queimada, biomassa acima do solo,

fatores de combustão e emissão por tipo de vegetação (floresta, savana e campo) por bioma (segundo IPCC 2006, Volume 4, Capítulo 2 e utilizada no Terceiro Inventário Nacional):

**EQUATION 2.27**  
**ESTIMATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM FIRE**

$$L_{fire} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef} \cdot 10^{-3}$$

Where:

$L_{fire}$  = amount of greenhouse gas emissions from fire, tonnes of each GHG e.g., CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, etc.

A = area burnt, ha

$M_B$  = mass of fuel available for combustion, tonnes ha<sup>-1</sup>. This includes biomass, ground litter and dead wood. When Tier 1 methods are used then litter and dead wood pools are assumed zero, except where there is a land-use change (see Section 2.3.2.2).

$C_f$  = combustion factor, dimensionless (default values in Table 2.6)

$G_{ef}$  = emission factor, g kg<sup>-1</sup> dry matter burnt (default values in Table 2.5)

Note: Where data for  $M_B$  and  $C_f$  are not available, a default value for the amount of fuel actually burnt (the product of  $M_B$  and  $C_f$ ) can be used (Table 2.4) under Tier 1 methodology.

Baseado no Terceiro Inventário Nacional, foram utilizados e adaptados os valores de biomassa acima do solo e dos fatores de combustão para cada tipo de vegetação (formações florestais, savânicas e campestres) e bioma (Tabelas 2 e 3), além dos os fatores de emissão para GEE, segundo IPCC (2006) e também adotados no Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2015) (Tabela 4).

*Tabela 2. Valores de biomassa acima do solo das formações florestais, savânicas e não florestais por bioma no Brasil. Fonte: adaptado de MCTI, 2015.*

Bioma	Tipo de Vegetação	Biomassa (t/ha)	Fonte
Amazônia	Formação Florestal	338,66	Média dos valores de biomassa de florestas ombrófilas abertas e densas predominantes na Amazônia
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	6,70	Média dos valores de biomassa das fitofisionomias campestres (Lb, Lg, Rm, Sg, Sp, Tg, Tp) na Amazônia
Cerrado	Formação Florestal	124,58	Valor de biomassa para vegetação florestada no Cerrado
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	14,75	Média dos valores de biomassa das vegetação arbustiva e gramíneo-lenhosa predominantes no Cerrado (Sg e Sp)

Mata Atlântica	Formação Florestal	338,66	Média dos valores de biomassa de florestas ombrófilas abertas e densas predominantes na Amazônia
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	14,75	Média dos valores de biomassa das vegetação arbustiva e gramíneo-lenhosa predominantes no Cerrado (Sg e Sp)
Caatinga	Formação Florestal	88,07	Média dos valores de biomassa de formações florestais na Caatinga (C, F, Sd, Td)
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	10,81	Valor de biomassa para vegetação arbustiva na Caatinga
Pampa	Formação Florestal	338,66	Média dos valores de biomassa de florestas ombrófilas abertas e densas predominantes na Amazônia
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	14,75	Média dos valores de biomassa das vegetação arbustiva e gramíneo-lenhosa predominantes no Cerrado (Sg e Sp)
Pantanal	Formação Florestal	124,58	Valor de biomassa para vegetação florestada no Cerrado
	Formação Savânica	36,78	Valor de biomassa para vegetação savânica no Cerrado
	Formação Natural não Florestal	14,75	Média dos valores de biomassa das vegetação arbustiva e gramíneo-lenhosa predominantes no Cerrado (Sg e Sp)

*Tabela 3. Fatores de combustão utilizados para as formações florestais, savânicas e campestres por bioma no Brasil. Fonte: adaptado de MCTI, 2015.*

<b>Bioma</b>	<b>Tipo de Vegetação</b>	<b>Fator de Combustão (%)</b>	<b>Fonte</b>
Amazônia	Formação Florestal Natural	38,75	Terceiro Inventário Nacional, vários trabalhos
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	65,5	Terceiro Inventário Nacional, Barbosa & Fearnside, 2005
Caatinga	Formação Florestal	33	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman,

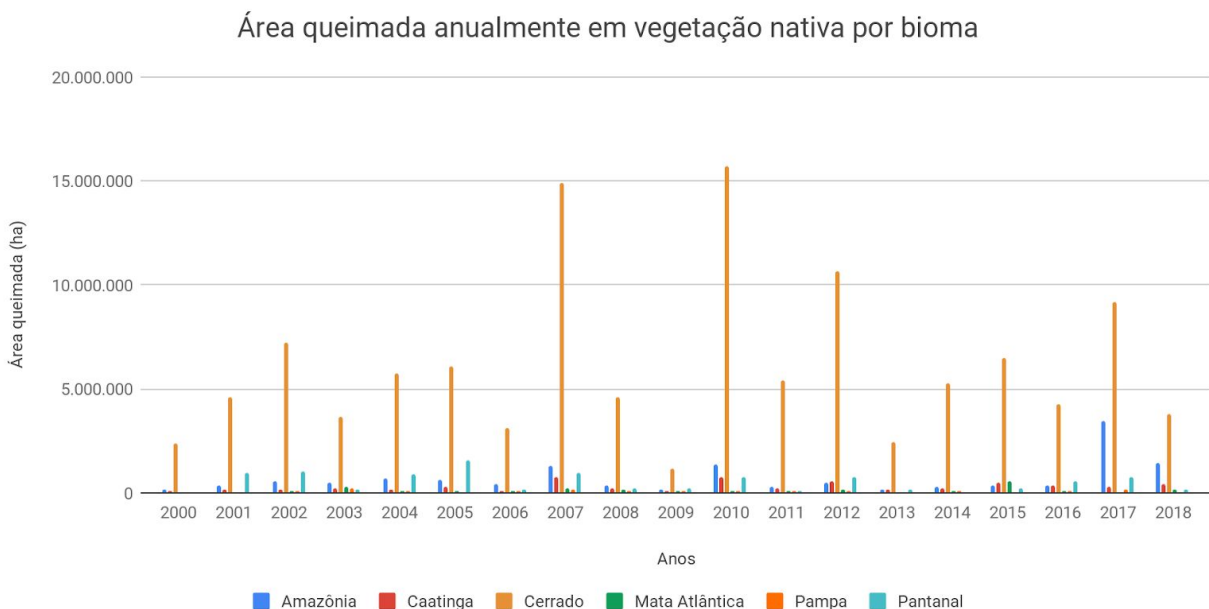
	Natural		1998
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
Cerrado	Formação Florestal Natural	33	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
Mata Atlântica	Formação Florestal Natural	38,75	Terceiro Inventário Nacional, vários trabalhos
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
Pampa	Formação Florestal Natural	38,75	Terceiro Inventário Nacional, vários trabalhos
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
Pantanal	Formação Florestal Natural	33	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Savânica	43,5	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998
	Formação Natural não Florestal	88	Terceiro Inventário Nacional, Castro & Kauffman, 1998

*Tabela 4. Fatores de emissão para gases de efeito estufa para florestas tropicais, savanas e campos (g kg<sup>-1</sup> de matéria seca queimada). Fonte: IPCC, 2006; MCTI, 2015.*

<b>Gases</b>	<b>Florestas tropicais</b>	<b>Savanas e campos</b>
CO <sub>2</sub>	1580	1613
CO	104	65
CH <sub>4</sub>	6,8	2,3
N <sub>2</sub> O	0,2	0,21
NO <sub>x</sub>	1,6	3,9

Entre os biomas e para todos os anos considerados, a maior ocorrência de áreas queimadas se encontra no bioma Cerrado (Figura 1). Esses incêndios, que afetam principalmente a vegetação savânica e campestre do bioma, têm-se concentrado nas frentes de expansão da agricultura como na transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, nos estados de Mato Grosso e Tocantins, e na região de Matopiba, nas divisas entre os Estados do Tocantins, Maranhão, Piauí e Bahia, áreas que apresentam também maiores taxas de desmatamento (Spera et al., 2016). Por outro lado, o bioma Pampa foi o que menos queimou.

A Amazônia apresenta o segundo lugar em maior extensão de áreas afetadas por incêndios, seguida do Cerrado em primeiro lugar (Figura 1). Os anos de 2007 e 2010 também marcaram períodos em que Amazônia sofreu recordes de seca. Entretanto, a área queimada nesses anos não atingiu as proporções de 2017, provavelmente em decorrência do período de chuva nos anos anteriores a este El Niño terem sido fracos e insuficientes para recarregar os solos entre uma seca e outra, deixando um déficit hídrico no solo que se acentuou com a seca. Além de condições climáticas, outros fatores antrópicos, como a fragmentação florestal causada pelo desmatamento e a exploração madeireira têm agido de forma sinérgica, aumentando o risco de incêndios (Alencar et al., 2004; Alencar et al., 2015; Fonseca et al., 2017).



**Figura 1.** Área queimada (hectares) em vegetação nativa remanescente por bioma no período de 2000 a 2018. (FONTE: MapBiomas; MODIS-NASA).

Cerca de 4,3 bilhões de gigagrama (Gg) de CO<sub>2</sub> foram emitidas por queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil entre 2000 a 2018. Assim como em áreas queimadas, o Cerrado foi o bioma que mais emitiu GEE (2.4 bilhões de Gg de CO<sub>2</sub>) em relação aos outros biomas (Tabelas 4 e 5), seguido da Amazônia, que emitiu 1,4 bilhões de Gg de CO<sub>2</sub> no período. Neste período de 19 anos, o ano de 2017 foi o que apresentou a maior emissão de CO<sub>2</sub> com 776 mil

Gg de CO<sub>2</sub>. Os anos de 2007 e 2010 também foram recordes para a Amazônia (Tabela 5).

*Tabela 5. Emissões de CO<sub>2</sub> de queimadas não associadas a desmatamento entre 2000 a 2018 por bioma no Brasil.*

Ano	Emissões de queimadas não associadas ao desmatamento por bioma					
	CO <sub>2</sub> (Gg)					
	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	9.015,8	1.042,0	43.092,2	1.517,6	16,7	936,4
2001	22.463,7	3.639,1	92.017,5	2.503,9	192,7	21.370,6
2002	57.997,4	3.566,9	150.554,4	4.939,8	77,3	22.586,6
2003	31.446,9	4.139,4	68.020,0	12.572,1	133,5	3.071,8
2004	54.477,0	3.140,2	115.646,0	3.402,6	223,5	19.752,0
2005	49.291,2	5.547,0	114.789,3	4.437,4	337,9	34.479,1
2006	30.775,3	1.649,8	54.677,8	3.495,6	156,4	3.089,1
2007	145.690,0	15.152,1	325.099,7	12.086,6	158,1	23.983,5
2008	25.983,7	4.488,9	84.893,2	6.138,6	127,0	5.532,1
2009	6.441,2	1.130,4	19.310,6	3.008,3	212,3	4.655,9
2010	152.940,5	14.740,3	345.937,0	7.109,2	136,6	19.983,2
2011	21.033,0	4.286,4	105.312,2	7.904,2	161,7	2.619,9
2012	46.163,1	12.470,2	226.693,2	5.996,8	144,6	15.655,2
2013	13.802,6	2.899,3	46.667,1	3.748,1	595,3	2.663,1
2014	27.254,9	3.597,1	111.276,6	9.704,9	369,0	382,7
2015	44.852,2	10.081,5	136.299,1	6.489,9	279,1	3.572,1
2016	39.640,4	8.010,9	88.947,9	8.125,3	709,1	8.731,5
2017	515.794,9	6.637,1	221.544,3	13.194,9	428,6	18.721,6
2018	184.015,4	7.935,5	72.250,1	5.891,4	83,1	2.851,6
<b>Total</b>	<b>1.479.079,2</b>	<b>114.154,1</b>	<b>2.423.028,2</b>	<b>122.267,2</b>	<b>4.542,5</b>	<b>214.638,0</b>

A Tabela 6 apresenta as estimativas de emissões de gases não CO<sub>2</sub> (CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub>) de queimadas não associadas a desmatamento entre 2000 a 2018 por bioma no Brasil.

*Tabela 6. Emissões de gases não CO<sub>2</sub> (CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub>) de queimadas não associadas a desmatamento entre 2000 a 2018 por bioma no Brasil.*

Ano	CO (Gg)					
	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
2000	572,5	43,9	2.097,4	95,5	1,0	48,7
2001	1.439,0	153,4	4.517,8	2.861,4	11,6	1.160,4
2002	3.758,8	153,3	7.712,5	5.547,8	4,3	1.224,2
2003	2.019,2	173,3	3.344,9	14.437,0	8,1	156,3
2004	3.513,8	132,8	5.847,2	3.850,6	13,9	1.052,0
2005	3.178,6	248,2	5.667,2	4.799,2	20,9	1.870,2

2006	1.981,8	68,5	2.686,8	4.070,7	9,7	163,6
2007	9.468,7	673,0	16.731,8	13.157,8	9,9	1.314,1
2008	1.674,7	194,9	4.224,3	6.777,7	6,6	295,3
2009	406,9	47,0	917,2	3.670,0	13,4	250,5
2010	9.938,8	643,0	17.928,3	7.753,3	8,4	1.106,4
2011	1.349,5	174,8	5.206,6	8.307,5	10,2	142,4
2012	3.000,0	592,5	11.522,4	6.729,9	8,4	852,5
2013	889,6	122,1	2.305,8	3.959,7	38,0	140,6
2014	1.769,4	155,4	5.768,9	10.112,9	23,8	18,2
2015	2.919,4	455,4	6.872,3	6.804,7	18,0	179,9
2016	2.587,2	386,6	4.689,2	8.647,8	45,3	426,1
2017	33.802,1	340,8	12.111,6	14.029,9	26,3	1.028,9
2018	12.033,4	361,5	3.658,9	6.204,7	4,8	152,5
<b>Total</b>	<b>96.303,4</b>	<b>5.120,4</b>	<b>123.811,1</b>	<b>131.818,1</b>	<b>282,6</b>	<b>11.582,8</b>
<b>Ano</b>	<b>CH<sub>4</sub> (Gg)</b>					
	<b>Amazônia</b>	<b>Caatinga</b>	<b>Cerrado</b>	<b>Mata Atlântica</b>	<b>Pampa</b>	<b>Pantanal</b>
2000	36,4	1,7	102,1	6,0	0,1	2,6
2001	92,2	6,0	222,5	9,9	0,7	64,2
2002	243,0	6,2	400,2	19,8	0,2	67,6
2003	129,6	6,6	165,1	49,4	0,5	8,0
2004	226,3	5,2	298,7	13,5	0,9	57,0
2005	204,7	10,7	281,1	18,3	1,3	103,4
2006	127,5	2,6	132,5	13,6	0,6	8,8
2007	613,4	28,6	873,0	49,6	0,6	73,4
2008	107,8	8,0	211,6	24,9	0,4	16,0
2009	25,8	1,8	43,2	11,2	0,9	13,7
2010	643,8	26,5	942,9	29,1	0,5	62,4
2011	86,6	6,3	258,7	33,3	0,6	7,9
2012	194,3	27,9	592,4	24,0	0,5	47,3
2013	57,3	4,7	114,5	15,7	2,4	7,6
2014	114,5	6,3	303,5	41,2	1,5	0,9
2015	189,3	19,9	349,9	27,4	1,2	9,1
2016	168,1	18,6	251,4	33,9	2,9	20,8
2017	2.203,1	17,7	674,9	55,1	1,6	57,6
2018	783,1	16,0	187,3	24,8	0,3	8,3
<b>Total</b>	<b>6.246,8</b>	<b>221,3</b>	<b>6.405,5</b>	<b>500,7</b>	<b>17,7</b>	<b>636,6</b>
<b>Ano</b>	<b>N<sub>2</sub>O (Gg)</b>					
	<b>Amazônia</b>	<b>Caatinga</b>	<b>Cerrado</b>	<b>Mata Atlântica</b>	<b>Pampa</b>	<b>Pantanal</b>
2000	1,1	0,1	5,6	0,2	0,0	0,1
2001	2,8	0,5	11,9	0,3	0,0	2,7
2002	7,3	0,5	19,4	0,6	0,0	2,9
2003	4,0	0,5	8,8	1,6	0,0	0,4



2004	6,9	0,4	14,9	0,4	0,0	2,5
2005	6,2	0,7	14,8	0,6	0,0	4,4
2006	3,9	0,2	7,1	0,4	0,0	0,4
2007	18,5	2,0	41,8	1,5	0,0	3,1
2008	3,3	0,6	10,9	0,8	0,0	0,7
2009	0,8	0,1	2,5	0,4	0,0	0,6
2010	19,4	1,9	44,5	0,9	0,0	2,6
2011	2,7	0,6	13,6	1,0	0,0	0,3
2012	5,8	1,6	29,2	0,8	0,0	2,0
2013	1,7	0,4	6,0	0,5	0,1	0,3
2014	3,5	0,5	14,3	1,2	0,0	0,0
2015	5,7	1,3	17,5	0,8	0,0	0,5
2016	5,0	1,0	11,4	1,0	0,1	1,1
2017	65,3	0,9	28,4	1,7	0,1	2,4
2018	23,3	1,0	9,3	0,7	0,0	0,4
<b>Total</b>	<b>187,2</b>	<b>14,8</b>	<b>311,9</b>	<b>15,4</b>	<b>0,3</b>	<b>27,4</b>
<b>Ano</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>					
	<b>Amazônia</b>	<b>Caatinga</b>	<b>Cerrado</b>	<b>Mata Atlântica</b>	<b>Pampa</b>	<b>Pantanal</b>
2000	10,3	2,4	84,3	1,8	0,0	1,7
2001	24,9	8,4	177,9	3,0	0,3	35,2
2002	62,0	8,1	273,4	5,7	0,1	37,3
2003	34,6	9,6	131,2	15,0	0,2	5,6
2004	59,1	7,2	214,3	4,0	0,3	33,7
2005	53,5	12,1	220,2	4,9	0,4	56,9
2006	33,6	3,9	105,6	4,3	0,2	5,3
2007	154,2	33,2	586,2	13,4	0,2	38,9
2008	28,3	10,1	161,0	7,0	0,2	9,4
2009	7,5	2,7	39,0	3,9	0,2	7,8
2010	161,9	32,9	616,9	7,9	0,2	31,7
2011	23,2	10,3	201,6	8,3	0,2	4,3
2012	48,9	25,2	416,7	6,9	0,2	25,7
2013	15,0	6,7	89,4	4,0	0,7	4,6
2014	29,0	8,1	198,3	10,1	0,4	0,8
2015	47,2	21,7	253,6	6,8	0,3	6,7
2016	41,4	15,9	154,2	8,7	0,8	17,0
2017	530,5	12,0	360,4	14,2	0,5	30,2
2018	190,7	16,9	133,5	6,2	0,1	4,8
<b>Total</b>	<b>1.555,8</b>	<b>247,4</b>	<b>4.417,7</b>	<b>136,1</b>	<b>5,5</b>	<b>357,6</b>

Emissões de queimadas não associadas a desmatamento tanto para o Cerrado quanto para a Amazônia tendem a impactar as estimativas de emissões de GEE. Inclusive devido ao fato de

que grande parte das áreas que são atingidas por incêndios de altas proporções tem ocorrido em áreas protegidas, o que também impacta a contabilidade de emissões, visto que estas são consideradas como áreas manejadas e portanto superestimando as remoções, já que essas emissões ainda não foram contabilizadas nos inventários nacionais.

Por outro lado, após a queima da biomassa da vegetação nativa, futuras remoções do processo de regeneração e incremento da biomassa também devem ser contabilizadas, que dependem da capacidade de regeneração dos diferentes tipos de vegetação nativa e às condições ambientais. Queimadas frequentes também reduzem o incremento e a resiliência da vegetação. Desse modo, o monitoramento do processo de regeneração após o fogo e da transição de uso e cobertura destas áreas também deve ser acompanhado ao longo do período dos inventários nacionais (MCTI, 2015). O projeto MapBiomass também poderá contribuir no acompanhamento desse processo de regeneração.

Apesar de estas estimativas utilizarem os melhores e mais atualizados dados disponíveis gratuitamente sobre área queimada e vegetação nativa, ainda há incertezas associadas ao mapeamento de áreas queimadas e dos remanescentes de diferentes tipos de vegetação nativa (de florestais, savânicas a não florestais) no Brasil, como também outras incertezas e generalizações estão associadas aos parâmetros (fatores de combustão, fatores de emissão, estimativas de biomassa/combustível, carbono orgânico no solo, este último não contabilizado aqui) utilizados nas estimativas de emissões de queimadas não associadas a desmatamento. Além disso, a época do ano e a frequência do fogo também contribuem para essas incertezas associadas às emissões e remoções de GEE. Tais incertezas, com altos valores de emissões de GEE onde não são contabilizadas as remoções associadas posteriores, estão sendo trabalhadas para reduzi-las na próxima versão do SEEG, além das estimativas de emissões de GEE de queimadas não associadas a desmatamento para os estados brasileiros.

Espera-se também para os próximos inventários nacionais que o monitoramento oficial das cicatrizes de fogo em áreas de vegetação nativa se amplie para todos os biomas ao longo do período considerado nos inventários e que a regionalização e detalhamento desses parâmetros sejam utilizados nas próximas estimativas de emissões de queimadas não associadas ao desmatamento.

## **Referências**

Alencar, A., Nepstad, D., Diaz, M. C. V. 2006. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. *Earth Interactions*, 10(6), 1-17.

Alencar, A.; Asner, G. P. ; Knapp, D.; Zarin D. 2011. Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. *Ecological Applications*, 21:2397-2412.

Alencar, A. A., Brando, P. M., Asner, G. P., Putz, F. E. 2015. Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. *Ecological applications*, 25(6), 1493-1505.

Artaxo P, Oliveira PH, Lara LL, Pauliquevis TM, Rizzo LV, Junior CP, et al. 2006. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Rev. Bras Meteorol*, 21(3):168–22.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2015. Relatório de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório Técnico. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI.

Spera, G. L. Galford, M. T. Coe, M. N. Macedo, J. F. Mustard. 2016. “Land-Use Change Affects Water Recycling in Brazil’s Last Agricultural Frontier,” *Global Change Biology*, 22: 3405–3413.

Yamasoe, M. A., Artaxo, P., Miguel, A. H., Allen, A. G. 2000. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. *Atmospheric Environment*, 34(10), 1641-1653.