Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa

Nota Metodológica
SEEG 9
Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas

(Versão 1)

Coordenação técnica:

Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM)

Equipe:

Julia Shimbo
Edriano Souza
Camila Silva
Barbara Zimbres
Ane Alencar
Amintas Brandão Jr.
Wallace Silva
Aline P. Lopes
Letícia Gomes
Jéssica Schuler
Fernando Elias
Dhemerson Conciani
Felipe Lenti
Vera Arruda
Tasso Azevedo

Novembro, 2021

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **3**

1.1 Escopo do setor 4

1.2 Descrição dos biomas 4

2 MÉTODO DE CÁLCULO **10**

2.1 Equações de cálculo - IPCC 10

2.1.1 Mudança de uso da terra 10

2.1.2 Queima de resíduos 12

2.2 SEEG 9: abordagem para calcular as emissões 12

2.2.1 Máscaras de desmatamento e regeneração 13

2.2.2 Estabilização das coberturas anuais 14

2.2.3 Geração das transições ano a ano 15

2.2.4 Cálculo zonal das áreas das transições 16

2.2.5 Aplicação dos fatores de emissão e remoção sobre as áreas de transição 16

2.2.5.1 Estoque e incremento em vegetação nativa primária 18

2.2.5.2 Estoque e incremento em vegetação nativa secundária 27

2.2.5.3 Estoque e incremento em classes de uso antrópico 28

2.2.5.4 Cálculo das emissões em 2020 com base na taxa de desmatamento 29

2.2.5.5 Cálculo das emissões por resíduos florestais 31

2.2.6 Emissões por Queimadas não Associadas ao Desmatamento 31

2.3 Cálculo das emissões com base em carbono equivalente (CO_2e) 35

3 QUADRO DE QUALIDADE DOS DADOS **36**

4 DIFERENÇAS PARA O INVENTÁRIO NACIONAL E ESTIMATIVAS DE EMISSÕES OFICIAIS **38**

5 RESULTADOS **39**

5.1 Emissões por alterações de uso da terra 42

5.2 Emissões por queima de resíduos florestais 43

5.3 Remoções em áreas protegidas 45

5.4 Remoções por vegetação secundária 47

5.5 Remoções por outras mudanças de uso da terra 49

6 REFERÊNCIAS **51**

Anexo 1 - Dados da regressão das emissões (Seeg 9) e com base na taxa do desmatamento (Prodes). **54**

Anexo 2 - Cálculo das emissões de queimadas não associadas ao desmatamento **55**

Anexo 3 - SEEG MUNICÍPIOS: Método para a contabilização das emissões e remoções a nível de municípios **77**

1 INTRODUÇÃO

Neste documento apresentamos os procedimentos metodológicos da nona 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 (MUT), no período de 1990 a 2020. O cálculo das estimativas de emissões foi atualizado com a série temporal mais completa de mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomas[1] Coleção 6 (http://mapbiomas.org/) e nos métodos e fatores publicados no Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (MCTI, 2020) associado à proposta metodológica do IPCC (2003; 2006). Apenas para o último ano da série temporal (2020), devido às incertezas dos dados de transição por não terem um ano posterior à confirmação das mudanças, e somente para os biomas Amazônia e Cerrado, com monitoramento anual oficial (do Prodes/INPE) e dada as maiores taxas de desmatamento do país, a taxa de desmatamento foi utilizada como proxy (Anexo 1) para estimar as emissões, e os demais biomas foram repetidas as emissões de 2019. As estimativas das emissões de queima de resíduos florestais ainda foram calculadas de acordo com a área de desmatamento e com a aplicação dos fatores de cálculo segundo o Terceiro Inventário Nacional (MCTI, 2016). Desde o SEEG 8, foi adotado o uso das matrizes de transição de mudanças de uso da terra geradas com base nos dados das coleções do MapBiomas para as estimativas de emissão e remoção no Brasil no setor MUT. Assim como nas versões anteriores, as estimativas são disponibilizadas por estado e por bioma no Brasil.

Também foram atualizadas as estimativas das emissões imediatas de gases de efeito estufa de queimadas em vegetação nativa, especialmente em florestas e savanas, não associadas ao desmatamento no Brasil, no período de 1990 a 2020 (Anexo 2). Tais emissões ainda não são contabilizadas no Inventário Nacional, devido ao alto grau de incerteza, em especial no que tange à regeneração da vegetação nativa em áreas queimadas e suas trajetórias de sucessão. Por esse motivo, essas emissões serão apresentadas na plataforma do SEEG como Emissões NCI (Não Contabilizadas no Inventário). No SEEG 9, o cálculo dessas emissões foi refinado utilizando os valores dos estoques de biomassa e necromassa acima do solo obtidos pelo Quarto Inventário, fatores de combustão revisados na literatura apropriados para queima de biomassa e necromassa em vegetação nativa, além dos mapas anuais de áreas queimadas da Coleção 1 do MapBiomas Fogo e de cobertura e uso da terra da Coleção 6 do MapBiomas. Além disso, o SEEG implementou um modelo para estimar as emissões tardias líquidas por incêndios florestais, resultantes do balanço entre o processo de mortalidade de árvores e regeneração da vegetação nos anos que sucedem o fogo. Essas emissões tardias são apresentadas pela primeira vez no SEEG e, por enquanto, apenas para as formações florestais

[1] O MapBiomas é um projeto de mapeamento anual da cobertura e uso da terra do Brasil, que envolve uma rede colaborativa de instituições locais como universidades, ONGs e empresas de tecnologia. É uma iniciativa do Observatório do Clima que utiliza imagens Landsat, processamento em nuvem e classificadores automatizados na plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil desde 1985 até o presente.

na Amazônia, devido à maior disponibilidade de dados sobre a dinâmica da vegetação após o fogo no bioma.

Por fim, apresentamos o SEEG Municípios com as adaptações de cálculos e os resultados das estimativas de emissões de MUT no SEEG 8 para o nível de municípios brasileiros (Anexo 3), que serão atualizados com o SEEG 9. O objetivo é que todas as estimativas do setor MUT sejam disponibilizadas nesse nível espacial de detalhamento também.

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 por queima de resíduos florestais.

Para gerar as estimativas do setor são necessárias duas informações principais: mapas de cobertura e uso da terra e informações sobre o estoque e incremento de carbono por classe de vegetação e uso. Na ausência de mapas anuais oficiais e atualizados de cobertura e uso da terra dos Inventários Nacionais, o SEEG utilizou dados anuais de uso e cobertura da terra do MapBiomas Coleção 6 para cálculo das áreas de transição e suas respectivas estimativas de emissões e remoções de GEE. Os mapas anuais de cobertura e uso da terra utilizados abrangem todo o Brasil e são produzidos a partir de imagens de satélite Landsat (com 30 m de resolução) para o período de 1985 a 2020. Esses mapas são utilizados no cálculo das áreas de mudança (transição) entre as categorias de cobertura e uso da terra.

Os dados de estoque e incrementos de carbono são gerados com base em amostras de campo (na maioria dos casos), em dados disponíveis na literatura e/ou em imagens de sensores remotos. É com base nessas estimativas de estoque e incremento de carbono por tipo de classe de cobertura e uso da terra que são aplicadas equações que convertem a área (extensão) de mudança de uso e cobertura da terra em emissões de GEE. O Quarto Inventário Nacional (MCTI, 2020) publicou esses dados de estoque e incrementos de carbono por tipo de classe de cobertura e uso da terra nos quais foram adaptados e atualizados no SEEG 9.

1.2 Descrição dos biomas

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, consequentemente, 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 (Bustamante et al., 2018). 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 (Alencar et al., 2020).

Figura 1. Limite e representatividade dos biomas brasileiros, em área (milhões de km²) e proporção da área do território Nacional (IBGE, 2019).

Os maiores biomas brasileiros são a Amazônia (50% da extensão do país), o Cerrado (23%) e a Mata Atlântica (13%). Os biomas Caatinga, Pampa e Pantanal cobrem os 14% restantes do território nacional (Figura 1).

- **Amazônia** (4,22 milhões de km², 50% do território nacional). Concentrando uma vasta biodiversidade, o bioma Amazônia abrange nove estados brasileiros e, com o predomínio de formações florestais, contém o maior estoque de carbono florestal do Brasil (MCTI, 2020). O mapeamento do desmatamento, realizado pelo INPE no Projeto Prodes, contabilizou até 2020 mais de 1030 mil km² de desmatamento no bioma Amazônia (aprox. 24% da área do bioma) associados a pressões da agricultura e pecuária. As taxas de desmatamento estão em uma tendência crescente desde 2018, com um salto no desmatamento em 2019 de 10.665 km² (3.700 km² a mais que em 2018) e 10.312 km² em 2020 segundo Prodes/INPE.

- **Cerrado** (1,98 milhões de km², 23% do território brasileiro). 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). Apresenta um mosaico de vegetação desde florestal, savânica a campestre com 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 47% da área originalmente vegetada (Alencar et al., 2020), e, segundo o Prodes Cerrado (INPE), houve um aumento em 2020 com 7.339 km² (856km² a mais que em 2019).

- **Mata Atlântica** (1,11 milhão de km², 13% do território brasileiro). 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 km²) caiu 9,3% em relação ao período anterior (2016-2017, com taxa anual de 126 km²). No entanto, no período de 2018-2019 foi observado um crescimento de 27% (145 km²) na taxa de desmatamento com relação ao período anterior. 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** (863 mil km²). 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 2020, aproximadamente 63% da sua área encontrava-se coberta com vegetação nativa (MapBiomas Coleção 6).

- **Pampa** (194 mil km²). Este bioma representa 2% da área brasileira. Restrito ao Rio Grande do Sul no Brasil, representa 63% da área do estado (MMA, 2013). Constituído principalmente de vegetação campestre, possui grande importância para a biodiversidade associada à fauna. Em relação à pressão humana, a pecuária extensiva e a soja, têm sido as principais atividades da região. Aproximadamente 46% do bioma Pampa no território brasileiro está coberto com vegetação nativa (MapBiomas Coleção 6).

- **Pantanal** (151 mil km², cerca de 2% do território nacional). A maior planície alagada do planeta encontra-se no Pantanal. É o bioma mais preservado do país, mantendo 84% das áreas naturais em 2020 (MapBiomas Coleção 6). 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).

Processos contabilizados nas emissões e remoções

Os processos que geram emissões no setor de mudanças de uso da terra e florestas (Tabela 1) são:

i. **Mudança de Uso da Terra.** As emissões ocorrem quando é alterada a cobertura para um uso da terra de menor estoque de carbono por hectare (IPCC, 2003). Por exemplo, a conversão de floresta para pastagem ou agricultura gera emissões de CO_2 pela perda de estoques de carbono na retirada da floresta e sua queima. De forma semelhante, pode haver sequestro de CO_2 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_2, como N_2O e CH_4 (esses gases possuem mais capacidade de acelerar o efeito estufa do que o dióxido de carbono). Tais emissões também foram contabilizadas nessa estimativa.

Tabela 1. Fontes de emissão de gases de efeito estufa contabilizados no setor mudança de uso da terra e florestas.

Fonte de Emissão	*CO_2*	*CH_4*	*N_2O*	*HFC_s*	*CF_4*	*$C2F_6$*	*SF_6*	*NO_x*	*CO*	*NMVOC*
Transição de uso da terra										
Queima de resíduos										

Além dos processos que geram emissões, são contabilizadas as remoções de CO_2 da atmosfera oriundas das alterações de cobertura e uso da terra, entre eles:

i. **Em florestas e campos manejados em áreas protegidas.** Segundo o Quarto Inventário (MCTI, 2020), 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_2) (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, 2020). Não foram incluídas outras fontes de remoções em florestas remanescentes em áreas privadas ou terras públicas fora de UCs e TIs.

Existem ressalvas com relação às estimativas de remoções realizadas por vegetação florestal nativa primária em áreas manejadas, com diversos trabalhos indicando um estado de equilíbrio dinâmico no estoque de carbono nessas áreas (Box 1). Nesse caso, é possível que o método calculado aqui, indicado pela metodologia do IPCC, superestime a captura de carbono e o papel

das florestas e campos manejados para mitigar a perda de estoques de carbono por mudanças de uso da terra.

Box 1. Remoção de carbono por vegetação florestal primária em áreas protegidas

A noção de que florestas tropicais maduras capturam carbono continuamente, e que essa captura tem aumentado nas últimas décadas é amplamente discutida (Brienen et al., 2015). No entanto, estudos indicam que as remoções associadas à vegetação florestal primária são superestimadas (Wright et al., 2013, Brando et al., 2019), e que essas remoções devem ser, em balanço, nulas (Fearnside 1996, Vieira 2004, Pyle et al., 2008, Malhi et al., 2015, Brando et al., 2019) ou menores que em florestas secundárias, por exemplo, em cerca de 11 a 20 vezes menores (Poorter et al., 2016, Bongers et al., 2016).

O balanço final necessariamente leva em consideração processos a nível de indivíduo e a nível de ecossistema. Um equilíbrio dinâmico no ciclo de carbono em vegetações tropicais se dá por diversos processos. Balanços entre produção primária bruta, produção primária líquida e tempo de residência, são fatores que explicam variações de biomassa a nível de indivíduo; já a nível de ecossistema, é necessário levar em consideração mortalidade e recrutamento (Malhi et al., 2015). Em resumo, o balanço entre fotossíntese e respiração (produção primária líquida) e mortalidade define se uma vegetação sequestra (remove) significativamente carbono atmosférico ou não (Brando et al., 2019), e há argumentos para se supor que florestas maduras, sem sinais de distúrbio, tendem a um balanço nulo, ou quase (Fearnside 1996).

A maior parte dos estudos sobre ciclo de energia e carbono no Brasil foi conduzida nas florestas tropicais da Amazônia. Resultados para esse bioma são variáveis, com estimativas de remoção de carbono com taxas de 10 a 14 $tC.ha^{-1}.ano^{-1}$ (Malhi et al., 2009, Nunes et al., 2012, Berenguer et al., 2018). No entanto, esses trabalhos não mencionam se as áreas de estudo têm algum indício de perturbação, e além disso, esses valores não são balanços a nível de ecossistema, e sim medidas de indivíduos arbóreos. No caso de trabalhos que mencionam o saldo final a nível de comunidade e ecossistema e descrevem as áreas de estudo em termos de uma vegetação madura ou perturbada, alguns mencionam balanços nulos até taxas muito baixas, entre 0,2 $tC.ha^{-1}.ano^{-1}$ e 0,43 $tC.ha^{-1}.ano^{-1}$, em áreas consideradas maduras (Baker et al., 2004, Vieira et al., 2004, Nogueira et al., 2008, Pyle et al., 2008). O valor final considerado pelo Terceiro Inventário (MCTI, 2016) para a Amazônia é de 0,43 $tC.ha^{-1}.ano^{-1}$. Já no Quarto Inventário (MCTI, 2020) o estoque apresentado é de 0,48 tC.ha-1.ano-1.

Em outros biomas, como o Cerrado e a Mata Atlântica, existem escassos trabalhos sobre incremento anual da biomassa (por exemplo, Rocha et al., 2002 e Miranda 2012, no Cerrado; Scaranello 2010, na Mata Atlântica). O próprio Terceiro Inventário utilizou esses trabalhos para a estimativa de remoções de carbono em vegetação florestal primária e associa esses valores a outros biomas vizinhos onde não há informação específica (0,2 $tC.ha^{-1}.ano^{-1}$ no

Cerrado e no Pantanal; 0,1 $tC.ha^{-1}.ano^{-1}$ na Caatinga; e 0,32 $tC.ha^{-1}.ano^{-1}$ na Mata Atlântica e no Pampa). No Quarto inventário as mesmas estimativas seguem a ordem: Cerrado e Pantanal (0,2 tC.ha-1.ano-1), 0,1 tC.ha-1.ano-1 na Caatinga; e 0,44 tC.ha-1.ano-1 na Mata Atlântica e no Pampa).

Além das baixas taxas de remoção de carbono em florestas primárias, o papel dessas florestas como sequestradoras de carbono pode ainda estar sendo diminuído, por conta do aumento da estação seca com as mudanças climáticas (Brienen et al., 2015, Brando et al., 2019). Outra causa possível para essa diminuição das taxas de sequestro de carbono por florestas maduras é a degradação inconspícua dessas florestas pela proliferação da fragmentação no bioma Amazônia, que produz ambientes de borda e aumenta a incidência de incêndios florestais (Silva Junior et al., 2020). Em condições mais secas, que caracteriza os ambientes de borda, com maior incidência do fogo e afetados pelas mudanças no clima, é observado um aumento na mortalidade das árvores, o que pode afetar o balanço de carbono a nível ecossistêmico nessas florestas (Brienen et al., 2015, Brando et al., 2019).

Os padrões resultantes dos cálculos do SEEG, de um incremento significativo nas remoções em Áreas Protegidas (ver Resultados), não se dá portanto por uma alta taxa de incremento em vegetação primária nessas áreas, e sim pelo artefato do método de consideração de remoções em Florestas e Campos Manejados (FM e GM, respectivamente), proposta pelo IPCC (2006). À medida que se aumenta o número de Unidades de Conservação e Terras Indígenas, mais área é incluída como FM ou GM. Fazemos então a ressalva de que esse critério de cálculo tende a sugerir erroneamente que florestas maduras podem ter um papel desproporcionalmente grande no balanço de gases de efeito estufa pelo setor MUT. Os padrões e resultados dessa categoria de remoções devem, portanto, ser vistos e interpretados com precaução.

ii. **Em vegetação secundária.** São contabilizadas as remoções em áreas de vegetação secundária (florestas e campos secundários), conforme o Quarto Inventário Nacional (MCTI, 2020).

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 de 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, compiladas e atualizadas com base nas bases do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Fundação Nacional do Índio (2019*).

2 MÉTODO DE CÁLCULO

2.1 Equações de cálculo - IPCC

2.1.1 Mudança de uso da terra

O Guia de Boas Práticas do IPCC (2003), e adotado pelo Quarto Inventário Nacional (MCTI, 2020), calcula as emissões por mudança do uso da terra 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:

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

(Eq.1)

Onde:
ΔC: Mudanças no estoque de carbono, em toneladas por hectare.
C_I e 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:

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

(Eq.2)

Onde:
ΔC Mudanças no estoque de carbono em toneladas por hectare.
C_{t2}, C_{t1}: 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 da terra, 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_2.

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.

$$ES_i = A_i \times CSolo \times \left(fc(t_0) - fc(t_1)\right) \times (T/2) / 20$$

(Eq.3)

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 $fc = f_{lu} + f_{MG} + f_t$ onde f_{lu}, f_{MG} e f_t 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_t estão disponíveis no relatório para cada uma das transições consideradas.

No entanto, como não temos acesso ao mapa de carbono do solo gerado pela Quarta Comunicação Nacional, o setor MUT no SEEG não calculou e não considerou as emissões de carbono de solo associadas às transições mensuradas.

2.1.2 Queima de resíduos

A metodologia do IPCC (2003) usa as seguintes equações para estimar as emissões de N_2O e CH_4 por queima de biomassa florestal:

$$CH_4 = (carbono\ emitido) \times (razão\ de\ emissão) \times \frac{16}{12} \quad \text{(Eq.4)}$$

$$N_2O = (carbono\ emitido) \times (razão\ entre\ N/C) \times (razão\ de\ emissão) \times \frac{44}{28} \quad \text{(Eq.5)}$$

2.2 SEEG 9: abordagem para calcular as emissões

A partir da versão beta do SEEG 6, o método 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, os mapas anuais de cobertura de uso da terra passam por passos de estabilização e filtragem para consolidar as transições principais que ocorrem a cada ano, para depois aplicar os cálculos baseados em estoques e incrementos apresentados no Quarto Inventário Nacional (MCTI, 2020). No SEEG 9, a Coleção 6 do MapBiomas foi utilizada, que cobre o período de 1985-2020, e resulta em um período para o SEEG de 1990-2020.

O passo-a-passo geral para o cálculo das estimativas de emissões e remoções por transições de uso da terra e tratamento dos mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomas são descritos nos itens a seguir (Figura 3). Os quatro primeiros passos, referentes ao trabalho espacial, foram feitos na plataforma Google Earth Engine, e o último passo, referente à aplicação das equações de cálculo de emissão e remoção por área de transição, foi feito no programa R.

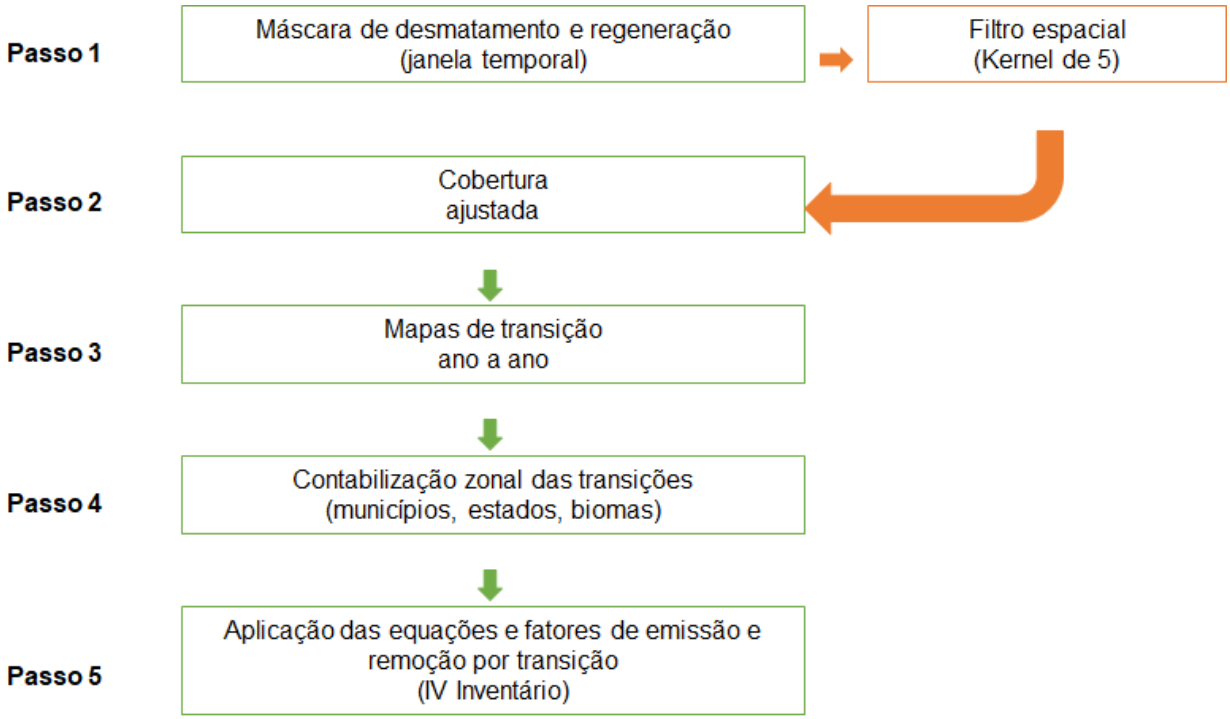

Figura 3. Etapas para o cálculo das estimativas de emissões e remoções por transições de uso da terra utilizando os mapas anuais de cobertura e uso da terra da Coleção 6 do MapBiomas no SEEG 9 MUT.

2.2.1 Máscaras de desmatamento e regeneração

O primeiro passo para os cálculos do SEEG MUT é gerar máscaras de desmatamento e regeneração anuais que incluem apenas as transições consistentes com estes processos. Dessa forma, transições espúrias, resultantes de erros de classificação, são minimizadas.

A construção dessas máscaras envolve, primeiramente, a 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 6 do MapBiomas (https://mapbiomas.org/codigos-de-legenda), essas duas classes incluem:

- Vegetação Natural: Formação Florestal (3), Formação Savânica (4), Mangue (5), Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Formação Campestre (12), Outra Formação Natural não Florestal (13) e Restinga Arborizada.
- Uso antrópico: Floresta Plantada (9), Pastagem (15), Lavouras temporária: como Cana (20), Soja (39), Arroz (40) e Outras lavouras temporárias(41), e Lavoura Perene: como Café (46), Citrus (47) e Outras lavouras perenes (48), mais as classes de Mosaico de Agricultura e Pastagem (21), Infraestrutura Urbana (24), Outra Área não Vegetada (25), Mineração (30) e Aquicultura (31).

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 2020 (Figura 4).

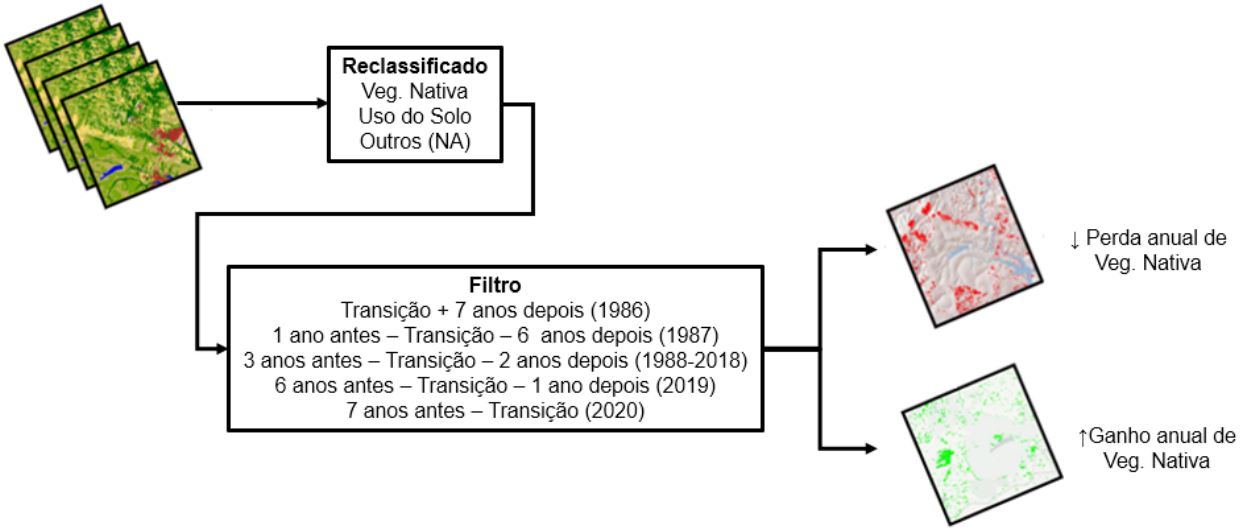

Figura 4. Regras da janela temporal para a geração das máscaras de perda (desmatamento) e ganho (regeneração) de vegetação nativa a cada ano.

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.

2.2.2 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 5 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 (35 anos entre 1985 e 2020) são mantidos, e a classe mais frequente é alocada.

3) Gera-se uma camada de uso antrópico estável, onde somente os pixels que foram classe de uso durante 100% do período (35 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 alocadas 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.

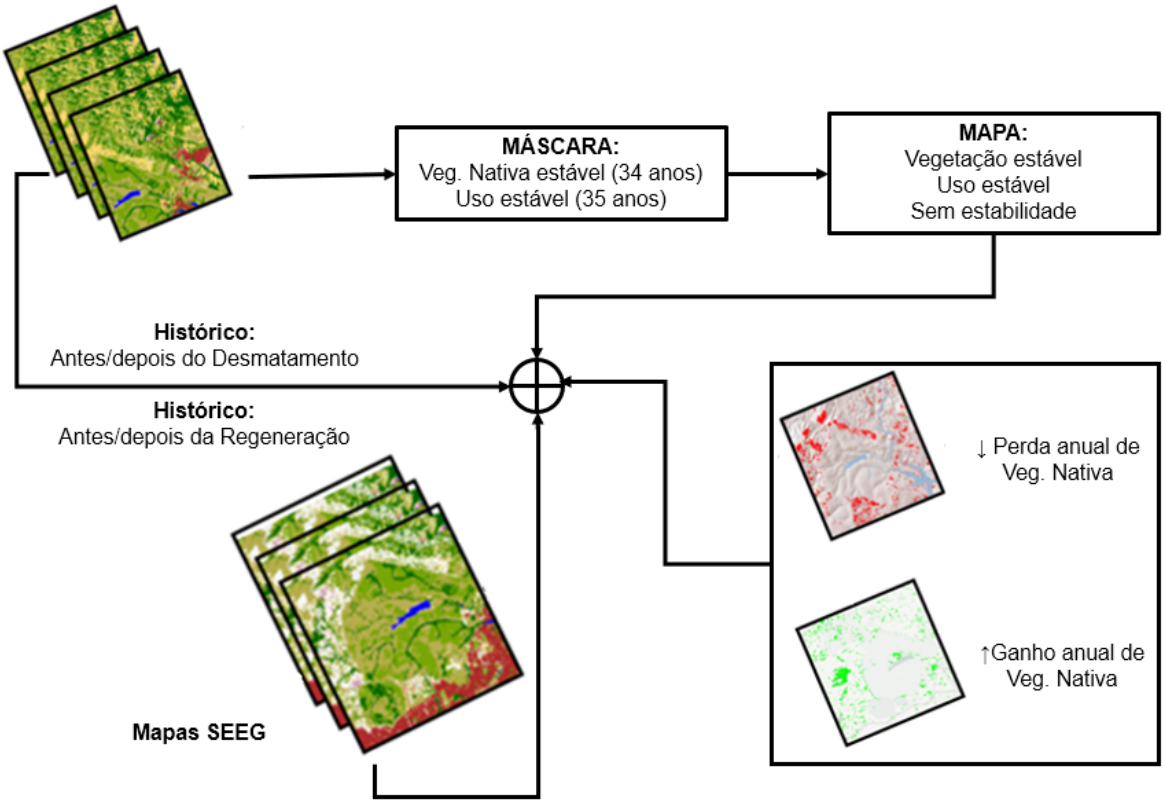

Figura 5. Passos envolvidos na geração das coberturas ano a ano a partir da Coleção 6 do MapBiomas, que foram utilizados para estimativas de emissão e remoção por mudanças de uso da terra no SEEG 9 MUT.

2.2.3 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:

$$Transição = t1 * 10000 + t2$$

(Eq.6)

Dessa forma, foram gerados 31 mapas de transição (de 1990-1991 a 2019-2020), em que a informação das classes no primeiro ano (t1) e no segundo ano (t2) foram mantidas em um único código. O início da série em 1990 foi determinado para representar o período coberto pela Quarta Comunicação Nacional (MCTI, 2020). 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:

Transição = 12000 * 10000 + 12000 = 120012000

2.2.4 Cálculo zonal das áreas das transições

O objetivo do SEEG 9 no setor MUT é obter estimativas de emissões e remoções associadas à mudanças no uso da terra que sejam relacionáveis aos biomas e estados, 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 anteriormente.

As áreas de cada transição par a par foram então calculadas por níveis “zonais”, representados por dois rasters: um em que o valor do pixel é o código dos biomas e estados (geocódigo do IBGE de três algarismos, em que o primeiro algarismo define o bioma e os dois seguintes definem o estado); e outro cujo valor do pixel indica dentro (1) e fora (0) de áreas protegidas.

2.2.5 Aplicação dos fatores de emissão e remoção sobre as áreas de transição

Com base nas áreas geradas pelo cálculo zonal, nos valores de estoque e incremento de carbono em cada classe e nas equações específicas para os diferentes tipos de transição, presentes no Quarto Inventário Nacional (MCTI, 2020), os valores de carbono equivalente (CO_2e) associados à cada mudança em cada ano foram calculados, sendo positivos no caso de emissões e negativos no caso de remoções.

Após os cálculos, 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 da terra;
2) Remoção por vegetação secundária;
3) Remoção dentro de áreas protegidas;
4) Remoção por outras mudanças de uso da terra.

No entanto, para a aplicação dos cálculos do Quarto Inventário para o presente método, alguns ajustes foram realizados.

As equações presentes no Quarto Inventário Nacional levam em consideração o tempo do período considerado (no caso do Inventário, 1994-2002, 2002-2010 e 2010-2016 para a maioria dos biomas e um período adicional de 2002-2005 para a Amazônia) para algumas transições. Por exemplo, uma floresta manejada tem seu incremento anual calculado ao longo de todos os anos (T) do período; e a recuperação de uma vegetação secundária é assumida como tendo início na metade do período (T/2). No presente método, esses parâmetros de tempo foram excluídos das equações, pois calculamos a transição pontualmente no tempo, de um ano para outro.

Outro ajuste necessário foi criar a correspondência das diferentes classes consideradas no Quarto Inventário com as classes presentes nos mapas de cobertura e uso da terra do MapBiomas, para a aplicação dos valores de estoque e incremento de carbono de cada classe. Essa correspondência e os valores finais de estoque e incremento anual relativo às classes do MapBiomas estão descritos nos itens abaixo.

Primeiramente, foi necessário fazer a correspondência das classes de uso e cobertura da terra da Coleção 6 do MapBiomas com as classes utilizadas no Quarto Inventário e consideradas pelo IPCC (2006). São essas classes que definem e organizam o tipo de transição a ser contabilizada, de forma compatível entre os métodos. Essas classes incluem:

- FM (floresta manejada): classes Formação Florestal (3), Formação Savânica (4),Mangue (5) e Restinga arborizada (49).
- FNM (floresta não manejada): classes Formação Florestal (3), Formação Savânica (4), Mangue (5) e Restinga arborizada (49).
- GM (campo manejado): classes Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Formação Campestre (12) e Outras Formações Não Florestais (13).
- GNM (campo não manejado): classes Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Formação Campestre (12) e Outras Formações Não Florestais (13).
- FSec (floresta secundária): classes Formação Florestal (300), Formação Savânica (400), Mangue (500) e Restinga arborizada (4900).
- GSec (campo secundário): classes Campo Alagado e Área Pantanosa (1100), Formação Campestre (1200) e Outras Formações Não Florestais (1300).
- Ac (áreas agrícolas): classes de Floresta plantada (9), Lavouras temporária: como Cana (20), Soja (39), Arroz (40) e Outras lavouras temporárias (41), e Lavoura Perene: como Café (46), Citrus (47) e Outras lavouras perenes (48) e
- Mosaico de Agricultura e Pastagem (21).
- Ap (Pastagem): 15.
- O (outras classes): classes Praia, Duna e Areal (23), Infraestrutura Urbana (24), Outras Áreas não Vegetadas (25), Afloramento Rochoso (29), Mineração (30) e Aquicultura (31).

2.2.5.1 Estoque e incremento em vegetação nativa primária

Os valores de estoque de carbono na vegetação nativa presentes no Quarto Inventário são relativos ao estoque total (somando os compartimentos de estoque acima do solo, abaixo do solo, de serrapilheira e madeira morta) estimados para cada classe da legenda do mapa de fitofisionomias do IBGE (IBGE, 2012). Para compatibilizar as classes de vegetação nativa do IBGE e as classes do MapBiomas, foi necessário agrupar os tipos de vegetação de acordo com sua classificação, onde presente, em Formação Florestal (classe 3), Formação Savânica (classe 4), Mangue (classe 5), Restinga arborizada (49),Campo Alagado e Área Pantanosa (classe 11), Formação Campestre (classe 12) e Outras Formações Não Florestais (classe 13). Esse agrupamento se deu baseado em uma consulta com especialistas de cada bioma. No caso do Cerrado, especificamente, os estoques no Quarto Inventário são referentes ao estado, e portanto esse cálculo de estoque também foi regionalizado por estado. O valor de estoque de carbono final para cada uma dessas grandes classes do MapBiomas foi, portanto, calculado como a média ponderada dos estoques de cada tipo de vegetação do IBGE de acordo com sua proporção no bioma (disponível no Relatório de Referência do Quarto Inventário, MCTI, 2020). A correspondência das classes e os valores de estoque originais, as proporções das classes por bioma e os valores finais de estoque considerados no presente método estão apresentados no Tabela 2, exceto para os valores finais de estoque de Floresta no bioma Cerrado, que são específicos por estado (Tabela 3).

Tabela 2. Agrupamento das classes de vegetação nativa conforme a legenda do mapa de fitofisionomias do IBGE para correspondência com as classes de vegetação nativa do MapBiomas Coleção 6.0 e seus estoques de carbono finais associados, de acordo com as grandes classes, onde presente: Formação Florestal (3), Formação Savânica (4), Mangue (5), Restinga arborizada (49), Campo Alagado e Área Pantanosa (11), Formação Campestre (12), Outras Formações não Florestais (13). Os valores finais de Floresta para o bioma Cerrado foram calculados por estado e estão apresentados em outra tabela.

Bioma	Classe IBGE	Classe MapBiomas	Fitofisionomia IBGE	Proporção no bioma (%)	Estoque segundo o Quarto Inventário (tC/ha)	Estoque segundo o SEEG (tC/ha)
Amazônia	Aa	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	1,30	145,29	162,89
	Ab	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas	4,70	165,89	
	As	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	15,40	131,98	
	Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Terras Baixas	0,10	59,07	
	Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	0,20	129,84	

	Da	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	4,60	130,71	
	Db	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	15,40	185,26	
	Dm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Montana	0,00	138,66	
	Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	31,80	201,12	
	Fa	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual aluvial	0,40	65,64	
	Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual de terras baixas	1,30	81,73	
	Fm	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual montana	0,00	125,75	
	Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	7,10	88,86	
	La	Floresta (3)	Campinarana Arborizada	0,10	302,68	
	Ld	Floresta (3)	Campinarana Florestada	0,10	131,62	
	Sd	Floresta (3)	Savana Florestada	3,20	149,86	
	Td	Floresta (3)	Savana Estépica Florestada	0,00	25,15	
	Pa	Floresta (3)	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	2,00	58,18	
	Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	1,6	173,05	**173,1**
	Pf	Mangue (5)	Pioneiras com influência fluviomarinha	0,2	38,52	**38,52**
	Lg	Campo (12)	Campinarana gramíneo lenhosa	0,39	121,00	**121,00**
	Lb	Natural não florestal (13)	Campinarana Arbustiva	<0,0	189,25	
	Tp	Natural não florestal (13)	Savana Estépica Parque	<0,0	26,51	
	Sp	Natural não florestal (13)	Savana Parque	<0,0	114,01	**49,83**
	Sg	Natural não florestal (13)	Savana Gramíneo-Lenhosa	<0,0	49,83	
	Rm	Natural não florestal (13)	Refúgio montano	<0,0	90,21	
Caatinga	Aa	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	0,004	57,33	
	Ab	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	0,0002	57,33	**101,87**

	Am	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Montana	0,01	57,33	
	As	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	0,33	127,3	
	Ca	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Aluvial	0,008	121,72	
	Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas	0,001	75,3	
	Cm	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	1,03	51,84	
	Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	1,79	69,05	
	Da	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	0,02	185,7	
	Dm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Montana	0,07	185,7	
	Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	0,04	185,7	
	Fa	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	0,31	92,94	
	Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	0,04	106,01	
	Fm	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Montana	0,81	98,89	
	Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	2,24	137,89	
	Pa	Floresta (3)	Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	0,32	81,89	
	Pm	Floresta (3)	Formação Pioneira com influência marinha	0,54	147,09	
	Sd	Floresta (3)	Savana Florestada	0,06	65,79	
	Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	4,56	41,31	
	Ta	Savana (4)	Savana Estépica Arborizada	58,89	18,28	**19,87**
	Tg	Savana (4)	Savana Estépica Gramíneo Lenhosa	0,26	4,98	
	Pf	Floresta	Formação Pioneira com influência fluvio-marinha	0,26	170,54	**170,54**
	Rm	Campo (12)	Refúgio Montano	0,64	17,55	
	Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo-Lenhosa	0,29	19,74	**12,83**
	Sp	Campo (12)	Savana Parque	0,92	18,92	

	Tp	Campo (12)	Savana Estépica Parque	5,42	10,87	
Cerrado	Aa	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	0,05	145,3	**valor por estado**
	Ab	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	0,05	165,89	
	As	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	0,21	88,08	
	Ca	Floresta (3	Floresta Estacional Decidual Aluvial	0,06	121,72	
	Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas	0,09	104,87	
	Cm (MG/BA/GO)	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	1,52	51,94	
	Cm (MS/SP)	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	0,02	127,54	
	Cs (MG/BA/GO/TO/PI/ DF/MA)	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	3,57	69,01	
	Cs (MS/SP/MT)	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	0,46	127,54	
	Da	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	0,04	130,71	
	Db	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	0	138,2	
	Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	0,06	118,41	
	Ea	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	1,67	106,94	
	Fa (TO/PA)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	0,05	65,64	
	Fa (MG/GO/DF/BA)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	0,88	167,46	
	Fa (SP/PR)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	0,07	65,64	
	Fa (MT/MS)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	0,66	75,86	
	Fb (MA/MT)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	0,03	81,73	
	Fb (GO/PI)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	0,02	83,92	

	Fs (PI/MA/BA)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	0,94	54,93	
	Fs (MG/TO/GO/SP/MT/MS/RO)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	1,97	83,48	
	Fm (MG/TO/GO/SP/PR/MS/RO)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Montana	1,11	67,76	
	Fm (BA/PI)	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Montana	0,25	82,61	
	Ma	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Aluvial	0	85,43	
	Ml	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Alto-montana	0,01	104,12	
	Mm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Montana	0,03	80,12	
	Pa	Floresta (3)	Formação Pioneira com influência fluvial e/ou lacustre	0,35	36,21	
	Pm	Floresta (3)	Formação Pioneira com influência marinha	0,03	34,76	
	Sd (SP)	Floresta (3)	Savana Florestada	0,31	68,82	
	Sd (MG/GO/DF/BA)	Floresta (3)	Savana Florestada	2,29	52,29	
	Sd (MT/MS)	Floresta (3)	Savana Florestada	3,91	103,21	
	Sd (TO/MA/PI)	Floresta (3)	Savana Florestada	1,99	49,64	
	Ta	Floresta (3)	Savana Estépica Arborizada (caatinga aberta)	0.25	30.54	
	Td	Floresta (3)	Savana Estépica Florestada (caatinga densa)	0,14	43,33	
	Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	48,44	40,21	**39,99**
	Ta	Savana (4)	Savana Estépica Arborizada	0,48	17,9	
	Pf	Mangue (5)	Formação Pioneira com influência fluvio-marinha	0,06	38,26	**38,26**
	Eg	Campo (12)	Estepe Gramíneo Lenhosa	0,01	5,13	**24,75**
	Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo-lenhosa	4,94	18,49	
	Sp	Campo (12)	Savana Parque	15,5	26,79	
	Tg	Campo (12)	Savana Estépica Gramíneo-lenhosa	0,02	17,49	
	Tp	Campo (12)	Savana Estépica Parque	0,16	26,51	
	Rm	Campo (12)	Refúgio Montano	0,09	18,55	
Mata Atlântica	Aa	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	0,07	47,09	**127,81**

Ab	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas	0,22	47,09
Am	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Montana	0,01	46,91
As	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Aberta Submontana	0,52	49,41
Ca	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Aluvial	0,14	121,77
Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Terras Baixas	0,01	68,22
Cm	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	2,87	75,82
Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	3,16	106,41
Da	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	0,31	173,83
Db	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	2,32	112,96
Dl	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana	0,16	85,89
Dm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Montana	5,85	182,88
Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	8,44	180,64
Fa	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual aluvial	1,58	78,16
Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual de terras baixas	1,08	83,90
Fm	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual montana	13,19	99,48
Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	20,92	125,79
La	Floresta (3)	Campinarana Arborizada	0	14,44
Ma	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Aluvial	0,1	85,4
Ml	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Alto-montana	1,81	104,1
Mm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Montana	12,32	142,14
Ms	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Submontana	0,07	142,66
Pm	Floresta (3)	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	1,29	103,74

	Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	1,87	41,31	
	Sd	Savana (4)	Savana Florestada	0,8	103,2	
	Ta	Savana (4)	Savana Estépica Arborizada	0,88	13,24	**48,25**
	Td	Savana (4)	Savana Estépica Florestada	0,01	30,81	
	Pf	Mangue (5)	Pioneiras com influência fluviomarinha	0,26	83,05	**83,05**
	Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo-Lenhosa	1,4	18,49	
	Sp	Campo (12)	Savana Parque	1,11	26,79	
	Tg	Campo (12)	Savana Estépica Gramíneo-Lenhosa	0	4,21	
	Rl	Campo (12)	Refúgio Alto-montano	0,12	9	**13,89**
	Rm	Campo (12)	Refúgio Montano	0,03	11,55	
	Lg	Campo (12)	Campinarana gramíneo lenhosa	0,07	1,47	
	Eg	Campo (12)	Estepe Gramíneo Lenhosa	3,92	8,99	
Pantanal	Ca	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Aluvial	0,00	121,72	
	Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual das Terras Baixas	1,80	104,87	
	Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	0,80	127,54	
	Fa	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	6,07	167,46	
	Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das terras baixas	1,60	81,73	**98,10**
	Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	0,02	83,48	
	Sd	Floresta (3)	Savana Florestada	10,62	103,21	
	Td	Floresta (3)	Savana Estépica Florestada	2,43	99,09	
	Tg	Floresta (3)	Savana Estépica Gramíneo Lenhosa	6,04	17,49	
	Sa	Savana (4)	Savana Arborizada	19,57	41,31	
	Ta	Savana (4)	Savana Estépica Arborizada	2,89	11,96	**37,53**
	Sg	Campo (12)	Savana Gramineo Lenhosa	14,94	18,49	
	Sp	Campo (12)	Savana Parque	26,68	26,79	**24,01**

	Tp	Campo (12)	Savana Estépica Parque	3,36	26,51	
Pampa	Ca	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Aluvial	0,84	136,17	**115,03**
	Cm	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Montana	0,01	167,29	
	Cb	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Terras Baixas	0,33	69,8	
	Cs	Floresta (3)	Floresta Estacional Decidual Submontana	3,93	167,16	
	Dm	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Montana	0	159,41	
	Ds	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Submontana	0,03	174,38	
	Da	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Densa Aluvial	0	85,91	
	Db	Floresta (3)	Floresta Ombrófila de terras baixas	0	112,98	
	Ea	Floresta (3)	Estepe Arborizada	6,27	55,41	
	Ep	Floresta (3)	Estepe parque	3,96	167,16	
	Ea	Floresta (3)	Estepe Arborizada	0,1	79,92	
	Fb	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	0,43	86,05	
	Fm	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Montana	0,08	106,76	
	Fs	Floresta (3)	Floresta Estacional Semidecidual Submontana	4,56	109,29	
	Ma	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Aluvial	0	85,42	
	Ms	Floresta (3)	Floresta Ombrófila Mista Submontana	0,01	130,71	
	Pf	Mangue (5)	Pioneiras com influência fluviomarinha	0,01	12,77	**12,77**
	Pa	Campo úmido (11)	Vegetação com Influência Fluvial e/ou Lacustre	5,75	12,77	**12,77**
	Eg	Campo (12)	Estepe Gramíneo Lenhosa	8,61	2,12	**4,56**
	Pf	Campo (12)	Pioneiras com influência fluviomarinha	0,01	12,77	
	Pm	Campo (12)	Pioneiras com Influência Marinha	0,8	12,77	

	Tg	Campo (12)	Savana Estépica Gramíneo-lenhosa	0,89	9,4	
	Sg	Campo (12)	Savana Gramíneo-Lenhosa	0,95	12,6	
	Tp	Campo (12)	Savana Estépica Parque	0,11	26,51	

Tabela 3. Estoques finais da classe Floresta (classe 3) do MapBiomas para o bioma Cerrado, calculado pela média ponderada de todas as fisionomias florestais do bioma de acordo com sua proporção em área no bioma, mas considerando valores específicos por estado naquelas classes onde houve diferenciação por estado pelo Quarto Inventário Nacional (MCTI, 2020).

Estado	Estoque (tC/ha)
AC	-
AL	-
AM	-
AP	-
BA	67,18
CE	-
DF	66,86
ES	-
GO	70,01
MA	63,92
MG	70,09
MS	99,27
MT	93,56
PA	77,44
PB	-
PE	-
PI	66,07
PR	74,98
RJ	-
RN	-
RO	79,81
RR	-
RS	-
SC	-
SE	-
SP	84,99
TO	64,28

Para cálculo das remoções em floresta manejada (dentro de áreas protegidas), é necessário aplicar estimativas de incremento em vegetação primária. Os valores utilizados foram os mesmos aplicados no Quarto Inventário, e independem da classe de vegetação do IBGE. Eles se resumem em: a) Floresta, Savana, Mangue e Restinga Arborizada (classes 3, 4, 5 e 49): 0,48 tC/ha/ano na Amazônia (com a exceção da classe 4 e 5, em que decidimos associar os valores do Cerrado), 0,20 tC/ha/ano no Cerrado, 0,10 tC/ha/ano na Caatinga, 0,32 tC/ha/ano no Pampa e 0,2 tC/ha/ano no Pantanal; b) Campo (classe 11, 12 e 13, onde presente): um valor único de 0,44 tC/ha/ano para todos os biomas.

Outras áreas naturais sem vegetação (classes 23: praia e duna; 29: afloramento rochoso) têm incremento e estoques de carbono nulos.

2.2.5.2 Estoque e incremento em vegetação nativa secundária

Os estoques de floresta secundária remanescente foram definidos como 44% do estoque de vegetação original em todos os biomas (MCTI, 2020). Os incrementos anuais (tC/ha/ano) de vegetação secundária também foram aplicados com base nos mesmos presentes no Quarto Inventário. No caso de vegetação florestal secundária, os incrementos variaram por bioma e histórico de uso (Tabela 4), por exemplo, Floresta secundária crescendo onde era Pasto (FSec-Ap), onde era Agricultura (Fsec-Ac), e onde era Outros tipos de Uso (Fsec-O). Para vegetação campestre secundária, os fatores variaram por bioma, mas não de acordo com o histórico de uso.

Tabela 4. Incremento em vegetação florestal secundária por bioma e histórico de uso (ex. Pastagem, Agricultura e Outros tipos de uso), segundo o Quarto Inventário Nacional.

	Incremento (tC/ha/ano)		
Biomas	**FSec-Ap**	**FSec-Ac**	**Fsec-O**
Amazônia	3,03	5,22	0,62
Caatinga	0,64	0,66	0,59
Cerrado	2,85	4,73	0,59
Mata Atlântica	1,66	1,66	1,66
Pampa	2,85	4,73	0,59
Pantanal	2,85	4,73	0,59

O Quarto Inventário também considera e calcula incrementos de vegetação secundária com histórico de floresta, que indica casos de recuperação após um distúrbio e degradação menos conspícuos que o desmatamento. No presente método, no entanto, esse tipo de transição não foi considerado.

2.2.5.3 Estoque e incremento em classes de uso antrópico

O Quarto Inventário traz valores de estoque em pastagem, referente à classe 15 no MapBiomas, dependentes por bioma, e considera como constante o incremento anual de áreas de pastagem em todos os biomas (Tabela 5).

Com relação às áreas de agricultura, o Quarto Inventário traz estimativas para culturas anuais e perenes. Os valores de estoque em agricultura anual (no MapBiomas, classes 39: soja; 40: Arroz, e 41: demais cultivos anuais) são constantes para todos os biomas, e os de incremento são variáveis (Tabela 5). Uma ressalva deve ser feita para a classe 21, referente ao Mosaico de Agricultura e Pastagem no MapBiomas, onde não se diferencia se a área é de atividade agrícola ou de pecuária. Para essa classe alocou-se a média dos valores de estoque entre pastagem e agricultura anual para cada bioma, e os valores de incremento de agricultura anual, já que o de pastagem é nulo (Tabela 5). No entanto, a classe 21 na Coleção 6 do MapBiomas é restrita a pequenas áreas.

O Quarto Inventário traz informações sobre estoques e incrementos de carbono de áreas de cultivos perenes (classe 20 no MapBiomas), que são constantes por bioma com a exceção do Cerrado. No MapBiomas, no entanto, temos também a informação de cultivos semi-perenes e perenes (classe 46, 47 e 48). Para o presente método, aplicamos os mesmos valores de estoque e incremento de cultivos perenes às áreas de cultivos semi-perenes.

Tabela 5. Valores de estoque e incremento de carbono associados às classes de agropecuária por bioma, incluindo a informação da correspondência com as classes dos mapas de cobertura e uso da terra do MapBiomas Coleção 6.

Tipo de valor	Classes	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
Estoque (tC/ha)	Pastagem (classe 15)	10,0	1,19	7.57	2,60	7.6	7,6
	Agricultura anual (classes 39, 40 e 41)	6,2	0,6	5,0	3,83	5,0	5,0
	Agricultura Semi-perene e perene (classes 20, e 46,47 e 48)	11,4	24,80	21,0	23,52	21,0	21,0
	Mosaico de pastagem e agricultura (classe 21)	6,2	0,6	5.0	3,83	5,0	6.29
Incremento (tC/ha/ano)	Pastagem (classe 15)	-	-	-	-	-	-
	Agricultura anual (classes 39, 40 e 41)	0,34	1,04	1,27	0,96	0,23	0,06
	Agricultura Semi-perene e perene (classes 20, e 46, 47 e 48)	0,0	0,0	0,0	0	0	0
	Mosaico de pastagem e agricultura (classe 21)	0,34	1,04	1,27	0,96	0.23	0,06

A última classe referente ao uso antrópico a ser considerado nos cálculos das transições anuais é a classe de floresta plantada, ou silvicultura. Para essa classe, adotamos as estimativas simplificadas de estoque e incremento de carbono de Eucalipto e Pinus, de acordo com as

respectivas proporções nos biomas e nos períodos adotados no Quarto Inventário. Isso nos levou a considerar um valor de estoque constante de 42,05 tC/ha e um valor de incremento de 12,36 tC/ha/ano.

Por fim, os estoques e incrementos de estoque de carbono referentes a todas as demais classes antrópicas do MapBiomas presentes nas transições contabilizadas (24: infraestrutura urbana; 25: outras áreas não vegetadas; 30: mineração; e 31: aquicultura) foram considerados nulos.

2.2.5.4 Cálculo das emissões em 2020 com base na taxa de desmatamento

Para o cálculo de emissões no MUT, foram atualizadas as estimativas com os fatores de emissão e remoção do Quarto Inventário Nacional e dos mapas anuais da mais recente coleção lançada pelo MapBiomas (https://mapbiomas.org/), a Coleção 6, com ganhos na acurácia dos mapas e inclusão de novas classes além do ano de 2020. A única exceção é o último ano da série temporal (2020), pois dados de transição carregam incertezas por não terem um ano posterior à confirmação das mudanças. Para o ano de 2020 e para os biomas Amazônia e Cerrado, com monitoramento anual oficial (do Prodes/INPE) e dada as maiores taxas de desmatamento do país, a taxa de desmatamento foi utilizada como proxy para estimar as emissões, os demais biomas foram repetidas as emissões de 2019. Os resultados do ajuste dos modelos de regressão e os coeficientes de determinação utilizados foram para Amazônia (R^2= 0,87) e Cerrado (R^2 = 0,76), indicando que quanto maior a área desmatada (prodes_km²), maior será as emissões brutas (Mt CO2e ou vice e versa), as regressões podem ser visualizadas na Figura 6 e os dados utilizados no Anexo 1.

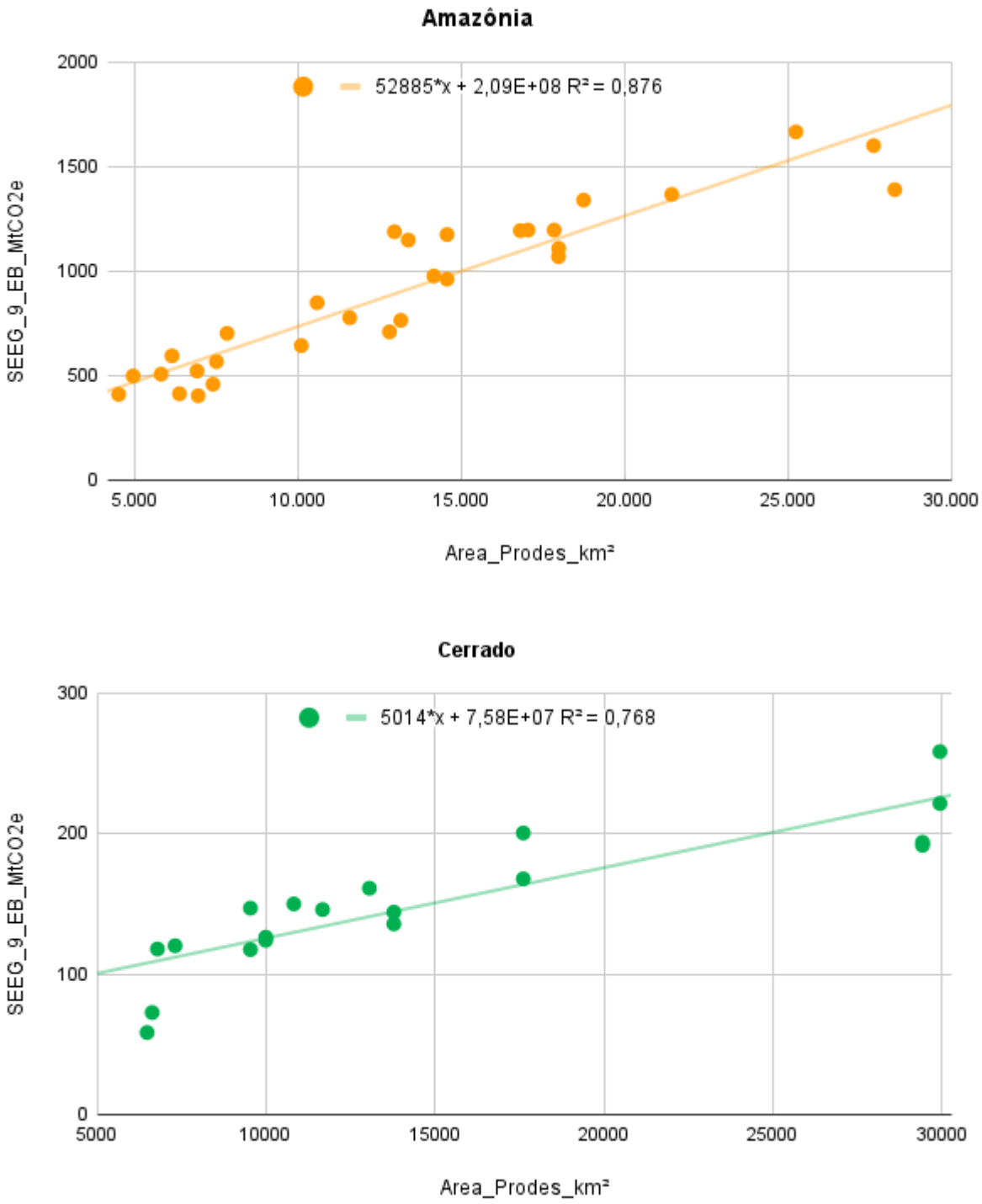

Figura 6. Regressões lineares das emissões do SEEG 9 em relação à taxa de desmatamento oficial (Prodes) nos biomas Amazônia e Cerrado utilizadas para estimar as emissões no ano de 2020.

2.2.5.5 Cálculo das emissões por resíduos florestais

As emissões por queima de resíduos florestais foram simplificadas no presente método e calculadas pela multiplicação de fatores fixos de emissão de gases associados à queima dos resíduos florestais após o processo de desmatamento (N_2O e CH_4) sobre a área total classificada como desmatamento. Esse fator foi obtido pela média do resultado final de emissões por queima de resíduos florestais nos diferentes períodos do Terceiro Inventário (1990-2002 e 2003-2010). Com isso, o fator de emissão para cálculo das emissões de CH_4 considerado para as áreas totais de desmatamento para todos os biomas é de 0,00169 tC/ha até 2002 e 0,00205 a partir de 2003. Para N_2O, o fator de emissão é de 0,000067 tC/ha até 2002 e 0,000074 tC/ha a partir de 2003.

2.2.6 Emissões por Queimadas não Associadas ao Desmatamento

As emissões por queimadas em vegetação nativa não associadas ao desmatamento não são contabilizadas nos Inventários Nacionais. 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, desde 2018, a equipe do SEEG MUT tem feito um esforço para entender melhor o fenômeno e como ele afeta as emissões brasileiras. O Anexo 2 aborda com mais detalhes este esforço, seus métodos, resultados e desafios.

Os mapas anuais de uso e cobertura da terra do MapBiomas Coleção 6 e o novo produto de área queimada do MapBiomas Fogo Coleção 1, com 30 m de resolução espacial para o período entre 1985-2020, permitiram ao SEEG refinar as estimativas de emissões anuais de CO_2 e outros GEE decorrentes da queima do combustível acima do solo (emissões imediatas) em savanas e florestas (excluindo áreas de campos) nos biomas brasileiros. As queimadas não associadas ao desmatamento, ou seja, em áreas que não foram posteriormente desmatadas, totalizaram 3,17 Pg de emissões imediatas de CO_2 entre 1990 e 2020, sendo que 73% deste total ocorreu em savanas e o restante em florestas. O Cerrado foi o bioma que mais contribuiu com esta estimativa (64%), seguido pela Amazônia (26%) (Figura 7).

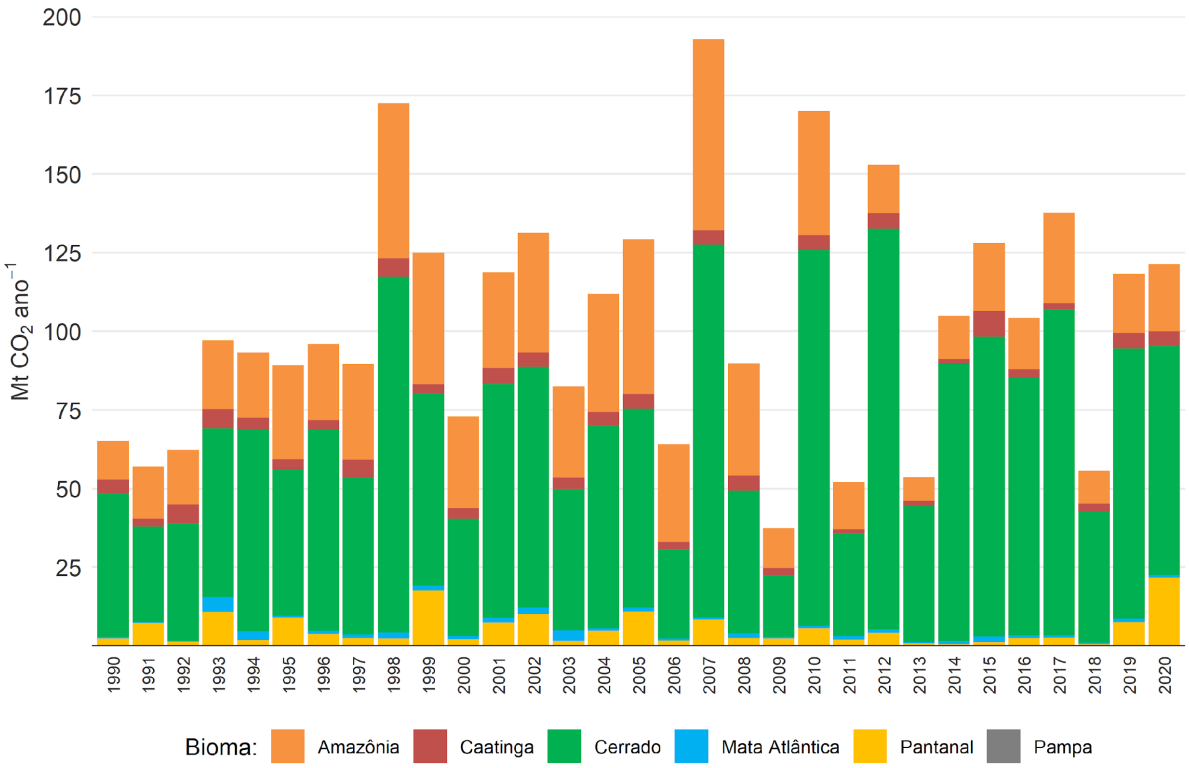

Figura 7. Emissões imediatas de CO_2 por fogo em áreas naturais não associadas a desmatamento entre 1990 e 2020 por bioma no Brasil.

As emissões em savanas ultrapassaram 100 Mt CO_2 ano^{-1} nos anos de 1987/1988, 1998, 2007 e 2012 (Figura 8). Já as emissões em florestas ultrapassaram 25 Mt CO_2 ano^{-1} somente partir de 1998, com picos nos anos de seca extremas (e.g., 1998/1999, 2005, 2010 e 2015/2016) (Aragão et al., 2018; Silva Junior et al., 2019) e nos anos mais recentes quando as taxas de desmatamento voltaram a aumentar (2017-2020) (Barlow et al., 2020; Silva Junior et al., 2021).

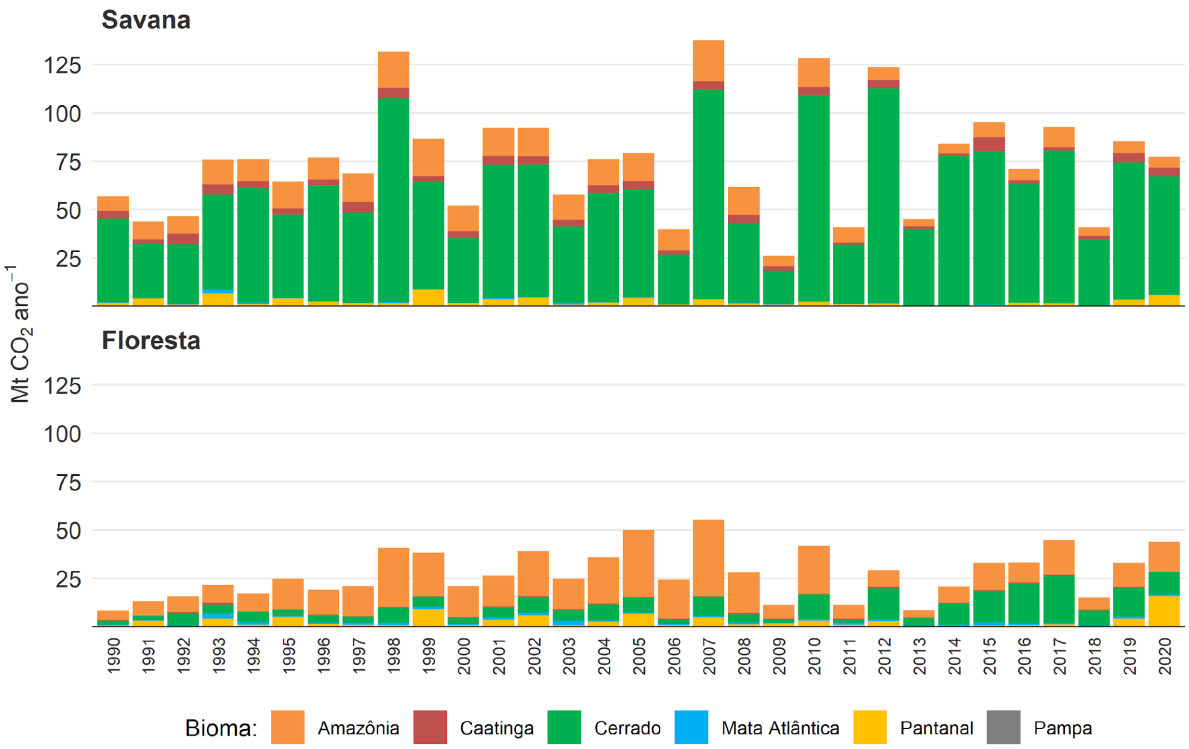

Figura 8. Emissões imediatas de CO_2 por fogo em áreas naturais de savanas (excluindo campos) e florestas não associadas a desmatamento.

Além disso, o SEEG implementou um modelo de emissões tardias líquidas por incêndios florestais, resultantes do balanço entre o processo de mortalidade de árvores e regeneração da vegetação nos anos que sucedem o fogo. Essas emissões tardias são apresentadas pela primeira vez no SEEG e, por enquanto, apenas para as formações florestais na Amazônia, devido à maior disponibilidade de dados sobre a dinâmica da vegetação após o fogo no bioma. Resultados preliminares indicam que este processo implicou em 814 Tg CO_2 emitidos no bioma entre 1990 e 2020. Estas emissões foram crescentes até 2007 (37,6 Tg CO_2 ano^{-1}), decresceram entre 2010 e 2017 (23,6 Tg CO_2 ano^{-1}) e se mantiveram estáveis entre 2018 e 2020 (23,6 Tg CO_2 ano^{-1}) (Figura 9).

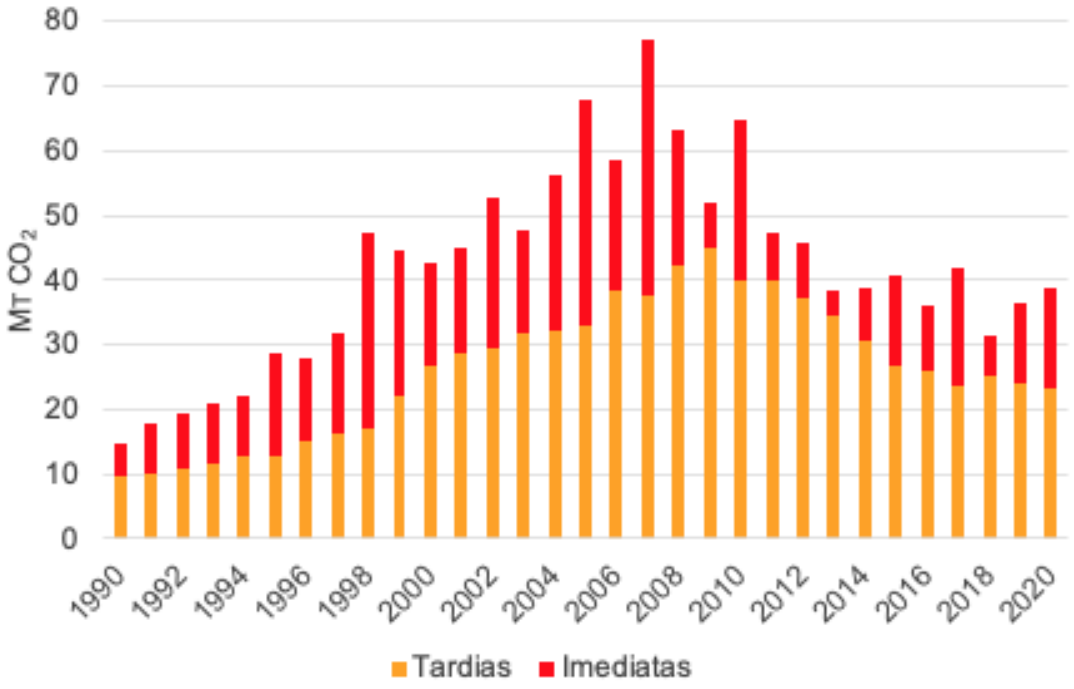

Figura 9. Emissões imediatas (combustão da necromassa) e tardias (mortalidade de árvores e subsequente decomposição) em florestas afetadas por fogo na Amazônia.

Quando as emissões imediatas e tardias são contabilizadas em conjunto, estas são mais relevantes perante as emissões do desmatamento nos períodos mais recentes (Figura 10). Entre 1995 e 2005 as emissões totais por incêndios florestais não associados a desmatamento na Amazônia representaram apenas 4%. Já entre 2005 e 2020, com a queda do desmatamento no mesmo período, as emissões por fogo se tornam mais expressivas e representam 22%. Na última década as emissões por incêndios florestais representaram 41% das emissões por desmatamento.

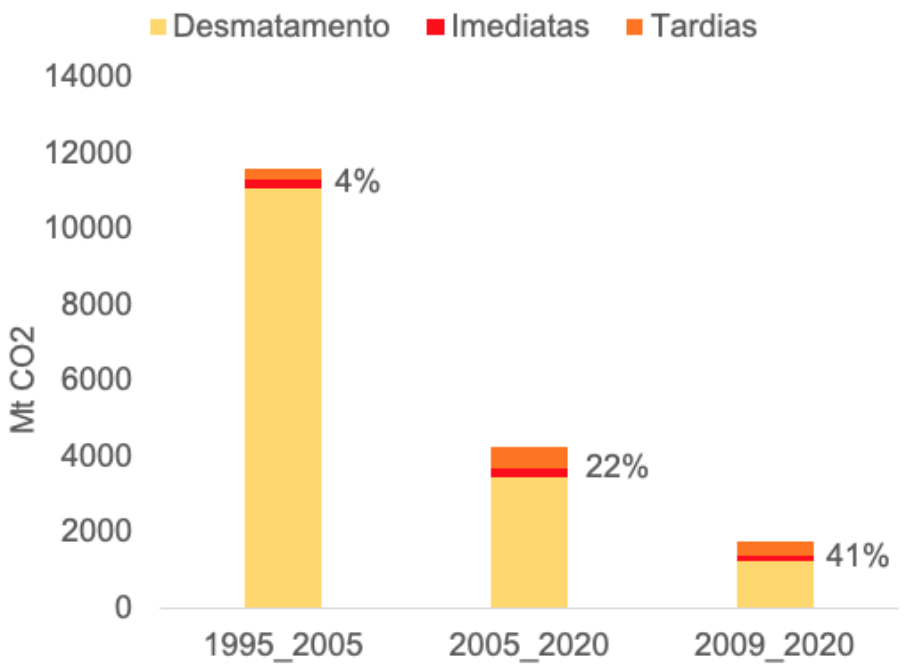

Figura 10. Contribuição das emissões imediatas e tardias líquidas perante as emissões por desmatamento líquidas

Destaca-se que as estimativas aqui apresentadas são conservadoras por três motivos. Primeiro, as emissões em formações campestres não foram consideradas porque estas se recuperam rapidamente após o fogo (Andrade, 1998; Montenegro, 2019). Segundo, mapeamentos automatizados de área queimada a partir de dados de satélite frequentemente possuem limitações para detecção de incêndios florestais de baixa intensidade em florestas densas (Giglio et al., 2009), como em regiões úmidas da Amazônia (Pontes-Lopes et al., 2021). Terceiro, as emissões por queimadas em áreas naturais posteriormente desmatadas foram desconsideradas para evitar dupla-contagem, uma vez que o cálculo das emissões por desmatamento no SEEG MUT considera a perda dos estoques de biomassa e necromassa originais. Mais detalhes sobre estes esforços, métodos, resultados, incluindo as estimativas de gases não CO_2, desafios e limitações estão dispostos no Anexo 2.

2.3 Cálculo das emissões com base em carbono equivalente (CO_2e)

Existem duas abordagens para determinação do carbono equivalente: o GWP (Global Warming Potential) e o GTP (Global Temperature Change Potential). O primeiro é definido pela influência dos gases na alteração do balanço energético da Terra e, o segundo, pela a influência no aumento de temperatura, em um prazo de 100 anos. É mais comum o reporte das emissões com base em GWP, e os resultados nesta Nota estão baseados em GWP.

Além disso, os valores de conversão para carbono equivalente dos diferentes gases foram sendo atualizados de acordo com os Relatórios do IPCC, o que é indicado pelo sufixo AR2, AR4 e AR5. O último relatório é indicado por AR5, e é o que utilizamos para reportar os

resultados (IPCC, 2014). Mas o SEEG calculou as conversões para CO_2 equivalente de acordo com todos os métodos e relatórios, para fins de comparação, e esses fatores são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de conversão dos diferentes gases considerados no presente método para carbono equivalente (CO_2e) de acordo com o método e relatório do IPCC

	CH_4	N_2O
GTP-AR2	5	270
GWP-AR2	21	310
GTP-AR4	5	270
GWP-AR4	25	298
GTP-AR5	4	234
GWP-AR5	28	265

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 2019 e segue a seguinte legenda:

Tabela 7. Legenda utilizada para qualificar os dados do SEEG no período de 1990 a 2020.

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
NECESSIDADE DE APRIMORAMENTO	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
QUALIDADE GERAL DO DADO	1	Dado confiável; capaz de reproduzir 3^{O} 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 1990-2020.

Aspecto	**Valores**	
OCORRÊNCIA DE ALOCAÇÃO	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
CRITÉRIO DE ALOCAÇÃO	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.
EXISTÊNCIA DE DADO DE ATIVIDADE	1	Dados existentes para cálculo de acordo com Tier do 4º 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

DISPONIBILIDADE DE DADOS DE ATIVIDADE	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
FATORES DE EMISSÃO	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
NECESSIDADE APRIMORAMENTO	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
QUALIDADE GERAL DA ALOCAÇÃO	1	dado confiável; capaz de reproduzir 4° inventário
	2	dado confiável para estimativa; inventário pode gerar diferenças significativas
	3	dado pouco confiável ou de difícil avaliação

A planilha com a qualidade de dados estará disponível no site do SEEG, explicando as razões para as classificações ‘2’ e ‘3’ de cada dado. Esta planilha 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 dos biomas e de carbono do solo forem utilizados em conjunto com os dados espacialmente explícitos de uso e cobertura da terra.

4 DIFERENÇAS PARA O INVENTÁRIO NACIONAL E ESTIMATIVAS DE EMISSÕES OFICIAIS

O SEEG 9 utilizou os dados do Quarto Inventário Nacional (MCTI, 2020) publicado em dezembro de 2020. Nossas estimativas são diferentes em relação às estimativas do Quarto Inventário (MCTI, 2020) em alguns aspectos e, no presente método, adotamos algumas simplificações, que poderão ser melhoradas nas próximas edições do SEEG MUT, de acordo com a disponibilidade de dados. As diferenças são as seguintes:

- As estimativas de emissões e remoções são anuais, e portanto as equações aplicadas no presente método não consideram o parâmetro T, presente em algumas equações do Quarto Inventário (MCTI, 2020);

- Os estoques de carbono das classes de vegetação nativa foram estimados para cada classe de vegetação nativa do MapBiomas por bioma, a partir da média ponderada de acordo com a representatividade das fitofisionomias do IBGE no bioma disponível no Quarto Inventário (MCTI, 2020), que no Quarto Inventário é calculado a partir de mapas de biomassa dos biomas;

- Apresentamos estimativas simplificadas de estoque e incremento de carbono referentes às classes de uso agropecuário, que no Quarto Inventário é calculado por estado;

- Apresentamos estimativas simplificadas de estoque e incremento de carbono referentes à classe de silvicultura (floresta plantada), que no Quarto Inventário é calculado de acordo com a proporção de Eucalipto e Pinus por estado;

- Não calculamos as emissões referentes à atividade de corte seletivo na Amazônia, considerada no Quarto Inventário;

- Não calculamos emissões relacionadas a carbono orgânico no solo associadas a diferentes transições de uso da terra;

5 RESULTADOS

Os resultados são apresentados por emissões de CO_2 por mudanças de uso da terra, queima de resíduos florestais e emissões totais no setor de uso da terra e florestas, como também as remoções em áreas protegidas, florestas secundárias e outras mudanças de uso da terra, no período de 1990 a 2020.

A Figura 11 apresenta as emissões brutas por todas as categorias calculadas no setor Mudança de Uso da Terra e Floresta a nível Nacional, e a Figura 12, as emissões totais líquidas nacionais e por bioma.

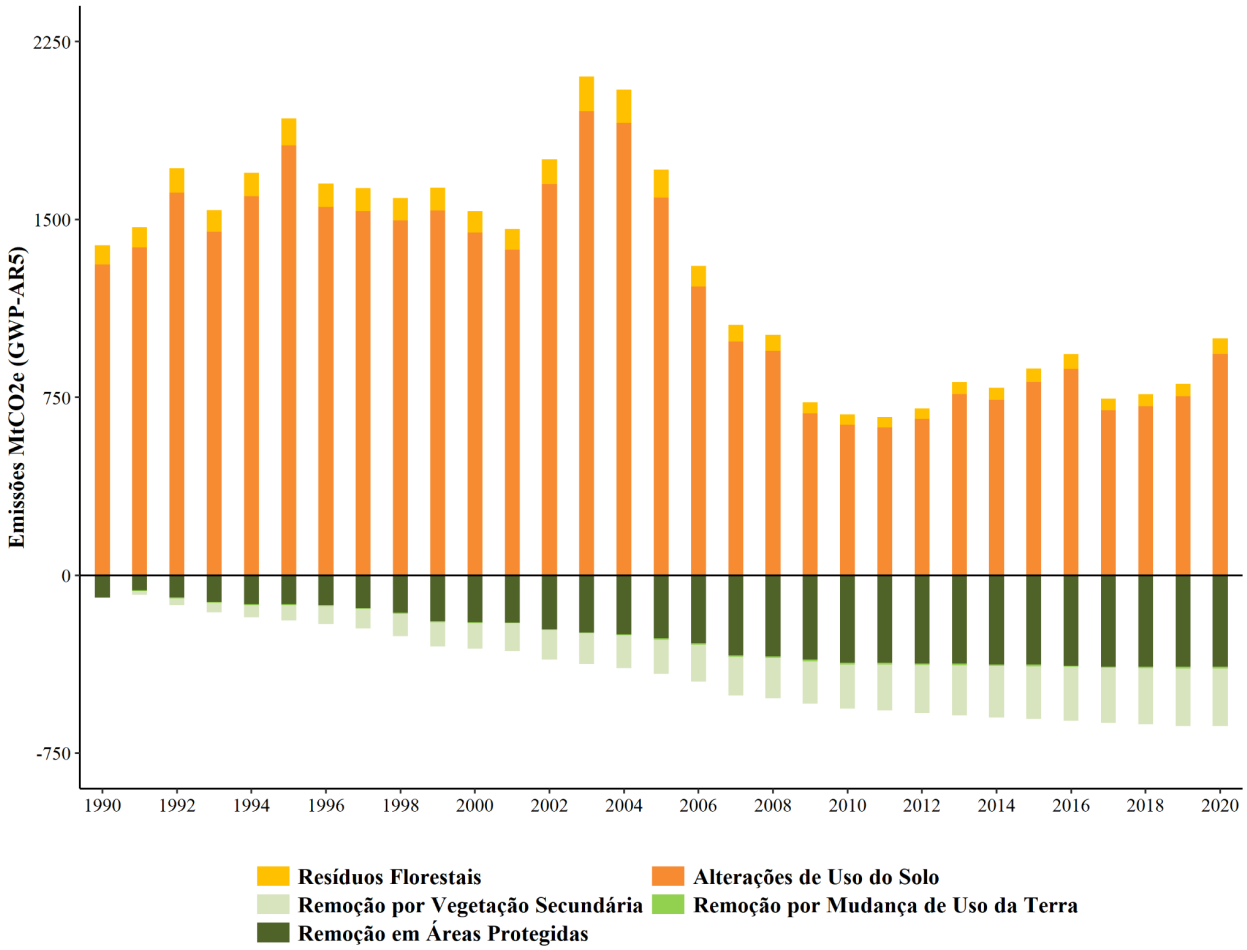

Figura 11. Emissões brutas totais nacionais em milhões de toneladas de CO_2e (GWP AR5) por categoria do setor MUT ao longo do período de 1990-2020.

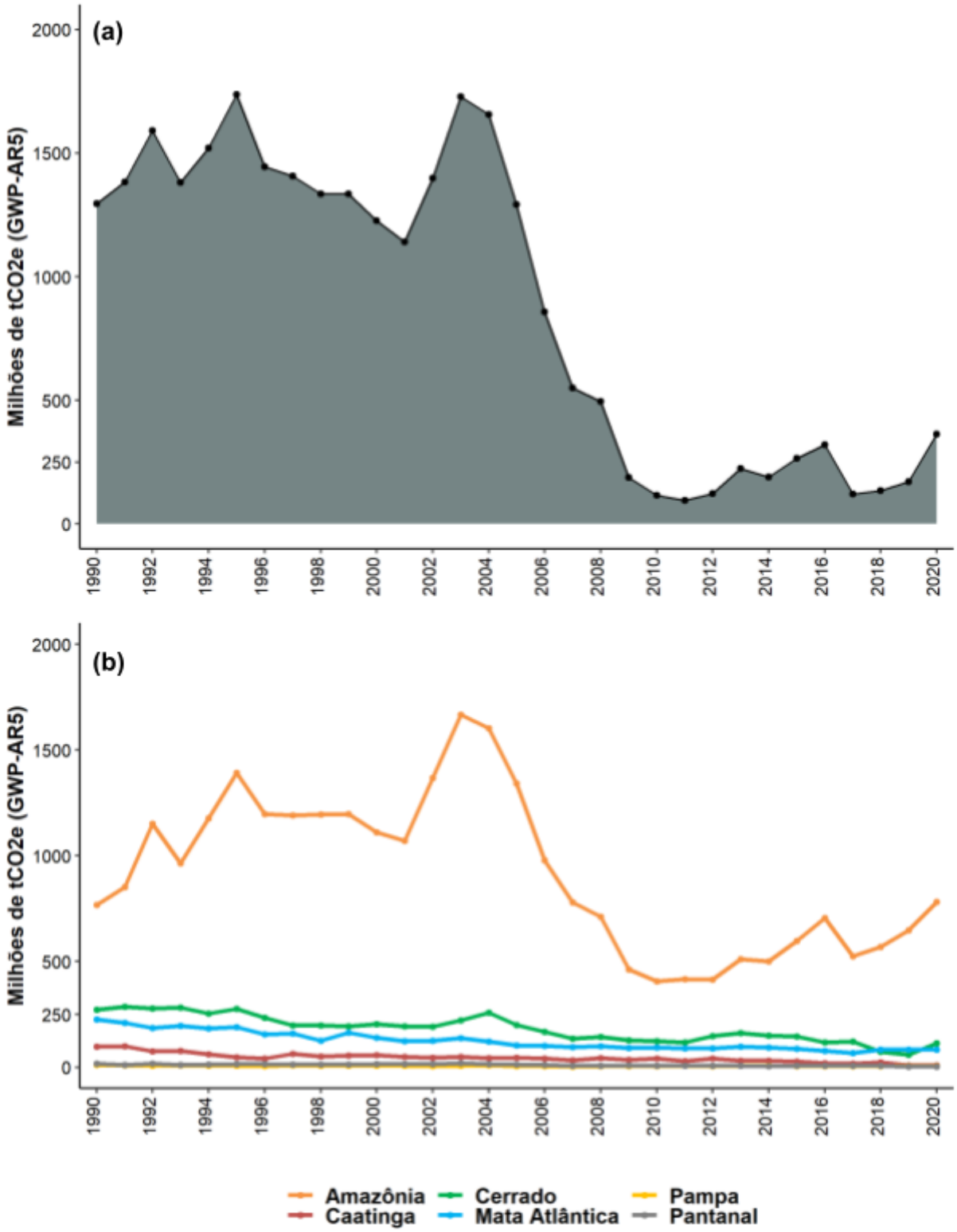

Figura 12. Emissões líquidas totais nacionais (a) e Emissões brutas por bioma (b) em milhões de toneladas de CO_2e (GWP AR5) associadas ao setor MUT ao longo do período de 1990-2020.

5.1 Emissões por alterações de uso da terra

A Tabela 9 apresenta as emissões brutas de CO_2 por alterações do uso da terra por bioma e estado no período de 1990 a 2020, enquanto a Figura 11 apresenta as emissões brutas por alteração de uso da terra a nível nacional.

Tabela 9. Emissões de tCO_2e (GWP AR5) por alterações de uso da terra por bioma e estado a cada cinco anos no período de 1990-2020.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Amazônia	AC	21,726,865	35,490,247	29,134,145	34,347,750	20,050,675	22,660,971	47,307,072
	AM	20,478,549	35,694,169	35,816,748	65,260,424	42,991,275	69,004,062	101,343,623
	AP	5,760,477	8,011,880	8,037,958	6,323,478	4,964,848	7,365,172	1,612,762
	MA	107,332,631	66,942,661	83,659,388	55,887,420	33,608,284	37,470,531	22,645,049
	MT	184,150,540	492,914,204	339,951,291	453,116,810	70,050,625	116,087,995	119,920,286
	PA	276,488,629	412,549,392	367,384,137	414,984,470	167,454,001	204,522,972	328,809,853
	RO	66,104,108	207,667,354	142,372,965	192,441,979	27,758,276	72,622,368	85,416,014
	RR	8,158,998	13,962,939	21,492,593	19,055,528	9,241,530	22,920,479	19,922,933
	TO	31,085,138	34,295,093	15,892,158	6,341,491	3,348,368	4,398,852	1,687,844
Caatinga	AL	1,518,653	789,656	503,237	425,312	617,427	457,315	176,974
	BA	32,456,052	18,710,380	17,804,556	11,632,456	8,514,079	8,868,841	3,405,454
	CE	26,917,897	7,654,077	18,597,321	18,458,063	9,072,800	6,658,025	2,175,496
	MA	0	0	66	41	0	0	0
	MG	3,327,130	1,744,888	1,868,886	1,350,795	823,139	1,388,835	334,548
	PB	6,584,200	4,627,135	4,015,191	2,153,876	7,576,272	2,030,903	532,784
	PE	8,431,773	4,358,015	3,875,075	2,771,056	2,826,881	2,123,229	607,320
	PI	6,248,947	2,395,635	3,524,891	3,674,361	1,999,396	1,986,239	947,679
	RN	4,838,289	2,671,381	3,913,977	2,103,579	5,971,973	1,584,659	550,271
	SE	1,147,330	909,844	673,717	279,484	427,476	301,621	297,897
Cerrado	BA	5,776,131	7,638,388	10,179,699	11,692,384	13,175,303	9,867,465	13,225,072
	DF	843,133	467,098	472,056	261,057	192,046	227,599	70,240
	GO	48,393,911	47,367,930	33,102,401	27,685,808	15,879,498	19,445,064	10,673,861
	MA	12,522,893	12,469,480	17,390,783	22,679,263	15,269,472	19,067,089	26,404,502
	MG	40,278,121	33,739,782	26,750,332	23,376,690	17,959,722	17,125,247	9,438,740

	MS	73,888,428	62,754,526	32,804,033	22,292,798	11,399,056	11,204,314	4,577,203
	MT	51,716,161	66,688,957	47,476,253	46,838,005	14,661,574	22,576,068	10,593,751
	PA	846,383	1,444,209	1,141,268	1,438,238	423,639	1,357,501	749,834
	PI	2,103,004	2,031,748	3,472,462	8,911,007	12,555,113	8,233,387	8,712,025
	PR	242,557	254,666	225,725	173,256	145,065	170,252	19,094
	RO	53,429	65,400	157,408	303,790	144,428	127,798	867
	SP	5,023,419	5,975,820	4,648,605	3,765,783	3,382,302	2,797,804	123,849
	TO	14,760,714	19,572,926	15,685,727	18,727,771	11,832,459	25,765,969	22,654,884
Mata Atlântica	AL	4,400,696	2,309,419	979,532	833,200	1,326,698	570,242	317,631
	BA	42,308,589	39,307,503	18,922,893	17,362,997	16,635,999	10,798,250	15,294,431
	ES	6,376,870	7,918,553	8,622,931	1,882,827	2,820,022	4,139,304	3,415,114
	GO	1,024,281	1,433,998	963,827	542,895	292,335	198,139	140,434
	MG	33,861,200	36,019,334	28,481,507	23,375,579	18,234,959	21,548,882	15,978,868
	MS	9,364,966	3,819,429	2,205,751	1,297,014	552,809	943,121	774,000
	PB	790,042	609,154	147,268	388,544	230,621	93,750	93,353
	PE	3,769,104	2,573,548	522,816	1,092,621	1,381,073	507,784	342,184
	PR	44,491,240	32,853,912	30,305,749	17,019,539	15,028,143	15,794,937	14,770,546
	RJ	5,555,604	2,454,437	2,719,386	1,256,226	1,556,367	1,726,377	1,373,325
	RN	336,345	27,807	115,534	129,516	150,799	62,387	71,433
	RS	11,021,182	8,945,570	8,327,013	6,463,417	7,797,880	5,887,016	6,974,472
	SC	23,243,682	17,387,121	16,283,369	15,209,661	12,658,796	10,368,395	10,283,365
	SE	6,603,968	1,977,111	984,685	1,026,917	500,507	295,110	342,237
	SP	20,154,640	21,603,488	12,695,148	9,273,337	9,317,076	9,793,472	8,795,283
Pampa	RS	11,329,331	7,289,435	6,277,039	4,712,094	5,423,420	5,705,941	5,247,169
Pantanal	MS	12,134,537	8,749,536	9,516,866	8,298,619	5,559,785	3,726,652	1,959,981
	MT	3,698,684	6,051,118	4,944,516	3,540,994	1,771,915	2,117,018	962,095

5.2 Emissões por queima de resíduos florestais

A Tabela 10 apresenta as emissões de CO_2 por queima de resíduos florestais (lenha e madeira extraída) por bioma e estado brasileiro no período de 1990 a 2020.

Tabela 10. Emissões de tCO_2e (GWP-AR5) por queima de resíduos florestais por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2020.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Amazônia	AC	1,404,363	2,301,526	1,887,957	2,634,818	1,535,711	1,734,151	3,627,934
	AM	1,300,143	2,269,763	2,244,634	4,957,131	3,254,855	5,271,687	7,740,979
	AP	88,082	117,478	427,945	457,836	348,167	540,972	118,739
	MA	6,905,780	4,252,781	5,300,443	4,033,235	2,458,638	2,748,356	1,595,974
	MT	11,847,118	31,955,700	21,901,230	33,661,846	4,775,723	7,820,375	8,427,271
	PA	17,677,104	26,616,291	23,671,102	31,657,079	12,503,241	15,287,872	24,632,913
	RO	4,255,611	13,496,384	9,234,177	14,688,865	2,042,721	5,452,427	6,425,718
	RR	520,124	896,644	1,384,897	1,440,224	687,076	1,679,618	1,504,400
	TO	2,003,675	2,215,025	1,026,154	466,999	249,130	317,606	115,804
Caatinga	AL	96,823	48,196	29,945	29,753	45,820	33,598	11,472
	BA	2,091,535	1,188,942	1,129,377	862,942	615,307	646,901	233,838
	CE	1,742,632	483,919	1,205,950	1,418,256	685,042	502,245	159,592
	MA	0	0	0	0	0	0	0
	MG	213,504	107,593	116,515	97,796	57,822	101,486	19,793
	PB	424,690	296,177	255,274	158,816	579,386	150,450	31,719
	PE	543,400	274,902	244,696	201,623	207,079	156,960	38,147
	PI	405,235	151,479	225,984	280,083	149,270	148,083	66,670
	RN	310,040	169,094	250,643	158,683	456,401	115,180	36,066
	SE	71,944	57,691	41,917	18,423	31,024	19,907	21,260
Cerrado	BA	358,286	420,578	627,646	863,267	985,593	725,133	888,217
	DF	50,180	26,167	23,580	12,504	10,630	12,140	3,155
	GO	2,916,543	2,793,230	1,850,395	1,634,371	917,440	910,071	450,939
	MA	806,119	791,017	1,116,207	1,724,865	1,070,254	1,425,182	1,786,608
	MG	2,060,392	1,730,373	1,375,320	1,259,989	787,708	710,584	353,731
	MS	4,711,164	3,949,519	1,962,053	1,447,203	689,260	497,067	176,157
	MT	3,304,826	4,202,743	2,951,227	3,344,212	995,521	1,459,653	568,669
	PA	53,760	91,565	72,278	108,941	24,952	101,807	24,840
	PI	132,648	124,937	220,071	679,362	960,460	626,085	590,938
	PR	5,917	2,490	4,392	2,714	1,176	3,231	253

	RO	3,119	3,175	9,790	22,225	10,518	9,077	54
	SP	212,142	229,680	130,716	86,112	118,073	59,198	2,981
	TO	925,725	1,220,649	970,671	1,377,741	831,306	1,766,978	1,375,505
Mata Atlântica	AL	257,728	133,495	44,633	48,618	78,100	15,851	12,732
	BA	2,553,466	2,362,827	1,131,137	1,191,053	1,129,978	684,801	934,429
	ES	334,773	480,867	522,476	107,295	158,593	218,048	202,134
	GO	64,179	90,333	60,614	39,668	17,540	9,525	7,399
	MG	1,955,059	2,151,840	1,684,529	1,544,244	1,050,603	1,382,775	897,555
	MS	593,309	230,568	113,353	70,117	14,266	20,713	20,687
	PB	50,279	38,908	7,974	29,553	15,806	5,275	5,820
	PE	239,643	162,137	25,613	76,721	91,295	32,928	17,744
	PR	2,483,376	1,813,268	1,722,441	977,788	725,399	845,793	808,677
	RJ	356,563	145,480	164,894	87,360	106,565	116,275	85,098
	RN	21,133	1,385	7,035	9,135	10,296	4,099	4,924
	RS	658,437	530,387	487,134	409,814	354,542	372,883	452,986
	SC	1,317,543	944,631	880,519	796,854	427,662	498,602	538,772
	SE	426,840	125,523	61,372	75,166	35,500	18,522	22,227
	SP	1,129,209	1,144,708	558,765	424,022	392,474	376,462	283,854
Pampa	RS	465,804	322,686	288,885	235,316	210,646	299,363	303,557
Pantanal	MS	775,291	542,166	595,437	613,801	392,589	258,737	148,439
	MT	231,210	376,184	314,144	256,486	123,879	148,495	72,226

5.3 Remoções em áreas protegidas

A Tabela 11 apresenta as remoções de CO_2 contabilizadas em áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) por bioma no período de 1990 a 2020 (Fonte dos dados espaciais sobre áreas protegidas: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Fundação Nacional do Índio, 2019).

Tabela 11. Remoções de tCO_2e (GWP-AR5) em áreas protegidas por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2020.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Amazônia	AC	-5,626,562	-5,807,202	-6,887,973	-10,623,715	-11,723,013	-12,134,933	-12,094,562
	AM	-21,653,446	-28,541,264	-66,378,079	-105,153,336	-138,133,707	-142,789,536	-149,023,932
	AP	-3,826,149	-3,858,883	-6,519,127	-13,088,543	-17,104,644	-17,058,393	-17,017,609
	MA	-5,443,086	-5,680,451	-5,462,320	-5,267,282	-5,236,914	-5,062,568	-4,955,785
	MT	-11,062,600	-11,292,139	-13,335,597	-15,226,857	-16,370,093	-18,426,692	-18,355,635
	PA	-22,366,160	-31,061,113	-48,794,381	-58,524,573	-111,094,938	-111,140,946	-114,163,815
	RO	-9,574,769	-9,622,221	-12,760,013	-14,136,544	-14,584,556	-14,867,255	-14,728,900
	RR	-4,094,481	-14,044,069	-16,788,713	-17,549,819	-24,593,779	-24,645,709	-24,618,634
	TO	0	-11,002	-13,362	-18,515	-17,091	-15,785	-14,904
Caatinga	AL	-13	-300	-241	-280	-2,622	-2,806	-2,704
	BA	-234,858	-320,913	-1,040,679	-1,047,423	-1,497,517	-1,485,922	-1,907,341
	CE	-13,527	-14,023	-292,258	-292,696	-297,618	-294,557	-294,151
	MA	0	0	-1	0	0	0	0
	MG	-21,540	-21,108	-50,376	-55,960	-81,127	-83,686	-83,393
	PB	-12	-327	-319	-10,866	-11,696	-11,410	-11,121
	PE	-2,658	-2,491	-107,937	-126,026	-125,567	-128,453	-170,981
	PI	-38,693	-38,025	-550,648	-544,130	-538,999	-535,153	-532,918
	RN	-2,534	-2,865	-4,972	-4,794	-4,071	-6,873	-6,709
	SE	-880	-856	-827	-819	-2,253	-2,268	-2,244
Cerrado	BA	-175,719	-484,498	-443,507	-576,713	-1,465,783	-1,398,036	-1,376,579
	DF	-112,062	-100,800	-96,451	-246,174	-239,847	-234,315	-231,403
	GO	-368,191	-365,939	-493,602	-1,469,508	-1,473,825	-1,462,211	-1,473,030
	MA	-674,293	-1,416,622	-1,420,161	-1,935,408	-2,397,755	-2,649,669	-2,637,266
	MG	-505,761	-517,970	-981,853	-1,533,827	-1,574,046	-1,610,814	-1,656,239
	MS	-148,555	-147,712	-162,405	-230,111	-244,504	-254,525	-263,328
	MT	-3,174,166	-3,242,301	-4,769,567	-5,097,237	-5,127,947	-5,270,008	-5,254,431
	PA	-1,583	-1,578	-1,866	-1,851	-11,956	-11,805	-11,616
	PI	-128,087	-127,962	-677,433	-987,950	-983,581	-977,347	-975,245
	PR	0	-62,198	-57,595	-55,017	-52,623	-51,705	-50,619

	RO	-73,028	-72,934	-72,905	-71,896	-70,799	-70,686	-70,667
	SP	-94,387	-84,437	-77,197	-79,459	-76,733	-75,089	-77,550
	TO	-461,372	-460,971	-3,506,659	-5,286,139	-5,672,447	-5,842,263	-5,794,697
Mata Atlântica	AL	-19,412	-18,435	-47,324	-45,173	-44,390	-45,758	-46,444
	BA	-44,333	-295,126	-337,902	-564,264	-668,966	-702,169	-688,059
	ES	-67,523	-72,496	-73,927	-81,035	-90,870	-109,780	-111,381
	GO	0	0	0	0	-664	-660	-657
	MG	-248,771	-410,126	-564,043	-656,294	-666,198	-853,377	-846,052
	MS	-1,564	-4,521	-443,369	-442,757	-445,584	-452,629	-452,006
	PB	-15,851	-18,513	-18,328	-19,414	-22,133	-22,467	-22,714
	PE	-4,815	-4,627	-13,493	-13,247	-23,533	-44,172	-43,922
	PR	-535,791	-1,008,970	-1,161,283	-1,158,296	-1,188,195	-1,187,647	-1,181,094
	RJ	-328,693	-329,838	-347,793	-474,191	-542,413	-590,300	-601,820
	RN	-7,522	-6,291	-18,062	-19,612	-18,499	-18,049	-17,804
	RS	-84,911	-101,533	-188,517	-208,015	-206,915	-204,319	-202,331
	SC	-182,863	-193,599	-233,069	-335,196	-380,241	-397,194	-401,647
	SE	-42	-40	-40	-40	-6,806	-7,125	-7,211
	SP	-1,715,502	-1,695,191	-1,788,692	-1,830,850	-2,047,487	-2,068,439	-2,088,763
Pampa	RS	-68,403	-542,227	-634,856	-627,326	-635,681	-636,161	-632,162
Pantanal	MS	-282,336	-274,878	-303,897	-388,499	-406,846	-406,479	-411,595
	MT	-147,391	-147,252	-146,835	-330,437	-355,487	-351,845	-350,413

5.4 Remoções por vegetação secundária

As remoções brutas de CO_2 por vegetação secundária por bioma no período de 1990 a 2020 estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12. Remoções de tCO_2e (GWP-AR5) por vegetação secundária por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2020.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Amazônia	AC	0	-497,370	-924,180	-1,397,984	-1,879,650	-2,197,944	-2,558,890
	AM	-56	-2,339,133	-3,799,053	-7,096,153	-9,367,085	-11,402,513	-12,655,165

	AP	-88	-357,449	-975,844	-2,340,260	-2,885,037	-3,358,882	-3,804,284
	MA	0	-4,340,002	-7,547,981	-11,052,304	-12,331,930	-14,625,052	-17,018,916
	MT	-438	-3,665,023	-4,842,279	-7,839,680	-12,478,497	-16,515,002	-18,416,341
	PA	-792	-12,064,154	-20,034,472	-26,823,747	-33,972,228	-45,957,475	-49,507,347
	RO	-637	-1,413,744	-2,219,411	-2,868,359	-4,533,358	-6,399,302	-7,319,395
	RR	0	-490,476	-984,419	-1,571,545	-2,683,858	-3,286,525	-3,541,465
	TO	0	-774,963	-1,120,473	-1,378,788	-2,037,139	-2,689,564	-2,722,483
Caatinga	AL	-596	-167,639	-252,833	-382,311	-659,280	-563,191	-612,334
	BA	-2,474	-3,491,065	-6,524,405	-8,032,043	-10,177,107	-11,718,776	-12,312,737
	CE	-3,187	-2,169,122	-3,906,976	-4,667,720	-5,231,921	-6,486,211	-7,351,217
	MA	0	-9	-21	-20	-25	-28	-24
	MG	-141	-491,246	-718,104	-946,979	-1,038,022	-1,099,860	-1,138,794
	PB	-256	-743,558	-964,935	-1,578,313	-2,166,756	-2,311,724	-2,659,592
	PE	-281	-638,288	-1,123,940	-1,643,470	-2,275,871	-2,380,816	-2,685,328
	PI	-1,261	-653,750	-1,369,939	-1,932,774	-2,609,108	-3,064,817	-3,257,795
	RN	-394	-991,538	-1,032,184	-1,527,206	-2,047,613	-2,012,306	-2,382,215
	SE	-745	-161,946	-347,787	-346,740	-515,408	-503,732	-506,378
Cerrado	BA	-7,286	-606,701	-876,460	-1,063,894	-1,224,121	-1,333,738	-1,482,300
	DF	-667	-40,277	-83,364	-107,326	-134,571	-158,882	-159,826
	GO	-3,341	-3,057,361	-5,066,447	-5,866,267	-7,065,707	-7,863,599	-8,108,319
	MA	-2,877	-844,043	-2,025,067	-2,264,637	-2,696,198	-3,505,004	-3,798,262
	MG	-4,990	-3,185,082	-5,581,416	-7,131,398	-8,374,991	-9,423,416	-10,289,953
	MS	-120	-1,831,611	-2,630,562	-2,900,760	-3,607,832	-4,051,764	-4,164,238
	MT	-1,475	-2,242,216	-3,534,331	-4,032,192	-5,290,378	-6,357,693	-6,814,724
	PA	-18	-39,932	-96,505	-135,497	-211,866	-299,159	-309,615
	PI	-3,521	-300,463	-492,900	-626,071	-808,028	-970,511	-1,138,055
	PR	-21	-24,775	-75,636	-110,028	-157,055	-186,724	-180,012
	RO	-805	-13,624	-26,459	-21,973	-24,687	-40,883	-46,584
	SP	-340	-377,334	-691,669	-902,140	-974,712	-905,291	-897,319
	TO	-3,346	-1,394,174	-2,627,177	-3,119,168	-3,791,472	-4,535,202	-4,887,201
Mata Atlântica	AL	0	-88,700	-197,583	-250,054	-326,438	-373,156	-443,849
	BA	-482	-1,431,984	-2,652,695	-3,673,511	-4,566,153	-5,432,065	-5,696,250

	ES	-23	-432,436	-620,983	-855,140	-1,308,208	-1,385,514	-1,473,316
	GO	0	-37,786	-60,529	-68,033	-76,001	-94,859	-101,041
	MG	-284	-2,387,242	-4,463,590	-6,411,847	-8,172,886	-9,176,731	-9,915,199
	MS	-3	-107,453	-169,446	-190,998	-230,062	-312,414	-371,158
	PB	0	-34,180	-79,852	-96,091	-98,594	-143,229	-153,389
	PE	0	-150,263	-315,460	-454,220	-531,919	-586,042	-666,016
	PR	-20	-1,452,022	-2,452,079	-3,296,006	-4,201,330	-4,997,659	-5,441,773
	RJ	-26	-218,462	-381,788	-506,773	-618,574	-726,067	-840,262
	RN	-1	-53,674	-55,833	-72,278	-62,991	-78,378	-79,476
	RS	-5	-528,588	-989,648	-1,447,467	-1,813,554	-2,119,623	-2,294,758
	SC	-3	-761,974	-1,441,603	-1,998,244	-2,596,268	-3,102,511	-3,246,963
	SE	-20	-80,090	-157,007	-187,570	-246,868	-313,196	-335,723
	SP	-1	-959,757	-1,522,095	-2,037,279	-2,645,488	-3,273,627	-3,674,870
Pampa	RS	-13,180	-4,786,315	-8,139,873	-10,310,830	-12,025,272	-10,889,869	-11,493,621
Pantanal	MS	0	-615,205	-1,215,466	-1,709,758	-2,190,072	-2,858,322	-3,105,565
	MT	0	-278,739	-484,708	-613,184	-867,738	-956,747	-1,057,737

5.5 Remoções por outras mudanças de uso da terra

A Tabela 13 apresenta as remoções brutas de CO_2 em decorrência de outras alterações do uso da terra por bioma no período de 1990 a 2020.

Tabela 13. Remoções brutas de tCO_2e (GWP-AR5) por outros tipos de mudança de uso da terra por bioma e estado brasileiro a cada cinco anos no período de 1990 a 2020.

Bioma	UF	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Amazônia	AC	-135	-2,552	-140	-173	-252	-188	-292
	AM	-2,631	-4,885	-2,596	-4,600	-3,317	-7,905	-7,309
	AP	-3,362	-1,953	-4,146	-11,953	-12,904	-23,586	-35,878
	MA	-1,397	-1,848	-3,259	-19,007	-23,386	-42,195	-77,125
	MT	-110,488	-262,590	-312,165	-705,918	-1,051,975	-1,221,726	-1,690,780
	PA	-32,036	-48,480	-86,124	-98,534	-128,748	-185,251	-332,669
	RO	-10,144	-9,851	-7,451	-28,571	-35,511	-125,424	-155,618

	RR	-29	-57	-69	-740	-5,014	-8,337	-11,049
	TO	-175	-157	-1,488	-783	-9,493	-10,346	-20,998
Caatinga	AL	-3,198	-3,658	-2,748	-2,657	-2,049	-4,254	-3,217
	BA	-72,100	-71,322	-55,369	-56,099	-67,623	-53,528	-75,021
	CE	-34,845	-87,467	-68,795	-35,922	-42,578	-43,620	-35,550
	MA	0	0	0	-1	0	-5	0
	MG	-3,551	-6,637	-3,268	-2,936	-5,082	-3,978	-3,117
	PB	-15,023	-9,535	-16,753	-13,210	-31,632	-6,852	-12,780
	PE	-29,170	-21,174	-38,888	-23,020	-30,311	-29,323	-29,040
	PI	-40,723	-23,629	-40,303	-21,320	-28,624	-26,765	-23,535
	RN	-26,957	-18,579	-24,646	-16,786	-26,320	-16,118	-13,439
	SE	-5,955	-8,239	-1,412	-2,594	-3,031	-4,792	-17,453
Cerrado	BA	-9,867	-27,568	-39,767	-72,571	-80,435	-185,416	-127,040
	DF	-15,921	-26,674	-21,149	-15,025	-13,275	-14,342	-9,867
	GO	-474,093	-1,045,745	-572,585	-447,920	-880,602	-881,085	-577,541
	MA	-15,633	-20,739	-29,054	-25,779	-30,402	-56,715	-63,865
	MG	-156,244	-217,626	-170,521	-296,126	-682,712	-413,966	-290,648
	MS	-230,531	-496,504	-378,030	-234,004	-671,887	-841,168	-749,386
	MT	-327,805	-596,572	-390,294	-520,809	-619,526	-745,504	-678,354
	PA	-3,290	-1,021	-886	-1,649	-1,772	-5,404	-7,149
	PI	-9,162	-6,411	-8,875	-14,520	-16,067	-47,702	-42,083
	PR	-4,051	-30,693	-7,185	-7,410	-16,505	-16,977	-8,685
	RO	-6,275	-2,065	-5,882	-13,996	-12,150	-6,556	-11,089
	SP	-75,736	-151,453	-109,260	-80,785	-122,906	-41,930	-41,070
	TO	-165,689	-114,085	-122,963	-167,356	-153,160	-272,919	-210,363
Mata Atlântica	AL	-416	-1,529	-3,193	-2,024	-1,842	-555	-600
	BA	-140,798	-90,593	-347,621	-576,939	-175,262	-162,220	-280,150
	ES	-12,599	-32,680	-30,131	-117,280	-84,741	-70,407	-120,873
	GO	-86	-3	-34	-2	-311	-782	-51
	MG	-37,248	-78,913	-42,709	-196,317	-668,226	-182,038	-110,718
	MS	-1,762	-1,077	-1,585	-815	-6,524	-9,063	-2,787
	PB	-29	-6	-63	-62	-167	-138	-12

	PE	-145	-213	-276	-101	-339	-134	-38
	PR	-93,331	-116,004	-98,140	-175,072	-642,254	-294,453	-176,431
	RJ	-1,581	-2,869	-1,884	-9,582	-20,691	-9,164	-8,534
	RN	-639	-118	-703	-201	-225	-728	-176
	RS	-8,004	-6,908	-14,074	-26,674	-133,715	-45,162	-25,719
	SC	-80,503	-112,511	-175,350	-288,827	-633,219	-178,271	-126,832
	SE	-1,867	-4,448	-4,930	-4,075	-4,354	-2,390	-2,788
	SP	-10,322	-61,495	-54,306	-167,687	-576,272	-194,852	-141,141
Pampa	RS	-81,337	-28,621	-34,825	-217,375	-1,008,035	-71,075	-254,616
Pantanal	MS	-738	-1,456	-3,269	-1,097	-1,797	-12,601	-4,511
	MT	-2,328	-16,691	-6,255	-3,734	-17,207	-12,602	-9,450

6 REFERÊNCIAS

Alencar, A., Shimbo, J. Z., Lenti, F., Balzani Marques, C., Zimbres, B., Rosa, M., et al. 2020. Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. Remote Sensing, 12(6), 924.

Baker, T. R. et al. 2004. Increasing biomass in Amazonian forest plots. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, London, v.359, n.1443, p.353-365.

Berenguer, E., Malhi, Y., Brando, P., Cardoso Nunes Cordeiro, A., Ferreira, J., França, F., Chesini Rossi, L., Maria Moraes de Seixas, M., Barlow, J. 2018 Tree growth and stem carbon accumulation in human-modified Amazonian forests following drought and fire. Phil. Trans. R. Soc. B 373: 20170308.

Bongers, F., Chazdon, R., Poorter, L., & Peña-Claros, M. 2015. The potential of secondary forests. Science, 348(6235), 642.

Brando, P. M., Paolucci, L., Ummenhofer, C. C., Ordway, E. M., Hartmann, H., Cattau, M. E., Rattis, L., Medjibe, V., Coe, M. T., & Balch, J. 2019. Droughts, Wildfires, and Forest Carbon Cycling: A Pantropical Synthesis. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 47, 555–581.

Brienen, R. J. W., Phillips, O. L., Feldpausch, T. R., Gloor, E., Baker, T. R., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., Monteagudo-Mendoza, A., Malhi, Y., Lewis, S. L., Vásquez Martinez, R., Alexiades, M., Álvarez Dávila, E., Alvarez-Loayza, P., Andrade, A., Aragaõ, L. E. O. C., Araujo-Murakami, A., Arets, E. J. M. M., Arroyo, L., … Zagt, R. J. 2015. Long-term decline of the Amazon carbon sink. Nature, 519(7543), 344–348.

Bustamante, M. M. C., Silva, J. S. O., Cantinho, R. Z., Shimbo, J. Z., Oliveira, P. V. C., Santos, M. M. O., et al. 2018. Engagement of scientific community and transparency in C accounting: the Brazilian case for anthropogenic greenhouse gas emissions from land use, land-use change and forestry. Environmental Research Letters, 13(5), 055005.

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.

Fearnside, P. M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. Forest Ecology and Management, 80(1–3), 21–34.

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. Acessado em: 10 de outubro de 2020.

IBGE, 2012. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed., Rio de Janeiro, 276 p.

IBGE, 2019. Mapa de Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil - 1:250 000. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=acesso-ao-produto. Accessed 5 July 2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto Prodes – Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite. Disponível em: 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. Genebra, Suíça. Disponível em: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.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. Genebra, Suíça.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Genebra, Suíça.

Malhi, Y., Aragão, L. E. O. C., Metcalfe, D. B., Paiva, R., Quesada, C. A., Almeida, S., Anderson, L., Brando, P., Chambers, J. Q., da Costa, A. C. L., Hutyra, L. R., Oliveira, P., Patiño, S., Pyle, E. H., Robertson, A. L., & Teixeira, L. M. 2009. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. Global Change Biology, 15(5), 1255–1274.

Malhi, Y., Doughty, C. E., Goldsmith, G. R., Metcalfe, D. B., Girardin, C. A. J., Marthews, T. R., del Aguila-Pasquel, J., Aragão, L. E. O. C., Araujo-Murakami, A., Brando, P., da Costa, A. C. L., Silva-Espejo, J. E., Farfán Amézquita, F., Galbraith, D. R., Quesada, C. A., Rocha, W., Salinas-Revilla, N., Silvério, D., Meir, P., & Phillips, O. L. 2015. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. Global Change Biology, 21(6), 2283–2295.

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.

MCTI – Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 2020. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Miranda, S. C. 2012. Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília.

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

Nogueira E.M. et al. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. Forest Ecology and Management, v.256, n.11, p.1853-1867.

Nunes, E. L., Costa, M. H., Malhado, A. C. M., Dias, L. C. P., Vieira, S. A., Pinto, L. B., & Ladle, R. J. 2012. Monitoring carbon assimilation in South America's tropical forests: Model specification and application to the Amazonian droughts of 2005 and 2010. Remote Sensing of Environment, 117, 449–463.

Projeto MapBiomas – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em agosto de 2020, através do link: http://mapbiomas.org/).

Pyle, E. H., Santoni, G. W., Nascimento, H. E. M., Hutyra, L. R., Vieira, S., Curran, D. J., van Haren, J., Saleska, S. R., Chow, V. Y., Carmago, P. B., Laurance, W. F., & Wofsy, S. C. 2008. Dynamics of carbon, biomass, and structure in two Amazonian forests. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 113(G1), G00B08.

Rocha H.R.D. et al. 2002. Measurements of CO2 exchange over a woodland savanna (Cerrado sensu stricto) in southeast Brasil. Biota Neotropica, São Paulo, v.2, n.1, p.1-11.

Scaranello M. A. D. S. 2010. Dinâmica da comunidade arbórea de floresta ombrófila densa de terras baixas e de restinga no Parque Estadual da Serra do Mar, SP. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Silva Junior, C. H. L., Aragão, L. E. O. C., Anderson, L. O., Fonseca, M. G., Shimabukuro, Y. E., Vancutsem, C., Achard, F., Beuchle, R., Numata, I., Silva, C. A., Maeda, E. E., Longo, M., & Saatchi, S. S. (2020). Persistent collapse of biomass in Amazonian forest edges following deforestation leads to unaccounted carbon losses. Science Advances, 6(40), 1–9.

Vieira, S., De Camargo, P. B., Selhorst, D., Da Silva, R., Hutyra, L., Chambers, J. Q., Brown, I. F., Higuchi, N., Dos Santos, J., Wofsy, S. C., Trumbore, S. E., & Martinelli, L. A. 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. Oecologia, 140(3), 468–479.

Wright, S. J. 2013. The carbon sink in intact tropical forests. Global Change Biology, 19(2), 337–33

Anexo 1 – Dados da regressão das emissões (Seeg 9) e com base na taxa do desmatamento (Prodes).

Os dados utilizados nas regressões para estimar as emissões de 2020 para a Amazônia e Cerrado são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 1. Dados de desmatamento (Prodes/INPE) e Emissões brutas (Seeg 9) na Amazônia e no Cerrado de 1990 a 2020.

	Amazônia		Cerrado	
Ano	**Prodes**	**SEEG9_EB_MtCO_2e**	**Prodes**	**SEEG9_EB_MtCO_2e**
1990	13.150	767,29	-	-
1991	10.590	851,46	-	-
1992	13.377	1.150,74	-	-
1993	14.563	964,32	-	-
1994	14.563	1.177,16	-	-
1995	28.262	1.391,65	-	-
1996	17.841	1.198,41	-	-
1997	12.954	1.190,48	-	-
1998	16.807	1.196,10	-	-
1999	17.043	1.198,39	-	-
2000	17.982	1.110,82	-	-
2001	17.976	1.071,71	29423	194,06
2002	21.438	1.368,89	29423	191,94
2003	25.240	1.667,30	29939	221,66
2004	27.614	1.601,91	29939	258,52
2005	18.743	1.341,76	17613	200,71
2006	14.162	978,93	17613	168,12
2007	11.588	779,73	13784	136,11
2008	12.804	712,33	13784	144,44
2009	7.403	462,27	9994	126,62
2010	6.951	407,32	9994	124,42
2011	6.378	416,67	9540	117,83
2012	4.519	413,68	9540	147,27
2013	5.817	510,42	13061	161,43
2014	4.962	501,71	10825	150,26
2015	6.150	597,91	11675	146,27
2016	7.835	705,28	6790	118,25
2017	6.916	525,56	7312	120,56

2018	7.511	569,97	6634	73,09
2019	10.106	646,50	6483	58,89
2020	10.851	782,86	7340	112,60

Anexo 2 - Cálculo das emissões de queimadas não associadas ao desmatamento

MÉTODO

Para a detecção da ocorrência e frequência das áreas queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil, foram utilizados os mapas de área queimada com 30 m de resolução espacial da Coleção 1 do MapBiomas Fogo (www.mapbiomas.org) em uma série histórica anual de 1985 a 2020. Para a identificação da vegetação nativa associada às áreas queimadas foram utilizados os mapas anuais de cobertura e uso da terra com 30 m de resolução espacial da Coleção 6 do MapBiomas (www.mapbiomas.org) também de 1985 a 2020.

Visando não analisar queimadas associadas ao processo de desmatamento, foram selecionadas apenas as formações florestais e savânicas que persistiram por toda a série histórica até o ano de 2020. Assim, foram gerados mapas de queimadas anuais, de 1985 a 2020, sobre a vegetação nativa que persistiu até 2020. Além disso, para estas mesmas áreas naturais estáveis, foram gerados mapas anuais de recorrência do fogo.

Os mapas anuais de queimadas em formações florestais e savânicas estáveis e os mapas anuais de frequência do fogo, juntamente com uma série de outras variáveis coletadas na literatura, foram, então, utilizados para o cálculo das emissões de GEE por queimadas não associadas ao desmatamento. Foram quantificados dois tipos de emissões: (1) emissões imediatas por combustão no ano da queima para todos os biomas brasileiros e (2) emissões tardias devido à mortalidade tardia de árvores, apenas para o bioma Amazônia. Adotou-se metodologias distintas para florestas e savanas, independentemente do bioma, conforme detalhado nas seções a seguir.

As formações campestres não foram consideradas porque recuperam rapidamente a sua biomassa após um evento de queima (Andrade, 1998; Gomes et al., 2020b; Montenegro, 2019). Além disso, destaca-se que o cálculo das emissões tardias ainda está sendo aprimorado. Por esse motivo, a presente nota metodológica apresenta tais estimativas, apenas para as formações florestais no bioma Amazônico, tendo em vista que este é o bioma com maior disponibilidade de dados sobre a dinâmica da vegetação após o fogo.

Cálculo das emissões de queimadas em formações savânicas

Para as formações savânicas, foram calculadas apenas as emissões decorrentes do processo de combustão do material combustível superficial. Para isso, os mapas de biomassa acima do solo (AGB), madeira morta (CWD) e serapilheira (FWD) da Quarta Comunicação Nacional (QCN) (MCTI, 2020) foram checados e corrigidos para compatibilização com os mapas de cobertura da vegetação nativa do MapBiomas. Para as savanas, o mapa de CWD considera o estoque de madeira morta com diâmetro ≥ 0,7 cm, relativas às classes de tempo de combustão de 10, 100 e 1000 horas (Brown 1974, Ottmar et al., 2001). Já o mapa de FWD considera o estoque de madeira morta com diâmetro < 0,7 cm (1 hora de tempo de combustão) e a serapilheira, acrescidos de 26% do valor da AGB (Ribeiro et al., 2011). Esta correção da FWD com a AGB foi realizada para considerar o componente herbáceo e graminoso vivo, que é um importante combustível nas savanas e é considerado na construção dos fatores de combustão (Gomes et al., 2020a).

Juntamente com fatores de combustão e emissões da literatura, os mapas anuais de queimadas em formações savânicas estáveis e os mapas de material combustível superficial foram, então, usados para gerar as estimativas de emissões de GEE pela aplicação da seguinte equação (adaptada de IPCC 2006, Volume 4, Capítulo 2):

$$E_{GEE,wd} = A \times M_{wd} \times CF_{wd} \times EF_{GEE} \times 10^{-3} \quad \text{(Eq. 1)}$$

onde: $E_{GEE,wd}$ = quantidade de GEE emitido no processo de combustão (em Mg) em função de cada GEE (e.g., CO_2, CO, CH_4, etc., Tabela 1) e da classe de material combustível (wd) considerada (CWD ou FWD); A = área queimada (em ha); M = massa de combustível disponível para combustão (Mg ha^{-1}); CF = fator de combustão por classe de material combustível (adimensional); e EF = fator de emissão por GEE (em g kg^{-1}).

Tabela 1. Fatores de emissão por combustão para gases de efeito estufa para formações florestais e savânicas (g kg-1 de matéria seca queimada). Fonte: IPCC, 2006; MCTI, 2015.

Gases	Formações savânicas	Formações florestais
CO_2	1613	1580
CO	65	104
CH_4	2,3	6,8
N_2O	0,21	0,2
NO_x	3,9	1,6

Os estoques de AGB, material combustível e fatores de combustão utilizados estão disponíveis na Tabela 2, enquanto os fatores de emissão estão disponíveis na segunda coluna da Tabela 1.

Destaca-se que esta metodologia introduz o mapeamento das classes de material combustível para o cálculo das emissões de GEE por queimadas não associadas ao desmatamento e fatores de combustão mais específicos, sendo um aprimoramento da metodologia apresentada na Nota Metodológica anterior (SEEG MUT 8, Anexo 2).

Tabela 2. Valores de biomassa acima do solo, necromassa acima do solo, e fatores de combustão utilizados para as formações savânicas de cada bioma brasileiro.

Bioma	Biomassa acima do solo (AGB, Mg ha^{-1})	Necromassa (Mg ha^{-1})		Fator de combustão (%)		Referências
		Fina (FWD)[a]	Grossa (CWD)[b]	FWD	CWD	
Amazônia	4,7 - 234,98	0,2 - 32,62	0,18 - 22,1	87,3	45,9	1,2,3,4,5,6
Caatinga	6,7 - 203,22	0,5 - 22,42	0 - 44,36	87,3	45,9	1,2,3,4,5,6
Cerrado	0 - 168,76	0 - 27,26	0 - 24,81	87,3	45,9	1,2,3,4,5,6
Mata Atlântica	16,26 - 150,2	0,78 - 8,44	0,8 - 5,96	87,3	45,9	1,2,3,4,5,6
Pampa	--	--	--	87,3	45,9	1,2,3,4,5,6
Pantanal	8,62 - 243,84	0,56 - 22,42	0,06 - 26,82	87,3	45,9	1,2,3,4,5,6

(a) serapilheira e material combustível lenhoso com até 0,69 cm de diâmetro

(b) material combustível lenhoso com mais de 0,7 cm de diâmetro

1 Kauffman et al., 1994 (Cerrado Típico)

2 Castro & Kauffman, 1998 (Cerrado Típico)

3 Ward et al., 1992 (Cerrado Típico)

4 Schimidt et al., 2016 (Cerrado Típico)

5 Santos et al., 2021 (Cerrado Típico)

6 Sato 2003 (Cerrado Típico)

Cálculo das emissões de queimadas em formações florestais

Para as formações florestais em todos os biomas, exceto Amazônia, foram calculadas apenas as emissões decorrentes do processo de combustão do material combustível superficial. Assim como para as formações savânicas, foram gerados mapas de AGB, CWD e FWD a partir dos mesmos mapas da QCN averiguados e corrigidos. Entretanto, para as florestas, o mapa de CWD considera o estoque de madeira morta com diâmetro ≥ 10 cm (Deeming et al., 1977; Brando et al., 2014; MCTI, 2020). Já o mapa de FWD considera o estoque de madeira morta com diâmetro < 10 cm e a serapilheira. Como o fogo modifica os estoques de necromassa (Berenguer et al., 2014; Brando et al., 2014; Withey et al., 2018), os mapas de CWD e FWD foram recalculados para as áreas com incêndios florestais recorrentes (frequência ≥ 2), seguindo a seguinte equação:

$$M_{wd} = AGB \times 0,58 \times P_{wd} \quad \text{(Eq. 2)}$$

onde: M_{wd} = necromassa grossa (CWD) ou fina (FWD) disponível para combustão (Mg ha^{-1}); AGB = biomassa acima do solo para determinada formação florestal sem distúrbio antrópico

(segunda coluna da Tabela 3); 0,58 = proporção entre a AGB de florestas queimadas em relação a florestas sem distúrbio antrópico; e P_{wd} = proporção de CWD ou FWD em relação à AGB de florestas queimadas (0,49 ou 0,11, respectivamente; proveniente banco de dados da Rede Amazônia Sustentável).

Finalmente, estes mapas foram utilizados na Equação 2, juntamente com os mapas anuais de queimadas em formações florestais estáveis e fatores de combustão e emissões coletados na literatura, para gerar as estimativas de emissões imediatas de GEE por combustão. Os estoques de AGB, material combustível e fatores de combustão para formações florestais estão disponíveis na Tabela 3, enquanto os fatores de emissão estão disponíveis na terceira coluna da Tabela 1.

Tabela 3. Valores de biomassa acima do solo, necromass acima do solo, e fatores de combustão utilizados para as formações florestais de cada bioma brasileiro.

Bioma	Biomassa acima do solo (AGB, Mg ha^{-1})	Necromassa (Mg ha^{-1})		Fator de combustão (%)			Referências
		Fina (FWD)[a]	Grossa (CWD)[b]	FWD	CWD, primeira queima	CWD, segunda queima	
Amazônia	0 - 404,2	0 - 35,74	0 - 37,99	68.3	64.3	82.4	1-3
Caatinga	10.84 - 203,22	0,88 - 22,42	0 - 44,36	98.25	71.9	82.4	4
Cerrado	3,92 - 168,76	0,34 - 27,26	0 - 24,82	68.3	62.9	82.4	1-2
Mata Atlântica	1,44 - 282,2	0,32 - 14	1,56 - 7,65	68.3	64.3	82.4	1-3
Pampa	1,44 - 193	5,7 - 7,26	0 - 5,96	68.3	62.9	82.4	1-2
Pantanal	12,44 - 133,38	2,46 - 21,46	0,06 - 14,62	68.3	62.9	82.4	1-2

(a) serapilheira e material combustível lenhoso com até 7,6 cm de diâmetro
(b) material combustível lenhoso com mais de 7,6 cm de diâmetro
1 Paolucci et al. (submetido; floresta estacional perenifólia)
2 Balch et al. 2008 (floresta estacional perenifólia)
3 Withey et al. 2018 (floresta de terra-firme)
4 Kauffman et al.1993 (floresta sazonalmente seca)

Cálculo das emissões tardias de incêndios florestais na Amazônia

Para as formações florestais no bioma Amazônia, foram calculadas tanto as emissões decorrentes do processo de combustão do material combustível superficial no ano da queima quanto às emissões tardias devido à mortalidade de árvores e posterior decomposição (Vasconcelos et al., 2013; Silva et al., 2020). Neste caso, ambos os processos foram interconectados segundo o modelo diagramado na Figura 1.

No ano da primeira queima, os estoques iniciais de CWD e FWD derivados da QCN foram utilizados para as estimativas das emissões imediatas de GEE (Figura 1-A). Porém, nos anos subsequentes, os estoques de CWD e FWD foram derivados da mortalidade dada em função de um percentual da AGB antes do fogo (Figura 1-B).

A AGB é exponencialmente reduzida com o efeito do fogo chegando a uma perda líquida de até 26% da AGB inicial. Por consequência, há um aumento líquido na necromassa florestal no período que se segue após o fogo (Figura 1B-D). As taxas de redução foram geradas a partir de dados de medições de 43 parcelas permanentes em diferentes regiões da Amazônia (Berenguer et al., 2021; Brando et al., 2019; Pontes-Lopes et al., 2021; Silva et al., 2018; Vasconcelos et al 2013). Nestas parcelas, a biomassa perdida pela mortalidade de árvores foi, em média, maior do que a biomassa recuperada pelo processo de regeneração natural pelo menos até 9 anos após o fogo. Destaca-se que faltam dados de monitoramento de parcelas permanentes em um horizonte de tempo mais longo, porém análises de cronossequências de parcelas indicam que os estoques iniciais de AGB na Amazônia não se recuperaram em pelo menos três décadas após o fogo (Silva et al., 2018).

No modelo de emissões, os estoques de AGB e necromassa foram sempre atualizados para os próximos eventos de queima (Figura 1-C). Desta forma, os dois processos de emissões de GEE foram interconectados, sendo que as emissões tardias foram contabilizadas como o estoque de necromassa remanescente após a combustão, emitido gradativamente para a atmosfera segundo uma taxa de decomposição 19% ao ano (Chambers et al., 1999) e convertido em CO_2 equivalente — multiplicando o estoque de necromassa decomposto (Mg ha^{-1}) pelo conteúdo de carbono (x 0,5) e pela razão entre o peso molecular do C e do CO_2 (x 3,67). O cômputo da perda de carbono considerando as taxas de decomposição tornam essas estimativas temporalmente mais acuradas.

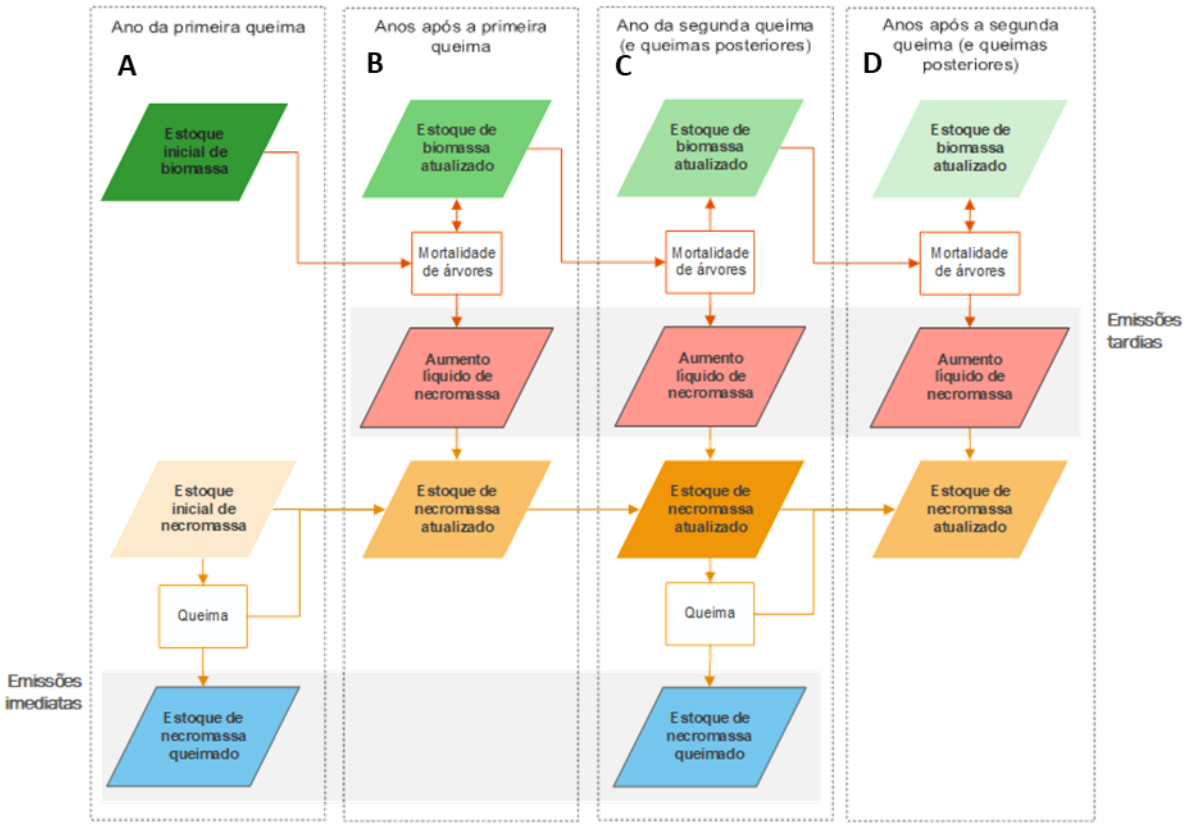

Figura 1. Diagrama simplificado do modelo de emissões imediatas por combustão e emissões tardias (comprometidas) por mortalidade de árvores em formações florestais na Amazônia.

RESULTADOS

Área de vegetação nativa queimada nos biomas

Segundo o MapBiomas Fogo, no Brasil foram queimados pelo menos uma vez 849.692 km². O Cerrado foi o bioma com maior área queimada ao longo da série temporal de 1985-2020 (733.851 km²), seguido pela Amazônia (690.028 km²), Caatinga (88.550 km²), Pantanal (86.403 km²), Mata Atlântica (71.674 km²) e Pampa (2.636 km²) (Figuras 2-A e 3). De forma geral, as queimadas no Cerrado afetaram principalmente a vegetação savânica (50,1%) e campestre (32,9%), enquanto na Amazônia foram concentradas em pastagens (58,1%), formações campestres (20,3%) e florestais (12,7%) (Figura 2-B). Em ambos os biomas, as áreas queimadas foram concentradas nas bordas, regiões coincidentes com a fronteira agrícola atual, a exemplo da transição Cerrado-Amazônia, conhecida como arco do desflorestamento (van Marle et al., 2017), e da transição Cerrado-Caatinga. No Pantanal (66,9%) e Pampa (56,9%), as queimadas foram concentradas nas formações campestres, enquanto na Caatinga e Mata Atlântica foram em áreas savânicas (76,6%) e pastagens (31,9%), respectivamente (Figura 2-B).

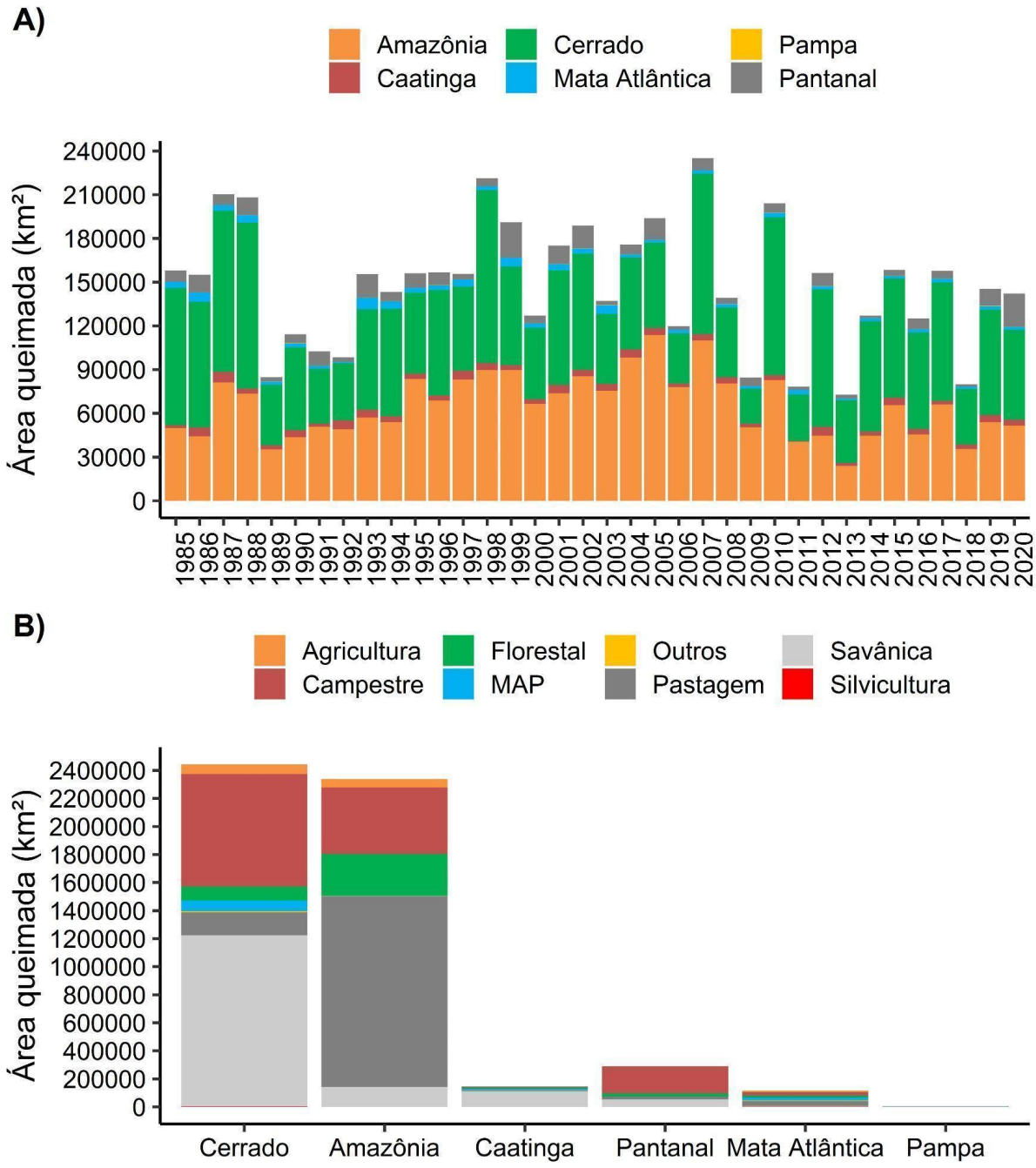

Figura 2. Distribuição temporal (1985-2020) da área queimada (km²) nos seis biomas brasileiros (A) e em suas principais coberturas e usos da terra (B). MAP = Mosaico de Agricultura e Pastagem. Fonte: MapBiomas Fogo.

Algumas tendências podem ser observadas na área queimada anual entre os biomas. Por exemplo, o aumento gradual de áreas queimadas na Amazônia entre 1985 a 2005, com redução no período de 2006 a 2013, e uma variação difusa caracterizada por aumentos (e.g., 2015 e 2017) e quedas bruscas (e.g., 2018) de 2014 a 2020. Nos biomas Pampa e

Pantanal esse aumento foi mais expressivo especialmente a partir de 2011 (Figura 3). Em contrapartida, a área queimada anualmente no Cerrado brasileiro oscilou de 23.943 km² (2009) a ~120.000 km² (1998) ao longo da série histórica, com uma média geral em torno de 70.000 km² (Figura 3).

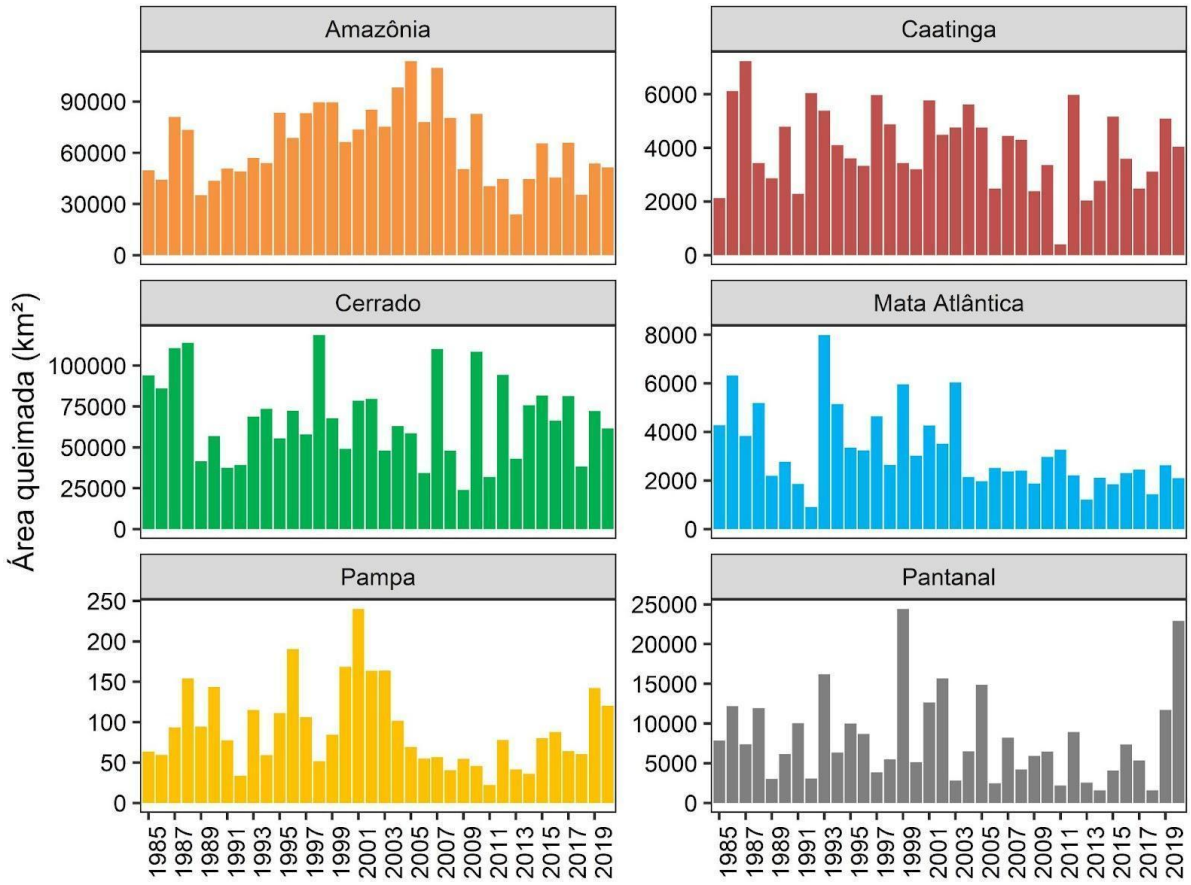

Figura 3. Distribuição temporal (1985-2020) da área queimada (km²) nos seis biomas brasileiros. Fonte: MapBiomas Fogo.

Emissões de GEE não associadas a desmatamento

Emissões imediatas por combustão

Cerca de 3,16 milhões de gigagramas (Gg) de CO_2 foram emitidos por queimadas não associadas ao desmatamento no Brasil entre 1990 e 2020 (Tabela 4). O Cerrado foi o bioma que liderou as emissões de GEE com cerca de 2,03 milhões de Gg de CO_2, correspondendo a 64,2% das emissões brasileiras por queimadas (Tabela 4). A Amazônia emitiu 826 mil Gg de CO_2, 26,1% das emissões no período. As maiores emissões de CO_2 foram constatadas em 2007 (192 mil Gg), 1998 (172 mil Gg) e 2010 (169 mil Gg). Os demais biomas, Pantanal, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa, concentraram 9,7% das emissões. O Pantanal em 2020 apresentou a maior emissão (21 mil Gg) desde 1990. Além das emissões imediatas de CO_2,

as emissões de gases não CO_2 durante a combustão são reportados a seguir (Tabelas 4-8).

Tabela 4. Emissões imediatas de CO_2 de queimadas não associadas a desmatamento entre 1990 e 2020 por bioma no Brasil.

Ano	Emissões de queimadas não associadas ao desmatamento por bioma					
	CO_2 (Gg)					
	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pantanal	Pampa
1990	12266,4	4470,2	45593	485,8	2252,1	12,1
1991	16535,2	2483,4	30520,8	252	7135,4	11,8
1992	17400,7	5879,9	37425,1	289	1220,3	1,7
1993	21831	6279,8	53514,5	4734,2	10737	7,5
1994	20627,6	3766,1	64128,8	2715,4	1851,3	5,5
1995	29860	3033,8	46604,6	714,4	8856,3	28,6
1996	24223,2	3049,1	63941	928,8	3784,6	17,7
1997	30565	5532,4	49951,7	1145,4	2407,6	10,1
1998	49196,9	5834,9	113099,1	1979	2231,2	6,4
1999	41815,1	3002,5	60972	1481,7	17588,9	12,3
2000	29028,2	3394,2	37396,2	943,2	2006,9	24,7
2001	30417,6	5138,4	74217,2	1621,8	7242,7	9,6
2002	38119,9	4494,9	76565,6	2000,1	10061,8	28,3
2003	28886,1	3745,8	44886,7	3270,8	1599,3	21,2
2004	37595,3	4346,8	64399,9	863,5	4657,2	14,6
2005	49230,7	4575,6	63201,9	1322,8	10836	12,5
2006	31050,6	2383,4	28334,5	615,2	1633,6	9,8
2007	60802,2	4559,1	118547,4	534,9	8388,3	4,4
2008	35569,9	4857,1	45291,2	1509,6	2452	9,1
2009	12656,9	2276,8	19557,3	494,2	2337,8	9,6
2010	39500,2	4552	119571,9	735,3	5549,6	7,5
2011	15116,2	1132,8	32716,3	1115	1950,7	4,7
2012	15338,1	4958,4	127242,9	1105,6	4133,9	32,6
2013	7535,5	1675,3	43345	251,9	761,6	7,4
2014	13619,4	1389	88286,4	1014,7	433,1	4,9
2015	21613,6	8120,6	95291	1838,4	1086,5	40,3
2016	16275,8	2397,7	82264,3	858,4	2378	8
2017	28834,3	1936,5	103581,3	691,7	2576,2	12,9
2018	10584	2427,9	41729,8	426,6	464,4	19,3
2019	18741,7	5047,5	85761	1186,6	7431,4	38
2020	21375,1	4565,8	72881,9	872,2	21564,4	26,1
Total	**826212,4**	**121307,7**	**2030820,3**	**37998,2**	**157610,1**	**459,2**

Tabela 5. Emissões imediatas de CO de queimadas não associadas ao desmatamento entre 1990 e 2020 por bioma no Brasil.

Ano	CO (Gg)					
	Amazônia	**Caatinga**	**Cerrado**	**Mata Atlântica**	**Pantanal**	**Pampa**
1990	617,5	189,9	1890,8	29	106,8	0,8
1991	858,1	103,9	1287,6	14,2	369,4	0,8
1992	912,6	252	1669,3	17,2	57,3	0,1
1993	1110,7	284	2268,2	257,2	539,7	0,5
1994	1070,9	158,8	2710,9	153,6	97,5	0,4
1995	1606,1	124,6	1963,8	41,2	481,2	1,9
1996	1303,9	126,4	2680	53,6	188,9	1,2
1997	1633,2	227,7	2093	71,3	120,6	0,7
1998	2758,2	246,5	4757,4	112,9	108,9	0,4
1999	2258,3	125	2595,7	94,1	935,9	0,8
2000	1576,7	144,4	1589,5	55,3	97,9	1,6
2001	1636,1	217,1	3128,6	92,1	384,1	0,6
2002	2134	192,3	3290,6	117,8	552,7	1,9
2003	1565,9	161,6	1943,2	191,9	85	1,4
2004	2134,3	183,8	2800	53,7	255,5	1
2005	2871,9	195,9	2736,8	71,1	606,6	0,8
2006	1764	102,7	1207,4	38,8	85,9	0,6
2007	3459,3	192,5	5038,6	33,7	460,4	0,3
2008	1969,1	210	1936	86,9	128,3	0,6
2009	693,5	96,7	840,5	29,4	132,5	0,6
2010	2222,7	190,9	5147,7	46,1	305,7	0,5
2011	791,3	49,2	1373,2	67,9	103,3	0,3
2012	838,3	217	5538,9	66,3	240,8	2,1
2013	396,9	72,8	1848,9	15,1	40,5	0,5
2014	763,5	61,5	3840,8	64,1	20,3	0,3
2015	1230,4	343,2	4252,2	116,2	55	2,7
2016	915,8	107,2	3849,6	54,1	116,3	0,5
2017	1625,5	88,6	4801	44	133	0,8
2018	585,9	106,1	1881,4	25,6	23,4	1,3
2019	1074,4	212,3	3839,4	72,9	403,4	2,5
2020	1257,5	189,6	3233,4	55,1	1271,1	1,7
Total	**45636,5**	**5174,2**	**88034,4**	**2242,4**	**8507,9**	**30,2**

Tabela 6. Emissões imediatas de CH_4 de queimadas não associadas ao desmatamento entre 1990 e 2020 por bioma no Brasil.

Ano	CH_4 (Gg)					
	Amazônia	**Caatinga**	**Cerrado**	**Mata Atlântica**	**Pantanal**	**Pampa**
1990	31,4	7,5	71	1,8	5	0,1
1991	45,2	4	50	0,8	19,4	0,1
1992	48,6	10,1	71,5	1	2,7	0
1993	57,2	12,4	88,9	14,2	27,4	0
1994	56,4	6,2	105,7	8,9	5,2	0
1995	88	4,6	76,1	2,4	26,6	0,1
1996	71,5	4,7	102,8	3,1	9,5	0,1
1997	88,9	8,4	80,3	4,5	6,1	0
1998	157,6	9,6	183,8	6,6	5,3	0
1999	124,3	4,7	102,6	6	50,7	0,1
2000	87,3	5,7	62,6	3,3	4,8	0,1
2001	89,6	8,5	121,4	5,3	20,7	0
2002	121,8	7,7	132,3	7	30,9	0,1
2003	86,5	6,5	79,1	11,4	4,6	0,1
2004	123,4	7,2	114,9	3,4	14,3	0,1
2005	170,3	7,8	111,5	3,9	34,6	0,1
2006	102,1	4,2	47,8	2,5	4,6	0
2007	200,5	7,5	198,5	2,1	25,8	0
2008	111,1	8,5	77,1	5,1	6,8	0
2009	38,7	3,8	33,8	1,8	7,6	0
2010	127,5	7,3	207,6	2,9	17,2	0
2011	42,1	2	52,8	4,2	5,6	0
2012	46,7	9	227,8	4	14,3	0,1
2013	21,3	3	73,3	0,9	2,2	0
2014	43,6	2,6	157,8	4,1	0,9	0
2015	71,3	13,4	182,4	7,4	2,8	0,2
2016	52,5	4,6	177,6	3,4	5,7	0
2017	93,4	4	218,4	2,8	7	0,1
2018	33,1	4,4	82	1,6	1,2	0,1
2019	62,7	8,2	165,5	4,5	22,3	0,2
2020	75,1	7,1	137,3	3,5	76,1	0,1
Total	**2569,7**	**205,2**	**3594,2**	**134,4**	**467,9**	**1,8**

Tabela 7. Emissões imediatas de N_2O de queimadas não associadas ao desmatamento entre 1990 e 2020 por bioma no Brasil.

Ano	N_2O (Gg)					
	Amazônia	**Caatinga**	**Cerrado**	**Mata Atlântica**	**Pantanal**	**Pampa**
1990	1,6	0,6	5,9	0,1	0,3	0
1991	2,1	0,3	4	0	0,9	0
1992	2,2	0,8	4,8	0	0,2	0
1993	2,8	0,8	7	0,6	1,4	0
1994	2,7	0,5	8,3	0,3	0,2	0
1995	3,8	0,4	6,1	0,1	1,1	0
1996	3,1	0,4	8,3	0,1	0,5	0
1997	3,9	0,7	6,5	0,1	0,3	0
1998	6,3	0,8	14,7	0,3	0,3	0
1999	5,4	0,4	7,9	0,2	2,3	0
2000	3,7	0,4	4,9	0,1	0,3	0
2001	3,9	0,7	9,6	0,2	0,9	0
2002	4,9	0,6	9,9	0,3	1,3	0
2003	3,7	0,5	5,8	0,4	0,2	0
2004	4,8	0,6	8,4	0,1	0,6	0
2005	6,3	0,6	8,2	0,2	1,4	0
2006	4	0,3	3,7	0,1	0,2	0
2007	7,8	0,6	15,4	0,1	1,1	0
2008	4,6	0,6	5,9	0,2	0,3	0
2009	1,6	0,3	2,5	0,1	0,3	0
2010	5,1	0,6	15,5	0,1	0,7	0
2011	1,9	0,1	4,3	0,1	0,3	0
2012	2	0,6	16,5	0,1	0,5	0
2013	1	0,2	5,6	0	0,1	0
2014	1,7	0,2	11,5	0,1	0,1	0
2015	2,8	1,1	12,3	0,2	0,1	0
2016	2,1	0,3	10,6	0,1	0,3	0
2017	3,7	0,3	13,4	0,1	0,3	0
2018	1,4	0,3	5,4	0,1	0,1	0
2019	2,4	0,7	11,1	0,2	1	0
2020	2,7	0,6	9,4	0,1	2,8	0
Total	**106**	**15,9**	**263,4**	**4,8**	**20,4**	**0**

Tabela 8. Emissões imediatas de NOx de queimadas não associadas ao desmatamento entre 1990 e 2020 por bioma no Brasil.

Ano	NOx (Gg)					
	Amazônia	**Caatinga**	**Cerrado**	**Mata Atlântica**	**Pantanal**	**Pampa**
1990	22,9	10,3	107,3	0,7	4,6	0
1991	29,4	5,8	70,6	0,4	12,7	0
1992	30,4	13,4	81,6	0,4	2,5	0
1993	40,1	13,5	123,2	7,8	20,1	0
1994	36,7	8,7	148,1	4,1	3,2	0
1995	50	7,2	108	1	14,6	0
1996	40,5	7,2	148,9	1,4	7,1	0
1997	51,8	13,1	116,4	1,4	4,5	0
1998	76,2	13,5	262,5	3	4,4	0
1999	69,5	7	139,8	1,7	30	0
2000	47,8	7,8	85,9	1,3	3,9	0
2001	51	11,9	171,9	2,5	12,4	0
2002	59,3	10,3	173,8	2,8	16,2	0
2003	47,7	8,5	101,1	4,6	2,7	0
2004	56,8	10	144,4	1	7,5	0
2005	70,1	10,4	142,4	2,2	16,8	0
2006	46,8	5,4	64,9	0,7	2,8	0
2007	91,5	10,5	272,2	0,6	13,5	0
2008	56,5	11	103,4	2,2	4,3	0
2009	20,5	5,2	44,4	0,7	3,5	0
2010	60,8	10,6	271	0,9	8,9	0
2011	26,5	2,5	76,1	1,4	3,4	0
2012	25	11	285	1,5	5,9	0
2013	13,1	3,8	99,2	0,3	1,3	0
2014	21,1	3,1	197,9	1,2	0,9	0
2015	32,5	18,8	207,7	2,1	2	0
2016	25	5,2	169,5	1	4,6	0
2017	44,2	4,1	215,9	0,8	4,6	0
2018	16,8	5,4	89,9	0,6	0,9	0
2019	27,7	11,7	186,3	1,5	12,2	0
2020	29,9	10,7	159,9	1	30	0
Total	**1318,1**	**277,6**	**4569,2**	**52,8**	**262**	**0**

Emissões de queimadas não associadas a desmatamento tanto para o Cerrado quanto para a Amazônia tendem a impactar as estimativas de emissões de GEE. Entre 1990 e 2020 elas representam 18% das emissões apenas por desmatamento. Inclusive devido ao fato de que

em grande parte das áreas atingidas por incêndios tem ocorrido em áreas protegidas, o que também impacta a contabilidade de emissões do setor MUT, visto que estas áreas são consideradas como áreas manejadas e, portanto, contribuem com remoções.

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 das 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 SEEG 8 também apresentou estimativas de emissões não associadas por desmatamento por bioma para os anos 2000 a 2019. As emissões de CO_2 estimadas na nota anterior somam 4,87 milhões de Gg, estimativas 54% maiores que as encontradas nessa nova versão do SEEG 9, mesmo considerando um período 15 anos menor. As diferenças variaram entre os anos e entre os biomas. O SEEG 8 superestimou as emissões em 52% na Amazônia, em 12% na Caatinga, em 22% no Cerrado, em 74% na Mata Atlântica, em 35% no Pantanal e em 91% no Pampa (Figura 4). Essa variação se deve a diferenças metodológicas no cálculo das estimativas: (a) o SEEG 8 considerou em seu cálculo fisionomias campestres além das florestais e savânicas, diferente da versão SEEG 9, em que as fisionomias campestres não foram consideradas uma vez que sua recuperação é rápida, cerca de 1 ano; (b) o SEEG 9 utilizou mapas de combustível (necromassa acima do solo, 0 – 44,3 $Mgha^{-1}$) disponibilizados na QCN, enquanto o SEEG 8 utilizou valores de biomassa acima do solo (0 – 404 Mg ha^{-1}) da TCN (veja Tabela 2 e Tabela 3); e (c) no SEEG 9, diferente do SEEG 8, os fatores de combustão utilizados consideram majoritariamente a matéria orgânica morta, com exceção das savanas cuja correção dos mapas de combustível considerou também parte da biomassa correspondente ao estrato herbáceo vivo.

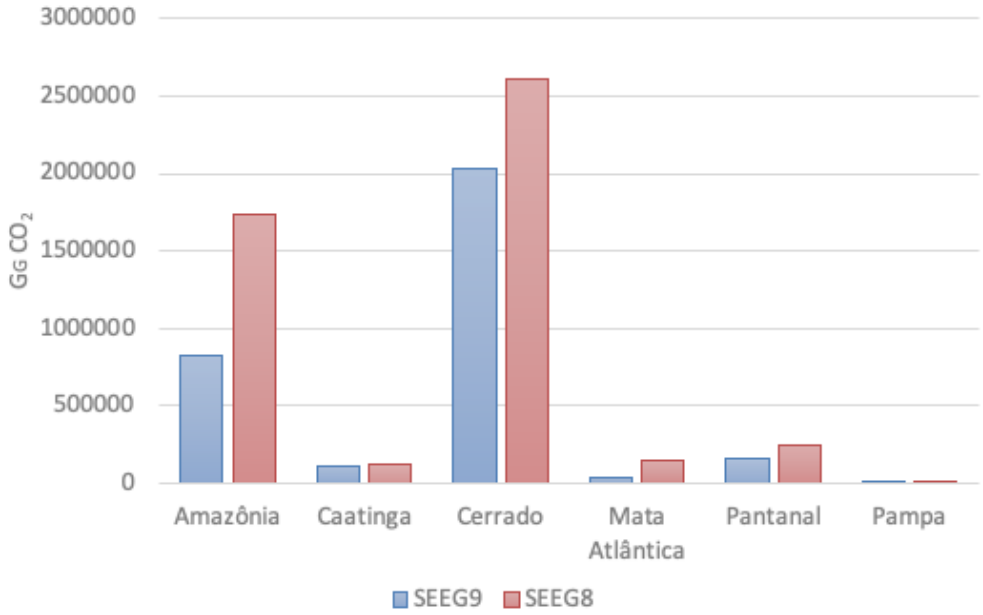

Figura 4. Comparação entre as emissões de CO_2 não associadas ao desmatamento por bioma apresentadas nesta nota metodológica (SEEG 9) e na nota anterior (SEEG 8).

Emissões tardias por perda de AGB pós fogo em florestas na Amazônia

As emissões tardias na Amazônia, entre 1990 e 2020 (Tabela 9), totalizaram 814 mil Gg de CO_2 que se somadas as emissões imediatas no bioma (826 mil Gg) duplicam a quantidade emitida de CO_2. Normalmente este é um componente ignorado no inventário nacional e em outros sistemas de contagem e simulação de emissões de carbono. Entretanto, equivalem a 62% das emissões totais (imediatas e tardias) em florestas queimadas no bioma amazônico. Cabe ressaltar que essas emissões são líquidas e se baseiam em dados de mudança de AGB nos anos subsequentes ao fogo, incluindo tanto a mortalidade quanto o crescimento da vegetação após o fogo.

Tabela 9. Emissões tardias de CO_2 por fogo não associado ao desmatamento em florestas na Amazônia entre 1990 e 2020.

Ano	CO_2 (Gg)	Ano	CO_2 (Gg)	Ano	CO_2 (Gg)	Ano	CO_2 (Gg)
1990	9818,4	**1998**	16971	**2006**	38270,6	**2014**	30496
1991	10166,6	**1999**	22260,7	**2007**	37590,1	**2015**	26781,8
1992	10950	**2000**	26694,3	**2008**	42259	**2016**	25822,2
1993	11737,6	**2001**	28797,8	**2009**	44771,7	**2017**	23636,6
1994	12587,3	**2002**	29326,7	**2010**	40072,5	**2018**	25163,3
1995	12864,8	**2003**	31883,5	**2011**	40034,7	**2019**	23943,1
1996	14979,4	**2004**	32114,7	**2012**	37068,3	**2020**	23302,2
1997	16200	**2005**	33067,1	**2013**	34530,4		

As estimativas de emissões tardias são resultado de um primeiro exercício, e estão em fase de aprimoramento. Ainda assim, os números são conservadores por alguns motivos: (a) dados de cicatrizes de fogo tem maior erro de omissão em áreas de florestas densas e que podem perder mais biomassa quando afetadas por fogo; (b) foram consideradas apenas florestas primárias que após queimadas permaneceram em pé, assim foram excluídas aquelas que eventualmente foram desmatadas; (c) a taxa de perda líquida de no máximo 26% é conservadora para florestas de dossel aberto, ou degradadas (e.g., com efeito de borda e extração seletiva); e (d) existe um legado de emissões no fim da série, ou seja, emissões que se sucedem até 10 anos depois dos eventos de mortalidade em 2020 e que não foram contabilizadas.

AGRADECIMENTOS

O Anexo 2 foi construído a partir de informações valiosas obtidas junto a pesquisadores nos diferentes biomas brasileiros. Nominalmente, agradecemos à professora Dra. Joice Nunes Ferreira (EMBRAPA), Dra. Erika Berenguer (Oxford University), Dr. Jos Barlow (Lancaster University), Dr. Luiz Aragão (INPE), Dr. Paulo Brando (IPAM) na Amazônia. À Dra. Simone Vieira (UNICAMP), Dr. Daniel Piotto (UFSB), Dr. Fabrício Carvalho (UFJF), Dr. Renato Lima (USP) e Msc. Cândida Leite (INPE) na Mata Atlântica. À Dra. Mercedes Bustamante, Heloisa Miranda (UnB) e Dr. Britaldo Soares-Filho (UFMG) no Cerrado. À Dra. Cátia da Cunha Nunes (UFMT), Dra. Sandra Aparecida Santos (Embrapa Pantanal), Dra. Maria Antônia Carniello (UNEMAT), Dr. Geraldo Damasceno-Junior (UFMS) e Dr. Nilo Sander (UNEMAT) no Pantanal, e ao professor Dr. Marcelo Tabarelli (UFPE) na Caatinga.

REFERÊNCIAS

Alencar, A., Z. Shimbo, J., Lenti, F., Balzani Marques, C., Zimbres, B., Rosa, M., Arruda, V., Castro, I., Fernandes Márcico Ribeiro, J.P., Varela, V., Alencar, I., Piontekowski, V., Ribeiro, V., M. C. Bustamante, M., Eyji Sano, E., Barroso, M., 2020. Mapping Three Decades of Changes in the Brazilian Savanna Native Vegetation Using Landsat Data Processed in the Google Earth Engine Platform. Remote Sens. 12, 924. https://doi.org/10.3390/rs12060924

Andrade, S.M.A., 1998. Dinâmica do combustível fino e produção primária do estrato rasteiro de áreas de campo sujo de Cerrado submetidas a diferentes regimes de queimas. Dissertação, Universidade de Brasília, Brasília.

Aragão, L.E.O.C., Anderson, L.O., Fonseca, M.G., Rosan, T.M., Vedovato, L.B., Wagner, F.H., Silva, C.V.J., Silva Junior, C.H.L., Arai, E., Aguiar, A.P., Barlow, J., Berenguer, E., Deeter, M.N., Domingues, L.G., Gatti, L., Gloor, M., Malhi, Y., Marengo, J.A., Miller, J.B., Phillips, O.L., Saatchi, S., 2018. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. Nat. Commun. 9, 536. https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y

Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Higuchi, N., Killeen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Monteagudo, A., Neill, D.A., Núñez Vargas, P., Pitman, N.C.A., Silva, J.N.M., Vásquez Martínez, R., 2004. Increasing biomass in

Amazonian forest plots. Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. B Biol. Sci. 359, 353–365. https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1422

Balch, J.R.K., Nepstad, D.C., Brando, P.M., Curran, L.M., Portela, O., de Carvalho, O., Lefebvre, P., 2008. Negative fire feedback in a transitional forest of southeastern Amazonia. Glob. Chang. Biol. 14, 2276–2287. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01655.x

Barlow, J., Berenguer, E., Carmenta, R., França, F., 2020. Clarifying Amazonia's burning crisis. Glob. Chang. Biol. 26, 319–321. https://doi.org/10.1111/gcb.14872

Berenguer, E., Malhi, Y., Brando, P., Cardoso Nunes Cordeiro, A., Ferreira, J., França, F., Chesini Rossi, L., Maria Moraes de Seixas, M., Barlow, J., 2018. Tree growth and stem carbon accumulation in human-modified Amazonian forests following drought and fire. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 373, 20170308. https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0308

Bongers, F., Chazdon, R., Poorter, L., Peña-Claros, M., 2015. The potential of secondary forests. Science (80-.). 348, 642–643. https://doi.org/10.1126/science.348.6235.642-c

Brando, P.M., Balch, J.K., Nepstad, D.C., Morton, D.C., Putz, F.E., Coe, M.T., Silvério, D.V., Macedo, M.N., Davidson, E.A., Nóbrega, C.C., Alencar, A., Soares-Filho, B., 2014. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 111, 6347–6352. https://doi.org/10.1073/pnas.1305499111

Brando, P.M., Paolucci, L., Ummenhofer, C.C., Ordway, E.M., Hartmann, H., Cattau, M.E., Rattis, L., Medjibe, V., Coe, M.T., Balch, J., 2019. Droughts, Wildfires, and Forest Carbon Cycling: A Pantropical Synthesis. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 47, 555–581. https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082517-010235

Brienen, R.J.W., Phillips, O.L., Feldpausch, T.R., Gloor, E., Baker, T.R., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., Monteagudo-Mendoza, A., Malhi, Y., Lewis, S.L., Vásquez Martinez, R., Alexiades, M., Álvarez Dávila, E., Alvarez-Loayza, P., Andrade, A., Aragão, L.E.O.C., Araujo-Murakami, A., Arets, E.J.M.M., Arroyo, L., Aymard C., G.A., Bánki, O.S., Baraloto, C., Barroso, J., Bonal, D., Boot, R.G.A., Camargo, J.L.C., Castilho, C. V., Chama, V., Chao, K.J., Chave, J., Comiskey, J.A., Cornejo Valverde, F., da Costa, L., de Oliveira, E.A., Di Fiore, A., Erwin, T.L., Fauset, S., Forsthofer, M., Galbraith, D.R., Grahame, E.S., Groot, N., Hérault, B., Higuchi, N., Honorio Coronado, E.N., Keeling, H., Killeen, T.J., Laurance, W.F., Laurance, S., Licona, J., Magnussen, W.E., Marimon, B.S., Marimon-Junior, B.H., Mendoza, C., Neill, D.A., Nogueira, E.M., Núñez, P., Pallqui Camacho, N.C., Parada, A., Pardo-Molina, G., Peacock, J., Peña-Claros, M., Pickavance, G.C., Pitman, N.C.A., Poorter, L., Prieto, A., Quesada, C.A., Ramírez, F., Ramírez-Angulo, H., Restrepo, Z., Roopsind, A., Rudas, A., Salomão, R.P., Schwarz, M., Silva, N., Silva-Espejo, J.E., Silveira, M., Stropp, J., Talbot, J., ter Steege, H., Teran-Aguilar, J., Terborgh, J., Thomas-Caesar, R., Toledo, M., Torello-Raventos, M., Umetsu, R.K., van der Heijden, G.M.F., van der Hout, P., Guimarães Vieira, I.C., Vieira, S.A., Vilanova, E.,

Vos, V.A., Zagt, R.J., 2015. Long-term decline of the Amazon carbon sink. Nature 519, 344–348. https://doi.org/10.1038/nature14283

Brown, J.K., Oberhau, R.D., Johnston, C.M., 1982. Inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. USDA For. Serv. Intermt. For. Range Exp. Station. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-129.

Bustamante, M.M.C., Silva, J.S.O., Cantinho, R.Z., Shimbo, J.Z., Oliveira, P.V.C., Santos, M.M.O., Ometto, J.P.H.B., Cruz, M.R., Mello, T.R.B., Godiva, D., Nobre, C.A., 2018. Engagement of scientific community and transparency in C accounting: the Brazilian case for anthropogenic greenhouse gas emissions from land use, land-use change and forestry. Environ. Res. Lett. 13, 055005. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabb37

Castro, E.A., Kauffman, J.B., 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. J. Trop. Ecol. 14, 263–283. https://doi.org/10.1017/S0266467498000212

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. Environ. Earth Sci. 74, 1497–1508. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4142-z

Chambers, J.Q., Higuchi, N., Schimel, J.P., Ferreira, L. V., Melack, J.M., 2000. Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. Oecologia 122, 380–388. https://doi.org/10.1007/s004420050044

Fearnside, P.M., 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. For. Ecol. Manage. 80, 21–34. https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03647-4

Fonseca, M.G., Anderson, L.O., Arai, E., Shimabukuro, Y.E., Xaud, H.A.M., Xaud, M.R., Madani, N., Wagner, F.H., Aragão, L.E.O.C., 2017. Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015-2016 El Niño event. Ecol. Appl. 27, 2514–2527. https://doi.org/10.1002/eap.1628

Giglio, L., Loboda, T., Roy, D.P., Quayle, B., Justice, C.O., 2009. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. Remote Sens. Environ. 113, 408–420. https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.006

Gomes, L., Miranda, H.S., Silvério, D. V., Bustamante, M.M.C., 2020a. Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. For. Ecol. Manage. 458, 117804. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117804

Gomes, L., Miranda, H.S., Soares-Filho, B., Rodrigues, L., Oliveira, U., Bustamante, M.M.C., 2020b. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. Front. For. Glob. Chang. 3, 507710. https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.507710

IBGE, 2019. 2019. Mapa de Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil - 1:250 000. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=acesso-ao-produto. Accessed.

IBGE, 2012. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed.,.

INPE, 2021. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto Prodes – Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite. Disponível em: www.obt.inpe.br/prodes; Acessado em: outubro de 2021.

IPCC, 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Genebra, Suiça.

IPCC, 2006. 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. Genebra, Suíça..

IPCC, 2003. – Intergovernmental Panel on Climate Change. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Genebra, Suíça.

Kauffman, J.B., Cummings, D.L., Ward, D.E., 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian Cerrado. J. Ecol. 82, 519–531. https://doi.org/10.2307/2261261

Kauffman, J.B., Sanford, R.L., Cummings, D.L., Salcedo, I.H., Sampaio, E.V.S.B., 1993. Biomass and Nutrient Dynamics Associated with Slash Fires in Neotropical Dry Forests. Ecology 74, 140–151. https://doi.org/10.2307/1939509

Malhi, Y., Aragão, L.E.O.C., Metcalfe, D.B., Paiva, R., Quesada, C.A., Alameida, S., Anderson, L., Brando, P., Chambers, J.Q., Costa, A.C.L., Hutyra, L.R., Oliveira, P., Patino, S., Pyle, E.H., Robertson, A.L., Teixeira, L.M., 2009. Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. Glob. Chang. Biol. 15, 1255–1274. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01780.x

Malhi, Y., Doughty, C.E., Goldsmith, G.R., Metcalfe, D.B., Girardin, C.A.J., Marthews, T.R., del Aguila-Pasquel, J., Aragão, L.E.O.C., Araujo-Murakami, A., Brando, P., da Costa, A.C.L., Silva-Espejo, J.E., Farfán Amézquita, F., Galbraith, D.R., Quesada, C.A., Rocha, W.,

Salinas-Revilla, N., Silvério, D., Meir, P., Phillips, O.L., 2015. The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. Glob. Chang. Biol. 21, 2283–2295. https://doi.org/10.1111/gcb.12859

Mapbiomas, 2021. Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: http://mapbiomas.org/; Acessado em: outubro de 2021.

MCTI, 2020. Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

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

MCTI, 2015. Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação. 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 C.

Miranda, S. do C., Bustamante, M., Palace, M., Hagen, S., Keller, M., Ferreira, L.G., 2014. Regional variations in biomass distribution in Brazilian Savanna Woodland. Biotropica 46, 125–138. https://doi.org/10.1111/btp.12095

MMA, 2013. Ministério do Meio Ambiente. Biomas. Disponível em: www.mma.gov.br/biomas. Acessado em: 28 de outubro de 2021.

Montenegro, S.R., 2019. Efeitos do manejo do fogo na estrutura de comunidades lenhosas em formações savânicas do Cerrado. Dissertação, Universidade de Brasília.

Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., Barbosa, R.I., Keizer, E.W.H., 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. For. Ecol. Manage. 256, 1853–1867. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.022

Nunes, E.L., Costa, M.H., Malhado, A.C.M., Dias, L.C.P., Vieira, S.A., Pinto, L.B., Ladle, R.J., 2012. Monitoring carbon assimilation in South America's tropical forests: Model specification and application to the Amazonian droughts of 2005 and 2010. Remote Sens. Environ. 117, 449–463. https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.022

Ottmar, R.D., Vihnanek, R.E., Miranda, H.S., Sato, M.N., Andrade, S.M.A., 2001. Séries de estéreo-fotografias para quantificar a biomassa da vegetação do cerrado do Brasil Central. Floresta, Curitiba.

Pontes-Lopes, A., Silva, C.V.J., Barlow, J., Rincón, L.M., Campanharo, W.A., Nunes, C.A., de Almeida, C.T., Silva Júnior, C.H.L., Cassol, H.L.G., Dalagnol, R., Stark, S.C., Graça, P.M.L.A., Aragão, L.E.O.C., 2021. Drought-driven wildfire impacts on structure and dynamics in a wet

Central Amazonian forest. Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 288, 20210094. https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0094

Poorter, L., Bongers, F., Aide, T.M., Almeyda Zambrano, A.M., Balvanera, P., Becknell, J.M., Boukili, V., Brancalion, P.H.S., Broadbent, E.N., Chazdon, R.L., Craven, D., de Almeida-Cortez, J.S., Cabral, G.A.L., de Jong, B.H.J., Denslow, J.S., Dent, D.H., DeWalt, S.J., Dupuy, J.M., Durán, S.M., Espírito-Santo, M.M., Fandino, M.C., César, R.G., Hall, J.S., Hernandez-Stefanoni, J.L., Jakovac, C.C., Junqueira, A.B., Kennard, D., Letcher, S.G., Licona, J.-C., Lohbeck, M., Marín-Spiotta, E., Martínez-Ramos, M., Massoca, P., Meave, J.A., Mesquita, R., Mora, F., Muñoz, R., Muscarella, R., Nunes, Y.R.F., Ochoa-Gaona, S., de Oliveira, A.A., Orihuela-Belmonte, E., Peña-Claros, M., Pérez-García, E.A., Piotto, D., Powers, J.S., Rodríguez-Velázquez, J., Romero-Pérez, I.E., Ruíz, J., Saldarriaga, J.G., Sanchez-Azofeifa, A., Schwartz, N.B., Steininger, M.K., Swenson, N.G., Toledo, M., Uriarte, M., van Breugel, M., van der Wal, H., Veloso, M.D.M., Vester, H.F.M., Vicentini, A., Vieira, I.C.G., Bentos, T.V., Williamson, G.B., Rozendaal, D.M.A., 2016. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. Nature 530, 211–214. https://doi.org/10.1038/nature16512

Pyle, E.H., Santoni, G.W., Nascimento, H.E.M., Hutyra, L.R., Vieira, S., Curran, D.J., van Haren, J., Saleska, S.R., Chow, V.Y., Carmago, P.B., Laurance, W.F., Wofsy, S.C., 2008. Dynamics of carbon, biomass, and structure in two Amazonian forests. J. Geophys. Res. Biogeosciences 113, n/a-n/a. https://doi.org/10.1029/2007JG000592

Ribeiro, S.C., Fehrmann, L., Soares, C.P.B., Jacovine, L.A.G., Kleinn, C., de Oliveira Gaspar, R., 2011. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. For. Ecol. Manage. 262, 491–499. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.017

Rocha, H.R. da, Freitas, H.C., Rosolem, R., Juárez, R.I.N., Tannus, R.N., Ligo, M.A., Cabral, O.M.R., Dias, M.A.F.S., 2002. Measurements of CO2 exchange over a woodland savanna (Cerrado Sensu stricto) in southeast Brasil. Biota Neotrop. 2, 1–11. https://doi.org/10.1590/S1676-06032002000100009

Santos, A.C. dos, Montenegro, S. da R., Ferreira, M.C., Barradas, A.C.S., Schmidt, I.B., 2021. Managing fires in a changing world: Fuel and weather determine fire behavior and safety in the neotropical savannas. J. Environ. Manage. 289, 112508. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112508

Sato, M.N., 2003. Efeito a longo prazo de queimadas prescritas na estrutura de comunidade de lenhosas da vegetação do cerrado sensu stricto. Tese, Universidade de Brasília.

Scaranello M. A., 2010. Dinâmica da comunidade arbórea de floresta ombrófila densa de terras baixas e de restinga no Parque Estadual da Serra do Mar, SP. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Schmidt, I.B., Fonseca, C.B., Ferreira, M., Sato, M.N., 2016. Implementação do programa piloto de Manejo Integrado do Fogo em três Unidades de Conservação do Cerrado. Biodiversidade Bras. 6, 55–70.

Silva, C.V.J., Aragão, L.E.O.C., Barlow, J., Espirito-Santo, F., Young, P.J., Anderson, L.O., Berenguer, E., Brasil, I., Foster Brown, I., Castro, B., Farias, R., Ferreira, J., França, F., Graça, P.M.L.A., Kirsten, L., Lopes, A.P., Salimon, C., Scaranello, M.A., Seixas, M., Souza, F.C., Xaud, H.A.M., 2018. Drought-induced Amazonian wildfires instigate a decadal-scale disruption of forest carbon dynamics. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 373, 20180043. https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0043

Silva, C.V.J., Aragão, L.E.O.C., Young, P.J., Espirito-Santo, F., Berenguer, E., Anderson, L.O., Brasil, I., Pontes-Lopes, A., Ferreira, J., Withey, K., França, F., Graça, P.M.L.A., Kirsten, L., Xaud, H., Salimon, C., Scaranello, M.A., Castro, B., Seixas, M., Farias, R., Barlow, J., 2020. Estimating the multi-decadal carbon deficit of burned Amazonian forests. Environ. Res. Lett. 15, 114023. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb62c

Silva Junior, C.H.L., Aragão, L.E.O.C., Anderson, L.O., Fonseca, M.G., Shimabukuro, Y.E., Vancutsem, C., Achard, F., Beuchle, R., Numata, I., Silva, C.A., Maeda, E.E., Longo, M., Saatchi, S.S., 2020. Persistent collapse of biomass in Amazonian forest edges following deforestation leads to unaccounted carbon losses. Sci. Adv. 6. https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz8360

Silva Junior, C.H.L., Carvalho, N.S., Pessôa, A.C.M., Reis, J.B.C., Pontes-Lopes, A., Doblas, J., Heinrich, V., Campanharo, W., Alencar, A., Silva, C., Lapola, D.M., Armenteras, D., Matricardi, E.A.T., Berenguer, E., Cassol, H., Numata, I., House, J., Ferreira, J., Barlow, J., Gatti, L., Brando, P., Fearnside, P.M., Saatchi, S., Silva, S., Sitch, S., Aguiar, A.P., Silva, C.A., Vancutsem, C., Achard, F., Beuchle, R., Shimabukuro, Y.E., Anderson, L.O., Aragão, L.E.O.C., 2021. Amazonian forest degradation must be incorporated into the COP26 agenda. Nat. Geosci. 14, 634–635. https://doi.org/10.1038/s41561-021-00823-z

Vasconcelos, S.S. de, Fearnside, P.M., Graça, P.M.L. de A., Nogueira, E.M., Oliveira, L.C. de, Figueiredo, E.O., 2013. Forest fires in southwestern Brazilian Amazonia: Estimates of area and potential carbon emissions. For. Ecol. Manage. 291, 199–208. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.044

Vieira, S., de Camargo, P.B., Selhorst, D., da Silva, R., Hutyra, L., Chambers, J.Q., Brown, I.F., Higuchi, N., dos Santos, J., Wofsy, S.C., Trumbore, S.E., Martinelli, L.A., 2004. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. Oecologia 140, 468–479. https://doi.org/10.1007/s00442-004-1598-z

Ward, D.E., Susott, R.A., Kauffman, J.B., Babbitt, R.E., Cummings, D.L., Dias, B., Holben, B.N., Kauffman, Y.J., Rasmussen, R.A., Setzer, A.W., 1992. Smoke and Fire Characteristcs for

Cerrado and Deforestation Burns in Brazil: BASE-B Experiment. J. Geophys. Res. 97, 14601–14619.

Withey, K., Berenguer, E., Palmeira, A.F., Espírito-Santo, F.D.B., Lennox, G.D., Silva, C.V.J., Aragão, L.E.O.C., Ferreira, J., França, F., Malhi, Y., Rossi, L.C., Barlow, J., 2018. Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 373, 20170312. https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0312

Wright, J.S., 2013. The carbon sink in intact tropical forests. Glob. Chang. Biol. 19, 337–339. https://doi.org/10.1111/gcb.12052.

Anexo 3 - SEEG MUNICÍPIOS: Método para a contabilização das emissões e remoções a nível de municípios

O objetivo do SEEG 8 no setor MUT é obter estimativas de emissões e remoções de gases de efeito estufa associadas às mudanças no uso da terra no Brasil e que sejam relacionáveis às regiões de interesse (anteriormente disponível para os, recortes territoriais biomas e estados), conforme descrito no corpo desta Nota Metodológica. Como as estimativas do SEEG 8 são baseadas em dados espacializados, em sua totalidade, foi então possível pela primeira vez regionalizar as estimativas de emissões e remoções a um nível de detalhamento para todos os municípios. Com esse objetivo, foi lançado o SEEG Municípios , disponível do site do SEEG (http://seeg.eco.br/) que traz as estimativas reportadas pelo SEEG por recortes territoriais para o Brasil, biomas, estados e, agora, para municípios.

A adaptação metodológica para geração dessas estimativas por municípios está descrita abaixo.

Adaptação metodológica

Como já descrito, o método de utilização da série temporal dos mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomas como informação básica para a geração dos mapas de transição de uso da terra contém um detalhamento espacial sem precedentes, na escala de 30m de resolução. A única diferença necessária no método para gerar as estimativas de emissão para os municípios foi a inclusão de um mapa de municípios na contabilização zonal das transições ano a ano.

Dessa forma, as áreas de cada transição par a par foram calculadas por níveis “zonais”, representados por dois rasters: um em que o valor do pixel é o código que contém a identificação dos biomas, estados e municípios (geocódigo do IBGE de dez três algarismos, em que o primeiro algarismo define o bioma, e os dois seguintes definem o estado e os sete

últimos, o município); e outro cujo valor do pixel indica dentro (1) e fora (0) de áreas protegidas (Unidades de Conservação do ICMBio e Terras indígenas da FUNAI), neste caso para contabilizar as remoções.

Antes e a partir desse passo, os cálculos das estimativas são exatamente iguais às descritas anteriormente no corpo deste documento.

Resultados

Nesse apêndice, são apresentados resultados dos maiores municípios emissores nacionais em 2018, considerando emissões brutas (Figura 1) e líquidas (Figura 4), e também dos municípios responsáveis pelos maiores níveis de remoção de gases de efeito estufa (Figuras 2 e 3). Também exploramos as trajetórias entre 1990 a 2019 daqueles municípios com maiores emissões de gases de efeito estufa em 2018 no setor de mudanças de uso da terra no Brasil (Figura 5), como também apresentamos os dez municípios com maiores emissões brutas por bioma no Brasil em 2018 (Figura 6). É importante ressaltar que, para o setor de Mudanças de Uso da Terra, 100% das estimativas de emissões e remoções estaduais e nacionais foram alocadas nos municípios.

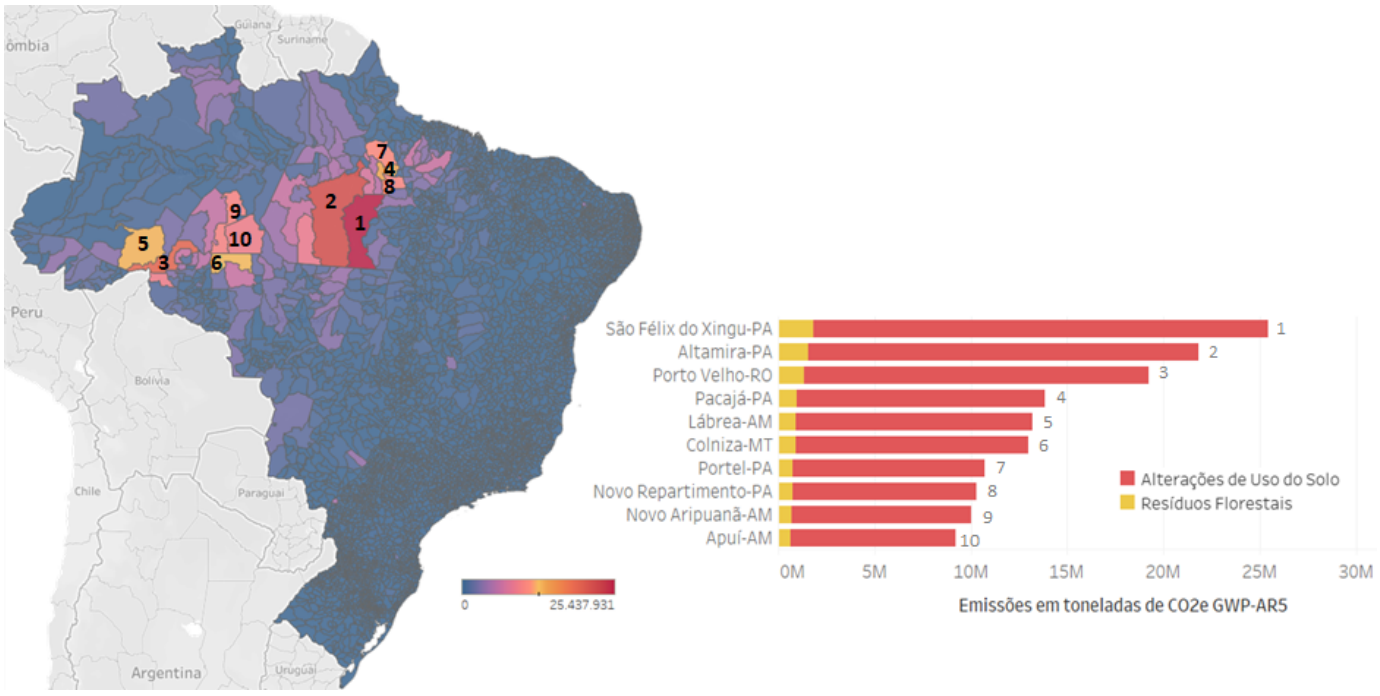

Figura 1. Dez municípios com maiores emissões de gases de efeito estufa (emissões brutas) no setor de mudança de uso da terra no Brasil, em 2018.

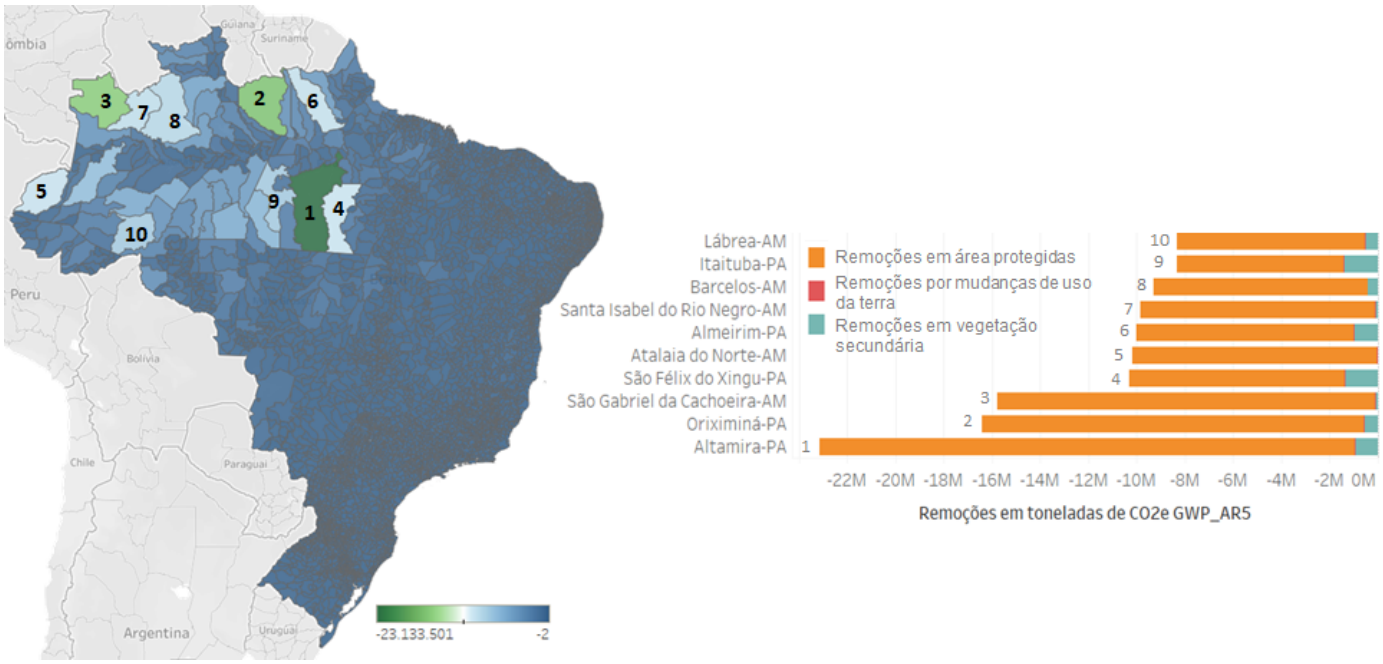

Figura 2. Dez municípios com maiores remoções brutas de gases de efeito estufa no setor de mudança de uso da terra no Brasil, em 2018.

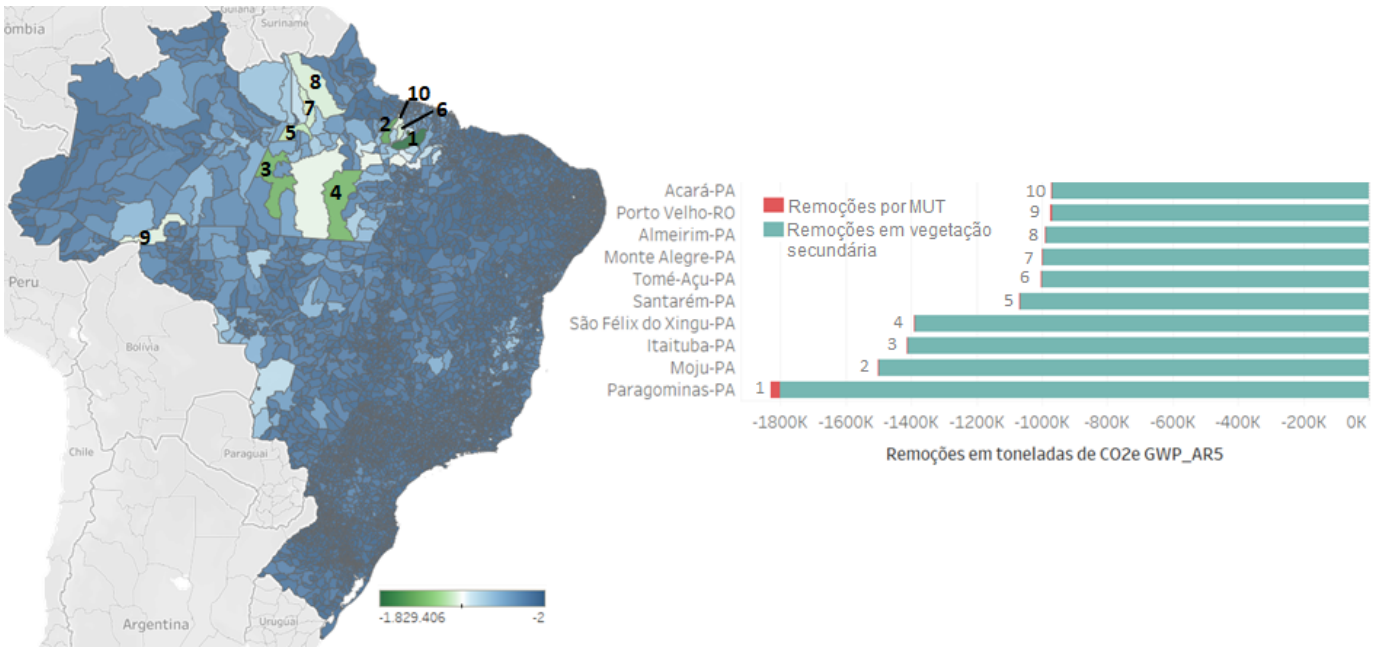

Figura 3. Dez municípios com maiores remoções brutas de gases de efeito estufa no setor de mudança de uso da terra no Brasil, em 2018, sem considerar as remoções em área protegida (Unidades de Conservação e Terras Indígenas).

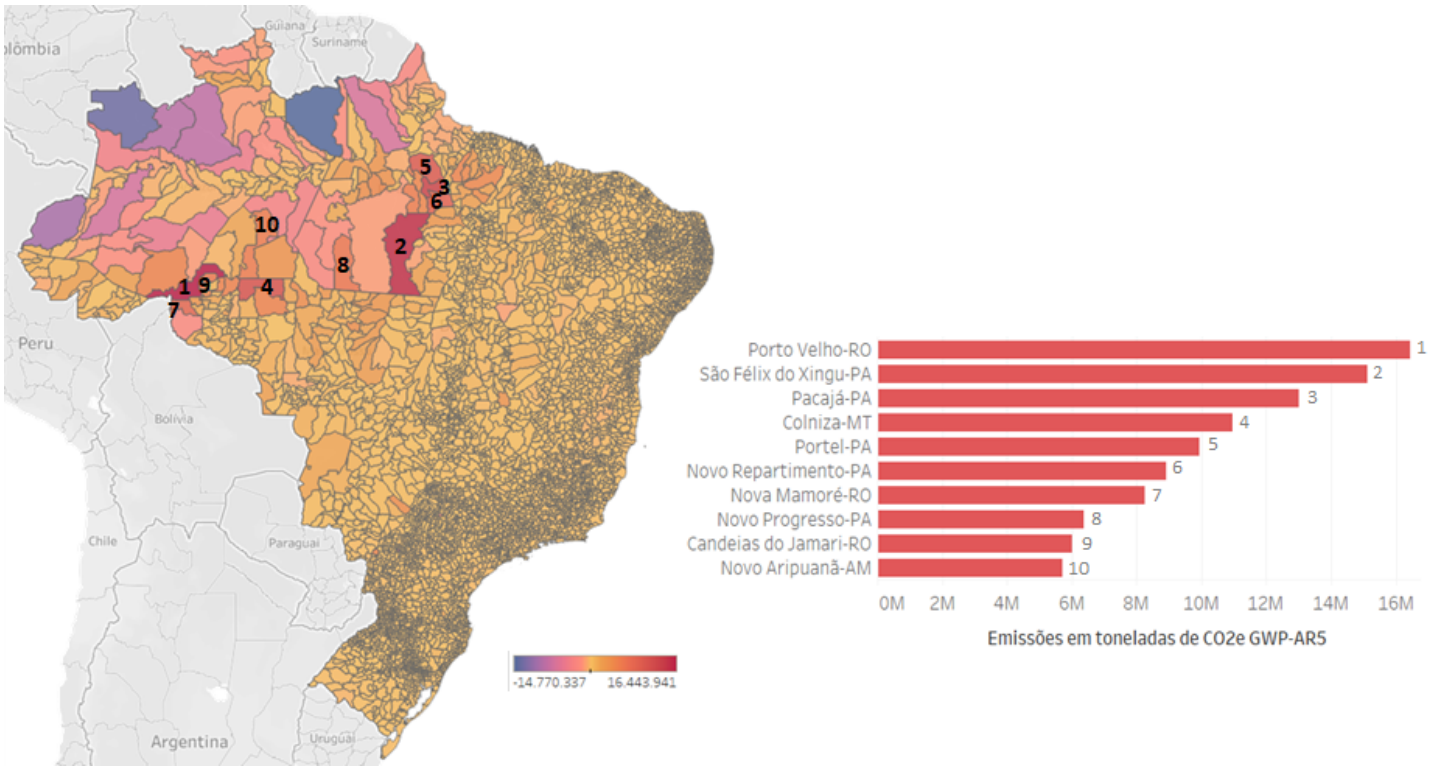

Figura 4. Dez municípios com maiores emissões de gases de efeito estufa (emissões líquidas) no setor de mudança de uso da terra no Brasil, em 2018.

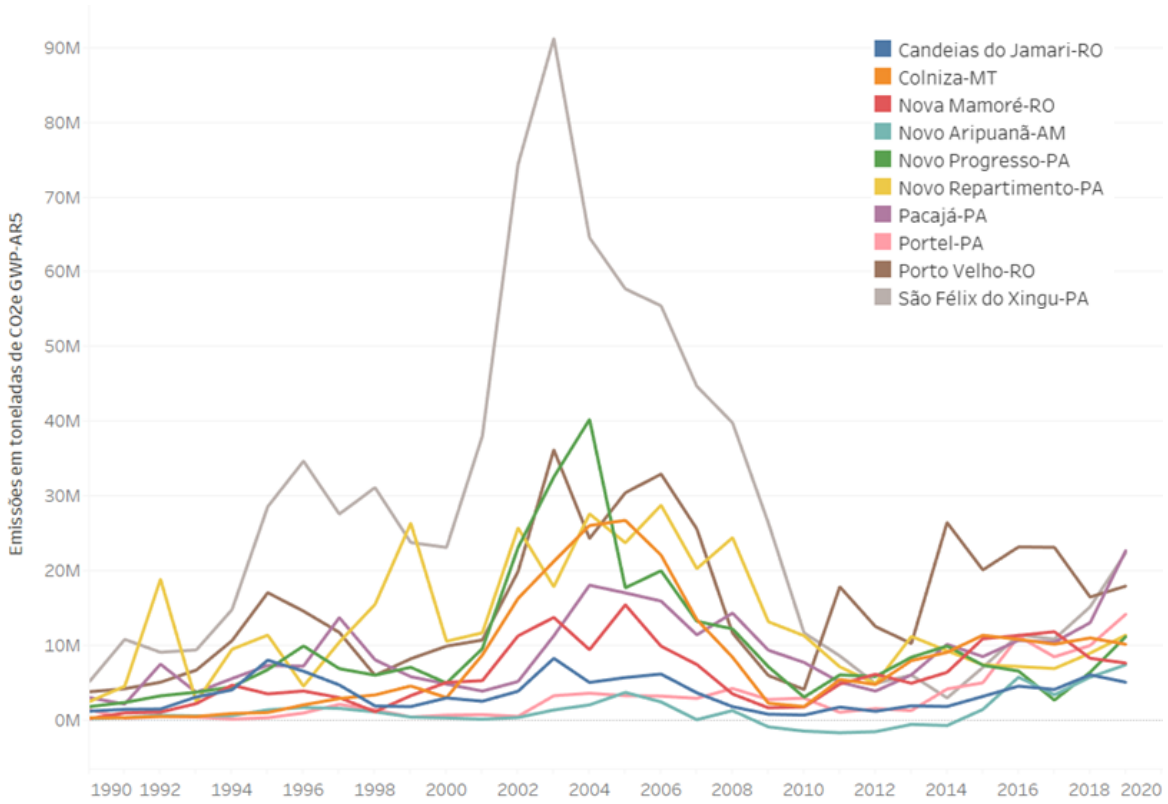

Figura 5. Trajetória dos dez municípios com maiores emissões de gases de efeito estufa (emissões líquidas) em 2018 no setor de mudança de uso da terra no Brasil, no período de 1990 a 2019.

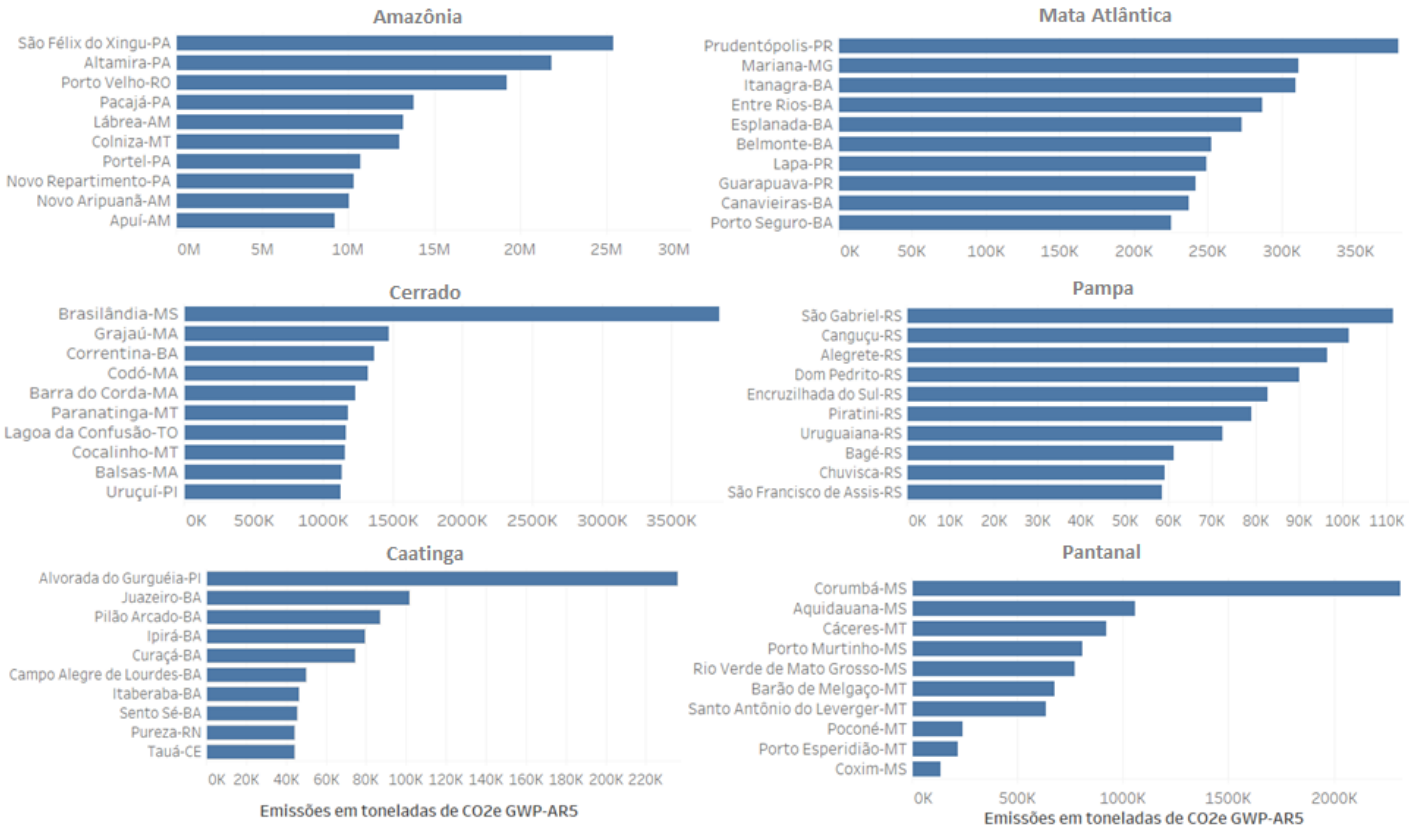

Figura 6. Dez municípios com maiores emissões de gases de efeito estufa (emissões brutas) por bioma no Brasil em 2018, no setor de mudança de uso da terra.