

1 The text that follows is a TRANSLATION
2 O texto que segue é uma TRADUÇÃO

3

4 **Desmatamento na Amazônia: Impacto**
5 **simulado da proposta reconstrução da**
6 **rodovia BR-319**

7

8 Please cite the original article:
9 Favor citar o trabalho original:

10

11 Santos, J.L., A.M. Yanai, P.M.L.A. Graça, F.W.S.

12

13 **Correia & P.M. Fearnside. 2023. Amazon**
14 **deforestation: Simulated impact of**
15 **Brazil's proposed BR-319 highway**
16 **project.** *Environmental Monitoring and*

17

Assessment 195(10): art. 1217.

18

<https://doi.org/10.1007/s10661-023-11820-7>

19

ISSN: 0167-6369 (print); 1573-2959 (web)

20

21 Copyright: Springer

22

23 The original publication is available at

24 O trabalho original está disponível em:

25

26 [https://doi.org/10.1007/s10661-023-11820-](https://doi.org/10.1007/s10661-023-11820-7)

Desmatamento na Amazônia: Impacto simulado da proposta reconstrução da rodovia BR-319

Jerfferson L. Santos^{1,2}, Aurora M. Yanai⁴, Paulo M. L. A. Graça⁴, Francis W. S. Correia^{2,3} & Philip M. Fearnside⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Clima e Meio Ambiente, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av. André Araújo, 2936, CEP 69067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Clima e Meio Ambiente, Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Av. Darcy Vargas, 1200, CEP 69050-020, Manaus, Amazonas, Brasil.

³Laboratório de Modelagem de Sistemas Climáticos Terrestres (LABCLIM), Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Av. Darcy Vargas, 1200, CEP 69050-020, Manaus, Amazonas, Brasil.

⁴Coordenação de Pesquisa de Dinâmica Ambiental, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av. André Araújo, 2936, CEP 69067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.

E-mails: jlds.dcl19@uea.edu.br (Jerfferson L. Santos – Autor Correspondente), yanai@inpa.gov.br (Aurora M. Yanai), pmlag@inpa.gov.br (Paulo M. L. A. Graça), fcorreia@uea.edu.br (Francis W. S. Correia), pmfearn@inpa.gov.br (Philip M. Fearnside).

49

50 **Resumo**

51 O cenário do desmatamento na Amazônia pode mudar com a reconstrução da rodovia BR-319,
52 estrada de longa distância que expandirá a fronteira agrícola da região em direção ao norte e oeste
53 da Amazônia Ocidental, áreas que até o presente possuem grandes extensões de floresta primária
54 devido ao difícil acesso. Simulamos o desmatamento que seria causado pela reconstrução e
55 pavimentação da rodovia BR-319 no Estado do Amazonas para o período de 2021 a 2100. Os
56 cenários foram baseados na dinâmica histórica do desmatamento no Estado do Amazonas
57 (“*business as usual*”, ou BAU). Foram desenvolvidos dois cenários de desmatamento: a) BAU_1,
58 onde a rodovia BR-319 não é reconstruída, mantendo seu estado atual e b) BAU_2, onde a
59 reconstrução e pavimentação da rodovia ocorrerão em 2025, favorecendo o avanço da fronteira do
60 desmatamento para a porção norte e oeste do Estado do Amazonas. No cenário onde está prevista a
61 reconstrução da rodovia (BAU_2), os resultados mostram que o desmatamento aumenta em 60% até
62 2100 em comparação ao cenário sem reconstrução (BAU_1), demonstrando que a pavimentação
63 aumentaria o desmatamento além dos limites da área de amortecimento oficial da rodovia (40 km).
64 O estudo mostrou que as áreas protegidas (unidades de conservação e Terras Indígenas) ajudam a
65 manter a cobertura florestal na região amazônica. Ao mesmo tempo, mostra como estudos como
66 este podem auxiliar na tomada de decisões.

67 Palavras-chave: modelagem ambiental; mudança do uso da terra; Amazônia; arco de desmatamento;
68 ocupação humana.

69

70 **1. INTRODUÇÃO**

71 A bacia amazônica cobre uma área de aproximadamente 7 milhões de km², sendo 5,5 milhões de
72 km² cobertos por florestas, o que representa 40% da área florestal tropical global (Nobre, 2014;
73 Weng et al., 2018). Os ecossistemas amazônicos abrigam de 15 a 20% da diversidade de espécies do
74 planeta (Lewinsohn & Prado, 2002) e armazenam cerca de 120 Gt de carbono (Saatchi et al., 2011).
75 A floresta amazônica desempenha um papel importante nos sistemas climáticos regional e global
76 através do armazenamento e absorção de carbono (ciclo do carbono), transporte de gases traço e
77 aerossóis, e através da ciclagem da água, que fornece umidade que é transportada para outras
78 regiões do continente e contribui para a manutenção do regime hidrológico em escala regional e
79 global (Rocha et al., 2015; Nobre et al., 2016; Marengo et al., 2018; Weng et al., 2018).

80 O desmatamento, que se destina principalmente à pecuária extensiva, é um dos principais
81 contribuintes para as emissões de gases do efeito estufa e para as mudanças climáticas, tanto na
82 escala regional como global (Fearnside et al., 2009; Moutinho, 2009; Marengo et al., 2018;
83 Fearnside, 2022b). O desmatamento na Amazônia é monitorado por satélite desde 1988, e esse
84 monitoramento é uma importante ferramenta para orientar políticas públicas que visam controlar a
85 destruição das florestas na região (INPE, 2022a).

86 O desmatamento na Amazônia é um dos grandes problemas que o Brasil vem enfrentando nas
87 últimas décadas, e a reconstrução da rodovia BR-319 (Figura 1.a.) é um assunto que tem chamado a
88 atenção de ambientalistas e pesquisadores. Esta rodovia facilitaria o acesso a uma grande área de
89 floresta preservada, o que poderia mudar o cenário atual de desmatamento na Amazônia (Figura
90 1.b.) e causar impactos ambientais e sociais substanciais nos níveis local, regional e global.

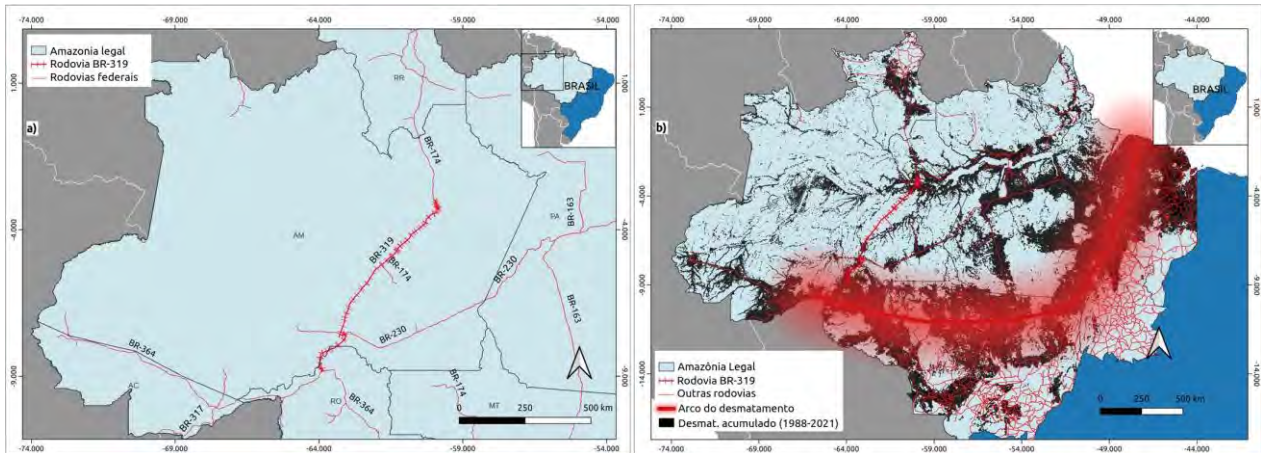


Figura 1: a) Mapa da rodovia BR-319, ligando as cidades de Manaus, Amazonas e Porto Velho, Rondônia, mostrando as principais rodovias federais. b) Rodovias oficiais e a distribuição espacial do desmatamento acumulado (1988 a 2021) com destaque para o ‘arco de desmatamento’. Mapa elaborado pelos autores. Fontes de dados: IBGE, 2017; DNIT, 2021; INPE, 2022b.

91 A rodovia BR-319 foi construída em 1972 e 1973, mas só foi inaugurada em 1976 (DNIT, 2016),
 92 período de governo militar. A rodovia fazia parte do Programa de Integração Nacional (PIN) do
 93 Brasil, sob o lema “Segurança e Desenvolvimento”, unindo as preocupações militares sobre a
 94 suposta invasão comunista com os ideais de desenvolvimento promovidos pelo presidente Juscelino
 95 Kubitschek na década de 1950 (Lessa, 1991; Kohlhepp, 2002; Oliveira-Neto, 2014; Facundes,
 96 2019). Com o passar do tempo e a falta de manutenção, a BR-319 tornou-se intransitável no final da
 97 década de 1980 (DNIT, 2016) e sua reconstrução passou a ser foco de diversos movimentos e de
 98 governos locais (MPOG, 2004).

99 Foi na década de 1970 que se iniciou o período mais crítico de mudanças na paisagem amazônica
 100 no Brasil, quando os impactos ambientais foram intensificados por meio de colonização e
 101 programas de desenvolvimento baseados em rodovias. Essas rodovias ainda têm um papel
 102 importante na ocupação do espaço, atraindo pessoas em busca de terras baratas e recursos naturais
 103 e, conseqüentemente, aumentando o desmatamento, as queimadas, a extração ilegal de madeira, o
 104 crescimento da pecuária, o garimpo ilegal, a especulação e a grilagem de terras, os conflitos
 105 armados e surtos de doenças, entre outros efeitos (Lessa, 1991; Loureiro, 2002; Fearnside, 2003;
 106 Graça et al., 2007; Laurance & Balmford, 2013; Brito & Castro, 2018).

107 Barber et al. (2014) mostraram que 94% de todo o desmatamento na Amazônia brasileira ocorreu
 108 em torno de estradas oficiais e endógenas, demonstrando o papel das rodovias como importantes
 109 impulsionadores do desmatamento. A reconstrução da rodovia BR-319 é, portanto, objeto de
 110 preocupações crescentes, pois a ocupação desordenada e a degradação ambiental podem estender o
 111 'arco de desmatamento' (Figura 1.b.) avançando para a parte norte do Estado do Amazonas e para o
 112 Estado do Roraima, chegando à fronteira com a Venezuela pela rodovia BR-174 (Manaus - Boa
 113 Vista) (Fearnside et al., 2009; Fearnside & Graça, 2009; Barni et al., 2015). As estradas planejadas
 114 associadas à BR-319 estenderiam o impacto à porção oeste do Estado do Amazonas (Fearnside,
 115 2018).

116 Mesmo assim, muitos políticos e entusiastas da reconstrução da rodovia BR-319 afirmaram que o
 117 desmatamento não ocorreria, contrariando os alertas dos cientistas. Porém, é fato que o simples
 118 anúncio dos planos de pavimentação e melhorias já resultou em um padrão desordenado de
 119 ocupação e no aumento do desmatamento e das queimadas no trecho méio da rodovia, com
 120 desmatamento ilegal desenfreado e invasão de terras públicas para especulação imobiliária e
 121 pecuária extensiva (Fearnside & Graça, 2009; Andrade et al., 2021; Ferrante et al., 2021).

A situação se torna mais preocupante pelo atual cenário brasileiro em que há tendência de aumento do desmatamento, como pode ser visto na Figura 2.a. Essa tendência está relacionada às pressões econômicas e ao poder político de grupos com interesses em negócios fundiários e projetos de infraestrutura na Amazônia, o que levou ao enfraquecimento do Código Florestal Brasileiro (Material Suplementar, Anexo 1) e a outras alterações legislativas que vêm eliminando progressivamente as restrições ao desmatamento desde 2012 (Fearnside, 2022a). O governo do Presidente Jair Bolsonaro (2019-2022) revogou muitas das normas internas do governo que haviam sido estabelecidas para combater o desmatamento (Barbosa et al., 2021). Pelo menos 401 dessas mudanças podem ser revertidas em 2023 pelo novo governo do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva (TALANOIA, 2022). As mudanças legislativas, porém, enfrentarão um Congresso Nacional com nova composição, indicando que será ainda mais hostil à proteção ambiental do que o Congresso durante o governo Bolsonaro (ClimaInfo, 2022).

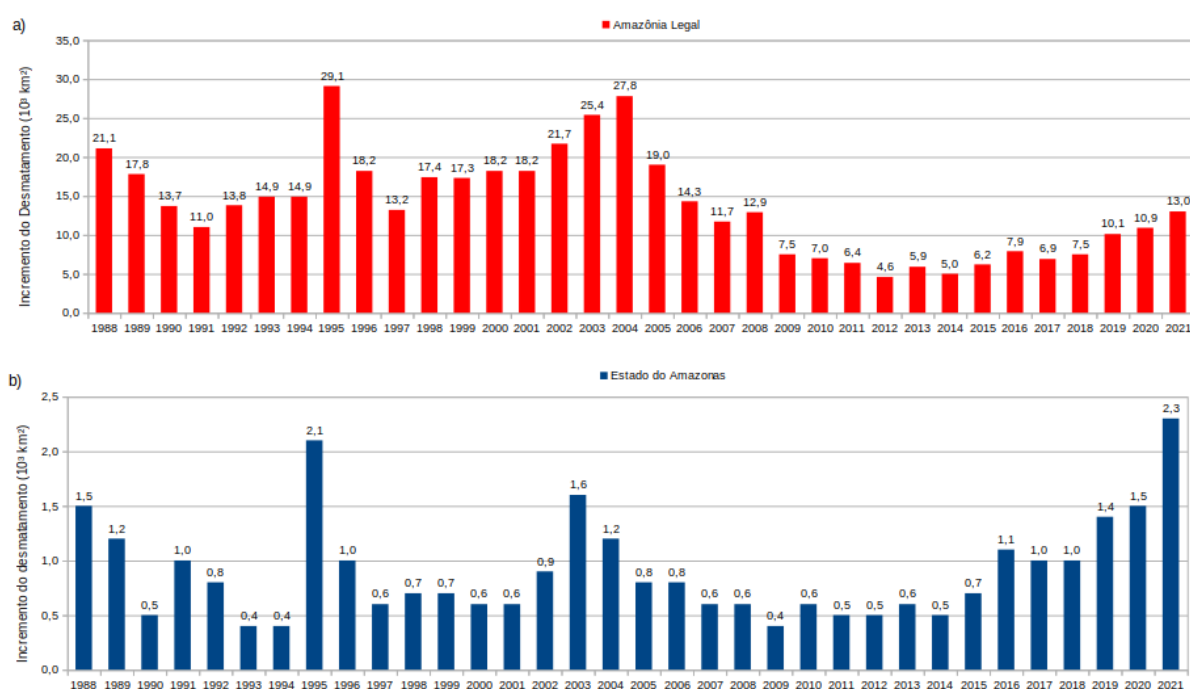


Figura 2: Desmatamento na Amazônia Legal brasileira (a) e no Estado do Amazonas (b) de 1988 a 2021 em 10³ km². Fonte: INPE (2022b).

Segundo dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Estado do Amazonas retomou o aumento do desmatamento anual, passando de 523 km² em 2012 para 2.306 km² em 2021, um aumento de 440% (INPE, 2022a), superando o recorde histórico de 1995 (Figura 2.b.). Além disso, esses dados mostram que grande parte do desmatamento no Estado do Amazonas se concentrou na parte sul da área de estudo, que está sob influência direta da BR-230 (rodovia Transamazônica) e da BR-364 (Porto Velho – Rio Branco).

Assim, dada a possibilidade de reconstrução e pavimentação da BR-319 e as possíveis mudanças no padrão de uso e cobertura do solo, a questão que o presente estudo se propõe a responder é: “Qual seria o impacto da pavimentação da rodovia BR-319 sobre o desmatamento no Estado do Amazonas em 2050 e 2100?”. O presente estudo tem como objetivo avaliar o impacto da BR-319 e demais rodovias planejadas na área de estudo.

146 2. MATERIAIS E MÉTODOS

147 2.1. Área de estudo

148 O estudo tem como foco a rodovia federal BR-319, localizada no interflúvio entre os rios Madeira e
149 Purus, ligando as cidades de Manaus (Amazonas) e Porto Velho (Rondônia). A BR-319 é a principal
150 via de acesso terrestre aos municípios de Careiro, Manaquiri, Careiro da Várzea e Autazes, além de
151 facilitar o acesso a Humaitá, Lábrea e Manicoré. É o único acesso terrestre às comunidades de Vila
152 Realidade (distrito do município de Humaitá) e Igapó-Açu (distrito do município de Borba). No
153 entanto, todos esses locais são acessíveis a partir dos dois extremos da rodovia, sem reconstruir o
154 crítico “trecho do meio” que daria acesso a partir do arco de desmatamento a todas as áreas ligadas
155 a Manaus por rodovia, incluindo o Estado de Roraima.

156 A malha viária oficial do Estado do Amazonas que liga os 885 km da BR-319 corresponde a 1.934
157 km, compreendendo as rodovias federais BR-230 (827 km de Lábrea até a divisa entre os Estados
158 do Amazonas e Pará), BR-174 (85 km, trecho BR-319 - Manicoré), e rodovias estaduais AM-254
159 (94 km, BR-319 - Autazes) e AM-354 (43 km, BR-319 - Manaquiri). Além disso, há outros projetos
160 previstos pelo governo do Estado do Amazonas para construção de rodovias ligando a BR-319 a
161 outros municípios como Borba (AM-356), Novo Aripuanã (AM-360), Tapauá, Tefé e Juruá (AM-
162 366) e Coari (AM-248). As duas últimas estradas (AM-366 e AM-248) avançariam na vasta área de
163 floresta a oeste do rio Purus, facilitando o desmatamento em uma das áreas florestais mais
164 preservadas da Amazônia, conhecida como “Trans-Purus”. região (Fearnside et al., 2020) (Figura
165 3). Muito pouca área que seria acessada por essas estradas de ligação é protegida pela designação
166 como “unidade de conservação” (Figura 3).

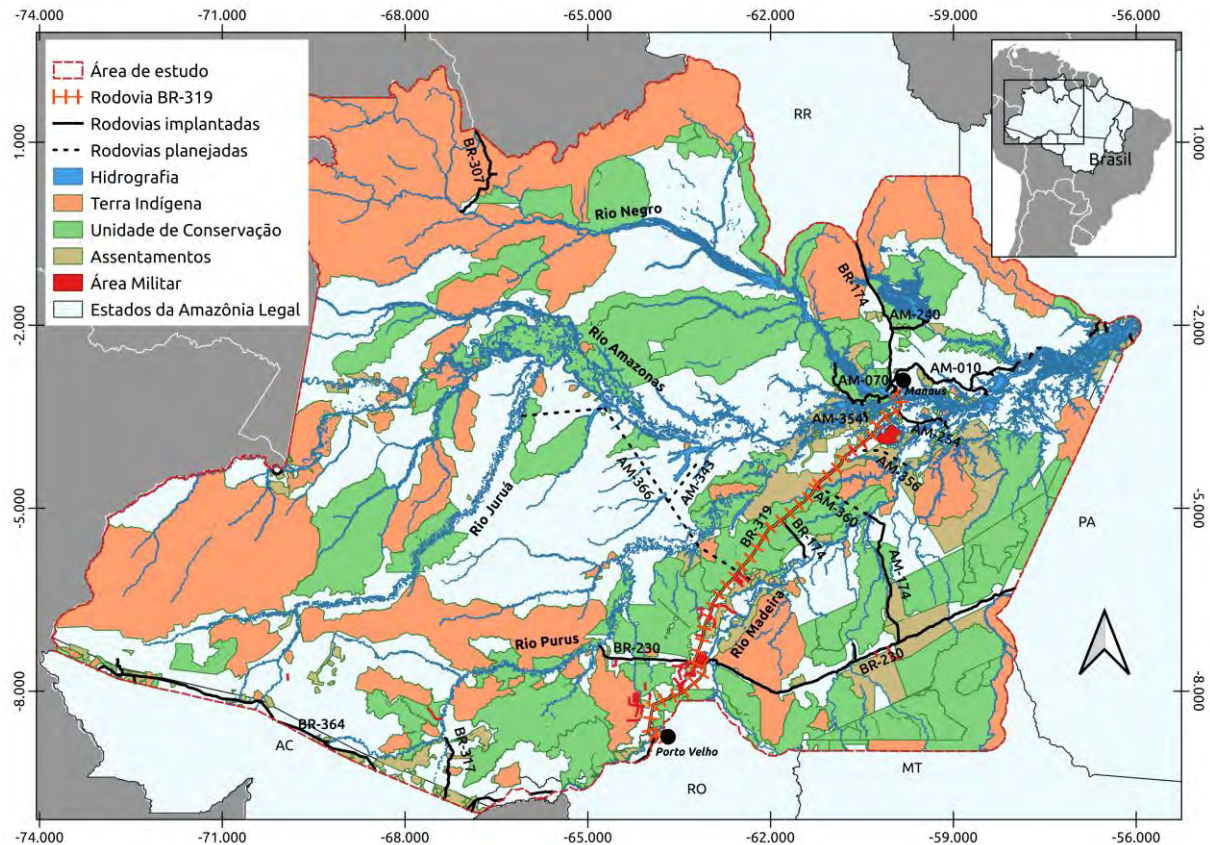


Figura 3: Área de estudo, rodovia BR-319 e a malha rodoviária planejada no entorno da BR-319, unidades de conservação federais e estaduais, Terras Indígenas, projetos de assentamentos federais e áreas militares. Mapa elaborado pelos autores. Fontes de dados: IBGE (2017), ICMBio, INCRA, FUNAI.

A área de influência oficial utilizada nos processos de licenciamento ambiental do Brasil para rodovias na região amazônica é uma faixa de 40 km, como área de amortecimento, definida pela Portaria Interministerial 60, de 24 de março de 2015 (Brasil, 2015). Porém, considerando que o impacto ambiental de uma rodovia pavimentada na Amazônia pode ultrapassar o limite mínimo definido em portaria interministerial, o presente estudo considerou o Estado do Amazonas como área total para modelagem dos impactos do desmatamento, tendo como 'espinha dorsal' rodovia BR-319, bem como suas rodovias e estradas de ligação, incluindo estradas existentes e planejadas. A área de estudo também inclui uma zona tampão de 20 km ao redor das fronteiras do Estado do Amazonas para representar a influência das áreas adjacentes, especialmente as rodovias presentes nos Estados do Acre, Rondônia, Roraima e Pará (Figura 3).

2.2. Modelagem do Uso do Solo

A modelagem do desmatamento foi feita utilizando a plataforma de modelagem ambiental DINAMICA-EGO (Ambiente para Objetos de Geoprocessamento) (Soares-Filho et al., 2002; Leite-Filho et al., 2020). O DINAMICA-EGO pode ser aplicado em diversos tipos de estudos, como modelagem de expansão urbana, propostas de zoneamento ecológico econômico e simulação do comportamento do desmatamento (Soares-Filho et al., 2004; Rodrigues et al., 2007; Ramos et al., 2018; Santos et al., 2021). Além disso, o software é de acesso aberto e possui uma interface amigável, que pode ser reproduzida por pessoas não familiarizadas com linguagens de programação como R e Python. Mais detalhes sobre o software podem ser encontrados no Material Suplementar (Anexo 2, Figura S1).

187 **2.3. Etapas de modelagem do desmatamento**

188 O processo de modelagem foi realizado através das seguintes etapas: entrada de dados, calibração,
189 validação e simulação (projeção) do desmatamento futuro. Para os dados de entrada e calibração foi
190 utilizado o período de 2007 a 2013. Para validação foi utilizado o período de 2014 a 2021, enquanto
191 os cenários de simulação foram para o período de 2021 a 2100.

192 **2.3.1. Dados de entrada**

193 Todos os dados cartográficos de entrada estavam em formato raster com resolução espacial de 100
194 m. O mapeamento utilizou o sistema de coordenadas cartesianas Policônicas do Brasil, Datum
195 SIRGAS 2000.

196 Além dos mapas de cobertura do solo, foram utilizados mapas de variáveis estáticas e dinâmicas.
197 Variáveis estáticas são aquelas para as quais o valor da classe de cada célula (pixel) não muda ao
198 longo de uma simulação. Para esta categoria foram utilizados mapas de unidades de conservação,
199 Terras Indígenas (FUNAI, 2020), unidades de conservação federais de proteção integral e unidades
200 de conservação federais de uso sustentável (ICMBio, 2020), unidades de conservação estaduais de
201 proteção integral e unidades de conservação estaduais de proteção integral e de uso sustentável
202 (SEMA, 2020) e áreas militares (ANM, 2021). Também foram utilizados mapas de projetos de
203 assentamento (INCRA, 2020) e da hidrografia oficial (INPE, 2020).

204 Variáveis dinâmicas são aquelas cujos valores mudam ao longo de uma simulação. Estas incluíram
205 distância de estradas oficiais e endógenas e distância de áreas desmatadas. O Material Suplementar
206 (Anexo 3) apresenta um resumo das variáveis utilizadas nas configurações (Tabela S1) e o mapa de
207 variáveis estáticas (Figura S2).

208 **2.3.1.1. Regionalização da área de estudo**

209 O modelo aplicado neste estudo utilizou a abordagem de regionalização, que consiste em
210 estabelecer parâmetros diferentes para cada região e modelar o contexto regional que influencia
211 determinado fenômeno (Leite-Filho et al., 2020). O software usa um conjunto de funtores
212 (ferramentas ou pequenas sub-rotinas) para dividir um mapa em partes (ou seja, regiões) para
213 processar o conjunto de dados de cada região separadamente e depois combiná-los. Para isso, um
214 mapa regionalizado da área de estudo foi adicionado como insumo ao modelo.

215 Assim, considerando que a regionalização da área permite parametrizar individualmente cada
216 região, no presente estudo a área foi dividida em nove regiões (Figura 4) que levaram em
217 consideração a presença de rodovias (atuais e planejadas), aglomerados humanos, perfil de uso do
218 solo (contribuição dos atores sociais no desmatamento) e hidrografia. Um resumo dos parâmetros
219 utilizados para dividir a área de estudo em regiões é fornecido no Material Suplementar (Anexo 4,
220 Tabela S2).

221

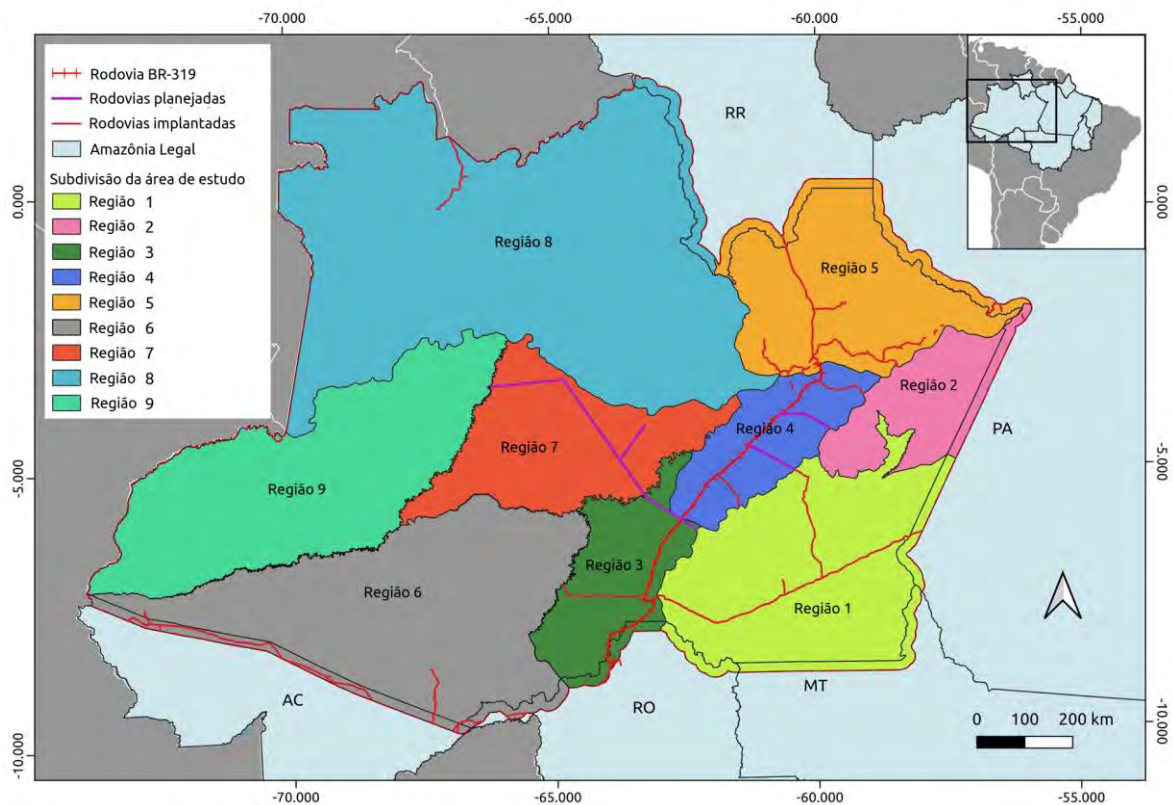


Figura 4: Mapa regionalizado da área de estudo.

2.3.2. Calibração

A calibração é a etapa de ajuste dos parâmetros do modelo para que os resultados da simulação sejam o mais semelhantes possível ao caso real do estudo (Campos et al., 2022). Portanto, nesta fase há uma busca contínua para ajustar estes parâmetros até que o resultado da simulação fique o mais próximo possível do real. Neste estudo o período de referência utilizado para calibração do modelo foi de 2007 a 2013, com o objetivo de realizar uma rodada de simulação de validação para o período de 2014 a 2021, comparando o mapa simulado de 2021 com os dados de satélite de desmatamento observado do mapa PRODES para 2021.

Entre os dados necessários para serem aplicados no modelo de simulação estão os pesos de evidência das variáveis, sendo esta uma medida da influência que cada variável tem para causar uma mudança, neste caso a expansão do desmatamento (Leite-Filho et al., 2020). Os pesos de evidência aplicados no DINAMICA-EGO baseiam-se num método Bayesiano onde o efeito de uma variável espacial é calculado independentemente de qualquer combinação para produzir mapas que descrevem as áreas mais favoráveis para que uma mudança ocorra (Soares-Filho et al., 2002, 2004; Leite-Filho et al., 2020).

Para cálculo dos pesos de evidência foi utilizado um modelo no DINAMICA-EGO, que recebeu os mapas de paisagem inicial (2007) e final (2013), além dos mapas de variáveis estáticas e dinâmicas, seguido do cálculo das faixas e atribuição de valores para a probabilidade de transição para cada variável utilizada no modelo de simulação. Foi necessário um ajuste para alcançar o resultado desejado, definindo o intervalo e a distância dos pesos de evidência em 100 m e 1.500 m, respectivamente, para as variáveis estradas, desmatamento e hidrografia. Tais valores foram alcançados após diversas rodadas de ajustes, e o teste de validação indicou que o melhor resultado ficou nesta faixa de influência. A tabela de parâmetros utilizada no presente estudo e uma figura que

245 resume o cálculo dos coeficientes de pesos de evidência podem ser encontradas no Material
246 Suplementar (Anexo 5, Tabela S3, Figura S3).

247 Considerando que a única suposição para o método de pesos de evidência é que os mapas de
248 entrada sejam espacialmente independentes, o próximo passo é analisar a correlação entre os mapas
249 de variáveis (Leite-Filho et al., 2020). Após análise de pares correlacionados entre variáveis por
250 meio do teste de Cramer e informações de incerteza conjunta, valores acima de 0,5 foram
251 considerados como variáveis dependentes (Bonham-Carter, 1994). Nenhuma variável dependente
252 foi observada no presente estudo.

253 Outro parâmetro utilizado no modelo é a taxa de transição, necessária para determinar o número de
254 células que transitam entre classes a cada intervalo de tempo anual, neste caso de floresta para
255 desmatamento. A taxa de transição foi calculada usando um submodelo no DINAMICA-EGO
256 chamado “Determinar Matriz de Transição”, que utiliza mapas do estado inicial (desmatamento
257 acumulado até 2007) e do estado final (desmatamento acumulado até 2013). Esta ferramenta gera
258 duas matrizes: a matriz de transição anual (*Multiple Step*) e uma matriz de transição global (*Single*
259 *Step*). “*Multiple Step*” retrata o processo de mudança entre as turmas que ocorre a cada ano,
260 enquanto “*Single Step*” retrata a mudança ao longo de todo o período de análise (Leite-Filho et al.,
261 2020). A simulação utilizou a matriz de transição anual (*Multiple Step*), que reflete a transição
262 média anual no período de calibração (2007 a 2013).

263 Contudo, a simples aplicação da taxa de desmatamento fornecida na matriz de transição anual
264 resultaria numa taxa constante em todas as interações do modelo. Assim, considerando que as taxas
265 de desmatamento na verdade flutuam ao longo do tempo (aumentando e diminuindo), seja como
266 resultado de crises financeiras, conflitos, eventos climáticos, decisões políticas e outros fatores, este
267 estudo incluiu um fator crescente e redutor para as taxas de desmatamento, que foi aplicado para
268 períodos de intervalo de seis anos (período igual ao período de referência utilizado para calibração
269 do modelo).

270 Para representar o aumento do desmatamento, foi adicionado à taxa de transição (*Multiple Step*) um
271 índice que considerou a área desmatada no ano anterior mais o aumento percentual médio em todos
272 os anos em que o desmatamento aumentou no período de 2000 a 2014 no Estado de Amazonas. Isso
273 representou o aumento do desmatamento na área de estudo por meio da seguinte equação:

274

$$275 \text{ Ind.t} = ((\text{AD2}-\text{AD1}) 100)/\text{AD1} + \text{Mdi} \quad (\text{Eq. 1})$$

276 Ind.t = Índice de Transição

277 AD1 = Área desmatada no Ano 1 (km²)

278 AD2 = Área desmatada no Ano 2 (km²)

279 Mdi = Desmatamento médio anual nos anos em que houve aumento (período de 2000 a 2014)

280

281 Para representar a redução do desmatamento, a Equação 2 segue o mesmo princípio da Equação 1,
 282 utilizando a redução percentual média em todos os anos em que houve redução do desmatamento
 283 durante o período de 2000 a 2014.

$$284 \quad \text{Ind.t} = ((\text{AD2}-\text{AD1}) 100)/\text{AD1} - \text{Mdd} \quad (\text{Eq. 2})$$

285 Ind.t = Índice de Transição

286 AD1 = Área desmatada no Ano 1 (km^2)

287 AD2 = Área desmatada no Ano 2 (km^2)

288 Mdd = Desmatamento médio anual nos anos em que houve redução (período de 2000 a 2014)

289

290 Os fatores de aumento e diminuição (Mdi e Mdd) foram calculados com base no aumento e
 291 diminuição médios do desmatamento durante o período de 2001 a 2014, para melhor representar as
 292 tendências de aumento e diminuição ao longo do tempo, que foram definidos da seguinte forma:
 293 0,26 para aumento e 0,20 para redução. Os anos em que ocorreram aumentos e diminuições no
 294 desmatamento no Estado do Amazonas são mostrados no Material Suplementar (Anexo 5, Figura
 295 S4), bem como um exemplo da flutuação das taxas de desmatamento ao longo do tempo (Figura
 296 S6). O presente método permitiu que as taxas de transição flutuassem a cada iteração do modelo, o
 297 que significa que, como há uma mudança na paisagem a cada passo de tempo, a taxa de transição
 298 (anual) é atualizada a cada iteração em relação à área florestal disponível em cada região. Um
 299 resumo e os dados de entrada são mostrados no Anexo 5 e na Tabela S4 do Material Suplementar.

300 As funções de alocação espacial para as novas manchas de desmatamento utilizadas no modelo
 301 foram *Patcher* e *Expander*, onde a função *Patcher* cria novas áreas (manchas) de transição
 302 separadas das áreas já desmatadas, enquanto a função *Expander* é responsável por ampliar áreas já
 303 desmatadas (Leite-Filho et al., 2020). Neste estudo foram realizadas diversas rodadas de ajustes de
 304 parâmetros e, no teste de validação, o melhor resultado obtido foi utilizando 30% como valor para a
 305 função *Expander* e 70% para a função *Patcher*. Quanto ao tamanho das manchas de desmatamento,
 306 foi calculada durante o período de calibração a faixa média do tamanho dos polígonos de
 307 desmatamento de cada região definida no estudo. As configurações utilizadas para alocar manchas
 308 de desmatamento por meio das funções *Patcher* e *Expander*, incluindo os percentuais adotados,
 309 estão disponíveis no Material Suplementar (Anexo 6, Tabela S6).

310 Considerando que o modelo trata do impacto das estradas na mudança da paisagem, o módulo
 311 construtor de estradas foi acoplado ao modelo, utilizando como entrada o mapa de estradas oficiais
 312 e endógenas. Este módulo calcula o custo relativo que uma estrada tem ao cruzar uma célula do
 313 mapa de uso do solo, dependendo do destino dado à célula (terras protegidas, florestas públicas não
 314 destinadas, assentamentos, etc.). Para isso, utilizamos um mapa de atratividade (que indica as áreas
 315 mais favoráveis para a construção de estradas) e um mapa de fricção (que indica as áreas com
 316 maiores restrições para a construção de estradas) (Leite-Filho et al., 2020). As configurações
 317 utilizadas no módulo construtor de estradas podem ser vistas no Material Suplementar (Anexo 7,
 318 Tabela S7).

319 2.3.3. validação do modelo

Após calibração (2007 a 2013), foi utilizado um modelo de simulação para o período de 2014 a 2021 a fim de calcular a mudança ocorrida neste intervalo e validar o mapa resultante do modelo simulado para 2021 por comparação com o mapa real do PRODES 2021. Para validação, este estudo simulou um período diferente do período de calibração, a fim de avaliar quão bom o modelo é na previsão de mudanças na paisagem, com base nos procedimentos utilizados em estudos anteriores (Siqueira-Gay et al., 2022).

O método de validação aplicado neste estudo foi o método de similaridade *fuzzy* (Hagen, 2003), adaptado por Leite-Filho et al. (2020). Este método emprega uma função de decaimento constante que mede a adequação espacial entre dois mapas através de análise de similaridade de múltiplas janelas, ou seja, se o mesmo número de células de mudança for encontrado na janela, o ajuste será 1, independente de suas localizações, e zero se não for encontrado o mesmo número de células de mudança (Leite-Filho et al., 2020). Simplificando, o modelo faz a comparação através dos tamanhos das janelas, ou seja, com o número de células correspondente à resolução utilizada na modelagem. Por exemplo, neste estudo a resolução adotada foi de 100 m, portanto a janela 1 (1×1) corresponde a $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ ($0,01 \text{ km}^2$), janela 3 (3×3) = $300 \text{ m} \times 300 \text{ m}$ ($0,09 \text{ km}^2$), e assim por diante.

Como a comparação é feita utilizando ambos os mapas (simulado e observado), os resultados podem gerar taxas com valores mínimos e máximos de similaridade, que podem variar de 0% a 100% (0% indica que os mapas são completamente diferentes e 100% indica que eles são idênticos). Neste estudo adotamos como referência o valor mínimo de similaridade. Comparamos os resultados da simulação com um modelo nulo, que usa os mesmos mapas e taxas de entrada, mas com valores de pesos de evidência definidos como zero. O mapa nulo também foi comparado com o mapa observado (PRODES 2021). Para ser considerado eficiente, o modelo proposto deve vencer em todas as comparações feitas com o modelo nulo. Mais detalhes podem ser encontrados no material suplementar (Anexo 8).

2.3.4. Projeção de cenários futuros

A abordagem atual considera as tendências de expansão da ocupação territorial por diferentes grupos locais com base na dinâmica do desmatamento histórico da Amazônia (*Business as Usual*, ou BAU), que reflete dinâmicas de ocupação e conflitos que influenciam a mudança da paisagem ao longo das rodovias (Castro et al., 2004; Brito & Castro, 2018; Fearnside, 2022a). Assim, as taxas de desmatamento não foram projetadas com base na perspectiva de melhoria da gestão ambiental na área, como fortalecimento e aumento da autonomia das instituições públicas de comando e controle, políticas públicas voltadas à sustentabilidade ou alcance da meta de redução de emissões estipulada no acordos internacionais, pois isso depende do compromisso de longo prazo dos governos estaduais e federais.

Foram desenvolvidos dois cenários de prognóstico ambiental para o período de 2021 a 2100: a) Cenário 1 (BAU_1) - rodovia BR-319 sem pavimentação (estado atual com manutenção sazonal e com degradação no período chuvoso, com projeto pendente de reconstrução e pavimentação não aprovado); b) Cenário 2 (BAU_2) – rodovia BR-319 com pavimentação (presume-se que o projeto de reconstrução e pavimentação esteja autorizado e iniciado em 2025).

Para o cenário BAU_1 foram aplicadas as médias das taxas históricas de transição do período de calibração (2007 a 2013) obtidas de cada região da área de estudo conforme metodologia apresentada no item ‘validação do modelo’, de 2021 a 2100. No cenário BAU_2, as taxas de transição seguiram os mesmos princípios do cenário BAU_1 até o início da pavimentação da

364 rodovia BR-319 em 2025, quando começa um aumento na taxa de desmatamento em decorrência do
 365 fluxo migratório decorrente da melhoria rodoviária e a expansão da rede rodoviária planejada até
 366 2100. As taxas de pós-pavimentação foram obtidas de outras regiões dentro da própria área de
 367 estudo, conforme definido abaixo.

368 Para o Cenário BAU_2, que considera a rodovia BR-319 pavimentada a partir de 2025, as taxas
 369 encontradas nas Regiões 3 e 4 (onde estão localizados os trechos da BR-319) assumem as mesmas
 370 taxas encontradas na Região 1 (área com maior taxa de desmatamento) As Regiões 3 e 4 seriam
 371 novas fronteiras para expansão da pecuária se a BR-319 fosse pavimentada, e na Região 5
 372 (Manaus), que terá a taxa da Região 3, região próxima à capital de Rondônia (de modo que a
 373 Região 5 tenha uma taxa semelhante àquela próxima a uma capital no 'arco do desmatamento').

374 A partir de 2028, a taxa de transição encontrada na Região 7 (desde que a rodovia AM-366 seja
 375 construída a partir da rodovia BR-319), passou a ter a mesma taxa da Região 1 (mesmo princípio
 376 adotado para representar as Regiões 3 e 4, se AM-366 for construído). A taxa da Região 1 foi
 377 escolhida porque representa uma continuação da expansão do desmatamento em direção à parte
 378 oeste da área de estudo devido à influência da migração para o Amazonas a partir dos Estados do
 379 Pará, Rondônia e Mato Grosso. Portanto, escolhemos a Região 1 como referência para representar a
 380 quantidade de desmatamento.

381 Independentemente da taxa aplicada, o modelo permite a utilização de coeficientes de pesos de
 382 evidência de outras regiões que possam simular melhor o que se pretende representar. Assim, os
 383 coeficientes de pesos de evidência também foram substituídos para melhor representar a influência
 384 das estradas pavimentadas no modelo, ou seja, as Regiões 3 e 4 (local da rodovia BR-319) e a
 385 Região 5 (região com ligação à BR-319, e, portanto, tornando-se uma nova fronteira agrícola),
 386 passou a ter o mesmo coeficiente de pesos de evidência da Região 6 (que é uma região com a
 387 rodovia BR-364 pavimentada no 'arco do desmatamento').

388 Considerando o plano de construção da rodovia AM-366 (sem pavimentação), a Região 7 passa a
 389 ter o mesmo peso de evidência da Região 1 (que é uma região com a rodovia BR-230 não
 390 pavimentada no 'arco do desmatamento' no Estado do Amazonas). Além disso, para complementar a
 391 análise do impacto do desmatamento, foi feito um plano de pavimentação da rodovia AM-366 para
 392 o ano de 2050, a partir do qual passou a alterar os coeficientes de pesos de evidência para ficarem
 393 mais parecidos com os da Região 6 (ou seja, para lembrar região com rodovia asfaltada: parte do
 394 trecho Porto Velho–Rio Branco da BR-364).

395 O plano de pavimentação da rodovia AM-366 justifica-se pelo fato da estrada proposta estar
 396 localizada em região planejada para extração de petróleo e gás, o que pode favorecer o
 397 financiamento ou captação de recursos para construção, além de maior possibilidade de
 398 interferência política no órgão licenciador. Contudo, vale ressaltar que, considerando as taxas de
 399 transição aplicadas, o resultado da quantidade de desmatamento não muda.

400 A alocação de *Patcher* e *Expander* seguiu os mesmos princípios dos parâmetros utilizados na
 401 construção de estradas.

402 O plano de construção e pavimentação das rodovias planejadas seguiu os princípios de
 403 disponibilidade de área e oportunidade de ocupação, pois, independentemente dos planos
 404 governamentais de construção de uma rodovia, quando há área disponível e oportunidade, os
 405 ocupantes ilegais da área passam a seguir o rota planejada de uma rodovia, abrindo estradas e
 406 ramais não oficiais na rodovia oficial proposta. Esse fato pode ser observado em uma área da

407 Região 4, onde já está sendo construída uma estrada ou “ramal” ilegal no traçado da proposta
 408 rodovia AM-366 (Fearnside, 2022b). Assim, para o presente estudo, foi adotado um cronograma de
 409 construção de três anos (oficial ou não) para início após a pavimentação da BR-319 (Tabela 1).

410 **Tabela 1.** Cronograma de construção e pavimentação das rodovias planejadas influenciadas pela
 411 implantação da BR-319.

Rodovia	Segmento	Início
BR-319	Manaus– Porto Velho	2025*
AM-366 (Segmento 1)	Tapauá – AM-248	2028
AM-248	Coari - AM-366	2028
AM-366 (Segmento 2)	Entroncamento AM-366 - Tefé	2031
AM-366 (Segmento 3)	Tefé - Jutai	2034
AM-356	BR-319 - Borba	2028
AM-360	BR-319 – Novo Aripuanã	2028
AM-366 (todos os segmentos) e AM-248	Tapauá – Coari - Jutai	2050*

412 * Estimativa de pavimento.

413 A aplicação das taxas de transição em ambos os cenários seguiu a mesma metodologia aplicada na
 414 fase de validação. No entanto, os valores da ‘média dos anos em que houve aumento e diminuição
 415 do desmatamento’ (Mdi e Mdd) foram ajustados em ambos os cenários para melhor representar as
 416 tendências, utilizando o aumento e a diminuição médios no período de 2000 a 2021 Adotou-se o
 417 valor de 0,32 como fator de aumento e 0,19 como fator de diminuição, com intervalos de 6 anos a
 418 partir de 2021 (Tabela S5, Material Suplementar).

419 3. RESULTADOS

420 3.1. Validação

421 A validação comparou o mapa de desmatamento simulado de 2021 com o desmatamento de 2021
 422 obtido pelo mapeamento do PRODES em 2021, que é considerado referência para o desmatamento
 423 observado. Este método considera os valores do índice de similaridade de 50% suficientes para
 424 validação do modelo (Soares-Filho et al., 2013). O valor do índice mínimo de similaridade obtido
 425 foi de 51% para o modelo de simulação em janela de 11×11 células. Como cada célula deste
 426 modelo corresponde a 100×100 m, a janela possui uma área de $1,21 \text{ km}^2$.

427 Além da validação para 2021, os resultados foram comparados a um modelo nulo. No modelo nulo
 428 foram utilizados os mesmos mapas de entrada e taxas de transição, mas com os coeficientes de
 429 pesos de evidência definidos como zero, produzindo o resultado mostrado na Figura 5.

430

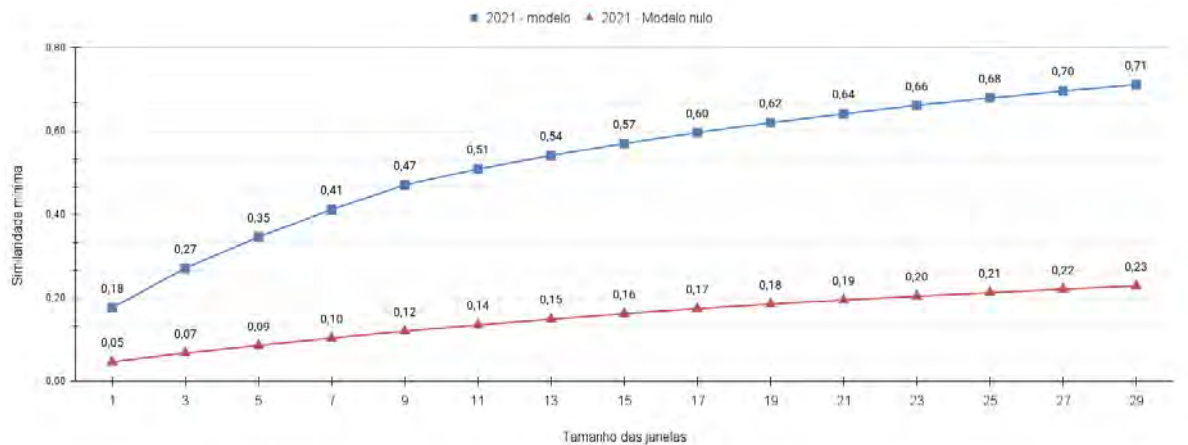


Figura 5: Resultados da validação para 2021 com similaridade mínima e com o modelo nulo, utilizando o método de decaimento constante.

431 Em relação à comparação do desmatamento simulado, a validação mostrou uma diferença de -
 432 0,54% em relação ao desmatamento de referência para o ano de 2021, resultando em uma diferença
 433 de -313,92 km² (Material Suplementar, Anexo 8, Tabela S8). Os resultados para cada região são
 434 apresentados no Material Suplementar (Figura S8, Anexo 8).

435 3.2. Previsão de desmatamento para os anos 2050 e 2100

436 Nesta seção serão apresentados os resultados dos cenários, destacando as mudanças simuladas até
 437 2050 e até 2100. Os resultados mostram que, para o desmatamento em BAU_1, há um aumento de
 438 200,24% até 2050 e 607,42% até 2100, em relação ao observado no mapa PRODES 2021. Para
 439 BAU_2 há um aumento de 224,12% até 2050 e 711,33% até 2100, para toda a área modelada,
 440 conforme mostra a Figura 6.

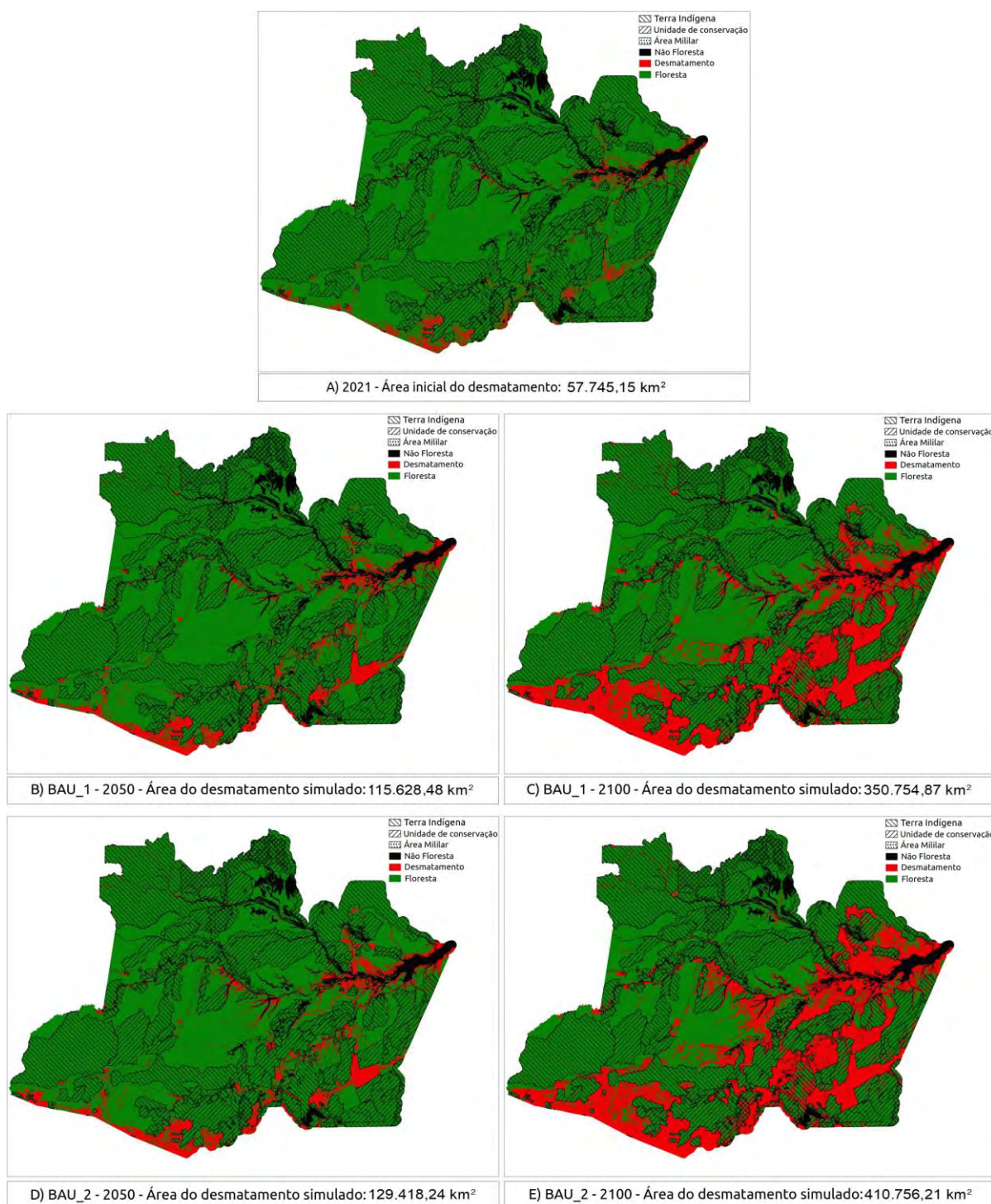


Figura 6: Evolução do desmatamento acumulado para o período de 2021 (A) a 2050 e 2100 nos cenários BAU_1 (B e C) e BAU_2 (D e E). Neste estudo, “não floresta” refere-se às áreas não consideradas pelo PRODES/INPE no cálculo do desmatamento na Amazônia (savanas, águas, afloramentos rochosos, etc.: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>).

441 Para o cenário BAU_1 no interflúvio Madeira-Purus (Regiões 3 e 4) onde está localizada a rodovia
 442 BR-319, houve aumentos de 197,37% até 2050 e 600,95% até 2100 na Região 3 e aumentos de
 443 241,08% até 2050 e 762,04% até 2100 nas Regiões 4. Principalmente para o trecho norte da rodovia
 444 BR-319 (Região 4, que possui maior área disponível para desmatamento) após a pavimentação
 445 (BAU_2) houve aumentos de 260,08% até 2050 e 843,65% até 2100.

446 Outra parte do Estado do Amazonas que chama a atenção é a região Trans-Purus, no centro do
447 estado (Região 7). Isso se deve à possível construção da rodovia AM-366, que ligaria à BR-319
448 (BAU_2). O cenário BAU_2 mostra um aumento de 359,48% até 2050 e 1.458,91% até 2100
449 (Figura 7, painéis D e E).

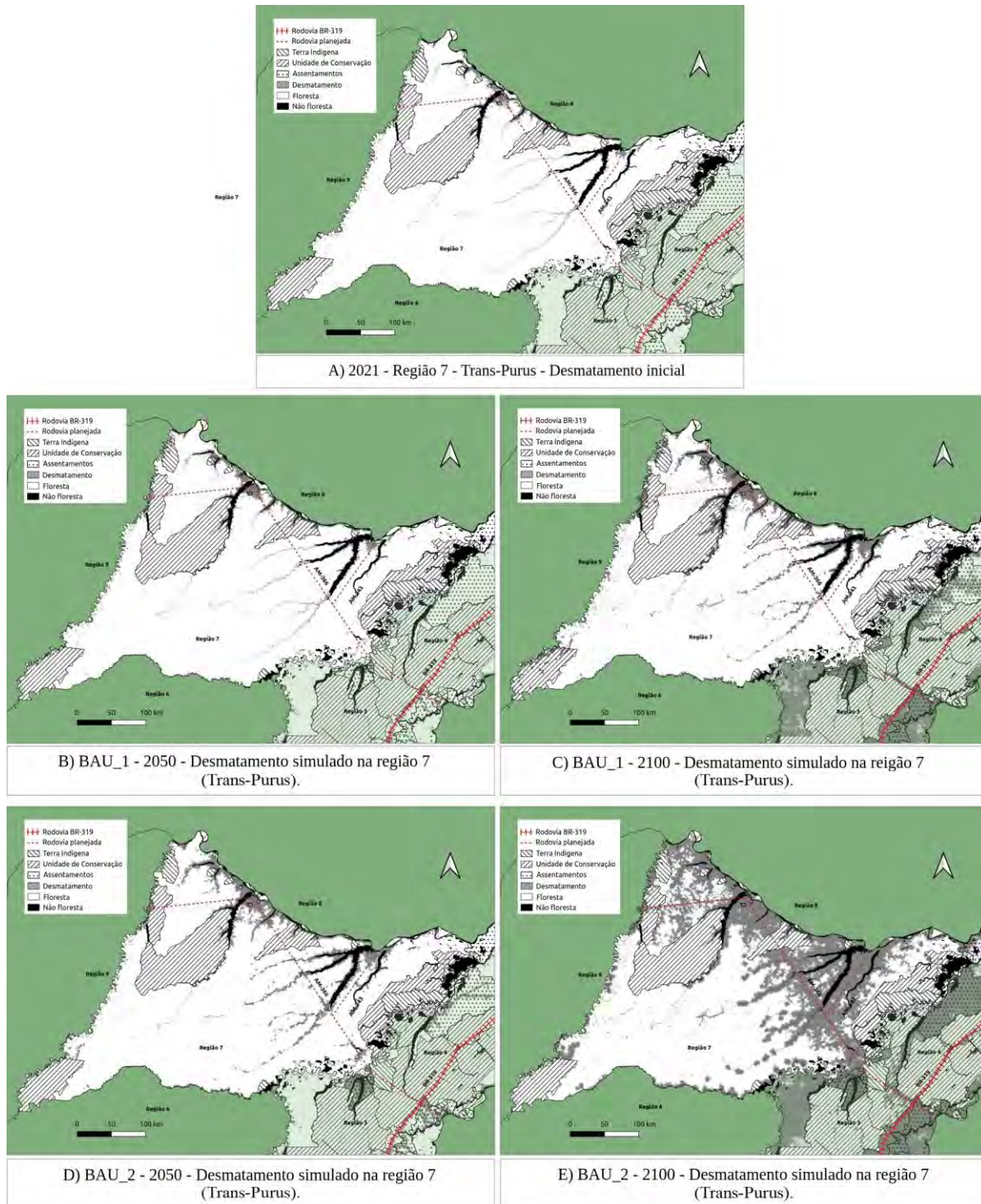


Figura 7: Evolução do desmatamento acumulado para o período de 2021 (A) a 2050 e 2100, nos cenários BAU_1 (B e C) e BAU_2 (D e E) na Região 7 (Trans-Purus) como resultado da construção de rodovias AM-366 e AM-248.

450 A Região 5 (BR-174 de Manaus até a divisa com o Estado de Roraima) teria um aumento de
 451 225,36% até 2050 e 734,81% até 2100 devido à influência da reconstrução da BR-319 (BAU_2).
 452 Assim, para as regiões influenciadas pela rodovia BR-319 (Regiões 3, 4, 5 e 7), o desmatamento
 453 teria um aumento de aproximadamente 60% no BAU_2 (159.961,31 km²) em relação ao BAU_1
 454 (99.959,97 km²). Os resultados para todas as regiões são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Aumento do desmatamento acumulado por região e percentual de aumento do desmatamento acumulado no período simulado em relação a 2021.

Região	PRODES 2021	BAU_1 2050 (km ²)	%	BAU_2 2050 (km ²)	%	BAU_1 2100 (km ²)	%	BAU_2 2100 (km ²)	%
1	9.042,42	27.569,06	304,89	27.569,06	304,89	92.897,55	1.027,35	92.897,55	1.027,35
2	5.369,36	7.272,21	135,44	7.272,21	135,44	17.114,99	318,75	17.114,99	318,75
3	4.469,53	9.918,68	221,92	11.624,33	260,08	31.599,30	706,99	37.707,12	843,65
4	4.713,67	8.205,97	174,09	10.514,33	223,06	23.586,79	500,39	32.272,10	684,65
5	7.634,83	12.083,39	158,27	17.205,73	225,36	33.927,84	444,38	56.101,63	734,81
6	19.040,05	38.864,17	204,12	38.864,17	204,12	117.380,29	616,49	117.380,29	616,49
7	2.322,31	3.694,81	159,10	8.348,22	359,48	10.846,04	467,04	33.880,46	145,91
8	3.327,30	5.046,21	151,66	5.046,21	151,66	14.387,02	432,39	14.387,02	432,39
9	1.825,68	2.973,98	162,90	2.973,98	162,90	9.015,05	493,79	9.015,05	493,79
Total	57.745,15	115.628,48	200,24	129.418,24	224,12	350.754,87	607,42	410.756,21	711,33

455

456 As estradas desempenharam um papel importante na distribuição e dispersão do desmatamento ao
 457 longo do tempo no modelo proposto. A Figura 8 recorta a área de estudo para mostrar como o
 458 desmatamento evolui em torno das estradas simuladas para os anos 2050, 2060, 2070, 2080, 2090 e
 459 2100. Segundo o modelo, um aglomerado de desmatamento acaba atraindo outro desmatamento,
 460 que pode ocorrer nas margens dos rios sem a presença de estradas. No entanto, grande parte do
 461 desmatamento é conduzida ao longo de estradas não oficiais que se ramificam das estradas oficiais
 462 (o padrão dessas estradas vicinais é chamado de “espinha de peixe”). Esse padrão se desenvolve ao
 463 longo das estradas que ligam as cidades ribeirinhas, como pode ser observado na evolução do
 464 desmatamento mostrado na Figura 8, corroborando os estudos de Castro et al. (2004), Nepstad et al.
 465 (2006), Barber et al. (2014), Santos-Jr, et al. (2018) e Fearnside (2022a,b).

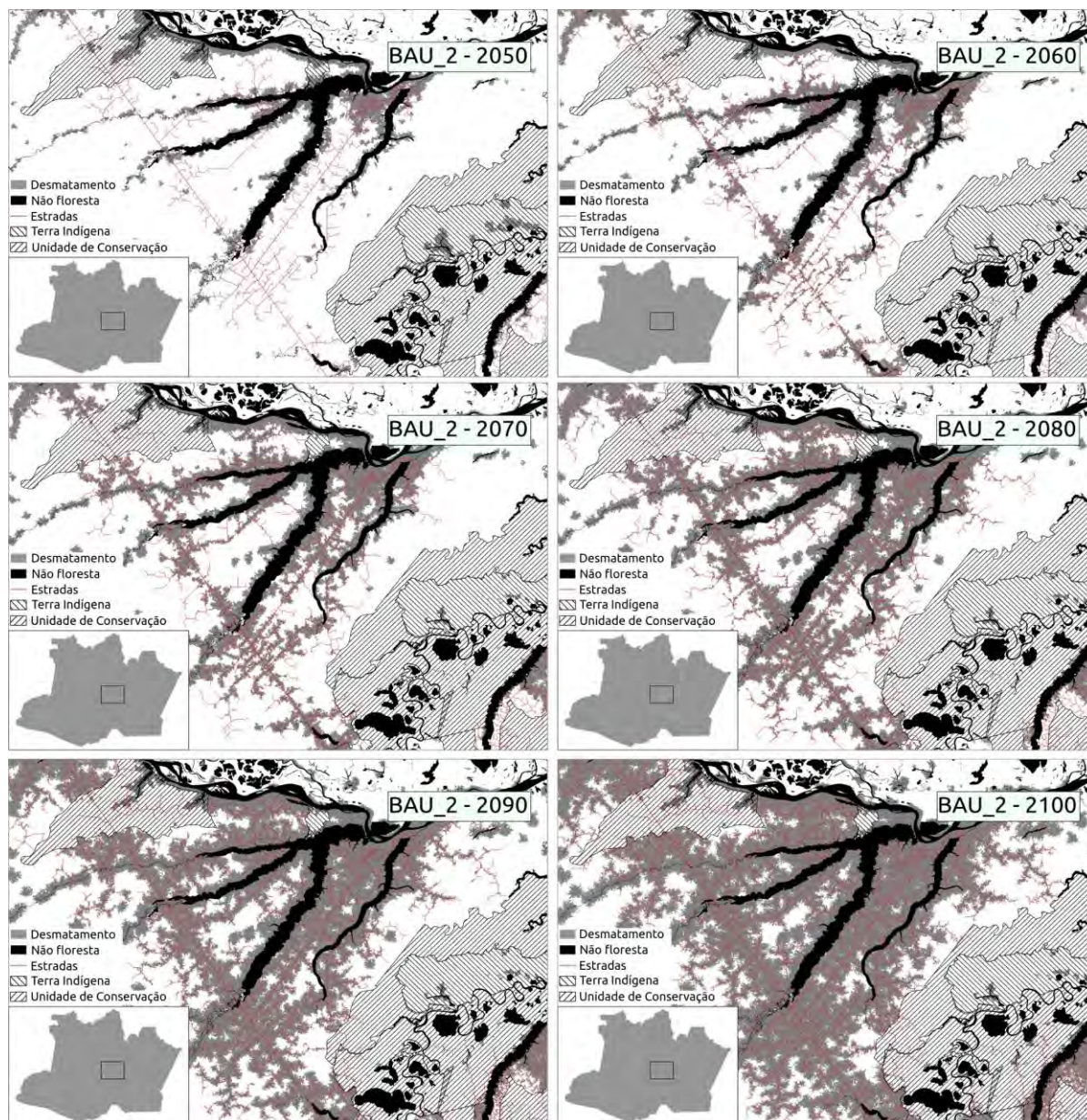


Figura 8: Evolução do desmatamento no entorno das estradas simuladas ao longo do tempo no cenário BAU_2. A figura mostra parte da região de influência da AM-366 (Trans-Purus).

Podemos observar que o desmatamento aumentou em todas as categorias de proteção (exceto nas áreas militares, que apresentam desmatamento muito baixo). Ao comparar o desmatamento de áreas protegidas em relação à perda total de floresta (dentro e fora de áreas protegidas) após 2021, pode-se observar um aumento do desmatamento em áreas protegidas em 2.153,60 km² até 2050 no cenário BAU_1, e 28.656,73 km² até 2100, correspondendo a 3,72% e 9,78%, respectivamente, em relação ao desmatamento total. No cenário BAU_2, o desmatamento nas áreas protegidas foi de 1.960,65 km² em 2050 e 34.612,13 km² em 2100, correspondendo a 2,73% e 9,80%, respectivamente, da área total desmatada.

Nas Terras Indígenas, o desmatamento projetado após 2021 foi de 1.042,81 km² em 2050 e 19.911,23 km² em 2100 para o cenário BAU_1, correspondendo a 1,80% e 6,79%, respectivamente, em relação ao desmatamento total. Para o cenário BAU_2, a área total de desmatamento em Terras Indígenas foi de 964,44 km² em 2050 e 21.079,15 km² em 2100, respectivamente, dos quais 1,34% e 5,97% da área total desmatada foram após 2021. Em relação à área total de áreas protegidas, o

desmatamento chega a 0,52% até 2050 e 7,91% até 2100, no cenário BAU_1 e 0,48% da área total de áreas protegidas até 2050 e 9,08% e da área de Terras Indígenas até 2100 no cenário BAU_2. A Figura 9 apresenta a relação entre o desmatamento em áreas protegidas e não protegidas, mostrando a importância das áreas protegidas para a conservação das florestas na Amazônia.

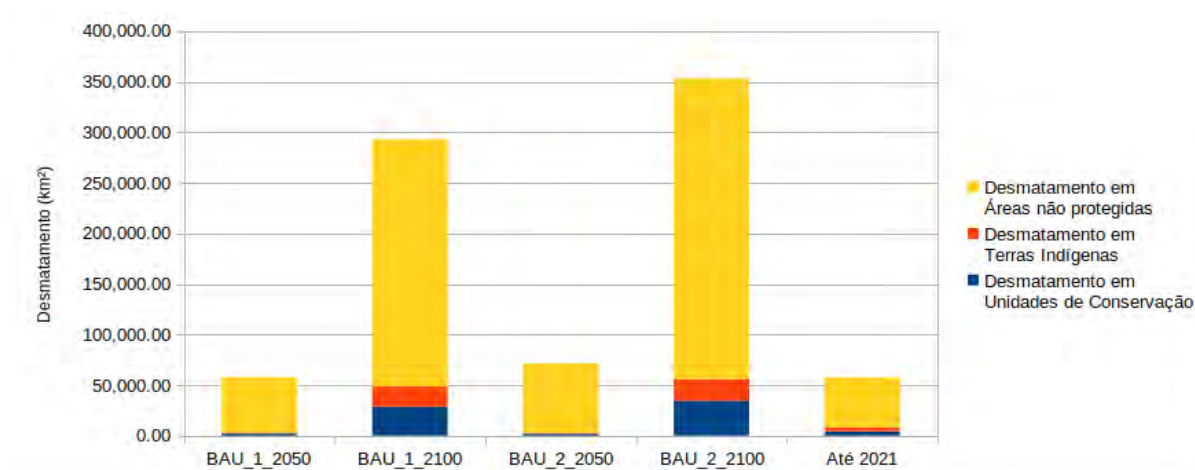


Figura 9: Desmatamento em áreas protegidas (unidades de conservação e Terras Indígenas) e áreas não protegidas (projetos de assentamento não são considerados áreas protegidas).

Para os projetos de assentamento, de acordo com os resultados da projeção para o cenário BAU_1, o desmatamento ocorrido após 2021 foi de 16.897,26 km² até 2050 e 48.407,66 km² até 2100, correspondendo a 41,22% e 19,79%, respectivamente, em relação ao desmatamento fora das áreas protegidas. Para o cenário BAU_2, o desmatamento após 2021 foi de 21.660,76 km² em 2050 e 57.334,82 km², o que corresponde a 43,31% e 19,39%, respectivamente, em relação ao desmatamento total (excluindo áreas protegidas) (Figura 10). Em relação à área total dos assentamentos, o desmatamento chega a 22,76% até 2050 da área total dos assentamentos e 65,19% até 2100 no cenário BAU_1, e chega a 29,17% até 2050, e 77,21% até 2100 no cenário BAU_2.

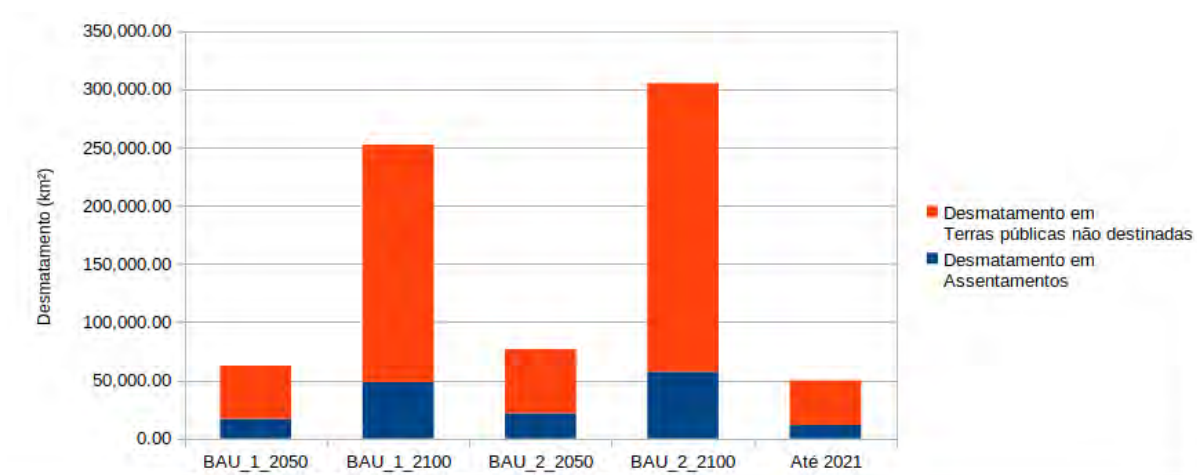


Figura 9: Desmatamento em áreas protegidas (unidades de conservação e Terras Indígenas) e áreas não protegidas (projetos de assentamento não são considerados áreas protegidas).

492

493 4. DISCUSSÃO

494 4.1 Desmatamento Simulado

495 Embora o método considere valores de índice de similaridade acima de 50% suficientes para validar
 496 o modelo, o que significa que a quantidade de mudança corretamente prevista é maior que a soma
 497 dos vários tipos de erro (Pontius et al., 2007; Soares-Filho et. al., 2013), não existe uma regra geral
 498 para calibração e validação no processo de modelagem do uso da terra (Rykiel, 1996; Mazzotti
 499 & Vinci, 2007). Contudo, entende-se que o modelo deve representar satisfatoriamente a dinâmica
 500 espacial do desmatamento na área de estudo.

501 No presente estudo, o modelo atingiu 51% na janela 11×11 , o que corresponde à similaridade em
 502 uma área de $1,21 \text{ km}^2$. Alguns estudos realizados em áreas menores na Amazônia também
 503 encontraram similaridade a partir de 50% na janela 11×11 ou menor, como Yanai et al. (2012) na
 504 janela 5×5 , Maeda et al. (2011) na janela 11×11 , Barni et al. (2015) na janela 7×7 , Roriz et al.
 505 (2017) na janela 5×5 , Ramos et al. (2018) na janela 11×11 ; Santos-Júnior et al. (2020) atingiram
 506 49% na janela 11×11 , e Santos et al. (2021) atingiu 57% na janela 7×7 .

507 Além disso, a acurácia foi verificada por comparação com um modelo nulo que, para a mesma
 508 janela, atingiu 14% de similaridade. Segundo Pôncio et al. (2004), um modelo torna-se mais preciso
 509 que o modelo nulo quando a resolução espacial é aumentada, ou seja, a qualidade da escala de
 510 resolução influencia o resultado de um modelo preditivo quando comparado ao modelo nulo.
 511 Considerando a extensão da área de estudo e a resolução espacial utilizada, os resultados de
 512 validação alcançados neste estudo podem ser considerados satisfatórios.

513 Nos cenários BAU_1 e BAU_2, procuramos representar a tendência atual de aumento das taxas de
 514 desmatamento na Amazônia. Após a grande redução do desmatamento anual de 2004 a 2012,
 515 observou-se um aumento gradual e consistente nas taxas a partir de 2012, quando o Código
 516 Florestal Brasileiro foi alterado devido à forte representação política do agronegócio no Congresso
 517 Nacional (Fearnside, 2022a). Muitas regulamentações ambientais também foram revogadas,
 518 especialmente durante o governo do Presidente Jair Bolsonaro (2019-2022).

Os resultados mostram que em ambos os cenários (BAU_1 e BAU_2) há um evidente aumento do desmatamento na parte sul da Amazônia, influenciado por estradas, assentamentos e pelo ‘arco do desmatamento’, com desmatamento em toda a área modelada ao longo da rodovia BR-319, bem como ao longo de rodovias de ligação como a AM-366, especialmente para o cenário BAU_2 devido à aprovação da reconstrução e pavimentação da rodovia BR-319. Isso corrobora as previsões de Fearnside et al. (2009) e Santos-Júnior et al. (2020), além de modelos que consideraram a construção de estradas projetadas na região amazônica (Laurance et al., 2001; Soares Filho et al., 2004, 2006; Aguiar, 2006, 2016).

O desmatamento em unidades de conservação e Terras Indígenas também pode aumentar consideravelmente, segundo diversos estudos realizados na região (Ferrante & Fearnside, 2019; Ferrante et al., 2021a,b). Contudo, essas áreas continuam a conferir certa resistência à degradação ambiental pelo desmatamento, como demonstram os dados atuais de desmatamento disponíveis nas imagens PRODES do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), bem como nos relatórios dos programas do Ministério do Meio Ambiente (MMA) para combater e controlar o desmatamento (MMA, 2016, 2018). Portanto, é importante criar, implementar, manter, monitorar e fiscalizar áreas protegidas na Amazônia. Em relação aos projetos de assentamentos, o estudo mostra que há um aumento significativo em todas as categorias, indicando que a criação de “assentamentos de uso sustentável” na região não proporciona a proteção desejada (Yanai et al., 2017). Os assentamentos representam, atualmente, 15,66% do desmatamento na área de estudo, mas para o desmatamento até 2100 esse percentual sobe para 65,19% no cenário BAU-1 e 77,22% no cenário BAU_2. Isso corrobora os estudos de Yanai et al. (2017), que indicaram que os assentamentos desempenham um papel importante na dinâmica do desmatamento e das futuras emissões de carbono na Amazônia Legal brasileira. O simples fato de dar a notícia da aprovação de um assentamento inicia uma corrida em busca de terras legalizadas disponibilizadas pelo governo, conforme dinâmica explicada por Castro et al. (2004). Isso é exemplificado pelo Projeto Realidade de Desenvolvimento Sustentável (PDS), criado em 2009 no entorno da BR-319, no município de Humaitá (Silva et al., 2010). O mero anúncio da aprovação deste PDS desencadeou uma corrida em busca de terras, promovendo a invasão do terreno e dividindo-o em pequenos lotes para venda aos recém-chegados, sem interferência do órgão governamental responsável (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA). Assim, fazendo crescer a exploração madeireira, a agricultura, a pecuária extensiva, a especulação e a grilagem de terras no entorno do assentamento e ao longo da rodovia, conforme observado por Fearnside (2018), Andrade et al. (2021) e Ferrante et al. (2020, 2021) em estudos realizados na região, demonstrando que o padrão da dinâmica do desmatamento continua até os dias atuais. Outra questão importante é a proposta de construção da rodovia estadual AM-366, que ligaria a rodovia BR-319 ao oeste do Estado do Amazonas (neste estudo representado pela Região 7, ver Figura 5), uma das mais preservadas áreas da Amazônia e das mais essenciais para os serviços ambientais que a floresta oferece (Fearnside, 2020; Fearnside et al., 2020). Uma importante fonte de impacto também seria o avanço do ‘arco do desmatamento’ em direção ao norte (Região 5) ao longo da rodovia BR-174, que liga Manaus a Boa Vista e à fronteira com a Venezuela (Fearnside & Graça, 2009; Barni et al., 2015). Embora as estradas sejam consideradas estratégicas e importantes por reduzirem o isolamento da população e facilitarem o acesso, o turismo e o escoamento de produtos, o modelo de desenvolvimento baseado na expansão dos eixos rodoviários na região amazônica é o principal promotor da degradação ambiental através de seu papel na facilitação tanto da migração da população para a região como da expulsão da população para fronteiras mais distantes, à medida que as pequenas propriedades são compradas por grandes criadores de gado. A floresta se perde nesse processo, com grandes impactos ambientais. Podemos dizer que o Brasil ainda não conseguiu encontrar uma estratégia de ação que seja eficiente para conciliar os interesses da população que quer mais rodovias, com a preservação do meio ambiente. A rodovia BR-163 (Santarém-Cuiabá) serve de exemplo: o desmatamento aumentou

568 enormemente depois que a rodovia foi reconstruída e pavimentada, apesar de todas as tentativas de
 569 desenvolver políticas, planos e programas para reduzir esses danos ambientais (Castro et al., 2004;
 570 Araújo et al., 2008; Brito & Castro, 2018). Conforme observado nos mapas gerados pelo modelo, o
 571 impacto do desmatamento ultrapassa a área de influência oficial de 40 km definida pela Portaria
 572 Interministerial 60, de 24 de março de 2015, para os processos de licenciamento ambiental de
 573 rodovias na região amazônica. Isso demonstra que o processo de licenciamento ambiental se
 574 beneficiaria com a modelagem do impacto antes da definição do raio de influência na tomada de
 575 decisão. A Figura 11 mostra o desmatamento no entorno da rodovia BR-319 e na área de
 576 amortecimento de 40 km (para o trecho onde está sendo solicitada a Licença de Instalação para
 577 reconstrução da rodovia), e podemos observar o desmatamento contínuo além dos 40 km.

578

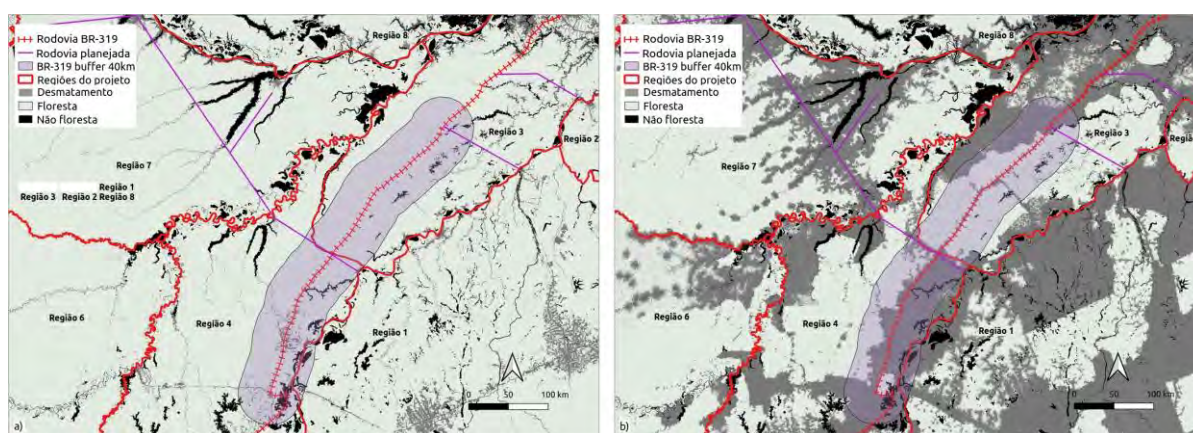


Figura 11: Área de influência oficial de 40 km definida pela Portaria Interministerial 60, de 24 de março de 2015, para licenciamento ambiental de rodovias na região amazônica (a & b); a expansão do desmatamento no cenário BAU_2 é mostrada para 2100 (b) em relação ao ano de referência (a).

579

580 Assim, um estudo de modelagem mais abrangente e semelhante ao atual poderia ser utilizado para
 581 definir a área provável de impacto de um projeto rodoviário na Amazônia. Isso daria ao estudo de
 582 impacto ambiental mais ferramentas para a tomada de decisão, o que permite definir as melhores
 583 medidas de mitigação para reduzir os impactos negativos e ter uma avaliação mais realista dos
 584 impactos para decisões sobre a construção dessas rodovias. Embora as decisões sobre a construção
 585 de estradas devam considerar todos os impactos possíveis, entende-se que o licenciamento
 586 ambiental é atualmente limitado na sua capacidade de exigir que o empreendedor repare ou mitigue
 587 os possíveis impactos indiretos de um empreendimento, como a construção de rodovias de ligação
 588 pelas autoridades locais ou influência negativa sobre outros estados.

589 Portanto, é urgente que o Brasil adote ferramentas como a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE),
 590 que é um instrumento de planejamento e apoio à tomada de decisões estratégicas sobre os impactos
 591 socioambientais das Políticas, Planos e Programas (PPP) do governo brasileiro (Partidário, 2001,
 592 2003; Pellin et al., 2011), como o Avança Brasil 2000 e o Plano Plurianual 2004-2007, que incluiu a
 593 reconstrução de rodovias na Amazônia (Fearnside & Graça, 2009). Porque, como comumente
 594 vemos na Amazônia, um simples anúncio de PPP para instalação de qualquer grande
 595 empreendimento é capaz de promover migração e ocupação irregular de terras por pessoas em
 596 busca de oportunidades e terras baratas, levando conseqüentemente à degradação ambiental como a
 597 que é ocorrendo no entorno da BR-319.

598 5. CONCLUSÃO

599 Os resultados apresentados neste estudo refletem a contribuição das estradas para o avanço da
600 fronteira agrícola no estado brasileiro do Amazonas, apesar das limitações dos modelos ambientais
601 em representar a complexidade da dinâmica do desmatamento na Amazônia. Dadas as premissas do
602 nosso modelo, concluímos que até 2100 a reconstrução da Rodovia BR-319 (BAU_2) aumentaria o
603 desmatamento ao longo da rodovia (Regiões 3 e 4) e nas regiões com estradas diretamente
604 conectadas à BR-319 (Regiões 5 e 7) em 60% em relação ao desmatamento no cenário projetado
605 sem reconstrução (BAU_1).

606 Em relação às áreas protegidas (terras indígenas e unidades de conservação), apesar do
607 desmatamento aumentar ao longo do tempo, essas áreas continuam a desempenhar um papel
608 importante na proteção da floresta, cabendo ao governo aumentar a proteção, o monitoramento e a
609 fiscalização, bem como quanto à criação de novas áreas, tendo em vista o avanço do desmatamento
610 em florestas públicas não designadas. Diferentemente das áreas protegidas, os assentamentos não
611 oferecem proteção ambiental, independentemente da sua modalidade, sendo responsabilidade do
612 governo criar mecanismos de controle ambiental.

613 Os resultados mostram que a modelagem do desmatamento de um empreendimento rodoviário pode
614 fazer parte dos processos de licenciamento ambiental e avaliação ambiental estratégica para a
615 formulação e implementação de políticas, planos e programas de investimentos governamentais na
616 região amazônica. Modelos desse tipo podem definir melhor a área de influência e expansão dos
617 impactos socioambientais, bem como fornecer informações para medidas de mitigação e controle de
618 impactos negativos e orientar a tomada de decisão sobre a implementação ou não de projetos de
619 construção.

620 6. REFERÊNCIAS

- 621 Aguiar, A.P.D. (2006). *Modeling Land Use Change in the Brazilian Amazon: Exploring Intra-*
622 *Regional Heterogeneity (Modelagem de Mudança do Uso da Terra na Amazonia: Explorando a*
623 *Heterogeneidade Intrarregional)*. INPE, São Jose dos Campos. Acessado 30 de novembro de
624 2020, [http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-](http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21/doc/publicacao.pdf)
625 [m13@80/2006/08.10.18.21/doc/publicacao.pdf](http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21/doc/publicacao.pdf)
- 626 Aguiar, A.P.D., Vieira, I.C.G., Assis, T.O., Dalla-Nora, E.L., Toledo, P.M., Santos-Júnior, R.A.O.,
627 Batistela, M., Coelho, A.S., Savaget, E.K., Aragão, L.E.O.C., Nobre, C.A. & Ometto, J.P.H.
628 (2016). Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the
629 Brazilian Amazon. *Global Change Biology* 22, 1821–1840.
- 630 Andrade, M.B.T., Ferrante, L. & Fearnside, P.M. (2021). Brazil's Highway BR-319 demonstrates a
631 crucial lack of environmental governance in Amazonia. *Environmental Conservation* 48(3), 161-
632 164. <https://doi.org/10.1017/S0376892921000084>
- 633 Araújo, R., Castro, E., Rocha, G., Sá, M.E., Matih, A., Monteiro, M., Puty, C., Monteiro, R.,
634 Canto, O. & Bennati, J. (2008). Estado e Sociedade na BR 163: desmatamento, conflitos e
635 processos de ordenamento territorial. In: Castro, E., Sociedade, Território e Conflitos: Br 163 em
636 Questão. Belém: NAEA. 297 pp.

- Barber, C.P., Cochrane, M.A., Souza, C.M. & Laurance, W.F. (2014). Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation* 177, 203-209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004>
- Barbosa, L.G., Alves, M.A.S. & Grelle, C.E.V. (2021). *Actions against sustainability: Dismantling of the environmental policies in Brazil*. *Land Use Policy* 104, 105384. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105384>
- Barni, P.E., Fearnside, P.M. & Graça, P.M.L.A. (2015). Simulating deforestation and carbon loss in Amazonia: Impacts in Brazil's Roraima State from reconstructing Highway BR-319 (Manaus-Porto Velho). *Environmental Management* 55, 259–278. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0408-6>
- Brazil (2015). *Portaria Interministerial 60, de 24 de março de 2015*. Acessado 09 de setembro de 2022, http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_Interministerial_60_de_24_de_marco_de_2015.pdf
- Brazil (2020). *Assentamentos*. Acessado 09 de setembro de 2022, <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentos>
- Brito, R. & Castro, E.R. (2018). Desenvolvimento e conflitos na Amazônia: um olhar sobre a colonialidade dos processos em curso na BR-163/Development and Conflict in the Amazon - a glimpse into the coloniality of on-going processes in BR-163. *Revista Nera*, (42), 51–73. <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i42.5679>
- Campos, P.B.R., Almeida, C.M.d. & Queiroz, A.P.d. (2022). Spatial dynamic models for assessing the impact of public policies: The case of unified educational centers in the periphery of São Paulo city. *Land* 11, 922. <https://doi.org/10.3390/land11060922>
- Castro, E.R., Monteiro, R. & Castro, C.P. (2004). Dinâmica de atores, uso da terra e desmatamento na rodovia Cuiabá-Santarém. *Papers do NAEA*, 179. 61 pp. <https://doi.org/10.18542/papersnaea.v13i1.11558>
- ClimaInfo (2022). Desmonte ambiental: Próximo Congresso será “mais boiadeiro” que o atual. *ClimaInfo*, 06 de outubro de 2022. <https://climainfo.org.br/2022/10/06/desmonte-ambiental-proximo-congresso-sera-mais-boiadeiro-que-o-atual/>
- DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) (2016). *BR-319/AM/RO Histórico do licenciamento ambiental da rodovia e situação dos instrumentos celebrados para o atendimento às condições do licenciamento*.
- DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) (2021). *DNIT Geo*. Acessado 15 de março de 2022, <http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>
- Facundes, F.S., Lima, R.A.P.L. & Santos, V. F. (2019). Expansion des réseaux routiers en Amazonie orientale - Perimetral Norte, Amapá. *CONFINS - Revista Franco-Brasileira de Geografia*. No 42. <https://doi.org/10.4000/confins.23789>

- 674 Fearnside, P.M. (2003). *A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais*. Instituto Nacional de
675 Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, Brazil. 134 pp.
676 <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/4748>
- 677 Fearnside, P.M. (2018). *BR-319 e a destruição da floresta amazônica*. *Amazônia Real*, 19 October
678 2018. Acessado 25 de maio de 2020, [http://amazoniareal.com.br/br-319-e-destruicao-da-](http://amazoniareal.com.br/br-319-e-destruicao-da-floresta-amazonica)
679 [floresta-amazonica](http://amazoniareal.com.br/br-319-e-destruicao-da-floresta-amazonica)
- 680 Fearnside, P.M. (2020). TransPurus: Amazonia's biogeochemical cycles depend on the fate of the
681 region's largest block of intact forest. *American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2020*.
682 Paper Number: GC009-0015.
- 683 Fearnside, P.M. (2022a). Como sempre, os negócios: o ressurgimento do desmatamento na
684 Amazônia brasileira. pp. 363-368. In: Fearnside, P.M. (ed.) *Destruição e Conservação da*
685 *Floresta Amazônica*. Vol. 1. Editora do INPA, Manaus, Amazonas, Brazil. 368 pp.
686 <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/38899>
- 687 Fearnside, P.M. (2022b). Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais. pp. 21-38. In:
688 Fearnside, P.M. (ed.) *Destruição e Conservação da Floresta Amazônica*. Vol. 1. Editora do
689 INPA, Manaus, Amazonas, Brazil. 368 pp. <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/38899>
- 690 Fearnside, P.M. & Graça, P.M.L.A. (2009). BR-319: A rodovia Manaus-Porto Velho e o impacto
691 potencial de conectar o arco de desmatamento à Amazônia central. *Novos Cadernos NAEA*
692 12(1), 19-50. <https://doi.org/10.5801/ncn.v12i1.241>
- 693 Fearnside, P.M., Graça, P.M.L.A., Keizer, E.W.H., Maldonado, F.D., Barbosa, R.I. & Nogueira,
694 E.M. (2009). Modelagem do desmatamento e emissões de gases do efeito estufa na região sob
695 influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia* 24(2),
696 208-233. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200009>
- 697 Fearnside, P.M., Ferrante, L., Yanai, A.M. & Isaac-Júnior, M.A. (2020). Trans-Purus: Brazil's last
698 intact Amazon forest at immediate risk (commentary). *Mongabay*. Acessado 22 de maio de
699 2021, [https://news.mongabay.com/2020/11/trans-purus-brazils-last-intact-amazon-forest-at-](https://news.mongabay.com/2020/11/trans-purus-brazils-last-intact-amazon-forest-at-immediate-risk-commentary/)
700 [immediate-risk-commentary/](https://news.mongabay.com/2020/11/trans-purus-brazils-last-intact-amazon-forest-at-immediate-risk-commentary/)
- 701 Ferrante, L. & Fearnside, P.M. (2019). Brazil's new president and "ruralists" threaten Amazonia's
702 environment, traditional peoples and the global climate. *Environ. Conserv.* 46(4), 261–263.
703 <https://doi.org/10.1017/S0376892919000213>
- 704 Ferrante, L., Andrade, M.B.T. & Fearnside, P.M. (2021a). Land grabbing on Brazil's Highway BR-
705 319 as a spearhead for Amazonian deforestation. *Land Use Policy* 108, 105559.
706 <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105559>
- 707 Ferrante, L., Andrade, M.B.T., Leite, L., Silva-Júnior, C.A., Lima, M., Coelho-Junior, M.G., Silva-
708 Neto, E.C., Campolina, D., Carolino, K., Diele-Viegas, L.M., Pereira, E.J.A.L. & Fearnside,
709 P.M. (2021b). Brazil's Highway BR-319: The road to the collapse of the Amazon and the
710 violation of indigenous rights. *Die Erde - Journal of the Geographical Society of Berlin* 152(1):
711 65-70. <https://doi.org/10.12854/erde-2021-552>

- 712 FUNAI (Fundação Nacional do Índio). n.d. (no date information). *Download de dados geográficos:*
 713 *Terra Indígena (Regularizada, Homologada, Declarada, Delimitada e Área em Estudo).*
 714 Acessado 25 de maio de 2020, <http://www.funai.gov.br/index.php/shape>
- 715 Graça, P.M.L.A., Maldonado, F.D. & Fearnside, P.M. (2007). Detecção de desmatamento em novas
 716 áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2. In: *Anais*
 717 *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 917-924, Florianópolis, SC, Brazil.
 718 <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/31089>
- 719 Hagen, A. (2003). Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *Int. J. Geogr. Inf.*
 720 *Sci.* 17, 235–249. <https://doi.org/10.1080/13658810210157822>
- 721 IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2017). *Geociências*. Acessado 25 de maio de
 722 2020, <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>
- 723 ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) (2019). *Limites das Unidades*
 724 *de Conservação Federais (atualizado em julho de 2019): Unidades de Conservação Federais –*
 725 *SHP (SIRGAS2000)*. Acessado 25 de maio de 2020,
 726 [https://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamento/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-](https://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamento/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s)
 727 [tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s](https://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamento/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s)
- 728 INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). n.d. (no update date information).
 729 *Exportar shapefile*. Acessado 25 de maio de 2020,
 730 http://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py
- 731 INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (2020). *PRODES – Amazônia*. Acessado 06 de
 732 julho de 2022, <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>
- 733 INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). (2022). *PRODES*. Acessado 25 de maio de 2022,
 734 http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates
- 735 Kohlhepp, G. (2002). Conflitos de interesses no ordenamento territorial da Amazônia brasileira.
 736 *Estudos Avançados* 16(45). <https://doi.org/10.1590/S0103-40142002000200004>
- 737 Laurance, W.F., Cochrane, M.A., Bergen, S., Fearnside, P.M., Delamônica, P., Barber, C.,
 738 D'Angelo, S. & Fernandes, T. (2001). The future of the Brazilian Amazon. *Science* 291, 438-
 739 439. <https://doi.org/10.1126/science.291.5503.438>
- 740 Laurance, W.F. & Balmford, A. (2013). A global map for road building. *Nature* 495, 308-309.
 741 <https://doi.org/10.1038/495308a>
- 742 Leite-Filho, A.T., Soares-Filho, B.S., Davis, J.L. & Rodrigues, H.O. (2020). *Modeling*
 743 *Environmental Dynamics with Dinamica EGO*. Acessado 20 de outubro de 2020,
 744 https://www.csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=guidebook_start
- 745 Lessa, R. (1991). *Amazônia: as raízes da destruição*. Ed. Atual. Edição 09.
- 746 Lewinsohn, T.M. & Prado, P.I. (2002). *Biodiversidade brasileira: síntese do estado atual do*
 747 *conhecimento*. Contexto, São Paulo, SP.

- 748 Loureiro, V.R. (2002). Amazônia: uma história de perdas e danos, um futuro a (re)construir. *Estud.*
749 *Avançados* 16(4). <https://doi.org/10.1590/S0103-40142002000200008>
- 750 Maeda, E.E., Almeida, C.M., Ximenes, A.C., Formaggio, A.R., Shimabukuro, Y.E. & Pellikka, P.
751 (2011). Dynamic modeling of forest conversion: Simulation of past and future scenarios of rural
752 activities expansion in the fringes of the Xingu National Park, Brazilian Amazon. *International*
753 *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13(3), 435-446.
754 <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.09.008>
- 755 Marengo, J.A., Souza, C.M., Thonicke, K., Burton, C., Halladay, K., Betts, R.A., Alves, L.M. &
756 Soares, W.R. (2018). Changes in climate and land use over the Amazon region: Current and
757 future variability and trends. *Frontiers in Earth Science* 6, 228.
758 <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>
- 759 Mazzotti, F.J. & Vinci, J.J. (2007). *Validation, verification, and calibration: Using standardized*
760 *terminology when describing ecological models*. IFAS Extension, University of Florida,
761 Gainesville, Florida, EUA. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/UW/UW25600.pdf>
- 762 MMA (Ministério do Meio Ambiente) (2016). *Plano de ação para prevenção e controle do*
763 *desmatamento da Amazônia Legal: pelo uso sustentável e conservação da floresta. 3ª fase*
764 *(2012-2015)*. Casa Civil, Brasília, DF, Brazil. Acessado 06 de julho de 2020,
765 http://combateadesmatamento.mma.gov.br/images/conteudo/PPCDAM_3aFase.pdf
- 766 MMA (Ministério do Meio Ambiente) (2018). *Balanço de execução 2018: PPCDAm e PPCerrado*
767 *2016-2020*. Acessado 06 de julho de 2020, [https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/](https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-temporarias/externas/56a-legislatura/politicas-para-integracao-meio-ambiente-e-economia/expedientes-recebidos/ric-1577-2019-ministerio-do-meio-ambiente)
768 [comissoes/comissoes-temporarias/externas/56a-legislatura/políticas-para-integracao-meio-](https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-temporarias/externas/56a-legislatura/politicas-para-integracao-meio-ambiente-e-economia/expedientes-recebidos/ric-1577-2019-ministerio-do-meio-ambiente)
769 [ambiente-e-economia/expedientes-recebidos/ric-1577-2019-ministerio-do-meio-ambiente](https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-temporarias/externas/56a-legislatura/politicas-para-integracao-meio-ambiente-e-economia/expedientes-recebidos/ric-1577-2019-ministerio-do-meio-ambiente)
- 770 Moutinho, P. (2009). *Desmatamento na Amazônia: desafios para reduzir as emissões de gases de*
771 *efeito estufa do Brasil*. Acessado 10 de junho de 2020, [http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-](http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-411.pdf)
772 [411.pdf](http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-411.pdf).
- 773 MPOG (Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão). (2004). *PPA 2004-2007 - Lista Geral de*
774 *Projetos de Infra-estrutura*. Setembro 2004. MPOG, Brasília, DF.
- 775 Nepstad, D.; Stickler, C.M. & Almeida, O. T. (2006). Globalization of the Amazon Soy and Beef
776 Industries: Opportunities for Conservation. *Conservation Biology* 20(6), 1595-1603.
777 <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00510.x>
- 778 Nobre, A.D. (2014). *The Future Climate of Amazonia: Scientific Assessment Report*. CCST-INPE,
779 São José dos Campos, SP.
- 780 Nobre, C.A., Sampaio, G., Borma, L.S., Castilla-Rubio, J.C., Silva, J.S., Cardoso, M. & et al.
781 (2016). The Fate of the Amazon Forests: land-use and climate change risks and the need of a
782 novel sustainable development paradigm. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113, 10759–10768.
783 <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>
- 784 Oliveira-Neto, T. (2014). A Geopolítica rodoviária na Amazônia: BR-319. *Revista de Geopolítica*
785 5(2), 109-128.

- 786 Partidário, M.R. (2011). From EIA to SEA. chapter 14 In: Indovina, F. & Fregolent, L. (Eds).
 787 Environmental Sustainability, Monographic issue, n. 71/72-2001, *Archivio di Studi Urbani e*
 788 *Regionali*, Veneza, Itália.
- 789 Partidário, M.R. (2003). Avaliação de Impactes Ambientais de Políticas, Planos e Programas.
 790 *Ambiente* 21(8).
- 791 Pellin, A., Lemos, C.C., Tachard, A., Oliveira, I.S.D. & Souza, M.P. 2011. Avaliação ambiental
 792 estratégica no Brasil: considerações a respeito do papel das agências multilaterais de
 793 desenvolvimento. *Artigos Técnicos Eng. Sanit. Ambient.* 16(1).
- 794 Pontius-Jr, R.G., Boersma, W., Castella, J.-C., Clarke, K., de Nijs, T., Dietzel, C., ... & Verburg,
 795 P.H. (2007). Comparing the input, output, and validation maps for several models of land
 796 change. *The Annals of Regional Science* 42(1), 11–37. [https://doi.org/10.1007/s00168-007-0138-](https://doi.org/10.1007/s00168-007-0138-2)
 797 2
- 798 Pontius-Jr, R.G., Huffaker, D. & Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially
 799 explicit land change models. *Ecol. Model.* 179(4), 445–461.
 800 <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010>
- 801 Ramos, C.J.P., Graça, P.M.L.A. & Fearnside, P.M. (2018). Deforestation dynamics on an
 802 Amazonian peri-urban frontier: Simulating the influence of the Rio Negro Bridge in Manaus,
 803 Brazil. *Environmental Management* 62(6), 1134–1149. [https://doi.org/10.1007/s00267-018-](https://doi.org/10.1007/s00267-018-1097-3)
 804 1097-3
- 805 Rocha, V.M., Correia, F.W.S., Satyamurty, P., de Freitas, S.R., Moreira, D.S., da Silva, P.R.T. &
 806 Fialho, E.S. (2015). Impacts of land cover and greenhouse gas (GHG) concentration changes on
 807 the hydrological cycle in amazon basin: A regional climate model study. *Revista Brasileira de*
 808 *Climatologia* 15, 7-27. <https://doi.org/10.5380/abclima.v15i0.36386>
- 809 Rodrigues, H.O, Soares-Filho, B.S. & Costa, W.L.S. (2007). Dinamica EGO, uma plataforma para
 810 modelagem de sistemas ambientais. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*,
 811 Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, São José dos Campos, SP, pp. 3089-3096.
- 812 Roriz, P.A.C., Yanai, A.M. & Fearnside, P.M. (2017). Deforestation and carbon loss in southwest
 813 Amazonia: Impact of Brazil's revised forest code. *Environmental Management* 60, 367–382.
 814 <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0879-3>
- 815 Rykiel-Jr, E.J., (1996). Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modelling*
 816 90, 229-244.
- 817 Santos, Y.L.F., Yanai, A.M., Ramos, C.J.P., Graça, P.M.L.A., Veiga, J.A.P., Correia, F.W.S. &
 818 Fearnside, P.M. (2021). Amazon deforestation and urban expansion: Simulating future growth in
 819 the Manaus Metropolitan Region, Brazil. *Journal of Environmental Management* 304(1),
 820 114279. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114279>
- 821 Santos-Junior, M.A. dos, Yanai, A.M., Sousa-Junior, F.O., Freitas, I.S., Pinheiro, H.P., Oliveira,
 822 A.C.R., Silva, F.L., Graça, P.M.L.A. & Fearnside, P.M. (2018). *BR-319 como Propulsora de*
 823 *desmatamento: Simulando o Impacto da Rodovia Manaus-Porto Velho*, Instituto de

- 824 *Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (IDESAM)*. Manaus, AM. 56 pp.
825 <https://idesam.org/simula-desmatamento-br319/>
- 826 Saatchi, S.S., Harris, N.L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E., Salas, W., Zutta, B., Buermann, W.,
827 Lewis, S., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M.A. & Morel, A. (2011). Benchmark map
828 of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*
829 108(24), 9899-9904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>
- 830 Siqueira-Gay, J., Metzger, J.P., Sánchez, L.E. & *et al.* (2022). Strategic planning to mitigate mining
831 impacts on protected areas in the Brazilian Amazon. *Nat Sustain.* 5, 853–860.
832 <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00921-9>
- 833 Soares Filho, B.S., Pennachin, C.L. & Cerqueira, G. (2002). DINAMICA – a stochastic cellular
834 automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization
835 frontier. *Ecological Modelling* 154(3), 217-235. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00059-5)
- 836 Soares Filho, B.S., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G., Dias, M., Rivero, S., Solórzanos, L. &
837 Voll, E. (2004). Simulating the response of land-cover change to road paving and governance
838 along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology* 10, 745-
839 764. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00769.x>
- 840 Soares-Filho, B.S., Nepstad, D., Curran, L., Voll, E., Cerqueira, G., Garcia, R.A., Ramos, C.A.,
841 McDonald, A., Lefebvre, P. & Schlesinger, P. (2006). Modelling conservation in the Amazon
842 basin. *Nature* 440, 520-523. <https://doi.org/10.1038/nature04389>
- 843 Soares-Filho, B., Rodrigues, H. & Follador, M. (2013). Um método híbrido analítico-heurístico para
844 calibrar modelos de mudança de uso da terra. *Ambiente. Modelo. Softw.* 43, 80-87.
- 845 TALANOIA. 2022. *Reconstrução: 401 atos do Poder Executivo Federal (2019 - 2022) a serem*
846 *revogados ou revisados para a reconstituição da agenda climática e ambiental brasileira.*
847 Instituto Talanoia, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. 169 pp.
848 <https://www.politicaporinteiro.org/2022/11/03/reconstrucao/>
- 849 Weng, W., Luedeke, M.K., Zemp, D.C. & Lakes, T. (2018). Aerial and surface rivers: downwind
850 impacts on water availability from land use changes in Amazonia. *Hydrology and Earth System*
851 *Sciences* 22(1), 911-927. <https://doi.org/10.5194/hess-22-911-2018>
- 852 Yanai, A.M, Nogueira, E.M., Graça, P.M.L.A. & Fearnside, P.M. 2017. Deforestation and carbon
853 stock loss in Brazil's Amazonian settlements. *Environmental Management* 59, 393-409.
854 <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0783-2>
855

856 MATERIAL SUPLEMENTAR

857 Desmatamento na Amazônia: Impacto

858 simulado da proposta reconstrução da

859 rodovia BR-319

860

861 Jerfferson L. Santos, Aurora M. Yanai, Paulo M. L. A. Graça, Francis W. S. Correia & Philip M.
862 Fearnside

863

Lista de Figuras

Figura S1: Diagrama conceitual do modelo de simulação de desmatamento. A linha tracejada é onde ocorre o *loop*, adicionando o novo desmatamento e estradas construídas em cada intervalo de tempo (ano), inserindo os cálculos de probabilidade de transição, alocando novas manchas de desmatamento.

Figura S2: Mapas de variáveis estáticas..... 43

Figura S3: Ajuste dos intervalos e distância do esqueleto utilizado para cálculo dos coeficientes dos pesos de evidência no modelo que melhor representou o mapa real (PRODES_2021) em relação ao simulado no modelo de validação.

Figura S4: Percentuais de aumento e diminuição do desmatamento em relação ao ano anterior para o Estado do Amazonas, onde o aumento médio corresponde a 26,2% e a diminuição média a 20,6% para o período de 2000 a 2014 46

Figura S5: Percentuais de aumento e diminuição do desmatamento em relação ao ano anterior para o Estado do Amazonas, onde o aumento médio corresponde a 31,6% e a diminuição média a 19,5% para o período de 2000 a

2021..... 47

Figura S6: Exemplo aplicado para demonstrar a flutuação da taxa de desmatamento durante o período intermediário de 6 anos.

Figura S7 - Mapa de atratividade (a) e fricção(b). Estes valores são o resultado da interação entre os mapas de “cobertura do solo” e de “áreas protegidas”. 50

Figura S8: Desmatamento projetado por região em relação ao desmatamento de 2021 50

Lista de tabelas

Tabela S1: Parâmetros utilizados como dados de entrada para DINAMICA-EGO..... 42

Tabela S2: Regionalização da área de estudo..... 44

Tabela S3: Parâmetros para cálculo de pesos de evidência..... 45

Tabela S4: Dados usados para calcular as taxas anuais de desmatamento para simulação de 2014 a 2021..... 48

Tabela S5: Dados usados para calcular as taxas anuais de desmatamento para simulação de 2021 a 2100..... 48

Tabela S6: Alocação de *patcher* e *expander* de acordo com a sub-região.49

Tabela S7: Valores atribuídos para a construção dos mapas de atratividade e fricção utilizados para construção de estradas no modelo..... 19

Tabela S8: Desmatamento projetado em 2100 em relação ao desmatamento em 2021..... 50

864

ANEXO 1.

A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 estabeleceu regras gerais para a proteção da vegetação, das áreas de preservação permanente (APPs) e das áreas de reserva legal, da exploração florestal, do fornecimento de matéria-prima florestal, do controle da origem dos produtos florestais e do controle e prevenção de incêndios florestais; a lei também prevê instrumentos econômicos e financeiros para atingir os seus objetivos. Essa lei revogou e substituiu a Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (antigo Código Florestal).

ANEXO 2.

O software DINAMICA EGO foi desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para apoiar a modelagem ambiental multivariada e não linear. É baseado em autômatos celulares, constituídos por um arranjo de n dimensões de células de acordo com sua condição anterior e o arranjo espacial das células vizinhas através de um conjunto de regras de transição, onde cada célula representa a possibilidade de conversão de um estado para outro em um estado determinado cenário (Soares-Filho et al., 2002, 2004, 2006; Lima, 2013; Oliveira et al., 2019). O ambiente de modelagem DINAMICA-EGO (Figura S1) envolve uma série de operadores chamados “funtores” que podem ser entendidos como um processo que atua sobre um conjunto de dados de entrada sobre os quais é aplicado um número finito de operações, produzindo como saída um novo conjunto de dados (Rodrigues, 2007; Lima, 2013).

Devem ser construídos modelos para responder: ONDE ocorrerão mudanças na cobertura do solo; QUANTAS mudanças ocorrerão a cada ano; e COMO as áreas serão distribuídas espacialmente (Vitel, 2009).

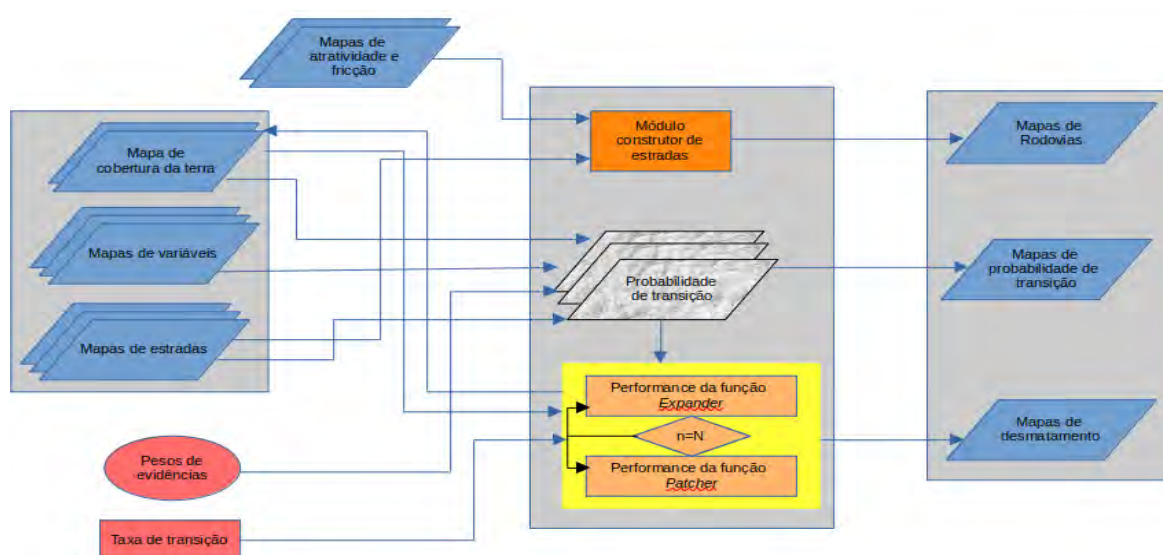


Figura S1: Diagrama conceitual do modelo de simulação de desmatamento. A linha tracejada é onde ocorre o *looping* adicionando os novos desmatamentos e estradas construídas em cada etapa de tempo (ano), inserindo os cálculos de probabilidade de transição, alocando novas manchas de desmatamento.

ANEXO 3.

893

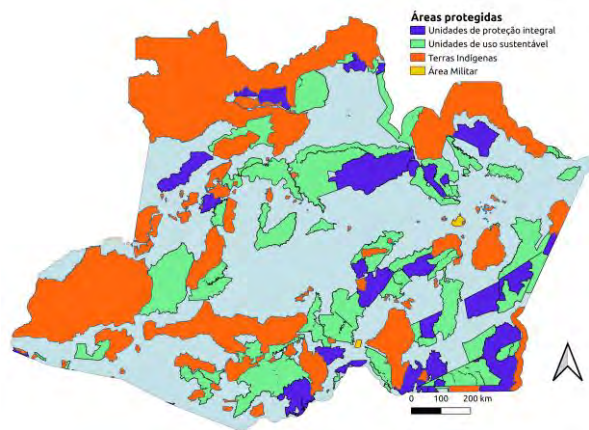
894 **Tabela S1:** Parâmetros utilizados como dados de entrada para DINAMICA-EGO.

	Variável	Fonte
	Cobertura do solo: área desmatada, florestal e não florestal (savanas, águas, afloramentos rochosos, etc.)	PRODES para 2007 e 2013 (INPE, 2022a)
	Áreas Protegidas (UCs de proteção integral; UCs de uso sustentável; terras indígenas; e áreas militares)	ICMBIO (2020), SEMA (2020), FUNAI (2020), AMN (2021)
Variáveis Estáticas	Projeto de Assentamento (Projeto de Assentamento Agroextrativista, ou PAE; Projeto de Assentamento de Desenvolvimento Sustentável, ou PDS; Projeto de Assentamento Rápido, ou PAR; Projeto de Assentamento Florestal, ou PAF; Projeto de Assentamento Dirigido, ou PAD; e Projeto de Assentamento [tradicional], ou PA)	INCRA (2022)
	Área de prospecção/pesquisa de petróleo e gás	Vetorização manual
	Hidrografia (cursos de água)	INPE (2020)
Variáveis dinâmicas	Rodovias e Estradas (oficiais e endógenas)	DNIT (2013), mais vetorização manual de estradas endógenas para o ano de 2013.
	Desmatamento	PRODES para 2007 e 2013 (INPE, 2022a)

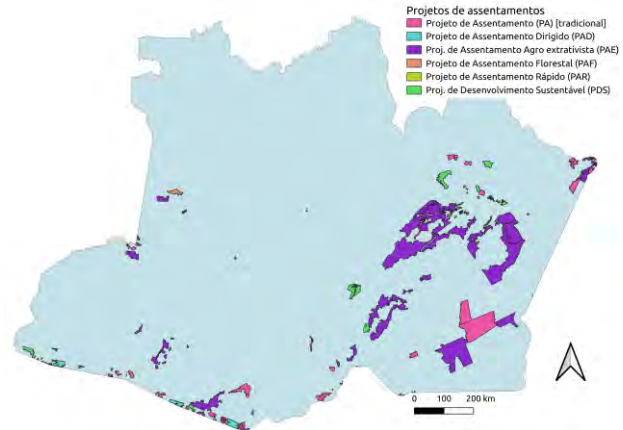
895

896 No Estado do Amazonas existem áreas de vegetação que foram suprimidas para pesquisas e
897 prospecção de petróleo e gás natural, que, no mapa de cobertura vegetal fornecido pelo INPE,
898 aparecem como desmatamento cumulativo. Portanto, no modelo essas áreas podem atrair alocação
899 excessiva de desmatamento ao seu redor e não representam a dinâmica do desmatamento na região
900 amazônica como um todo, que é dominada pela expansão da pecuária, agricultura e mineração nas
901 proximidades de estradas e desmatamento anterior. Portanto, foi elaborado um mapa com buffer de
902 1.500 m de cada área de prospecção e exploração de petróleo e gás para servir como “fator de
903 correção”, e essas áreas receberam um peso de evidência equivalente a uma área protegida de uso
904 sustentável, que cria fricção contra o avanço do desmatamento nessas áreas, mas não evita o
905 desmatamento se uma estrada planejada passar pela área. Isto permite que o modelo aloque novos
906 desmatamentos em locais mais suscetíveis a mudanças no uso da terra.

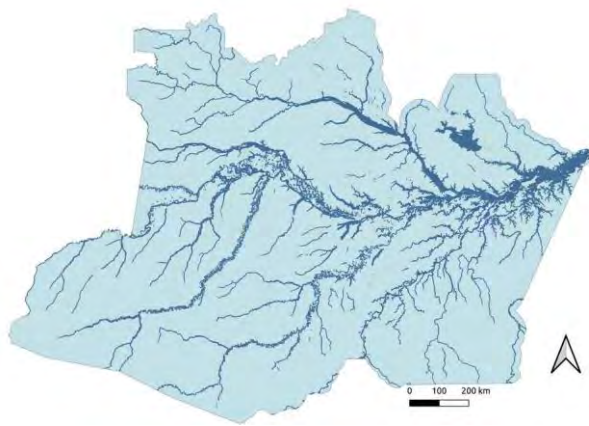
907



a) Áreas protegidas



b) Projetos de assentamento



c) Hidrografia (cursos d'água)

908 **Figura S2:** Mapas de variáveis estáticas.

909

910 ANEXO 4.

911 A regionalização da área de estudo permite individualizar cada região, identificando parâmetros
 912 específicos como taxa de transição e coeficientes de pesos de evidência na calibração, permitindo
 913 que o resultado da simulação represente melhor a realidade. Além disso, pode sugerir como uma
 914 determinada região se comportará se as variáveis em jogo forem diferentes das de outras regiões.
 915 Este foi o caso quando usamos matrizes de transição e os coeficientes de pesos de evidência de
 916 outra região para simular uma mudança com base no que queríamos representar (por exemplo,
 917 usando coeficientes de pesos de evidência da Região 6 nas Regiões 3, 4 e 7 após a reconstrução e
 918 pavimentação da BR-319).

919 As regiões utilizadas neste estudo não são oficiais. Foram definidos pelos autores levando em
 920 consideração características regionais como proximidade e influência das capitais (Manaus e Porto
 921 Velho), limites hidrográficos, áreas de expansão pecuária, áreas protegidas, áreas não protegidas,
 922 atividade pesqueira, indústria madeireira, possibilidade de expansão do arco de desmatamento e
 923 influência de estradas pavimentadas e de regiões que apresentaram diferentes taxas de
 924 desmatamento. Isto foi necessário para definir as taxas de transição e os coeficientes de pesos de
 925 evidência para uso na simulação. Dividimos algumas áreas com características semelhantes e que
 926 tiveram pouca ou nenhuma influência da BR-319, como as Regiões 8 e 9, para melhor representar o
 927 resultado no mapa final sem interferir no resultado desejado. A Tabela S1 mostra os parâmetros
 928 utilizados para definir as regiões deste estudo.

929 **Tabela S2:** Regionalização da área de estudo.

Etapa	Justificativa
Região 1	Área a leste do Rio Madeira que está sob influência da rodovia BR-230, que é a principal rodovia de ligação à BR-319 no sul do Estado do Amazonas. Também é influenciado pelo Estado do Pará ao leste e pelo Estado do Mato Grosso ao sul. Contém alguns dos municípios com os maiores índices de desmatamento do Estado do Amazonas (Manicoré, Apuí, Novo Aripuanã, Humaitá), que se destacam entre os principais produtores de gado do estado. Possui uma grande área de terras públicas com floresta pública não destinada, que é atrativa para invasão e desmatamento. Possui forte atuação da indústria madeireira.
Região 2	Área de influência a leste do rio Madeira, na margem direita do rio Amazonas e divisa com o Estado do Pará. A região possui pecuária e agricultura de várzea. Possui baixa densidade populacional e não possui grande extensão de rodovias e estradas endógenas.
Região 3	Porção sul do interflúvio entre os rios Madeira e Purus no Estado do Amazonas. Caracteriza-se pela influência da BR-230, que liga a cidade de Lábrea a Humaitá e zona sul do município de Canutama. Vila Realidade (distrito do município de Humaitá) está localizada nesta região que, nos últimos anos, tem apresentado grandes aumentos no desmatamento, invasão de terras e exploração madeireira. A região tem grande influência do Estado de Rondônia. Pode ser considerada a região que dá acesso do 'arco do desmatamento' ao norte do estado. Possui forte atividade da indústria madeireira.
Região 4	Porção norte do interflúvio Madeira-Purus, no Estado do Amazonas. É fortemente influenciada pela capital do estado (Manaus) e pela rodovia BR-174. É uma região com grandes áreas desprotegidas e não designadas, bem como projectos de colonização que podem atrair migração.
Região 5	Esta região é caracterizada pela influência da capital estadual, como grande centro consumidor. Os principais locais onde o desmatamento está em expansão são aqueles com acesso facilitado pela rodovia BR-174 (Manaus - Boa Vista). Nesta região está presente a “Zona Franca Verde” de Manaus, que é um programa focado na atração de investimentos para a agricultura, pecuária e empreendimentos turísticos.
Região 6	Região de influência das rodovias pavimentadas BR-364 e BR-317. A parte sul desta região apresenta altos índices de desmatamento, principalmente nos distritos de Extrema e Nova Califórnia e nos projetos de assentamentos PA Monte e PA Antimary. A região tem forte tendência para iniciar e expandir áreas de produção pecuária, especialmente no município de Boca do Acre, na porção sul de Lábrea e em Guajara. Possui forte atividade da indústria madeireira.
Região 7	Porção central do Estado do Amazonas. Esta é a área de expansão da planejada rodovia estadual AM-366, que propõe ligar a BR-319 aos municípios de Coari, Tefé e Juruá. A região apresenta-se como importante produtora de petróleo e gás natural. A região possui poucas áreas protegidas e possui grandes áreas de florestas públicas não designadas, o que favorece a invasão de terras e o desmatamento. A porção norte da região tem acesso e ocupação a partir do rio

Solimões (Alto Amazonas).

Região 8 Região de influência do rio Negro. Esta região tem baixa densidade populacional e é caracterizada por pequenas cidades, vilas e comunidades ribeirinhas. A região possui extensas terras indígenas e áreas protegidas. A principal actividade económica é a pesca e a agricultura tradicional de baixo impacto. Possui uma rodovia federal não pavimentada (BR-307), que liga a cidade de São Gabriel da Cachoeira ao município de Cucuí. A região faz fronteira com a Colômbia e a Venezuela e conta com forte presença do Exército Brasileiro.

Região 9 Região de influência dos rios, cidades e comunidades ribeirinhas, Terras Indígenas e unidades de conservação. A região faz fronteira com o Peru e possui baixa densidade populacional; a atividade económica é caracterizada principalmente pela pesca e pela agricultura de baixo impacto. Está localizado à margem direita do rio Solimões (Alto Amazonas) e tem influência do município de Tabatinga, na fronteira do Brasil com o Peru e a Colômbia.

930

931 ANEXO 5.

932 A figura abaixo apresenta os parâmetros utilizados para cálculo dos pesos de evidência das variáveis
 933 utilizadas no modelo. Variáveis categóricas são aquelas que possuem mais de uma categoria no
 934 mesmo mapa (por exemplo, áreas protegidas que possuem quatro categorias: 1. UCs de proteção
 935 integral; 2. UCs de uso sustentável; 3. Terras Indígenas; e 4. Áreas militares). Isso contrasta com
 936 variáveis que não são categóricas e apresentam apenas um item de informação, sem subdivisões
 937 (roteiro, mapa de desmatamento e mapa hidrográfico).

938 **Tabela S3:** Parâmetros para cálculo de pesos de evidência.

Identificador	Categórica	Incremento	Delta Mín.	Delta Max.	Tol. Ângulo
distância estradas	não	100	1	5.000.000	5,0
distância desmatamento	não	100	1	5.000.000	5,0
var_estática					
distância Hidrografia	não	100	1	5.000.000	5,0
áreas protegidas	sim				
assentamentos	sim				

939

940 Para a definição dos pesos das evidências, o modelo DINAMICA-EGO faz os cálculos e define as
 941 distâncias com base nos mapas de entrada. Porém, na etapa de calibração, esses dados podem ser
 942 ajustados de forma a obter a melhor representação do que se pretende modelar (Soares-Filho et al.,
 943 2009). No presente estudo, o intervalo foi ajustado e fixado em 100 m, com base na resolução
 944 espacial adotada no estudo.

945 Quanto à definição das distâncias de influência das variáveis não categóricas, foram realizados
 946 diversos testes para definir o melhor resultado na validação. A distância que melhor representou a
 947 semelhança na comparação do mapa de desmatamento simulado de 2021 com o desmatamento real
 948 do PRODES em 2021 foi de 1.500 m. A Figura S3 mostra as variáveis não categóricas com

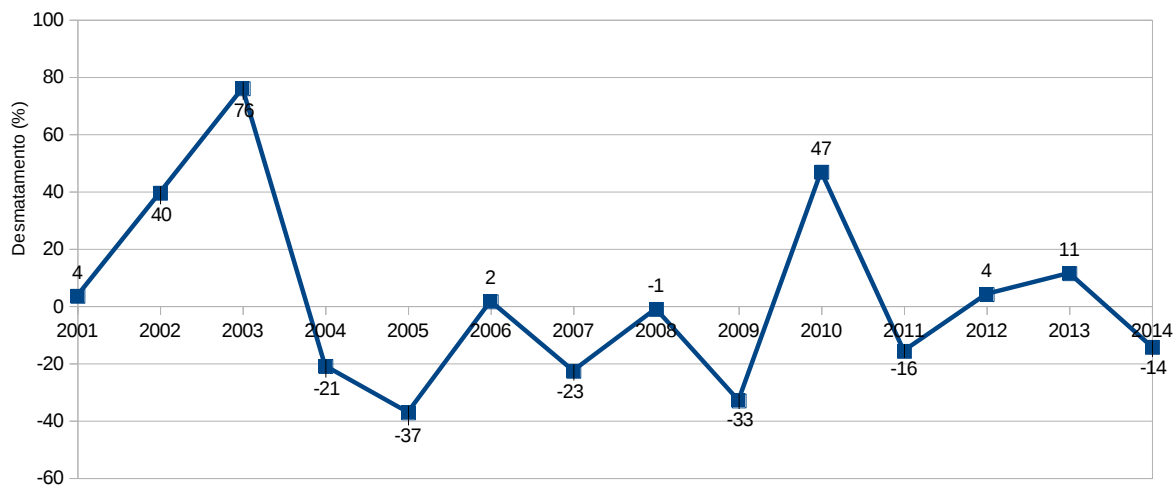
949 intervalo de 100 m e distância de influência de 1500 m. Vale ressaltar que neste estudo foi feito
 950 ajuste apenas para os intervalos e distâncias de influência, não havendo ajuste numérico dos
 951 coeficientes de pesos de evidência.

1	:dist_roads/distance_to_1	0:100	100:200	200:300	300:400	400:500	500:600	600:700	700:800	
2	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3										
4	:distance/distance_to_1	0:100	100:200	200:300	300:400	400:500	500:600	600:700	700:800	800:900
5	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6										
7	:static_var/hidro	0:100	100:200	200:300	300:400	400:500	500:600	600:700	700:800	800:900
8	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9										
10	:static_var/protected_areas	0:1	1:2	2:3	3:4	4:5				
11	2,1	0	0	0	0	0				
12										
13	:static_var/settlement	0:1	1:2	2:3	3:4	4:5	5:6	6:7		
14	2,1	0	0	0	0	0	0	0		
15										

952 **Figura S3:** Ajuste dos intervalos e distância do esqueleto utilizado para cálculo dos coeficientes dos
 953 pesos de evidência no modelo que melhor representou o mapa real (PRODES_2021) em relação ao
 954 simulado no modelo de validação.

955

956 Quanto à metodologia de aplicação da taxa de desmatamento, optou-se por fazer o levantamento do
 957 aumento e diminuição médios (Mdi e Mdd) no período de 2000 a 2014 para melhor representar as
 958 tendências de aumento e diminuição na simulação de 2014 a 2021, como pode ser visto na Figura
 959 S4. Para o aumento, foi calculada a média de todos os anos em que o desmatamento foi positivo em
 960 relação ao ano anterior. A média correspondente foi calculada para as diminuições.



961 **Figura S4:** Percentuais de aumento e diminuição do desmatamento em relação ao ano anterior para
 962 o Estado do Amazonas, onde o aumento médio corresponde a 26,2% e a diminuição média a 20,6%
 963 para o período de 2000 a 2014.

964

O mesmo princípio foi utilizado para simular os cenários de 2021 a 2100, com o objetivo de atualizar o índice para melhor representar a tendência de aumento e diminuição até 2021, ano de início da simulação do cenário (Figura S5). Porém, optou-se por manter as taxas de transição de entrada utilizadas na calibração, tendo em vista que o modelo apresentou resultado satisfatório na validação, conforme a Tabela S5.

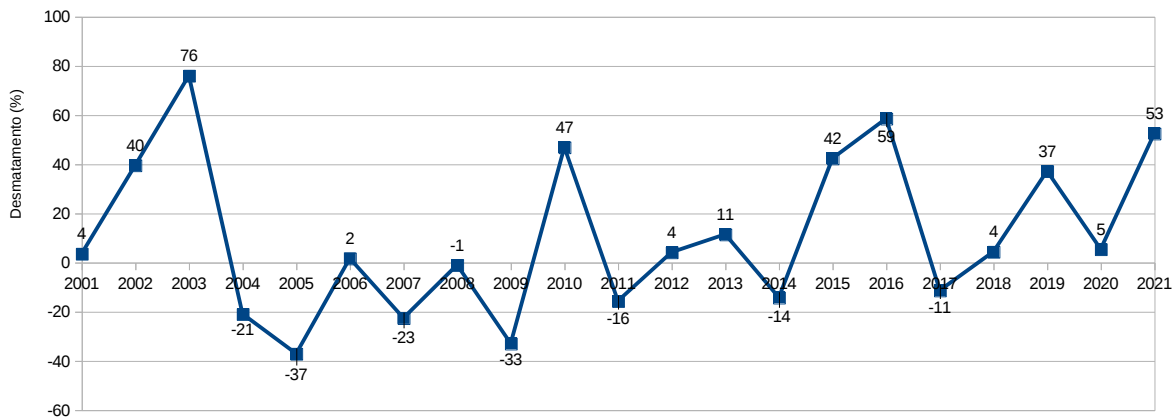


Figura S5: Percentuais de aumento e diminuição do desmatamento em relação ao ano anterior para o Estado do Amazonas, onde o aumento médio corresponde a 31,6% e a diminuição média a 19,5% para o período de 2000 a 2021.

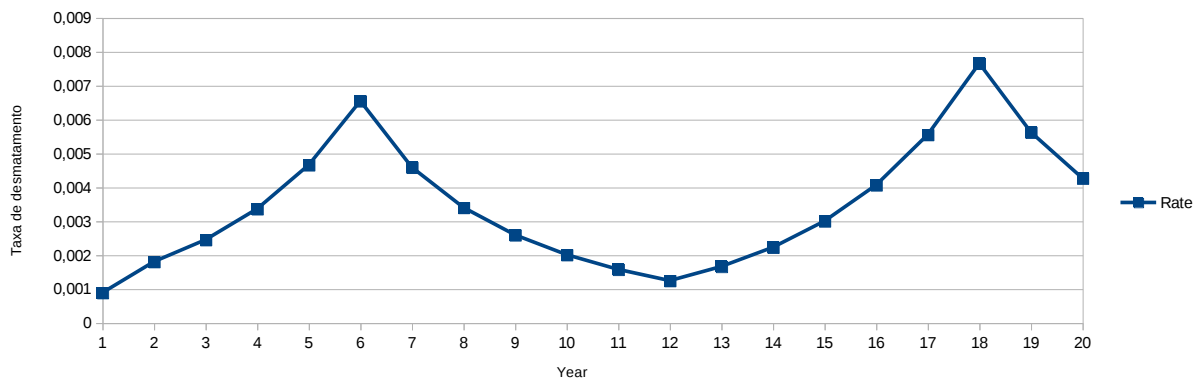


Figura S6: Exemplo aplicado para demonstrar a flutuação da taxa de desmatamento durante o período intermediário de 6 anos.

974

975 **Tabela S4:** Dados utilizados para calcular as taxas anuais de desmatamento para simulação de 2014
 976 a 2021.

Região	Taxa média de transição 2007 - 2013	Índice de transição (%)	Desmatamento acumulado até 2007 (km²)	Desmatamento acumulado até 2013 (km²)	Área florestal disponível em 2007 (km²)	Área florestal disponível em 2013 (km²)
Região 1	0,0008937	50,59	4.168,97	5.194,10	198.443,96	197.418,83
Região 2	0,0005672	29,39	4.948.60	5.116,53	42.958,80	42.790,87
Região 3	0,0007987	38,30	2.931.67	3.292,34	75.413,77	75.053,10
Região 4	0,0007379	32,37	4.103.92	4.365,23	59.124,14	58.862,83
Região 5	0,0004074	30,74	6.984.21	7.315,11	135.521,33	135.190,43
Região 6	0,0008912	36,43	12.626.69	13.943.21	246.743,18	245.426,66
Região 7	0,0001413	30,85	2.045.33	2.144.46	116.939,81	116.840,68
Região 8	0,0000469	30,08	3.050.72	3.175.21	442.870,26	442.745.77
Região 9	0,0000608	31,13	1.596.85	1.678.69	224.457.00	224.375,16

977

978

979 **Tabela S5:** Dados utilizados para calcular as taxas anuais de desmatamento para simulação de 2021
 980 a 2100.

Região	Taxa média de transição 2007 - 2013	Índice de transição (%)	Desmatamento acumulado até 2014 (km ²)	Desmatamento acumulado até 2021 (km ²)	Área florestal disponível em 2014 (km ²)	Área florestal disponível em 2021 (km ²)
Região 1	0,0008937	102,41	5.345,78	9.109,74	197.267,15	193.503,19
Região 2	0,0005672	35,01	5.147,07	5.302,04	42.760,33	42.605,36
Região 3	0,0007987	66,16	3.331,46	4.469,53	75.013,98	73.875,91
Região 4	0,0007379	39,42	4.388,07	4.713,67	58.839,99	58.514,39
Região 5	0,0004074	35,85	7.352,00	7.634,83	135.153,54	134.870,71
Região 6	0,0008912	65,34	14.279,09	19.040,05	245.090,78	240.329,82
Região 7	0,0001413	38,42	2.182,20	2.322,31	116.802,94	116.662,83
Região 8	0,0000469	36,20	3.193,15	3.327,30	442.727,83	442.593,68
Região 9	0,0000608	40,05	1.689,40	1.825,68	224.364,45	224.228,17

981

982 ANEXO 6.

983 **Tabela S6:** Alocação de *patcher* e *expander* de acordo com a sub-região.

Região	De	Até o	Média do tamanho da mancha (ha)	Variância do tamanho da mancha (ha)	Isometria a mancha
1	Floresta	Desmatamento	11	34	1,5
2	Floresta	Desmatamento	5	15	1,5
3	Floresta	Desmatamento	8	24	1,5
4	Floresta	Desmatamento	6	18	1,5
5	Floresta	Desmatamento	5	15	1,5
6	Floresta	Desmatamento	7	21	1,5
7	Floresta	Desmatamento	5	15	1,5
8	Floresta	Desmatamento	5	15	1,5
9	Floresta	Desmatamento	5	15	1,5

984

ANEXO 7.

Para orientar a construção de estradas no modelo foi necessário inserir um mapa de atratividade (com áreas favoráveis à construção de estradas) e um mapa de fricção (com resistência à construção de estradas). Para isso, foi utilizado um submodelo do DINAMICA-EGO que multiplica os valores atribuídos às classes de cada mapa de entrada (Cobertura do solo 2013 e Categorias do solo 2013) e, como resultado, foram obtidos mapas de fricção e atratividade (Tabela S7) .

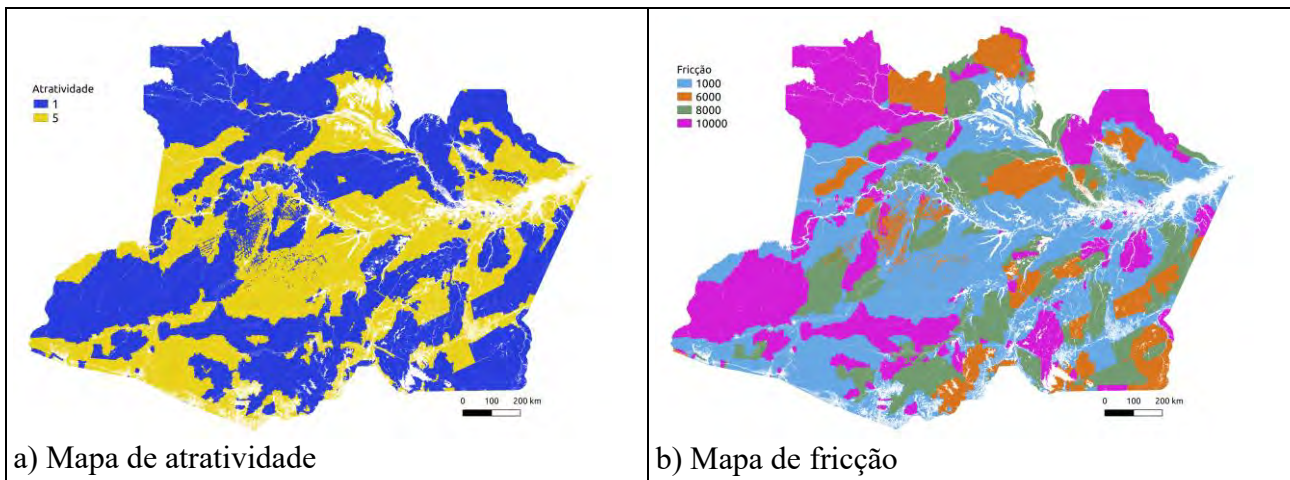
Considerando que o foco do modelo é o desmatamento, “não-floresta” (savanas, água, afloramentos rochosos, etc.) e “desmatamento” (área previamente desmatada) receberam valor zero em ambos os mapas (um valor zero não gera uma estrada). Quanto maior o valor da atratividade, maior a possibilidade do modelo construir estradas; portanto, foi atribuído o valor 1 para “floresta” no mapa de “cobertura do solo” e 5 para “áreas não protegidas” no mapa de “categorias de solo”, enquanto as

demais classes foram mantidas com o valor 1 (Tabela S7). O valor mais elevado (5) torna as áreas desprotegidas altamente atrativas para a construção de estradas (Figura S7a); entretanto, estradas só serão construídas nessas áreas do modelo se o valor da categoria de terra for diferente de zero, ou seja, se a área estiver em floresta.

A fricção baseia-se no mesmo princípio, e quanto maior o valor da fricção para uma classe de cobertura do solo, maior será a resistência para a construção de estradas (Tabela S7). “Áreas militares” e “terras indígenas” receberam o valor de fricção mais alto (10.000). “Áreas protegidas de proteção integral” receberam um valor de fricção de 8.000, e “áreas protegidas de uso sustentável” receberam um valor de 6.000, enquanto “áreas não protegidas” receberam um valor de fricção de 6.000. “Áreas protegidas” recebeu um valor de 1.000. Esses valores podem ser atribuídos pelo modelador, representando o que o modelador considera ser a dificuldade relativa de construção de estradas em áreas de diferentes categorias de terreno. Por exemplo, é mais fácil construir uma estrada numa unidade de conservação de uso sustentável do que numa Terra Indígena. Chegamos a esses valores depois de terem dado o melhor resultado em diversos testes de validação. A combinação entre os mapas fez com que o modelo definisse onde alocar as estradas com base no maior valor de atração e menor valor de fricção (Figura S7b).

Tabela S7: Valores atribuídos para a construção dos mapas de atratividade e fricção utilizados para construção de estradas no modelo.

Mapa	Componente do mapa	Atratividade	Fricção
Cobertura do solo 2013	Não floresta	0	0
	Desmatamento	0	0
	Floresta	1	1.000
Categoria de terra 2013	Área não protegida	5	1
	Área protegida de uso sustentável	1	6
	Área protegida de proteção integral	1	8
	Terra Indígena	1	10
	Área militar	1	10



986 **Figura S7:** Mapa de atratividade (a) e fricção (b). Estes valores são o resultado da interação entre
 987 os mapas de “cobertura do solo” e de “áreas protegidas”.

988

989 ANEXO 8

990

991 **Tabela S8:** Desmatamento projetado em relação ao desmatamento real.

	Desmatamen to projetado (km ²)	Diferença (%)	Diferença (km ²)	Desmatamento acumulado na área de estudo até 2021 (km ²)
Desmatamento simulado na área de estudo em 2021	57.431,23	-0,54	-313,92	57.745,15

992

993

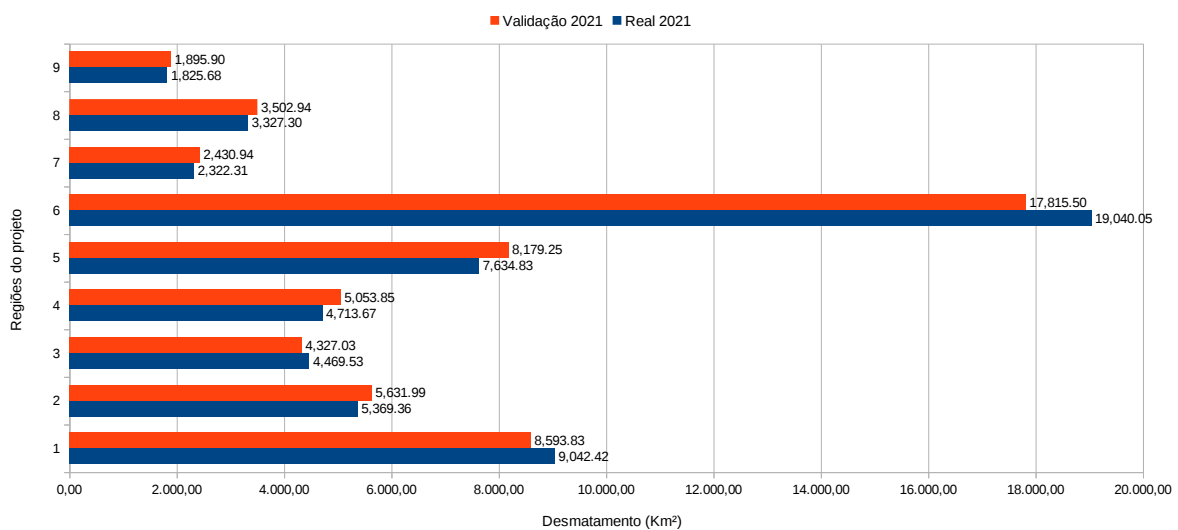


Figura S8: Desmatamento projetado por região em relação ao desmatamento em 2021.

REFERÊNCIAS

- 994 ANM (Agência Nacional de Mineração). 2021. [https://dados.gov.br/dataset/sistema-de-](https://dados.gov.br/dataset/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine)
995 [informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine](https://dados.gov.br/dataset/sistema-de-informacoes-geograficas-da-mineracao-sigmine). (acessado: 18 de maio de 2021).
- 996 DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte). 2016. BR-319/AM/RO Histórico
997 do licenciamento ambiental da rodovia e situação dos instrumentos celebrados para o atendimento
998 às condições do licenciamento. ([http://legis.senado.leg.br/sdleg-](http://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento/download/d3816d09-2e92-4f73-bf18-18e2c37b0589)
999 [getter/documento/download/d3816d09-2e92-4f73-bf18-18e2c37b0589](http://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento/download/d3816d09-2e92-4f73-bf18-18e2c37b0589)). (acessado: 25 de maio de
1000 2020).
- 1001 DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte). 2021. DNIT Geo.
1002 (<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>). (acessado: 15 de março de 2021).
- 1003 IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2017. Geociências.
1004 (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>). (acessado: 25 de maio de
1005 2020).
- 1006 ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). 2019. Limites das Unidades
1007 de Conservação Federais (atualizado em julho de 2019): Unidades de Conservação Federais – SHP
1008 (SIRGAS2000). ([https://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamento1/51-menu-servicos/4004-](https://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamento1/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s)
1009 [downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s](https://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamento1/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s)). (acessado: 25 de maio de 2020).
- 1010 INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). s.d.
1011 http://certificacao.incr.gov.br/csv_shp/export_shp.py. (acessado: 25 de maio de 2020).
- 1012 INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2022a. PRODES – Amazônia.
1013 <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. (acessado: 06 de julho de 2022).
- 1014 INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2022b. PRODES.
1015 http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates. (acessado:
1016 06 de julho de 2022).
- 1017 Lima, T.C.; Guilen-Lima, C.M.; Oliveira, M.S.; Soares-Filho, B.S. 2013. DINAMICA EGO e Land
1018 Change Modeler para simulação de desmatamento na Amazônia brasileira: Análise comparativa. In:
1019 *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais...* São José
1020 dos Campos: INPE, 2013. pp. 6379-6386.
- 1021 Oliveira, P.C.S.S.; Santos, A.M.; Ferreira, N.C. 2019. Modelagem dinâmica do desmatamento no
1022 sul da Amazônia ocidental. *Bol. Geogr., Maringá* 37(3), 188-206.
- 1023 Soares Filho, B.S.; Pennachin, C. L.; Cerqueira, G. 2002. DINAMICA – a stochastic cellular
1024 automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization
1025 frontier. *Ecological Modelling*, 154(3), 217-235.
- 1026 Soares Filho, B.S.; Alencar, A.; Nepstad, D.; Cerqueira, G.; Dias, M.; Rivero, S.; Solórzanos, L.;
1027 Voll, E. 2004. Simulating the response of land-cover change to road paving and governance along a
1028 major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology* 10, 745-764.

- 1029 Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.; Costa, W.L.S. 2009. Modeling Environmental Dynamics with
1030 Dinamica EGO. <https://www.csr.ufmg.br/dinamica>. acessado: 20 de outubro de 2020).
1031 <https://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=tutorial:start>.
- 1032 Soares-Filho, B.S.; Nepstad, D; Curran, L.; Voll, E.; Cerqueira, G.; Garcia, R.A.; Ramos, C.A.;
1033 McDonald, A; Lefebvre, P., Schlesinger, P. 2006. Modeling conservation in the Amazon basin.
1034 *Nature* 440, 520-523.
- 1035 Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.; Costa, W.L.S. 2009. Modeling Environmental Dynamics with
1036 Dinamica EGO. <https://www.csr.ufmg.br/dinamica>. acessado: 20 de outubro de 2020).
1037 <https://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=tutorial:start>.
- 1038 Vitel, C.S.M.N. 2009. Modelagem da Dinâmica do Desmatamento de uma Fronteira em Expansão:
1039 Lábrea, Município do Estado do Amazonas. Dissertação de mestrado em Ciências de Florestas
1040 Tropicais, Manaus, Amazonas, Brazil: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 121
1041 pp.