

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

Simulando desmatamento e perda de carbono na Amazônia: Impactos no Estado de Roraima devido à reconstrução da BR-319 (Manaus-Porto Velho)

Please cite the original article:

Favor citar o trabalho original:

Barni, P.E.; P.M. Fearnside & P.M.L.A. Graça. 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(2): 259-278. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-014-0408-6>

Preprint or original article available at:

Preprint do trabalho original disponível em:

<http://philip.inpa.gov.br>

1 **Simulando desmatamento e perda de carbono na Amazônia: impactos no Estado**
2 **de Roraima devido à reconstrução da BR-319 (Manaus-Porto Velho)**

3

4 Paulo Eduardo Barni^{1,2}

5 Philip Martin Fearnside¹

6 Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça¹

7

8 ¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
9 Av. André Araújo, 2936, Manaus - Amazonas, CEP 69067-375, Brasil

10

11 ²Endereço atual: Universidade Estadual de Roraima, Rodovia BR-210, Km 70,
12 São João da Baliza – Roraima, CEP 69375-000, Brasil

13

14 E-mails:

15 P.E. Barni: paulinpa2007@gmail.com

16 P.M. Fearnside: pmfearn@inpa.gov.br

17 P.M.L.A. Graça: pmlag@inpa.gov.br

18

19

20 **Resumo** - O desmatamento na Amazônia leva à emissão de Gases de Efeito e à perda da
21 biodiversidade e dos serviços ambientais da floresta. O presente estudo realizou a
22 simulação de quatro cenários futuros de desmatamento e de emissões estimadas de
23 carbono para a atmosfera de 2008 a 2030, considerando uma área de aproximadamente
24 100 mil quilômetros quadrados referentes à região Sul do Estado de Roraima. Dois dos
25 cenários consideraram a hipótese da reconstrução e asfaltamento da rodovia BR-319
26 (Manaus – AM a Porto Velho – RO), possibilitando a chegada de um maior número de
27 imigrantes para a região e aumentando o desmatamento e a degradação florestal de
28 forma rápida e desordenada. Para a simulação dos cenários (dois *Business As Usual* –
29 negócios como sempre (BAU1 e 2) e dois cenários de conservação (CONSERV1 e 2))
30 foi utilizado o modelo AGROECO utilizando o arcabouço do *software* DINAMICA-
31 EGO. Dois cenários NÃO presumiram a BR-319 (BAU1 e CONSERV1) e dois cenários
32 presumiram a reconstrução e asfaltamento da BR-319 (BAU2 e CONSERV2) e dois Os
33 resultados mostraram que sob a hipótese da reconstrução e asfaltamento da BR-319 o
34 desmatamento aumentou em 60.638 a 204.125 hectares em 2030, comparando-se o
35 cenário BAU1 com o cenário CONSERV2 e o cenário CONSERV1 com o cenário
36 BAU2, respectivamente. As emissões de carbono para a atmosfera, decorrente dessas
37 diferenças, foram de $10,8 \times 10^6$ a $34,3 \times 10^6$ toneladas de carbono. Comparando o
38 cenário BAU1 com o cenário BAU2 a diferença em área desmatada foi de 143.398 ha e
39 correspondeu a emissão de $23,9 \times 10^6$ toneladas de carbono para a atmosfera. A
40 reconstrução e asfaltamento da BR-319 farão o desmatamento aumentar entre 18 e 42%
41 no sul do Estado de Roraima em 2030. As emissões de carbono para a atmosfera neste
42 período, decorrentes desse desmatamento sofrerão aumentos em percentuais
43 semelhantes (entre 19 e 42%). Este estudo demonstra que a reconstrução da BR 319,
44 ligando Manaus a Porto Velho, pode ter impactos ao ambiente muito além da sua área
45 de influência oficial no interflúvio dos rios Madeira-Purus. Seus efeitos podem se
46 irradiar até Roraima, proporcionado pela atual malha viária. Medidas mitigadoras para
47 redução desses impactos deveriam incluir também a criação de UCs em Roraima em
48 áreas mais vulneráveis à pressão antrópica, caso a reconstrução da BR-319 venha se
49 concretizar.

50

51 **Palavras-chave:** Aquecimento global, Uso do solo, Mudança do uso da terra, Carbono,
52 Floresta tropical, Mudança climática

53

54 **Abstract** - Deforestation in the Amazon region leads to emission of greenhouse gases
55 and to loss of biodiversity and of forest ecosystem services. The present study simulated
56 four future scenarios of deforestation and estimated carbon emissions to the atmosphere
57 from 2008 to 2030, considering an area of approximately 100 thousand square
58 kilometers referring to the southern region of the state of Roraima. Two of the scenarios
59 considered the hypothesis that highway BR-319 (Manaus - AM to Porto Velho - RO)
60 would be reconstructed and paved, making possible the arrival of a greater number of
61 immigrants to the region and increasing deforestation and forest degradation in a fast
62 and disorderly manner. For the simulation of the scenarios (two Business As Usual -
63 business as usual [BAU1 and 2] and two conservation scenarios [CONSERV1 and 2]),
64 the AGROECO model was used using the DINAMICA-EGO software framework. Two
65 scenarios assumed the reconstruction and asphaltting of BR - 319 (BAU2 and
66 CONSERV2) and two did not presume BR-319 (BAU1 and CONSERV1). The results
67 showed that under the hypothesis of the reconstruction and asphaltting of the BR-319,

68 deforestation increased from 60,638 to 204,125 hectares in 2030, comparing the BAU1
69 scenario with the CONSERV2 scenario and the CONSERV1 scenario with the BAU2
70 scenario, respectively. The carbon emissions to the atmosphere resulting from these
71 differences were from 10.8×10^6 to 34.3×10^6 tons of carbon. Comparing the BAU1
72 scenario with the BAU2 scenario, the difference in deforested area was 143,398 ha and
73 corresponded to the emission of 23.9×10^6 tons of carbon into the atmosphere. The
74 reconstruction and asphaltting of the BR-319 will cause deforestation to increase
75 between 18 and 42% in the south of the State of Roraima in 2030. The carbon emissions
76 to the atmosphere in this period resulting from this deforestation will suffer increases in
77 similar percentages (between 19 and 42%). This study demonstrates that the
78 reconstruction of BR-319, linking Manaus to Porto Velho, may have impacts on the
79 environment well beyond its official area of influence in the Madeira-Purus river
80 interflow. Its effects can radiate to Roraima, provided by the current road network.
81 Mitigating measures to reduce these impacts should also include the creation of PAs in
82 Roraima in areas more vulnerable to human pressure should the BR-319 be rebuilt.

83

84 **Keywords:** Global warming, Land use, Land-use change, Carbon, Tropical forest,
85 Climate change

86

87 **Introdução**

88

89 O desmatamento é a forma mais drástica e definitiva de mudança de uso da terra
90 na Amazônia e a mais danosa ao meio ambiente e à biodiversidade. Por exemplo, a
91 Extração seletiva de madeira (ESM), se conduzida dentro dos preceitos aceitáveis de
92 manejo florestal, não reduz a biodiversidade significativamente e pode trazer benefícios
93 à floresta e às comunidades humanas. Por outro lado se a ESM for conduzida de forma
94 desordenada e predatória poderá causar danos irreversíveis a floresta em termos de
95 extinção local de várias espécies madeiráveis, levando, ocasionalmente, à perda de
96 importantes serviços ambientais prestados pela floresta além de deixá-la vulnerável à
97 incidência de incêndios florestais. Em florestas ecotonais e, mais recentemente em
98 florestas densas, a ocorrência de incêndios florestais de sub-bosque e a sua reincidência
99 podem danificar e mudar a estrutura da floresta e o seu conteúdo de biomassa
100 (MARTINS et al., 2012; XAUD et al., 2013). Embora esses fenômenos sejam causados
101 pela ação e intervenção humana na floresta, não chegam a danificá-la o suficiente para
102 que, em poucos anos e por causa da sua resiliência natural, ela deixe de se recuperar e
103 volte a ser produtiva novamente.

104

105 No entanto, o desmatamento é uma ação sem retorno para os serviços ambientais
106 (FEARNSIDE, 2008a) e para a biodiversidade da flora e da fauna locais, porque é
107 necessário que a floresta esteja de pé para cumprir plenamente o seu papel. Mesmo que
108 sessem todas as ações humanas sobre a área desmatada e a deixássemos a cargo da
109 regeneração natural, seriam necessárias centenas de anos até que surgisse no local outra
110 floresta, com características semelhantes à original.

111

112 Por isso, o desmatamento na Amazônia não é assunto trivial e assume um papel
113 de altíssima relevância. O seu estudo requer abordagens muitas vezes originais e
114 inusitadas como, por exemplo, o uso de cenários futuros. Essa abordagem é possível
115 graças ao grande avanço observado atualmente nas áreas da informática e,
116 conseqüentemente, no uso e desenvolvimento de ferramentas e técnicas de

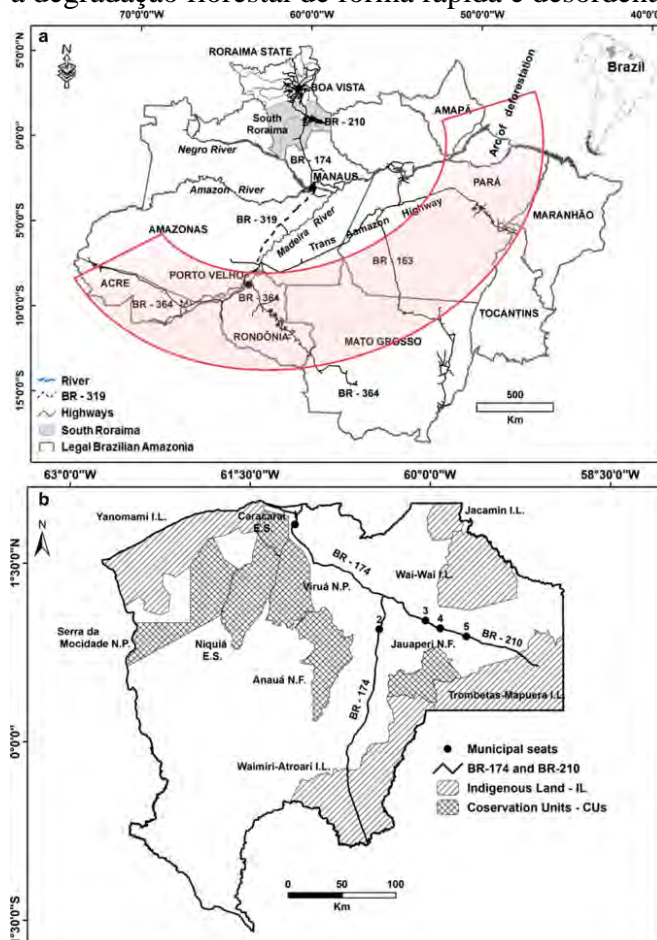
117 Sensoriamento Remoto (SR), geoprocessamento e de Sistemas de Informações
 118 Geográficas (SIG).

119

120 Na criação de cenários futuros, são usados modelos de simulação executados em
 121 *softwares* especialmente desenvolvidos para esse fim. Os cenários futuros prestariam
 122 para um melhor entendimento dos padrões subjacentes aos processos dinâmicos
 123 relacionados ao desmatamento, por exemplo. A simulação de desmatamento pode ser
 124 vista como um instrumento de aquisição de conhecimento a partir da integração e
 125 aplicação da informação (obtida por mapas de SR e SIG) sobre sistemas dinâmicos
 126 como é a paisagem amazônica no advento recente das grandes migrações humanas para
 127 a região.

128

129 Este capítulo apresenta a simulação de quatro (4) cenários futuros de
 130 desmatamento e apresenta estimativas de emissões de carbono para a atmosfera
 131 resultante destes cenários. As simulações foram executados de 2008 a 2030,
 132 considerando uma área de aproximadamente 100 mil quilômetros quadrados referentes à
 133 região Sul do Estado de Roraima. Os cenários foram construídos a partir da hipótese da
 134 reconstrução e asfaltamento da BR-319 (Manaus – AM a Porto Velho – RO)
 135 possibilitando a chegada de um maior número de imigrantes para a região e aumentando
 136 o desmatamento e a degradação florestal de forma rápida e desordenada.



137

138 **Figura 1.** Em (a) Amazônia Legal brasileira destacando o “arco do desmatamento”
 139 (faixa em cor rosa) e em (b) a região sul de Roraima. E.S. =Estação Ecológica, I.L.=
 140 Terras Indígenas, N.F.= Floresta Nacional. N.P.= Parque Nacional e BR indica rodovias
 141 federais. Sedes municipais: 1 Caracaraí, 2 Rorainópolis, 3 São Luiz, 4 São João da
 142 Baliza e 5 Caroebe.

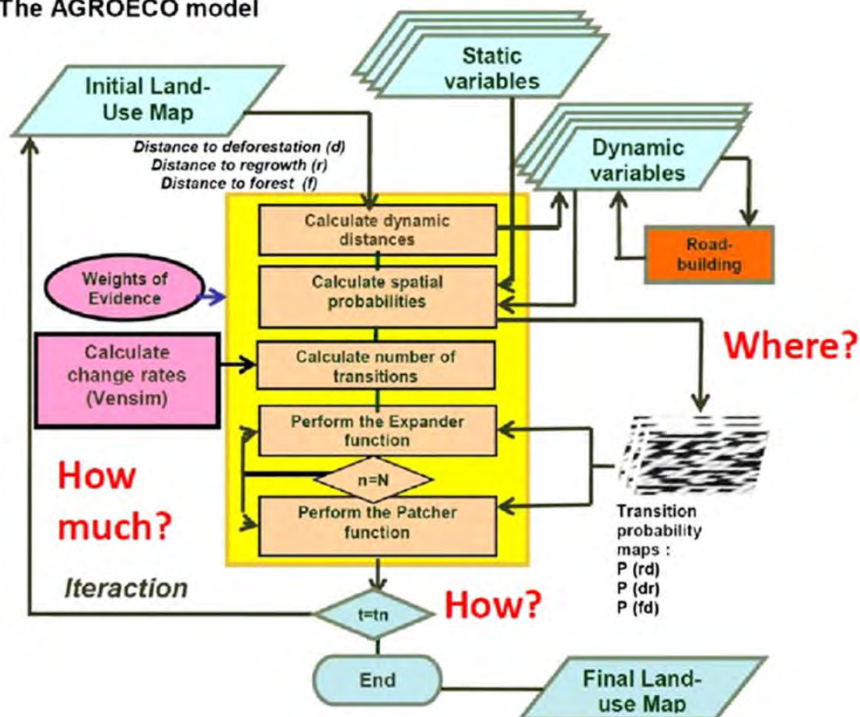
143 Material e Métodos

144 Modelo espacial utilizado nas simulações

145

146 Para a criação dos cenários futuros da região Sul de Roraima utilizou-se o modelo
 147 AGROECO, desenvolvido por Fearnside et al. (2009), com base no arcabouço do
 148 *software* DINAMICA-EGO (SOARES-FILHO et al., 2006). O modelo AGROECO
 149 (Figura 2) incorpora uma série de inovações às concepções originais deste *software*
 150 (FEARNSIDE et al., 2009) como por exemplo, a incorporação de estradas planejadas no
 151 futuro. O modelo AGROECO “orienta” O *software* DINAMICA-EGO, sinalizando, por
 152 exemplo, ONDE será o desmatamento ocorre (orientação espacial ou local), QUANTO
 153 será desmatado (orientação relativa às taxas de desmatamento) e COMO será o processo
 154 de desmatamento (orientação relacionada à severidade ou quantidade de desmatamento
 155 em um determinado local situado no mapa). Como ilustrado na Figura 2, o
 156 DINAMICA-EGO trabalha com o conceito de camadas de informações ou
 157 “empilhamento de mapas”.

The AGROECO model



158

159 **Figura. 2.** Ilustração conceitual do modelo AGROECO (adaptado por VITEL, 2009).

160

160 *Where* = Onde? *How much* = Quanto(s)? e *How* = Como?

161

162 Premissas para os cenários simulados

163

164 Foram simulados quatro cenários de desmatamento e emissões de carbono entre 2007 e
 165 2030 para o Sul do Estado de Roraima. Dois deles presumiram a reconstrução e
 166 asfaltamento da BR-319 em 2011: um cenário Business As Usual2 - BAU2 (negócios
 167 como sempre) e CONSERV2, (cenário de conservação). Os outros dois cenários, um
 168 Business As Usual1 - BAU1 (negócios como sempre) e o outro de conservação
 169 (CONSERV1) presumiram o não reconstrução da BR-319. Os cenários foram
 170 construídos a partir de algumas premissas (ou suposições). Premissas são imposições ao
 171 modelo, baseadas em algumas condições pré-definidas, para se obter respostas e ajudar
 172 na interpretação dos cenários gerados posteriormente durante as simulações (Tabela 1).

173 Essas premissas foram elaboradas através da literatura e baseadas no contexto histórico
 174 de ocupação da área de estudo. As premissas do cenário BAU1 (sem reconstrução da
 175 BR-319) supõem que o desmatamento irá ocorrer no futuro semelhantemente o que vem
 176 sendo observado atualmente na região (BARNI et al., 2012; BARBOSA et al., 2008). A
 177 incorporação de estradas planejadas, tanto no cenário BAU1 como no BAU2 (com
 178 reconstrução da BR-319), supõe o aumento da rede viária através de ações oficiais do
 179 governo do Estado na criação e ampliação de Projetos de Assentamento (PAs) e
 180 pavimentação de outras estradas oficiais adicionais. E também da criação de estradas
 181 não oficiais a partir das ações decorrentes das atividades de madeireiros e grileiros em
 182 áreas de invasões de terras públicas. As premissas que norteiam o cenário BAU2
 183 pressupõem um agravamento do quadro verificado em 2007 no sul de Roraima. Isto em
 184 função da suposição da reconstrução e asfaltamento da BR-319 em 2011 e a presunção
 185 de ocorrência de um forte fluxo migratório vindo para Roraima utilizando a estrada.
 186 Esse fluxo migratório causa aumento nas taxas de desmatamento semelhantes aos
 187 observados entre 1997 e 2001 dentro de PAs criados entre 1995/1997 na área de estudo.

188

189 Os cenários CONSERV1 e CONSERV2 (cenários de conservação sem a BR-319 e com
 190 a BR-319, respectivamente) sugerem a criação de Unidades de Conservação (UCs) onde
 191 se verificavam forte pressão antrópica no sul de Roraima. Essa pressão se caracterizava
 192 através de grilagens de terras públicas com a conversão da floresta em pastagens e corte
 193 ilegal de madeira, ameaçando grandes blocos de florestas contínuas sem status de
 194 conservação. Para simular políticas de contenção ao desmatamento sob estes dois
 195 cenários, as estradas que tinham como destino esses blocos de florestas nos dois
 196 cenários BAU foram retiradas do modelo, tendo permanecido aquelas que se dirigiam
 197 para outras direções. Em relação as TI (todos cenários simulados) e as UCs propostas
 198 (cenários de conservação 1 e 2), foi presumido que não haveria desmatamento em seu
 199 interior. Sendo que as UCs já implantadas na região sul até 2007 estariam sujeitas às
 200 probabilidades de haver desmatamento calculadas pelo modelo. Tanto o cenário BAU2
 201 como o CONSERV2, ambos presumindo o asfaltamento da BR-319, sofrem um
 202 aumento em suas taxas de desmatamento a partir de 2012 em função da aplicação pelo
 203 modelo de um Fator de Migração (FM). Esse fator, derivado da área de estudo, foi igual
 204 a três (3).

205

206 **Tabela 1.** Condições para os quatro modelos de simulação do Sul do Estado de
 207 Roraima.

CENÁRIO	BR-319	Estradas planejadas	Reservas (UCs)	Fator de migração	*TBA	**TEP
BAU1	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
CONSERV1	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não
BAU2	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
CONSERV2	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não

*Taxa Básica Anual

**Taxa de estradas planejadas

208

209 **Dados espaciais de entrada**

210

211 Foram usadas as seguintes variáveis como entrada para o modelo de simulações:

212

213 1. Mapas de uso da terra:

214 Mapas de 2004 e 2007 fornecidos pelo PRODES (Brasil, INPE, 2018),
 215 usados para os cálculos da taxa de transição e dos pesos de evidência.

216

217 2. Mapas de variáveis estáticas:

218

219 a) Altitude; (Brasil, SIPAM, 2008)

220 b) Declividade; (derivado de dados SRTM)

221 c) Solos; (IBGE/RADAMBRASIL)

222 d) Vegetação; (IBGE/RADAMBRASIL)

223 e) Terras Indígenas e Unidades de Conservação; (IBAMA e ISA)

224 f) Distância a rios; (Brasil, SIPAM, 2008)

225 g) Distância a estradas secundárias (vicinais); (derivado de dados de malha
 226 viária de 1998 (Brasil, SIPAM, 2008) e atualizado pelo autor para 2007 a
 227 partir de imagens Landsat TM)

228 h) Distância a estradas principais; (Brasil, SIPAM, 2008)

229 i) Distância aos Projetos de Assentamento. (Brasil, INCRA, 2007)

230

231 3. Mapas de fricção:

232

233 Os mapas de fricção foram elaborados combinando dados de declividade,
 234 áreas de Unidades de Conservação e de Terras Indígenas existentes na área
 235 de estudo. Os mapas de fricção influenciam a atividade do construtor de
 236 estradas criando uma espécie de superfície de custo. Ou seja, em áreas
 237 vizinhas às áreas de conservação e em locais de grande declividade a
 238 atividade de construção de estradas seria limitada. Em áreas onde o relevo é
 239 plano a atividade do construtor seria favorecida.

240

241 4. Mapas de atratividade:

242

243 Os mapas de atratividade são calculados conforme os atributos espaciais e
 244 físicos locais da área, considerando-se fatores que atraem ou repelem
 245 atividades antrópicas. São mapas que integram informações cartográficas de
 246 áreas inundáveis, áreas de aptidão agrícola ou áreas de proteção. Esses
 247 mapas também servem para orientar as atividades do construtor de estradas
 248 (SOARES-FILHO et al., 2006). Mapas de fricção e de atratividade foram
 249 combinados para compor cada uma das três fases da simulação onde são
 250 caracterizados os ciclos de maior ou menor atividade do construtor de
 251 estradas.

252

253 **Cálculo dos Pesos de Evidência**

254

255 O DINAMICA-EGO trabalha com o conceito de pesos de evidencia na execução do
 256 modelo preditivo de desmatamento. Os pesos de evidência são originados do método
 257 Bayesiano de probabilidade condicional. Na modelagem da dinâmica de mudanças de
 258 uso e cobertura da terra, especificamente, eles são aplicados para calcular
 259 probabilidades, a posteriori, da ocorrência de desmatamento, sabendo-se, a priori, de
 260 locais e condições favoráveis de ocorrência do desmatamento. Nesse passo da
 261 modelagem os mapas de uso da terra, as variáveis estáticas e dinâmicas foram
 262 combinadas num sub-modelo do DINAMICA-EGO para extração dos pesos de
 263 evidência. A influência dos pesos de evidência sobre as variáveis pode ser positiva

264 (favorece o desmatamento) ou negativa (inibe o desmatamento). Os pesos de evidência
265 são recalculados a cada iteração do modelo considerando a superfície total de floresta
266 disponível em uma dada iteração. Na simulação os pesos de evidência representam a
267 “quantidade” de influência de cada variável na probabilidade espacial de transição de
268 uma célula, em um determinado estado (i), mudar para outro estado (j) em função da
269 sua localização dentro de uma dada faixa de distância. Dessa forma, a maior
270 probabilidade de mudança de estado terá aquela célula cuja localização está na faixa
271 mais próxima da classe de interesse.

272

273 **As funções *Patcher* e *Expander***

274

275 O DINAMICA-EGO utiliza como regra local para o algoritmo de autômato celular um
276 mecanismo de transição composto de duas funções complementares, o *Patcher* e o
277 *Expander*. A função *Patcher* procura por células ao redor de um local escolhido para
278 uma transição combinada e formação de novas manchas através de um mecanismo de
279 semeadura. Isto é feito primeiramente elegendo a célula central de uma nova mancha e
280 então selecionando um número específico de células ao redor da célula central, de
281 acordo com sua probabilidade de transição P (ij) calculada pelos pesos de evidência. A
282 função *Expander* é dedicada apenas à expansão ou contração de manchas prévias de
283 certa classe. Na função *Expander* uma nova probabilidade de transição espacial P (ij)
284 depende da quantidade de células do tipo j ao redor de uma célula do tipo i. Para a
285 construção dos cenários foram usadas as transições floresta / desmatamento (3=>1),
286 desmatamento / regeneração (1=>2) e regeneração / desmatamento (2=>1).

287

288 **Construtor de estradas**

289

290 O módulo construtor de estradas utiliza os conceitos de atratividade e fricção para seu
291 funcionamento e tem como objetivo ampliar a malha rodoviária a partir de estradas
292 existentes. Para isso foi levado em consideração parâmetros como o grau de atratividade
293 de uma região ao desmatamento, o custo do traçado, a densidade de estradas por área e
294 o comprimento médio de segmentos de estrada por passo. O construtor de estradas
295 aumenta sua atividade de construção quando a maioria das estradas construídas já tenha
296 produzido desmatamento nas suas proximidades.

297

298 **Calendário de estradas**

299

300 Neste trabalho e para todos os cenários, as estradas principais planejadas para o futuro
301 obedeceram ao cronograma oficial do governo de Roraima para a pavimentação de
302 estradas. As estradas secundárias de maior comprimento foram mapeadas usando o
303 método MCE (*Multiple Criteria Evaluation*), implementado no software DINAMICA-
304 EGO. Foram constatadas em campo atividades de grilagem e demarcação de terras
305 públicas no final de algumas estradas vicinais com carregadores construídos por
306 madeireiros. Assim, no cenário BAU1 (sem a BR-319) e no BAU2 (com a BR-319),
307 presumimos que estradas serão construídas futuramente para facilitar o acesso a essas
308 áreas de invasões, induzindo desmatamentos futuros. As datas prováveis de construção
309 das estradas secundárias foram estimadas baseando-se nas entrevistas de campo e na
310 consulta à literatura (Tabela 2).

311

312 Tabela 2. Calendário de asfaltamento e construção de estradas projetadas para o futuro
 313 aplicado ao modelo AGROECO para todos os cenários (exceto alguns destinos nos
 314 cenários de conservação).

Ano	Nome	Compri		Localidade (município)
		mento (km)	*Área (ha)	
2008	BR-174 e BR-210	526	-	Todos
2009	Trecho BR-210	63	75.600	São João / Caroebe
2011	Estradas vicinais	140	168.000	Rorainópolis
2012	RR-170 e BR-422	136	163.200	Caracará / Rorainópolis
2013	Estradas do rio Engano	264	316.800	Caracará
2014	Estradas Lago Jatapú	73	87.600	Caroebe
2015	Continuação da vicinal 07	65	78.000	Caroebe
2018	Estrada para Sta. Maria do Boiaçú	126	151.200	Rorainópolis
Total	-	867	1.040.400	-

*Área disponibilizada pela estrada para desmatamento

315

316 Relação entre estradas e taxa de desmatamento dinâmico

317

318 A construção de estradas incorpora uma superfície de floresta, atualizada a cada iteração
 319 na simulação, definida por uma faixa (*buffer*) de 6 km a ambos os lados das estradas. A
 320 superfície assim definida é denominada de floresta acessível. Deste modo a superfície
 321 de floresta acessível pode aumentar no máximo de 12 km² (1.200 ha) para cada
 322 quilômetro de estrada construída, nos casos de estradas de penetração. Já nos casos de
 323 estradas vicinais ou ramais, o aumento da superfície disponível poderá ser até nulo. A
 324 incorporação de superfície de floresta disponível é minimizada quando existirem áreas
 325 de proteção integral ou terras indígenas vizinhas ao traçado. Estas áreas não se
 326 incorporarão à floresta disponível e a construção de estradas endógenas (internas no
 327 DINAMICA-EGO) é inibida. O incremento da superfície de floresta disponível é zero
 328 quando a construção de estradas acontece nas proximidades ou dentro de UC's, embora
 329 as estradas possam ser de penetração.

330

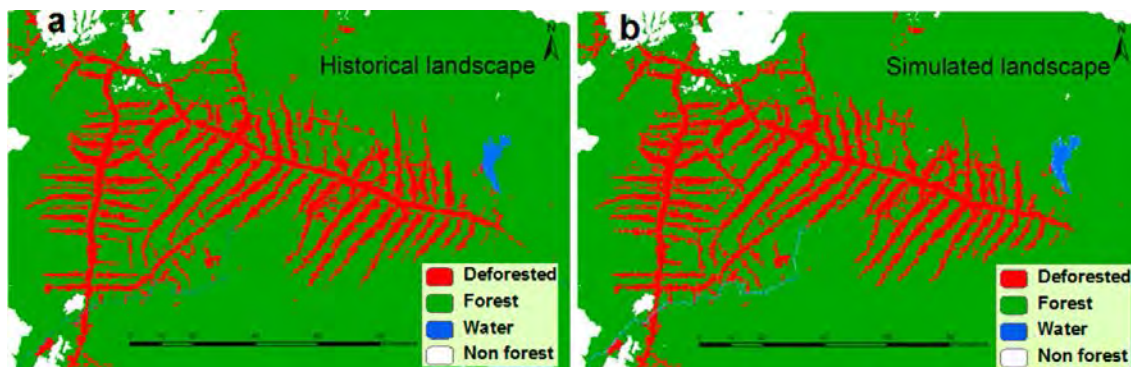
331 O conceito de acessibilidade implica que a atividade de construção de estradas
 332 aumentará positivamente o desmatamento. Esse efeito é conseguido aplicando-se taxas
 333 internas de desmatamento.

334

335 Validação do modelo de simulação

336

337 O modelo foi validado através de rodadas de simulação entre os anos de 2004 a 2007
 338 usando o mapa de uso da terra de 2004 como mapa de entrada e os parâmetros da
 339 calibração para o cenário BAU1 (sem a BR-319), do Sul do Estado de Roraima (Figura
 340 3). O mapa gerado foi comparado ao mapa de uso da terra de 2007 fornecido pelo
 341 PRODES (BRASIL, INPE, 2018). Para isso, foi usada a técnica de comparação de
 342 similaridade recíproca, do método da similaridade *fuzzy* (HAGEN, 2003). É importante
 343 destacar que nesta abordagem se compararam mapas de diferenças, ou seja, mapas de
 344 desmatamento simulado, e não de desmatamento acumulado (B.S. SOARES-FILHO.
 345 comunicação pessoal).



346 **Figura 3.** Detalhe ampliado (1:700.000) da área de estudo (a) comparando o
 347 desmatamento observado em 2007 pelo PRODES (BRASIL, INPE, 2018), com o
 348 desmatamento simulado pelo modelo (b).
 349

350 Criação das UCs para os cenários de Conservação

351
 352 As UCs propostas para os cenários de Conservação somaram uma área de
 353 aproximadamente 695.000 ha. A forma e a localização foram planejadas para permitir a
 354 conectividade com outras UCs já implantadas na região, formando um imenso corredor
 355 desde o sul e sudeste, e chegando ao nordeste, da região Sul de Roraima (FERREIRA &
 356 VENTICINQUE, 2007). As florestas que ocupam grande parte da região sul de
 357 Roraima são ombrófilas densas, ou seja, de dossel fechado (BARBOSA et al., 2008).
 358 Estas florestas se encontram hoje bastante vulneráveis pela extração ilegal de madeiras e
 359 até mesmo pelo corte raso, uma vez que já há denúncias de invasão nessas áreas,
 360 inclusive confirmadas por observações em imagens de satélites. A criação de parques
 361 representa um componente central nas estratégias de conservação da biodiversidade nos
 362 trópicos (BRUNER et al., 2001).
 363

364 Estimativa de biomassa florestal

365
 366 Na estimativa de biomassa florestal abaixo e acima do solo (excluindo o carbono do
 367 solo), foi utilizado o mapa de densidade média de biomassa calculada para o Estado de
 368 Roraima. Esse mapa foi derivado do mapa de biomassa para a Amazônia, desenvolvido
 369 por Nogueira et al. (2008). Para o atual trabalho, considerou-se biomassa florestal
 370 somente aquela proveniente de formações florestais primárias, que não tiveram histórico
 371 de corte raso prévio (FEARNSSIDE, 2009).
 372

373
 374 Para os ecossistemas de “campina” e de savana (localmente denominada de “lavrado”,
 375 sem representação nos inventários do RADAMBRASIL) (Brasil, Projeto
 376 RADAMBRASIL, 1973-84), foram usados os estudos de Barbosa & Ferreira (2004) e
 377 de Barbosa & Fearnside (2005). Para estimar a biomassa de raízes desses ecossistemas
 378 foi usada a razão (raíz/caule) de 2.81 (R.I. BARBOSA, comunicação pessoal, 2009).
 379

380 Estimativa de biomassa da vegetação secundária simulada e outros tipos de 381 vegetação da paisagem em equilíbrio

382
 383 No modelo AGROECO, adaptado para este estudo, considerou-se que a vegetação
 384 secundária espacializada na simulação, para cada iteração, foi originada de áreas
 385 desmatadas para fins de pecuária. As pastagens são, ainda hoje, o principal tipo de uso

386 da terra na Amazônia, correspondendo a entre 75 e 81% das áreas desmatadas
387 (BARRETO et al., 2008; GREENPEACE, 2009).

388

389 Para estimar a biomassa de vegetação secundária simulada anualmente e as
390 remanescentes nos cenários de 2030, mapas binários com pixels da classe de vegetação
391 secundária gerados a cada iteração foram submetidos a operações de álgebra de mapas.
392 Esse procedimento visou determinar a composição das paisagens geradas anualmente
393 pelo modelo de simulação relativo à idade da vegetação secundária proveniente de
394 pastagens abandonadas em determinada paisagem. Ou seja, determinar quanto da
395 vegetação secundária criada na paisagem no tempo t_0 permanece em uma paisagem
396 criada no tempo t_1 . As operações consistiram de cruzamentos sistemáticos entre os
397 mapas gerados ao longo das simulações e que foram recuperados a cada iteração pelo
398 DINAMICA-EGO, de 2008 a 2030. A composição da vegetação secundária simulada
399 nas paisagens anuais foi determinada verificando-se sua abundância relativa na
400 paisagem de 2030, e, de forma auxiliar, em função do tempo de permanência das células
401 de vegetação secundária na paisagem. Como tempo de permanência, considerou-se os
402 resultados dos cálculos realizados sobre os dados de vegetação secundária simulados no
403 cenário BAU1 (sem a BR-319). Para isso, foi utilizado o conceito de “meia-vida” da
404 vegetação em regeneração, baseado na metodologia de Almeida (2008). Este autor
405 define como “meia-vida” da vegetação secundária o tempo necessário para que a
406 metade das células da vegetação secundária, mapeados em um tempo t , desapareçam em
407 um tempo $t+1$.

408

409 **Estimativa de emissões de carbono para a atmosfera**

410

411 A biomassa florestal foi convertida em carbono utilizando o fator de conversão de 0,485
412 (SILVA, 2007; NOGUEIRA, 2008). Considerou-se o conteúdo de carbono da vegetação
413 secundária simulada, de pastagens e de agricultura formando a paisagem em equilíbrio,
414 o carbono sendo 45% do peso seco estimado para a sua biomassa (FEARNSIDE, 1996,
415 2000). As estimativas de emissões de cada cenário intermediário, simulado anualmente
416 até 2030, foram calculadas a partir da perda do estoque de carbono existente nas
417 florestas remanescentes em 2007 até cada ano intermediário específico. A cada ano
418 simulado, descontou-se o carbono da paisagem em equilíbrio juntamente com o carbono
419 da vegetação secundária simulada. Presumiu-se que a vegetação secundária simulada,
420 nos diferentes estádios de regeneração, comporia a paisagem em equilíbrio juntamente
421 com as outras categorias de uso da terra após o corte raso da floresta. Isto é para se
422 calcular as emissões líquidas anuais de carbono para a atmosfera a partir do corte da
423 biomassa florestal. Dessa forma, a cada ano da simulação descontou-se do carbono
424 emitido proveniente do corte raso da floresta o carbono contido na paisagem em
425 equilíbrio substituindo a floresta conforme Fearnside et al. (2009): $\Delta C_{(\text{Cenário})} = A \times$
426 $(C_{\text{antes}} - C_{\text{depois}})$, onde: “ $\Delta C_{(\text{Cenário})}$ ” é o carbono líquido emitido (ton C) pelo
427 desmatamento entre 2007 e 2030 para cada cenário simulado, descontando o estoque
428 médio de carbono na paisagem em equilíbrio que substitui a floresta (FEARNSIDE,
429 1996), “A” é a área (ha) desmatada no período, e “ C_{antes} ” e “ C_{depois} ” representam os
430 estoques de carbono na paisagem antes e depois do desmatamento (ton C).

431

432 **Resultados e discussão**

433

434 **Validação do modelo**

435

436 A validação do modelo é importante para saber se ele é capaz de capturar informações
437 essenciais do mundo real e determinar o grau de realismo atribuídos aos resultados da
438 simulação dos cenários. Nosso modelo foi validado após rodadas de simulação
439 comparando-se o mapa simulado da paisagem do sul do Estado em 2007 com o mapa de
440 desmatamento do PRODES (BRASIL, INPE, 2018) obtendo-se um índice de 54,7% de
441 similaridade entre os mapas. Para esse propósito um índice acima de 50% de
442 similaridade é considerado suficiente para validação, uma vez que não há uma regra
443 geral para a calibração de modelos de simulação (MAZZOTI & VINCI, 2007).

444 **Biomassa e carbono sequestrados pela vegetação secundária simulada**

445 O percentual médio de 15,1% (da área total desmatada) de vegetação secundária
446 derivada das pastagens degradadas e simulada nos quatro cenários foi semelhante ao
447 percentual (13%) encontrado por Ferraz et al. (2005) simulando cenários futuros em
448 Rondônia. Em uma estimativa realizada por cadeia de Markov, considerando a
449 Amazônia como um todo, foi utilizado um índice de ocupação de vegetação secundária
450 de 32% do total da área desmatada (RAMANKUTTY et al., 2007). Estudos recentes
451 baseados em técnicas de sensoriamento remoto para análise de imagens de satélites
452 indicam um percentual de 19 a 28% da área desmatada na Amazônia brasileira sendo
453 ocupada por vegetação secundária (ALMEIDA et al., 2010; CARREIRAS et al., 2014;
454 NEEFF et al., 2006). Devido aos resultados serem semelhantes aos da literatura, nossa
455 abordagem pode ser usada utilizada para simular cenários realísticos de emissões de
456 carbono para a atmosfera provenientes de cenários de mudanças de uso e cobertura da
457 terra na Amazônia.

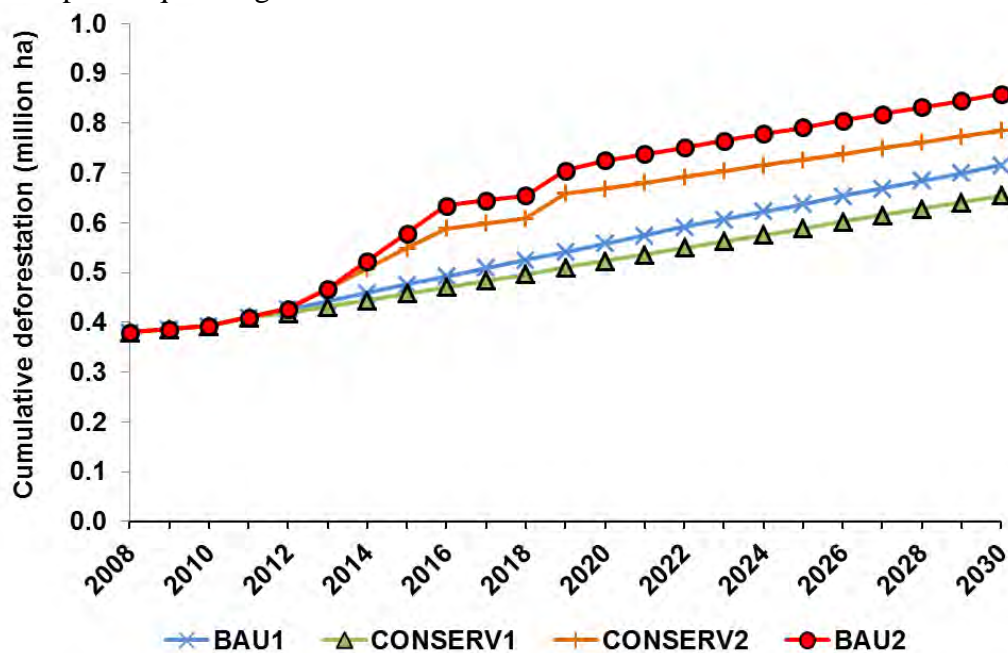
458 **Desmatamento acumulado sob os quatro cenários simulados**

459 A Figura 4 mostra a evolução do desmatamento acumulado em cada cenário simulado.
460 As curvas representando os cenários BAU1 e CONSERV1, sem a presunção da BR-319
461 apresentam evolução do desmatamento de forma linear e constante no tempo,
462 semelhante ao observado atualmente em Roraima e no sul do Estado (e.g., BARBOSA
463 et al., 2008; BARNI et al., 2012, 2015). Também é possível verificar um forte
464 crescimento do desmatamento sob os cenários BAU2 e CONSERV2, devido à aplicação
465 do fator de migração pelo modelo iniciando em 2013 e às taxas se estabilizado em 2020.
466 O cenário BAU1 (considerado de linha de base para a simulação) projetou a evolução
467 histórica do desmatamento na região. A construção de estradas principais planejadas
468 para o futuro e de estradas endógenas ou secundárias (construída por madeireiros, e
469 automatizadas no modelo) quase que dobraram a área desmatada inicialmente em 2007
470 (372.250 ha), alcançando uma área de 715.250 ha em 2030 e apresentando aumento de
471 92% no período analisado. O cenário BAU2 (com a BR-319) mostra uma possível
472 trajetória, no tempo e no espaço, de que estradas são precondições favoráveis ao
473 desmatamento. Estas precondições, combinadas com um provável fluxo migratório para
474 Roraima provocado pela reabertura da BR-319 em 2011, são simulados pelo modelo
475 aplicando taxas de desmatamento similares àquelas observadas no passado recente em
476 Roraima. Essas taxas foram aplicadas sobre um curto espaço de tempo (2013 – 2018)
477 acompanhando o calendário de estradas programadas para serem construídas no futuro.
478 Neste cenário a reconstrução e abertura da BR-319 ocorre em 2011 e acumula uma área
479 desmatada de 486.000 ha até em 2030, ou seja, um acréscimo de 130,4% sobre a área
480 inicial em 2007 (Tabela 3). Nos cenários CONSERV1 e CONSERV2 (com e sem a BR-
481 319) um aumento no desmatamento ocorreu a partir da rede de estradas pré-existentis
482 localizadas nos Projetos de Assentamento (Figura 4c, d). Isto indica que poderá haver

483 uma intensificação do uso da terra nestes locais devido às restrições ao desmatamento
 484 impostas pelo modelo simulando um cenário de conservação com a implementação de
 485 unidades de conservação. CONSERV1 foi o cenário com menos desmatamento no
 486 período da análise, com a área desmatada chegando a 654.513 ha em 2030, ou um
 487 aumento de área de 75,6% sobre o cenário inicial em 2007.

488

489 No cenário CONSERV2 (com a reabertura da BR-319), a área acumulada desmatada
 490 chegou a 775.888 ha em 2030, registrando aumento de 108,2% sobre a paisagem inicial
 491 em 2007. Apesar de ser um cenário de conservação, o cenário CONSERV2, desmatou
 492 17,7% a mais que o cenário BAU1. Em ambos os cenários de conservação houve um
 493 aumento nas invasões sobre a Floresta Nacional (FLONA) do Jauaperi. Isto foi mais
 494 intenso no cenário CONSERV2 indicando que a FLONA Jauaperi poderá servir como
 495 “válvula de escape” caso haja implementação de outras unidades de conservação
 496 propostas nos cenários CONSERV1 e CONSERV2. Dentro da área proposta para a
 497 FLONA Jauaperi (que ainda não foi oficialmente implementada) foi verificado em
 498 campo e a partir de imagens Landsat 5, sinais de invasões de terras. Atualmente,
 499 passados quase 10 anos, continua ativa essa área de invasão (próximo à sede municipal
 500 de São João da Baliza) e de demarcação ilegal de terras públicas e as áreas desmatadas
 501 cresceram significativamente. Em ambos os cenários de conservação pode se observar
 502 uma grande “saturação” pelo desmatamento. Isto pode ser verificado ao longo da BR –
 503 174, no Projeto de Assentamento Dirigido (PAD) Anauá (próximo à sede municipal de
 504 Rorainópolis), e ao longo da BR–210 e suas estradas vicinais próximas às sedes
 505 municipais daquela região.



506

507 **Figura 4.** Desmatamento acumulado (em milhões de ha) sob os quatro cenários
 508 simulados de 2007 a 2030 no sul do Estado de Roraima.

509

510 **Efeito das estradas planejadas sobre o padrão de desmatamento nos cenários**

511

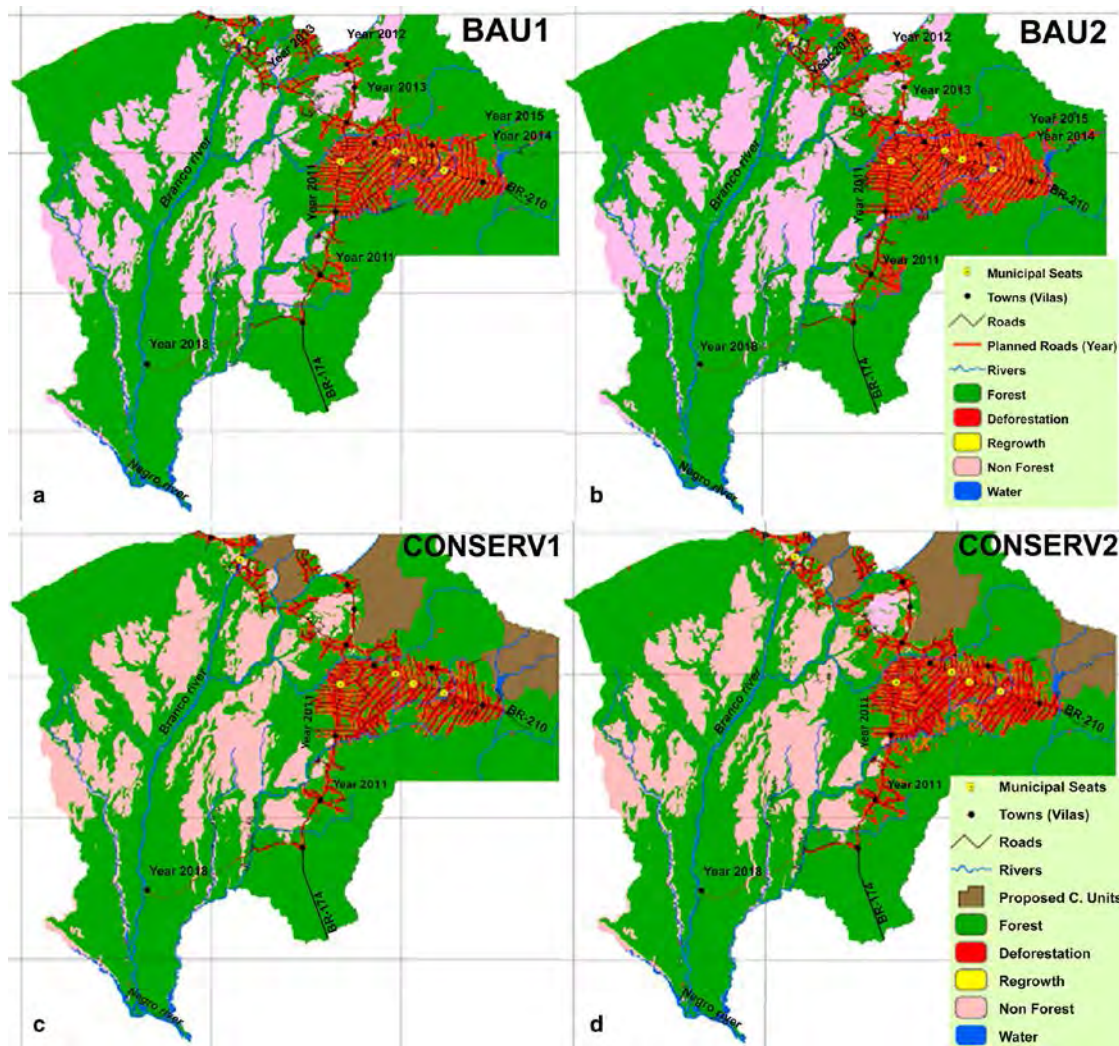
512 Embora ambos os cenários de “negócios como sempre” (BAU1 e BAU2), usarem o
 513 mesmo calendário para implementação das estradas planejadas para o futuro, no cenário
 514 BAU2 (presumindo a BR–319) foi utilizado o fator de migração para simular um
 515 aumento mais vigoroso do desmatamento depois de 2012. Assim, a forma e a

516 distribuição espacial do desmatamento nos dois cenários foram similares, diferenciando-
517 se apenas na intensidade (quantidade de área) de ocorrência do desmatamento. O
518 cenário BAU2 desmatou 38,4% a mais do que o BAU1 e o CONSERV2 desmatou
519 32,8% a mais do que o CONSERV1. O fato de que o CONSERV2 (com a BR-319)
520 desmatou 17,7% a mais do que o cenário BAU1 não significa que criar reservas é
521 ineficiente para frear o desmatamento na Amazônia. Ao contrário, reflete a severidade
522 do efeito de abrir uma estrada como a BR-319 em termos de desmatamento futuro em
523 uma região com baixa governança, como é o caso da região sul de Roraima (e.g.,
524 BARNI et al., 2012, 2017). Em geral, as estradas planejadas aceleraram o
525 desmatamento simulado nos dois cenários BAU, como tem sido observado na
526 Amazônia quando se constrói estradas (ESCADA & ALVES, 2001; NEPSTAD et al.,
527 2001; SOARES-FILHO et al., 2004, 2006). Estradas planejadas chegando a blocos de
528 florestas primárias ao norte da hidrelétrica de Jatapú (anos 2014 e 2015) em florestas
529 próximo ao rio Branco, no PA Caxias, no município de Caracaraí (anos 2012 e 2015)
530 aumentaram o desmatamento nesses locais. O mesmo efeito foi também verificado na
531 margem esquerda (sentido Boa Vista - Manaus) da rodovia BR-174 (2011) no PA
532 Equador (Figura 5a, b).

533

534 O efeito oposto, ou falha no acompanhamento do desmatamento com a abertura de
535 estradas foi observado ao longo de algumas estradas. Isso ocorreu no cenário BAU1
536 (sem a BR-319) ao longo da estrada planejada que penetraria no bloco da floresta ao
537 oeste da terra indígena Wai-Wai (2013), bem como no município de Caracará e a oeste
538 do PAD Anauá (2013). Este efeito também ocorreu em ambos os cenários na estrada
539 que liga o rio Jauaperi a Santa Maria do Boiaçú (2018), no município de Rorainópolis.
540 No caso das duas primeiras estradas, esse fato pode estar relacionado à proximidade de
541 unidades de conservação, baixa qualidade do solo e pouco desmatamento prévio. Esses
542 fatores diminuem a probabilidade de desmatamento nas simulações. Ao longo da
543 estrada de acesso a Santa Maria do Boiaçú, que atravessa o rio Jauaperi, o baixo
544 desmatamento pode ser explicado porque a área de floresta adjacente à estrada está
545 sujeita a inundações sazonais provindas do rio Branco e seus afluentes.

546



547 **Figura 5.** Cenários de desmatamento simulado de 2007 a 2030 no sul do Estado de Roraima:
 548 (a) cenário de linha de base (BAU1); (b) cenário BAU2; (c) cenário CONSERV 1 e (d)
 549 CONSERV2. Nos dois cenários BAU as estradas planejadas são indicadas pelos anos de
 550 implementação no modelo de simulação. Nos cenários de conservação as três unidades de
 551 conservação propostas são mostradas. Em nosso estudo, “*non-forest*” (não-floresta) se refere a
 552 áreas de campina, uma vegetação baixa ocorrente em áreas sazonalmente alagadas, de solos
 553 pobres e arenosos, em áreas de depleção do rio Branco.
 554
 555

556 Os Processos de desmatamento

557
 558 A probabilidade do desmatamento evoluir continuamente no sul de Roraima a taxas
 559 semelhantes às observadas atualmente sem a BR-319 é reforçada pela grande
 560 disponibilidade de áreas de florestas para desmatar. As invasões de terras públicas por
 561 posseiros e grandes latifundiários (grileiros), exploração madeireira ilegal, alta
 562 rotatividade de proprietários em projetos de assentamento e avanço generalizado de
 563 pastagem sobre outras formas de uso da terra já estão presentes no sul de Roraima
 564 (BARNI et al., 2012). São fatores que contribuem para o desmatamento e degradação
 565 descontrolada da biodiversidade e dos serviços ambientais (FEARNSIDE, 2008,
 566 SOARES-FILHO et al., 2004). Esses fatos, por si só, justificariam a criação de áreas de
 567 proteção ambiental (FERREIRA et al., 2005; NEPSTAD et al., 2006; SOARES-FILHO
 568 & DIETZSCH, 2008; SOARES-FILHO et al., 2010). Isso seria verdade mesmo sem a
 569 reconstrução da BR-319, como mostrado no cenário CONSERV1 (sem a BR-319).

570

571 Considerando a origem de atores que poderiam chegar pela abertura da BR-319
572 (FEARNSIDE, 2008b; SOARES-FILHO et al., 2004), sua capacidade de destruir a
573 floresta é maior do que a da maior parte dos migrantes atraídos para Roraima no
574 passado recente (MOURÃO, 2003, 2011). Isso significa que os cenários simulados
575 podem ser considerados conservadores ao assumir uma contribuição per capita
576 constante para o desmatamento, conforme indicado por padrões históricos no sul de
577 Roraima. Acreditamos que o modelo foi adequado para representar o avanço do
578 desmatamento na área de estudo ao longo do período de nossa análise. Enfatizamos que
579 esta não é uma simples extrapolação das taxas de desmatamento, mas envolve vários
580 fatores subjacentes com diferentes níveis e escalas de contribuição ao desmatamento
581 (por exemplo, BRONDIZIO & MORAN, 2012, FOLEY et al., 2007, LUDEWIGS et
582 al., 2009). Reflete a presunção de existência de vários fatores que agem
583 simultaneamente nas decisões de atores, por exemplo, quanto desmatar anualmente,
584 onde desmatar (locais favoráveis em termos de fertilidade do solo, declividade, acesso,
585 etc.), quando desmatar (como influenciado pelo cronograma de construção de
586 infraestrutura rodoviária), corte de floresta secundária, manutenção de pastagens, etc.
587 Também presume movimentos migratórios (por exemplo, SOARES-FILHO et al.,
588 2004), simula políticas governamentais de contenção de desmatamento (criando
589 unidades de conservação) (por exemplo, YANAI et al., 2012) e a abertura de estradas
590 secundárias que influenciam diretamente essas taxas (por exemplo, FEARNSIDE et al.,
591 2009). O modelo incorpora uma ampla gama de determinantes de uso da terra e
592 reconhece que a distribuição espacial da população, a abertura das estradas e a mudança
593 do uso da terra são determinadas em conjunto e são apoiadas por um quadro econômico
594 (por exemplo, CAMPARI, 2005; CHOMITZ & GRAY, 1996).

595

596 Embora o curso preciso do futuro desmatamento em Roraima com a BR-319 seja
597 inerentemente incerto, as respostas migratórias induzidas pela construção de estradas
598 estão suficientemente documentadas empiricamente observando-se o passado histórico
599 da região amazônica. Ou seja, o desmatamento simulado nos cenários pelo modelo
600 poderá ocorrer na prática. Uma vez que o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da BR-
601 319 se concentrou apenas nos possíveis impactos que fossem ocorrer ao longo da
602 estrada, sem presumir qualquer impacto em Roraima, nossos cenários oferecem uma
603 base muito melhor para a avaliação de custo / benefício do que o cenário oficial. Isso é
604 importante não apenas para uma decisão de construção de uma rodovia, mas também
605 para decisões sobre opções complementares para áreas protegidas.

606

607 Nesta abordagem, nossos resultados podem ser vistos em uma estrutura como a que há
608 muito cercou as metodologias de avaliação contingente para avaliar o valor ambiental:
609 ninguém argumenta que são perfeitos, mas muitos argumentam que são mais úteis do
610 que presumir um valor de zero. Em outras palavras, nossos cenários não devem ser
611 vistos como o que "acontecerá", mas, em vez disso, mostrando que "coisas assim podem
612 acontecer, mas estão sendo presumidas e, portanto, devem ser consideradas". Esse
613 enquadramento não é surpreendente para uma análise dinâmica considerando efeitos
614 indiretos, que são mais difíceis de estudar empiricamente do que as análises rigorosas
615 de impactos de alcance mais limitado. As análises rigorosamente limitantes podem
616 parecer "mais precisas", o que, de certo modo, é correto, mas, em um escopo maior, eles
617 podem realmente produzir menos informações (PFAFF & ROBALINO, 2012). Olhar
618 para frente para considerar quando o mundo não será como hoje é válido como um
619 subsídio para a formulação de políticas públicas mais realistas.

620

621 Resistência das reservas à invasão

622

623 O pressuposto do modelo é que as unidades de conservação efetivamente impedem o
624 desmatamento. Embora invasões de reservas ocorram de fato na Amazônia, acreditamos
625 que essa suposição é razoável para o período simulado. Um fator chave que justifica
626 uma hipótese de não desmatamento é que as reservas simuladas foram criadas sem
627 qualquer desmatamento prévio dentro de seus limites (por exemplo, SOARES-FILHO
628 et al., 2010; VITEL et al., 2009). Onde isso não é verdade, a probabilidade de
629 desmatamento é muito maior. Por exemplo, ocorreu algum desmatamento em nossa
630 simulação na Floresta Nacional (FLONA) de Jauaperi durante o período 2004-2007
631 (fase de calibração do modelo), porque havia desmatamento histórico anterior e, por
632 isso, ocorreu desmatamento dentro e ao redor desta unidade de conservação no período
633 da análise.

634

635 Biomassa e emissões de carbono nos cenários simulados

636

637 As emissões simuladas de carbono para a atmosfera no cenário BAU1 chegaram a $56,4$
638 $\times 10^6$ Mg em 2030 (Tabela 3). Sob o cenário BAU2 houve grande perda de carbono
639 chegando a $86,4 \times 10^6$ Mg acumulados ao final de 23 anos de simulação. Considerando
640 a regeneração da biomassa recobrando a paisagem em equilíbrio, esta perda bruta
641 correspondeu a uma emissão comprometida (FEARNSIDE, 1997) de $80,3 \times 10^6$ Mg de
642 carbono para a atmosfera.

643

644 A diferença de perda de carbono entre os cenários BAU1 e BAU2, representando o
645 efeito da reconstrução da BR-319, totalizou $23,9 \times 10^6$ Mg de carbono em 23 anos
646 simulados. Isto equivale a aproximadamente cinco anos de emissões de carbono pela
647 grande São Paulo em 2003 (COOPE, 2005) e a aproximadamente duas vezes as
648 emissões de carbono da grande São Paulo hoje.

649

650 O cenário CONSERV1 apresentou o menor desmatamento até 2030, com uma emissão
651 de $46,0 \times 10^6$ Mg de carbono. CONSERV2 emitiu $67,2 \times 10^6$ Mg de carbono, ou 19,1%
652 a mais do que BAU1 (sem a BR-319) em 2030. BAU2 emitiu $80,3 \times 10^6$ Mg de
653 carbono.

654

655

656 **Tabela 3.** Estimativa de biomassa florestal e emissões de carbono em 2030.

Cenário	Área desmatada acumulada (ha)	Crescimento 2007 / 2030 (ha)	%	Biomassa florestal (10 ⁶ Mg)	Carbono florestal (10 ⁶ Mg)	Carbono absorvido (10 ⁶ Mg)	Emissões líquidas (10 ⁶ Mg)
BAU1	715.250	342.612	91,9	126,7	61,5	5,1	56,4
CONSERV1	654.513	281.876	75,6	104,1	50,5	4,5	46,0
BAU2	858.639	486.001	130,4	178,2	86,4	6,1	80,3
CONSERV2	775.888	403.25	108,2	149,7	72,6	5,4	67,2

657

658 **Outras Fontes de Emissão**

659

660 Nosso estudo apenas modelou o desmatamento, além de perda de pequenas áreas de
 661 vegetação não florestal presentes na área, e a emissão líquida associada à perda de
 662 biomassa. Incluir outras fontes de emissão aumentaria o impacto total atribuído à
 663 abertura da rodovia BR-319 e aumentaria os benefícios da criação de áreas protegidas,
 664 mas não alteraria nossos resultados globais. A liberação de carbono do solo em áreas de
 665 solo exposto aumentaria as emissões em proporção direta ao desmatamento. A
 666 conversão da floresta amazônica em pastagens de gado sob manejo normal libera uma
 667 média de 7,5 MgC ha⁻¹ nos 20 cm superiores de solo, mais 5,6 MgC ha⁻¹ da camada de
 668 20-100 cm e 0,6 MgC ha⁻¹ na camada que vai de 1- 8 m de profundidade (FEARNSIDE
 669 & BARBOSA, 1998). A liberação de carbono de camadas mais profundas do solo só
 670 ocorre durante um longo período de tempo.

671

672 Este artigo considera apenas as emissões de carbono (ou seja, carbono como CO₂). O
 673 desmatamento não só emite carbono como CO₂, mas também gases traço como CH₄ e
 674 N₂O. Incluir gases traço aumentaria o impacto no aquecimento global das emissões
 675 comprometidas líquidas do desmatamento em 11,5% por um período de 100 anos e
 676 26,3% por um período de 20 anos (mais relevante para evitar um "perigoso" aumento de
 677 2° C da temperatura global). Essas porcentagens (atualizadas de FEARNside, 2000)
 678 consideram os fatores médios de emissão para a combustão de Andreae & Merlet
 679 (2001) e os potenciais de aquecimento global (com feedbacks) do relatório de 5°
 680 avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (MYHRE et al., 2013,
 681 p. 714).

682

683 **Desmatamento atual na região sul de Roraima: “erros e acertos” da modelagem**

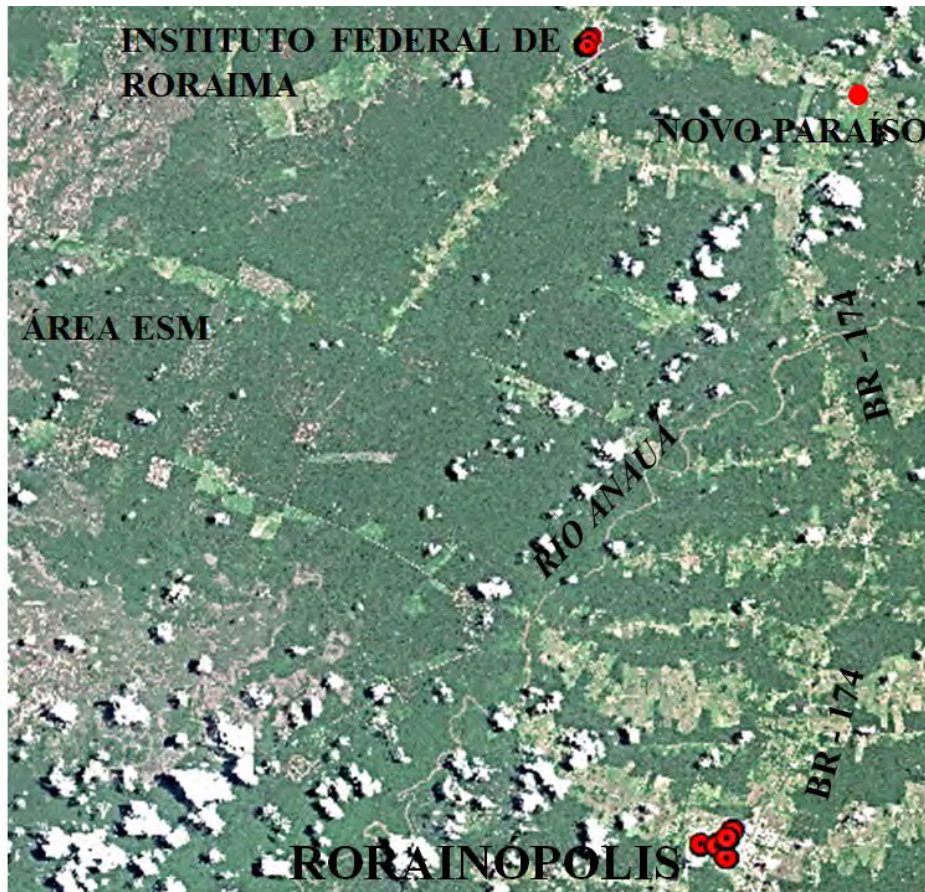
684

685 Estamos no início do ano de 2018 e a rodovia BR-319 ainda não foi asfaltada. Faltam
 686 pelo menos 400 km para a conclusão do trecho de mais de 800 km entre as duas
 687 capitais. No início do ano de 2017 a empresa União Cascavel reabriu uma linha de
 688 ônibus saindo de Manaus (AM) e indo até Porto Velho (RO). Esse fato “inviabiliza” o
 689 nosso estudo de cenários? Acreditamos que não, em absoluto. No intervalo entre 2008 a
 690 2016 considerando o desmatamento (BRASIL, INPE, 2018) absoluto dos cinco
 691 municípios que compõem a região sul de Roraima chegou-se ao montante de 699,8 km²
 692 (69.980 ha). Este valor foi apenas 5,3% (239,7 km²) inferior ao desmatamento simulado
 693 (938,5 km² ou 93.850 ha) pelo cenário de linha de base BAU1 (sem a BR-319). Os
 694 principais “acertos” na previsão do desmatamento neste período pelo cenário BAU1 foi
 695 o desmatamento observado atualmente nas proximidades da FLONA Jauaperí, próximo
 696 a sede municipal de São João da Baliza, na vicinal 07 de Caroebe, no PA Sucurijú e PA

697 Equador, no município de Rorainópolis, e também no PA Caxias, no município de
698 Caracaraí. No caso do PA Sucurijú (localizado adjacente à FLONA Anauá), o
699 desmatamento real se mostrou mais danoso ao meio ambiente e à biodiversidade do que
700 o desmatamento simulado. Este PA foi criado em 2008 com argumento de se tornar um
701 PA modelo, livre de desmatamento. Mas, nove anos após a sua criação o que ocorreu
702 foi justamente o contrário. Na verdade, esse PA foi criado para satisfazer o setor
703 madeireiro local que transferiu suas indústrias itinerantes (ver BARNI et al., 2012) para
704 a Vila Nova Colina, localidade a 40 km ao sul da sede municipal de Rorainópolis e as
705 margens da BR-174 e a apenas 20 km do PA Sucurijú e outros blocos intactos de
706 florestas nas fundiárias das estradas vicinais daquela redondeza. O desmatamento e a
707 extração predatória de madeira foi tão intensa nesse período no PA que, em 2016, toda a
708 floresta remanescente incendiou-se por fogo de sub-bosque (BARNI et al., 2017).

709

710 No entanto deve-se registrar um “erro” por não termos previsto no modelo a abertura de
711 estradas endógenas, feitas por madeireiros, penetrando um imenso bloco de florestas
712 intactas no setor sul de Caracaraí próximo à localidade de Novo Paraíso e à sede
713 municipal de Rorainópolis (Figura 6). Esse bloco de floresta, riquíssimo em
714 massaranduba (*Manilkara huberi*) e angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke), as duas
715 principais espécies exploradas pelo setor madeireiro local, apesar de ser localizado a
716 poucos quilômetros a oeste da sede municipal de Rorainópolis, é acessível apenas por
717 estradas partindo do município de Caracaraí. Este fato é explicado pela presença do rio
718 Anauá que faz divisa entre os dois municípios. Este projeto foi criado para grandes e
719 médios proprietários de terras, com lotes variando entre 500 e 1.000 ha cada. A maior
720 parte dos terrenos pertence aos comerciantes de Rorainópolis e proprietários de
721 pequenas madeireiras locais. A madeira é liberada para colheita florestal pela Fundação
722 Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH) mediante apresentação
723 pelo proprietário do terreno de um projeto para corte raso com o objetivo de
724 implantação de pastagens.



725
726 **Figura 6.** Imagem Sentinel-2 de 03/09/2017 (USGS 2018) da área de Extração Seletiva
727 de Mamadeira (ESM) a oeste da sede municipal d Rorainópolis.

728

729 **Conclusões**

730

731 A reconstrução da rodovia BR-319 aumentaria o desmatamento na parte sul do Estado
732 de Roraima, uma localização muito além da própria rodovia BR-319. Pelos resultados
733 apresentados pelo modelo, estimamos que o desmatamento aumentaria entre 18 e 42%
734 até 2030 com a reconstrução da BR-319. As emissões de carbono simuladas
735 aumentariam em porcentagem semelhante, entre 19 e 42%. Em condições de modelo
736 "negócios como sempre" (BAU2), a abertura da BR-319 implica em um aumento nas
737 emissões ao longo de uma simulação de 23 anos totalizando 23,9 milhões de toneladas
738 de carbono. Para efeito de comparação, isso representa aproximadamente dois anos de
739 emissão de carbono pela grande São Paulo hoje.

740

741 Nosso estudo mostrou que a reconstrução da BR-319, que liga Manaus a Porto Velho,
742 pode ter impactos ambientais muito além da sua área oficial de influência. Seus efeitos
743 podem se irradiar para o sul do Estado de Roraima, que já é acessado por estradas
744 existentes desde Manaus. Esses impactos devem ser considerados na tomada de decisão
745 no projeto de recuperação da BR-319. As medidas de mitigação que poderiam reduzir
746 esses impactos incluem a criação de unidades de conservação em Roraima nas áreas
747 mais vulneráveis ao desmatamento, caso a BR-319 for reconstruída.

748

749 **Agradecimentos**

750

751 Agadecemos por apoio financeiro o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico
752 e Tecnológico (CNPq) (proc. 557152/2005-4, 474548/2006-6; 305880/2007-1), a
753 Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), a rede GEOMA
754 e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). G.C. Carrero ajudou nas
755 atividades de campo. Este capítulo é traduzido e atualizado de um artigo originalmente
756 publicado na revista *Environmental Management* (BARNI et al., 2015).

757

758 **Referências**

759

760 ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; RENNÓ, C. D.

761 Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal brasileira. **Acta**762 **Amazonica**, v. 40, p. 289–302, 2010.

763 -x.

764

765 ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emissions of trace gases and aerosols from biomass
766 burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, p. 955–966. 2001.

767

768 BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Above-ground biomass and the fate of carbon
769 after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and**
770 **Management**, v. 216, p. 295–316. 2005.

771

772 BARBOSA, R. I.; FERREIRA, C. A. C. Biomassa acima do solo de um ecossistema de
773 “campina” em Roraima, norte da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 34, p.
774 577–586. 2004.

775

776 BARBOSA, R. I.; PINTO, F. S.; SOUZA, C. C. Desmatamento em Roraima: dados
777 históricos e distribuição espaço-temporal. **Relatório Técnico**. Ministério da Ciência e
778 Tecnologia, Núcleo de Pesquisas de Roraima, Instituto Nacional de Pesquisas da
779 Amazônia (INPA), Boa Vista, RR, Brasil. p 10, 2008. Disponível em:
780 http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://agroeco.inpa.gov.br/reinado/RIBarbosa_ProdCient_Usu_Visitantes/2008Desmatamento_RR_1978_2006.pdf.
781 Acessado em: 21 jan. 2018.

782

783
784 BARNI, P. E.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Desmatamento no Sul do
785 Estado de Roraima: padrões de distribuição em função de projetos de assentamento do
786 INCRA e da distância das principais rodovias (BR-174 e BR-210). **Acta Amazonica**, v.
787 42, p. 195–204, 2012.

788

789 BARNI, P. E.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Simulating deforestation and
790 carbon loss in Amazonia: impacts in Brazil's Roraima state from reconstructing
791 Highway BR-319 (Manaus-Porto Velho). **Environmental Management**, v. 55, n. 2, p.
792 259-278. 2015. doi:10.1007/s00267-014-0408-6.

793

794 BARNI, P. E.; MANZI, A. O.; CONDÉ, T. M.; BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M.
795 Spatial distribution of forest biomass in Brazil's state of Roraima, northern Amazonia.
796 **Forest Ecology and Management**, v. 377, p. 170–181. 2016.

797

798 BARNI, P. E.; SILVA, E. B. R.; SILVA, F. C. F. Incêndios florestais de sub-bosque na
799 zona de florestas úmidas do sul de Roraima: área atingida e biomassa morta. In: XVIII
800 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2017. Santos-SP. **Anais**

- 801 **eletrônicos**. Disponível em: <<https://proceedings.galoa.com.br/sbsr>>. Acesso em: 25
802 Set de 2017.
- 803
- 804 BARRETO, P., PEREIRA, R., ARIMA, E. A pecuária e o desmatamento na Amazônia
805 na era das mudanças climáticas. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
806 (IMAZON), Belém, Pará, Brasil. 2008. 40 p.
807 <[http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/a-pecuaria-eo-desmatamento-na-](http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/a-pecuaria-eo-desmatamento-na-amazonia-na-era-das/at_download/file)
808 [amazonia-na-era-das/at_download/file](http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/a-pecuaria-eo-desmatamento-na-amazonia-na-era-das/at_download/file)>. Acesso em: 18 Set 2012
- 809
- 810 BRASIL, INCRA. Diretoria de Obtenção de Terras e Implantação de Projetos de
811 Assentamento–DT. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA),
812 Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), Brasília, DF, Brasil. 2007.
- 813
- 814 BRASIL, INPE Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. Instituto
815 Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil, 2018.
816 Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 10 Jan. 2018.
- 817
- 818 BRASIL, PROJETO RADAMBASIL **Levantamento dos Recursos Naturais** (Folhas
819 SA.20 Manaus; SA.21 Santarém; SB.19 Juruá; SB.20 Purus; SC.19 Rio Branco; SC.20
820 Porto Velho). Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1973–1983.
- 821
- 822 BRASIL, SIPAM. Sistema de Proteção da Amazônia. Sistema de Proteção da
823 Amazônia (SIPAM), Manaus, AM, Brasil. 2008. <http://www.sipam.gov.br/>. Acesso em:
824 18 Set 2012
- 825
- 826 BRONDIZIO, E. S.; MORAN, E. F. Level-dependent deforestation trajectories in the
827 Brazilian Amazon from 1970 to 2001. **Population and Environment**, v. 34, p. 69–85.
828 2012. doi:10.1007/s11111-011-0159-8
- 829
- 830 BRUNER, A. G.; GULLISON, R. E.; RICE, R. E.; da FONSECA, G. A. B. 2001.
831 Effectiveness of Parks in Protecting Tropical Biodiversity. **Science**, v. 291, p. 125-128.
832
- 833 CAMPARI, J. The economics of deforestation in the Amazon: dispelling myths.
834 Edward Elgar, Northampton, Reino Unido. 2005.
- 835
- 836 CARREIRAS, J. M. B.; JONES, J.; LUCAS, R. M.; GABRIEL, C. Land Use and Land
837 Cover Change Dynamics across the Brazilian Amazon: Insights from Extensive Time-
838 Series Analysis of Remote Sensing Data. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, e104144, 2014.
839 doi:10.1371/journal.pone.0104144.
- 840
- 841 CHOMITZ, K. M.; GRAY, D. A. Roads, land use, and deforestation: A spatial model
842 applied to Belize. **World Bank Economic Review**, v. 10, n. 3, p. 487–512. 1996.
843 <http://siteresources.worldbank.org/DEC/Resources/gray.pdf> Acesso em: 21 Set 2014
- 844
- 845 COPPE - Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE). Inventário de
846 emissões de gases de efeito estufa do município de São Paulo: síntese. Prefeitura de São
847 Paulo, Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, Rio
848 de Janeiro, RJ, Brasil, 2005. Disponível em:
849 <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/sintesedoinventario_125079](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/sintesedoinventario_1250796710.pdf)
850 [6710.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/sintesedoinventario_1250796710.pdf)>. Acesso em: 27 Set. 2014.

- 851
852 ESCADA, M. I. S.; ALVES, D. S. Mudanças de uso e cobertura do solo na Amazônia:
853 Impactos sócio-ambientais na ocupação de regiões de fronteira agrícola. **Relatório**
854 **Técnico Parcial**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: Programa de Ciência e
855 Tecnologia para Gestão de Ecossistemas. São Paulo, SP, Brasil, 45 p, 2001.
- 856
857 FEARNSIDE, P. M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in
858 vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 80
859 p. 21–34. 1996. doi:10.1016/0378-1127(95)03647-4.
- 860
861 FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net
862 committed emissions. **Climatic Change**, v. 35, p. 321–360. 1997.
863 doi:10.1023/A:1005336724350.
- 864
865 FEARNSIDE, P. M. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas
866 emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting
867 cultivation and secondary vegetation. **Climatic Change**, v. 46, p. 115–158. 2000.
868 doi:10.1023/A:1005569915357
- 869
870 FEARNSIDE, P. M. Amazon Forest maintenance as a source of environmental services.
871 Rio de Janeiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, n. 1, p. 101-114.
872 2008a. doi: 10.1590/S0001-37652008000100006.
- 873
874 FEARNSIDE, P.M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian
875 Amazonia. *Ecology and Society* 13 (1): 23. 2008b.
876 <<http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art23/>>
- 877
878 FEARNSIDE, P. M. 2009. **A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais**. 2ª Ed.
879 Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. Brasil. 134 p.
- 880
881 FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest
882 to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, p. 147–
883 166. 1998. doi:10.1016/S0378-1127(98)00222-9
- 884
885 FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.;
886 BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E.M. Modelagem de desmatamento e emissões de
887 gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-
888 319). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 208–233. 2009.
- 889
890 FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A.; THEOBALD, D. M.; BALLESTER, M. V.
891 R. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central
892 Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. **Forest Ecology and Management**,
893 v. 204, p. 69–85. 2005.
- 894
895 FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E. M. Áreas protegidas como estratégia para
896 conter o desflorestamento na Amazônia brasileira. In: **Anais da 59ª Reunião Anual da**
897 **SBPC** - Belém, PA - Julho/2007. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
898 (SBPC), São Paulo, SP, Brasil, 2007. Disponível em:
899 <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/59ra/pdf/leandro2.pdf>>. Acesso em: 18 Set. 2012.
900

- 901 FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; de ALMEIDA, S. S. O Desmatamento na
902 Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 1–
903 10. 2005.
- 904
- 905 FOLEY, J. A.; ASNER, G. P.; COSTA, M. H.; COE, M. T. C.; DEFRIES, R.; GIBBS,
906 H. K.; HOWARD, E. A.; OLSON, S.; PATZ, J.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.
907 Amazonia revealed: Forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the
908 Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and Environment**, v. 5, p. 25–32. 2007.
909 <http://water.columbia.edu/files/2011/11/DeFries2007Amazonia.pdf>. Acesso em: 18 Out
910 2013
- 911
- 912 GREENPEACE. **A Farra do Boi na Amazônia**. Greenpeace-Brasil, São Paulo, SP,
913 Brasil. 43 p. 2009.
914 <http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2009/6/FARRAweb-alterada.pdf>
915
- 916 HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps.
917 **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, p. 235–249.
918 2003.
- 919
- 920 HOUGHTON, R. A.; HALL, F.; GOETZ, S. J. Importance of biomass in the global
921 carbon cycle. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, G00E03. 2009.
- 922
- 923 LUDEWIGS, T.; D'ANTONA, A; BRONDÍZIO, E. S.; HETRICK, S. Agrarian
924 structure and land use change along the lifespan of three colonization areas in the
925 Brazilian Amazon. **World Development**, v. 37, p. 1348–1359. 2009.
926 doi:10.1016/j.worlddev.2008.08.018
- 927
- 928 MARTINS, F. S. R. V.; XAUD, H. A. M.; SANTOS, J. R.; GALVÃO, L. S. Effects of
929 fire on above-ground forest biomass in the northern Brazilian Amazon. **Journal of**
930 **Tropical Ecology**, v. 28, p. 591–601, 2012. doi:10.1017/S0266467412000636.
- 931
- 932 MAZZOTI, F. J.; VINCI, J. J. Validation, verification, and calibration Using
933 standardized terminology when describing ecological models. **IFAS Extension**,
934 University of Florida, Gainesville, Florida, E.U.A, 2007. Disponível em:
935 <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/UW/UW25600.pdf>>. Acesso em: 19 Out. 2013.
936
- 937 MOURÃO, G. M. N. **Colonización reciente y asentamientos rurales en el sureste de**
938 **Roraima, Amazonia Brasileña: entre la política y la naturaleza**. Universidad de
939 Valladolid, Valladolid, Espanha. Tese de doutorado, 2003. 480 p.
- 940
- 941 MOURÃO, G. M. N. El sureste de Roraima: De un marco natural muy contrastado a unos
942 grandes asentamientos rurales. **Revista Geográfica de América Central**, Número Especial
943 EGAL, p. 1-15, 2011. Disponível em:
944 <<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/viewFile/2412/2308>>. Acesso em:
945 23 jan. 2018)
- 946
- 947 MYHRE, G. et al. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T. F.;
948 QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.;
949 NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Eds). **Climate Change 2013: The**
950 **Physical Science Basis**. Working group I contribution to the IPCC fifth assessment

- 951 report. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 661–740. 2013.
952 <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>
953
- 954 NEEFF, T.; LUCAS, R. M.; dos SANTOS, J. R.; BRONDÍZIO, E. S.; FREITAS, C. C.
955 Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: an empirical
956 estimate. **Ecosystems**, v. 9, p. 609–623. 2006.
957
- 958 NEPSTAD, D. C.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.;
959 CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, B.; SILVA Jr, U.
960 L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests.
961 **Forest Ecology and Management**, v. 154, p. 395–407. 2001.
962
- 963 NEPSTAD, D. C.; SCHARTZMAN, S.; BAMBERGER, B.; SANTILLI, M.; RAY, D.;
964 SCHLESINGER, P.; LEFEBVRE, R.; ALENCAR, A.; PRINZ, E.; FISKE, G.;
965 ROLLA, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands.
966 **Conservation Biology**, v. 20, n. 1, p. 65–73. 2006.
967
- 968 NOGUEIRA, E. M. Densidade de madeira, forma de fuste e desenvolvimento de
969 modelo alométrico para estimativa de biomassa em florestas abertas no arco do
970 desmatamento da Amazônia brasileira. Tese de doutorado, Curso de Pós-Graduação em
971 Ciências Florestais Tropicais do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
972 (INPA)/Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, AM, Brasil. 2008.
973 <<http://bdtd.inpa.gov.br/handle/tede/1190>>
974
- 975 NOGUEIRA, E. M.; FEARNside, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R.I.;
976 KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New
977 allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest**
978 **Ecology and Management**, v. 256, p. 1853–1857. 2008.
979
- 980 PFAFF, A.; ROBALINO, J. Protecting forests, biodiversity and the climate: predicting
981 policy impact to improve policy choice. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 28, p.
982 164–179. 2012.
983
- 984 RAMANKUTTY, N.; GIBBS, H. K.; ACHARD, F.; DE FRIES, R.; FOLEY, J. A.;
985 HOUGHTON, R. A. Challenges to estimating carbon emissions from tropical
986 deforestation. **Global Change Biology**, n. 13, p. 51–66, 2007.
987
- 988 SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e**
989 **secundárias na região de Manaus (AM)**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
990 (INPA) & Fundação Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas,
991 Brasil. Tese de doutorado. 2007. 152 p.
992
- 993 SOARES-FILHO, B. S.; DIETZSCH, L. Reduction of carbon emissions associated with
994 deforestation in Brazil: the role of Amazon region Protected Areas Program (ARPA).
995 Brasília, DF, Brasil. **Worldwide Fund for Nature (WWF)**, 32 p. 2008.
996
- 997 SOARES-FILHO, B. S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D. C.; CERQUEIRA, G.; DIAZ,
998 M. C. V.; RIVERO, S.; SOLORZANOS, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-
999 cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the
1000 Santarém-Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, v. 10, p. 745–764. 2004.

- 1001
1002 SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.;
1003 GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.;
1004 SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon Basin. **Nature**, v. 440, p.
1005 520–523. 2006.
- 1006
1007 SOARES-FILHO, B. S.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. C.; ANDERSON, A.;
1008 RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISS,
1009 L.; SILVESTRINI, R.; MARETTI, C. Role of Brazilian Amazon protected areas in
1010 climate change mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the**
1011 **USA**, v. 107, p. 10.821–10.826, 2010. doi:10.1073/pnas.0913048107.
- 1012
1013 VITEL, C. S. M. N. **Modelagem da dinâmica do Desmatamento de uma Fronteira**
1014 **em Expansão, Lábrea, Amazonas**. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de
1015 Pesquisas da Amazônia (INPA), Fundação Universidade Federal do Amazonas
1016 (UFAM), Manaus, AM, Brasil. 2009. 121 p.
- 1017
1018 XAUD, H. A. M.; MARTINS, F. S. R. V.; DOS SANTOS, J. R. Tropical forest
1019 degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and**
1020 **Management**, v. 294, p. 97–106. 2013.
- 1021
1022 YANAI, A. M.; FEARNside, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; NOGUEIRA, E. M.
1023 Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: simulating the effect of the Juma
1024 Sustainable Development Reserve. **Forest Ecology and Management**, v. 282, p. 78–
1025 91. 2012. doi:10.1016/j.foreco.2012.06.029