

O papel das áreas protegidas da Amazônia, em especial as com apoio do ARPA, na redução do desmatamento



Britaldo Silveira Soares Filho
2016

Soares-Filho, Britaldo Silveira.

O papel das áreas protegidas da Amazônia, em especial as com apoio do ARPA, na redução do desmatamento. Rio de Janeiro: Funbio, 2016. 13 p.

1. Efetividade. 2. Mudança Climática. 3. Serviços Ecosistêmicos

Fundo Brasileiro para a Biodiversidade

Rua Voluntários da Pátria, nº 286, Botafogo, 22.270-014, Rio de Janeiro/RJ. Brasil.

Fotografias da capa por Marcos Amend.

Resumo

O Brasil obteve um sucesso sem precedentes ao reduzir o desmatamento na Amazônia em até 70% da linha de base histórica. Dentro de uma gama de intervenções de políticas públicas visando à redução do desmatamento, a expansão e consolidação da rede de áreas protegidas (APs) amazônicas desempenhou um papel central. A maioria das áreas protegidas tem-se mostrado efetiva à prevenção do desmatamento. Nesse sentido, o projeto das novas áreas protegidas estabeleceu um novo paradigma de conservação que visa ao estabelecimento de grandes blocos de florestas para atuarem como “barreiras verdes” contra o desmatamento. Todavia, a implementação de APs em regiões sob ameaça iminente de desmatamento requer um fluxo imediato e previsível de recursos. Em 2002, o Brasil lançou o Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA) para apoiar um total de 60 milhões de hectares de unidades de conservação na Amazônia Brasileira, criando a maior iniciativa mundial de conservação de florestas tropicais. Este estudo avaliou a efetividade das APs amazônicas entre 1997 e 2015, especialmente aquelas com apoio do ARPA, em prevenir localmente o desmatamento. Resultados para as principais categorias de APs indicam uma tendência crescente de efetividade, sendo as unidades de conservação de proteção integral as mais efetivas, seguidas pelas terras indígenas. Unidades de conservação com apoio do ARPA melhoram a eficácia após o início do apoio. Essas áreas também mostraram uma tendência maior de aumento na eficácia em comparação com a das unidades de conservação sem apoio do ARPA. APs, em geral, estão se tornando mais eficazes em reduzir o desmatamento, mesmo sob uma trajetória descendente do desmatamento em toda a Amazônia. A redução do desmatamento dentro das APs entre 2005 e 2015 contribuiu com $30\pm 3\%$ da redução total do desmatamento na Amazônia, evitando assim cerca de 1,4 a 1,7 Gigatons de emissão de CO₂.

1. Introdução

O Brasil obteve um sucesso sem precedentes ao reduzir o desmatamento na Amazônia em até 70% da linha de base histórica, medida entre 1996-2005 de $19.600 \text{ km}^2\text{ano}^{-1}$. Essa redução equivale a $5,5\pm 0,5$ Gigatons de CO₂ reduzidos desde 2005¹. As causas desse acentuado declínio são várias. Entre as principais intervenções de políticas públicas e privadas destacam-se a expansão de 61 milhões de hectares (Mha) de unidades de conservação na Amazônia (1), incluindo a demarcação de 25 Mha de terras indígenas, entre 2002 e 2016 (Figura 1), campanhas mais eficazes de combate ao desmatamento (2) e exploração madeireira ilegal (3), o papel dos promotores públicos em desmantelar esquemas fraudulentos de licenças ambientais e impor a exclusão dos desmatadores de cadeias produtivas agrícolas (4), a proibição de crédito

¹ Diferença entre as emissões de CO₂ sob as taxas históricas e as emissões de SimAmazonia-2 (1) sob o cenário de linha de base de 19.600 km^2 de taxa anual de desmatamento. Estimativas de emissões de CO₂ com base na variação espacial da biomassa florestal de acordo com a terceira comunicação do Brasil sobre mudanças climáticas (8).

a proprietários rurais em municípios da lista negra de desmatadores (5) e a moratória de compra de soja cultivada em terras recém-desmatadas (6). Todas essas ações criaram uma sinergia para sustentar reduções continuadas no desmatamento, disseminando uma consciência entre os proprietários de terras de que o desmatamento é um mau negócio.

A maioria das áreas protegidas (APs) amazônicas tem se mostrado eficaz na prevenção do desmatamento (1, 9). A expansão das APs na Amazônia Brasileira foi responsável por 37% da redução total do desmatamento na região entre 2004 e 2006 sem provocar vazamento (1). A expansão de APs na Amazônia estabeleceu um novo paradigma de conservação que vai além da proteção de hotspots de biodiversidade, designando grandes blocos de floresta para atuar como "barreiras verdes" ao desmatamento (1). Hoje, essa rede, que abrange três grandes categorias (unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, mais terras indígenas), compreende 216 milhões de hectares², o equivalente a 43% da Amazônia Legal. Logo, a estratégia de expansão e consolidação das APs amazônicas tem implicações enormes para a conservação da vasta gama de serviços ecossistêmicos que as florestas amazônicas proveem (11) e é crucial para mitigar a mudança climática global (1). Contudo, enfrentar o desafio de implementar plenamente APs em regiões sob ameaça iminente de desmatamento requer recursos imediatos e previsíveis.

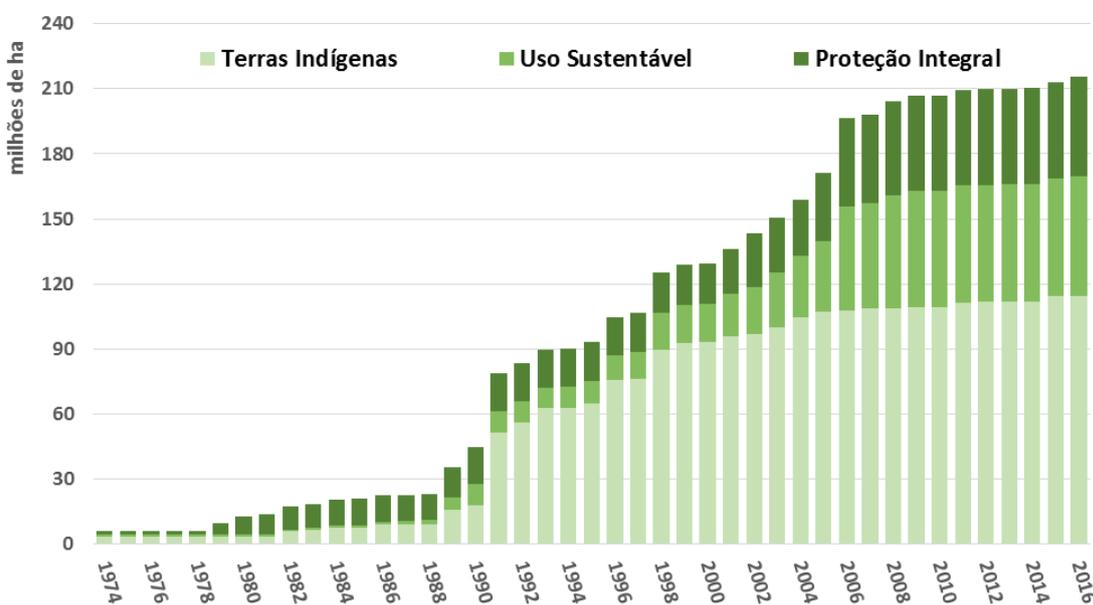


Fig. 1. Expansão das unidades de conservação e terras indígenas na Amazônia Legal.

Em 2002, o Brasil lançou o Programa Áreas Protegidas da Amazônia (ARPA) para apoiar um total de 60 milhões de hectares de unidades de conservação na Amazônia Brasileira, criando a maior iniciativa mundial de conservação de florestas tropicais. O

² 115 milhões ha de terras indígenas mais 46 milhões ha de unidades de conservação de proteção integral e 55 milhões ha de unidades de conservação de uso sustentável.

programa ARPA, sob a administração do Fundo Brasileiro para a Biodiversidade, (Funbio) envolve três fases de implementação. A primeira, entre 2003 e 2010, com investimentos de USD 55,2 milhões, estabeleceu 46 novas unidades de conservação totalizando 24 milhões de hectares. A segunda fase, que começou em 2010 e vai até 2017, já investiu USD 54,2 milhões na consolidação de APs recém designadas. Além disso, outras doações no total de USD 123 milhões foram asseguradas para a terceira fase, que durará 25 anos³. Essa fase tem como objetivo expandir mais 6 milhões de hectares de novas unidades de conservação e angariar novos recursos para garantir o apoio financeiro a longo prazo ao ARPA inteiramente pelos estados amazônicos e governo federal. Atualmente, o ARPA apoia 114 unidades de conservação totalizando 59,2 milhões de hectares ou 98,6% da meta inicial do programa (funbio.org.br/programaarpa) (Fig. 2).

Embora estudos anteriores tenham enfatizado o papel das APs amazônicas como um componente essencial para uma estratégia abrangente de conservação da Amazônia (1, 7), não está claro qual poderia ser a contribuição relativa das APs amazônicas, especificamente na última década, para o esforço brasileiro de redução do desmatamento na Amazônia, devido à interação entre o amplo conjunto de intervenções em vigor. Aqui se lança uma luz sobre esse debate, avaliando a eficácia das APs da Amazônia, especialmente as unidades de conservação apoiadas pela ARPA, em prevenir localmente o desmatamento entre 1997 e 2015, bem como o seu papel na redução do desmatamento na Amazônia entre 2005 e 2015.

2. Resultados

A efetividade de cada uma das 632 APs da Amazônia Brasileira⁴ foi analisada (Fig. 2), utilizando-se dados anuais de desmatamento entre 1997 a 2015 (12) em alta resolução espacial (60 metros). A comparação de taxas de desmatamento entre o interior e o exterior de áreas protegidas pode ser tendenciosa devido às diferentes características das áreas amostradas, haja vista a localização das APs que são geralmente mais remotas e, logo, menos prováveis de serem desmatadas do que suas áreas exteriores. Essas limitações foram superadas, aplicando-se uma métrica robusta que leva em conta a localização e o tamanho da AP, bem como a variação na taxa de desmatamento global. O método denominado "razão de chance⁵ ajustada de desmatamento" compensa as diferenças nas probabilidades de desmatamento (1) em áreas utilizadas para a comparação pareada (zonas de 10 km, interior e exterior, à AP)

³ Os principais doadores são o Ministério Federal Alemão de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ), através do Banco de Desenvolvimento KfW, o Fundo Amazônia via BNDES, o Fundo Global para o Meio Ambiente através do Banco Mundial, WWF-Brasil, Banco Interamericano de Desenvolvimento, Fundação Gordon e Betty Moore (GBMF), Anglo American Minério de Ferro, Natura e O Boticário.

⁴ No total, as APs analisadas compreendem 98 unidades de conservação de proteção integral, 172 de uso sustentável e 362 terras indígenas.

⁵ Razão de chance é razão entre a probabilidade de que um resultado irá ocorrer dado a presença de determinado fator e a probabilidade do resultado ocorrer na ausência desse fator.

sem a necessidade de encontrar amostras compatíveis (ver métodos). A razão de chance de desmatamento é aqui apresentada usando a notação logarítmica; valores acima de 0 significam associação com desmatamento; valores negativos indicam um efeito refratário, quanto mais negativo o valor, mais forte é o efeito refratário (Fig. 3).

Os resultados das principais categorias de APs mostram uma tendência de aumento na eficácia ao longo do tempo, sendo as unidades de conservação de proteção integral a categoria mais eficaz, seguida pelas terras indígenas (Fig. 3). A comparação da eficácia média antes e depois da designação indica que a eficácia das unidades de conservação de proteção integral incrementou-se após a designação ($p < 0,05$, teste U de Mann-Whitney), enquanto as efetividades das de uso sustentável e das terras indígenas mantiveram-se inalteradas (Tabela 1). As unidades de conservação com apoio do ARPA ($n = 114$) mostram uma tendência mais forte de aumento na eficácia do que a das áreas sem esse apoio ($n = 156$) (Fig. 4). A comparação da média das razões de chance antes e após o apoio do ARPA (limitado apenas após designação) mostra que a eficácia aumentou devido ao ARPA ($p < 0,05$, teste U de Mann-Whitney) (Tabela 2). Além disso, a redução do desmatamento dentro das APs entre 2005 e 2015 contribuiu com $30 \pm 3\%$ para a redução global do desmatamento na Amazônia a partir da linha de base histórica de $19.600 \text{ km}^2\text{ano}^{-1}$ (Fig. 5). Essa redução poupou cerca de 1,4-1,7 Gigatons de emissões de CO_2 , ou seja, o equivalente a 30% das reduções nas emissões totais. Estima-se que 25% das reduções em APs ocorreram em unidades com apoio do ARPA após o início desse apoio. As áreas com maiores reduções dentro das APs concentraram-se na Terra do Meio e ao longo da Br-163 no Pará, nas bordas da fronteira consolidada em Rondônia, no norte e no Parque do Xingu no Mato Grosso e nas terras indígenas no Maranhão (Fig. 6).

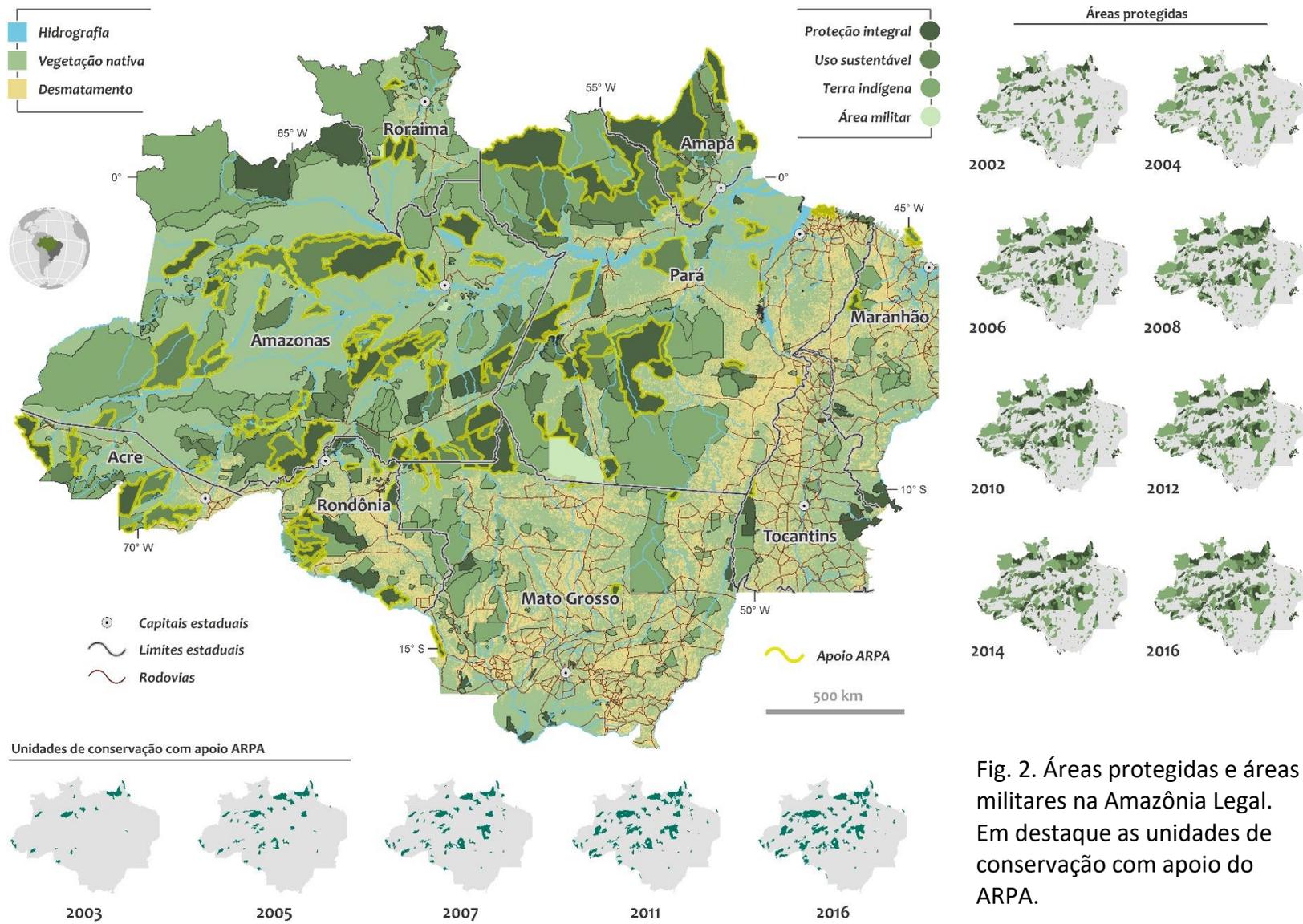


Fig. 2. Áreas protegidas e áreas militares na Amazônia Legal. Em destaque as unidades de conservação com apoio do ARPA.

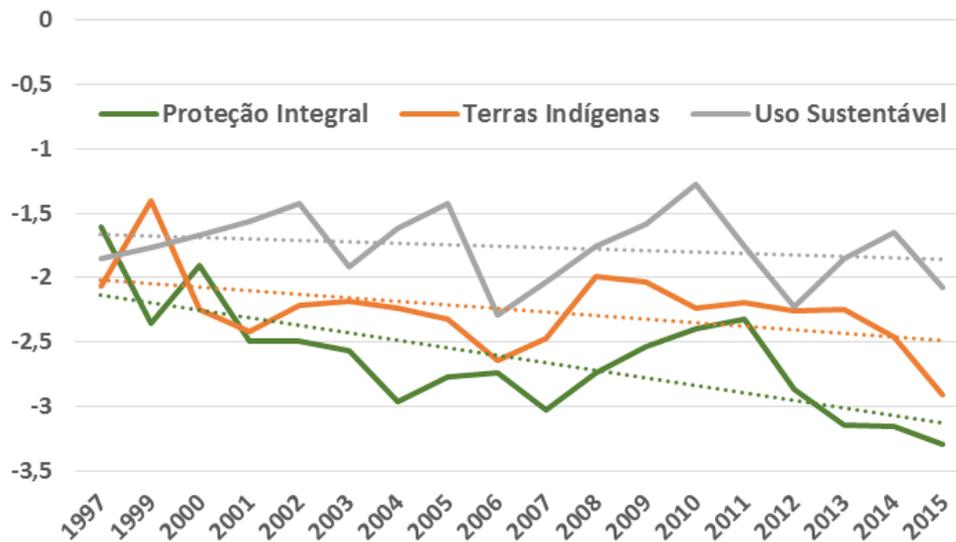


Fig. 3. Razão de chance de desmatamento das três principais categorias de áreas protegidas (em notação logarítmica). Quanto mais negativo o valor, mais forte é o efeito de redução.

Tabela 1. Média da razão de chance de desmatamento (em notação logarítmica) das três principais categorias de áreas protegidas, antes e após designação ou demarcação

	Designação		Significância estatística
	Antes	Depois	
Proteção Integral	-2,12	-2,63	0,0002
Uso Sustentável	-1,82	-1,76	<i>0,0620</i>
Terras Indígenas	-2,25	-2,30	<i>0,2208</i>

*valores em itálico não são estatisticamente significantes

Tabela 2. Média da razão de chance de desmatamento (em notação logarítmica) para unidades de conservação, após designação, e antes e após apoio do ARPA

	Significância estatística		
	Antes	Depois	
Apoio do ARPA	-1,958	-2,325	0,001

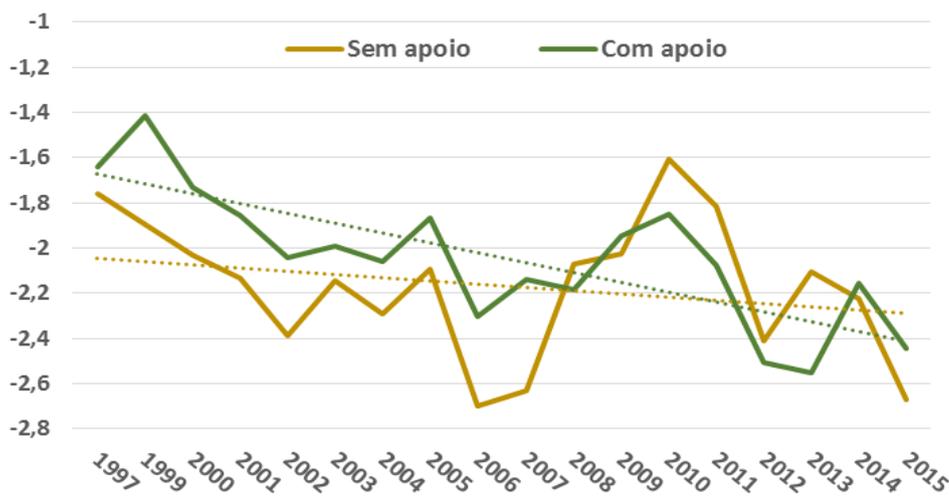


Fig. 4. Razão de chance de desmatamento em unidades de conservação com e sem apoio do ARPA (em notação logarítmica). Quanto mais negativo o valor, mais forte é o efeito de redução.

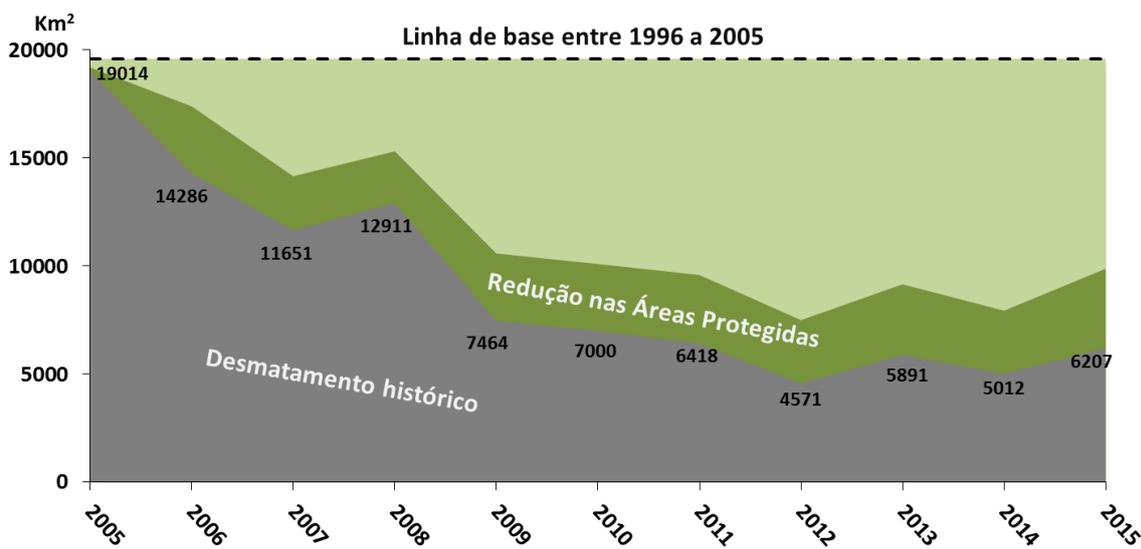


Fig. 5. Desmatamento histórico entre 2005 e 2015 comparado com o da linha de base. Redução nas áreas protegidas é mostrada em verde escuro.

3. Conclusão

Em geral, as APs estão se tornando mais eficazes em reduzir o desmatamento, mesmo sob a trajetória descendente do desmatamento por toda a Amazônia, porquanto o desmatamento foi reduzido mais dentro das APs do que em suas áreas externas. Isso aponta para uma crescente contribuição das APs na redução do desmatamento e, como tal, na mitigação das mudanças climáticas. No entanto, não está claro até que ponto o mecanismo de criação e consolidação de APs desempenha um papel direto na redução do desmatamento, por exemplo, removendo terras do mercado de grilagem de terras, ou indireto como um beneficiário de outras intervenções de políticas públicas.

A consolidação das APs da Amazônia consiste numa estratégia central para que o Brasil cumpra a ambiciosa meta de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), a qual objetiva reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% até 2030 em relação a 2005 (13). Nesse contexto, as APs da Amazônia não apenas são importantes para reduzir as emissões do desmatamento, elas também são grandes sumidouros de carbono que sequestram anualmente 0,24 Gigatons de CO₂ (14).

Por outro lado, os bens e serviços ecossistêmicos providos pelas APs da Amazônia dependem da mitigação das mudanças climáticas globais. A sinergia entre o aumento de frequência de seca (15) e eventos de incêndios florestais (16), impulsionada pela mudança climática, pode transformar a floresta amazônica de um sumidouro de carbono em uma fonte líquida (15), com grandes consequências tanto para biodiversidade da floresta quanto para as populações que dela dependem (17).

Apesar da ampla cobertura geográfica das áreas protegidas da Amazônia, ainda há oportunidade para se expandir essa rede. Há 39 milhões de hectares de terras não-designadas na Amazônia (18) abertas para o mercado de grilagem de terras e novos projetos de assentamentos. A fim de se evitar esse fatídico destino, essas terras devem ser designadas como florestas de produção sob o regime de concessão madeireira do Serviço Florestal Brasileiro. Mas para que as APs de fato funcionem, faz-se necessário restringir a concorrência desleal da exploração madeireira ilegal (19) e incrementar as cadeias produtivas extrativistas nas unidades de conservação de uso sustentável (20). Entretanto, proteger a Amazônia somente com APs não é suficiente (1). Uma estratégia abrangente de conservação deve também focar na aplicação da lei ambiental em propriedades privadas, ou seja, o Código Florestal, fornecendo incentivos econômicos aos proprietários de terra que conservem a vegetação nativa além da obrigação legal (21, 22).

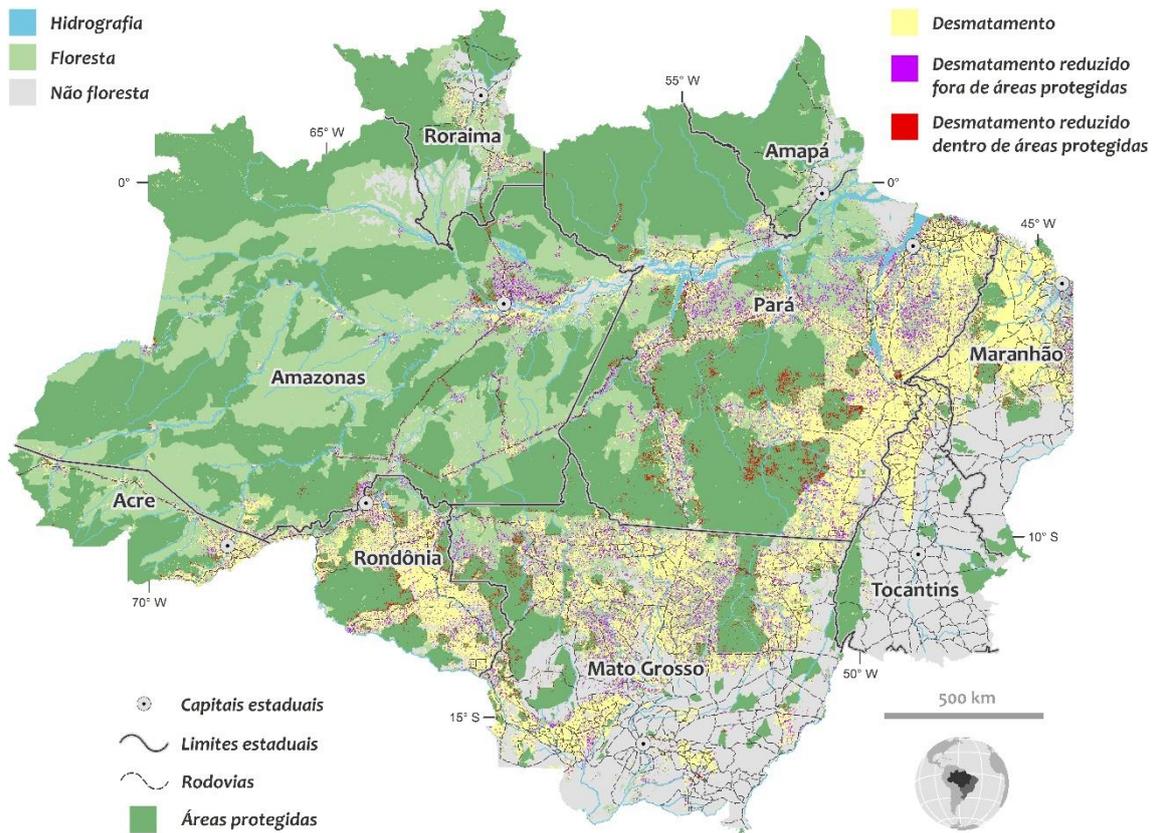


Fig. 6. Simulação do desmatamento entre 2005 e 2015 sob o cenário de linha de base sobreposto ao desmatamento histórico para indicar áreas onde as APs reduziram desmatamento.

4. Métodos

Efetividade das APs

Zonas de amortecimento adjacentes internas e externas de 10 km foram derivadas especificamente para cada AP e sobrepostas com o mapa de desmatamento de 1997, 1999 e anualmente de 2000 a 2015 do PRODES (11) (Fig. 7). Para casar as características da paisagem nas zonas adjacentes, os efeitos de uma série de determinantes espaciais foram integrados num mapa de probabilidade de desmatamento usando o método de Pesos de Evidências (1). Os determinantes espaciais representam causas proximais do desmatamento (abertura ou pavimentação de uma estrada) ou são simplesmente sítios mais favoráveis, como solos férteis com baixa declividade, ou zonas mais restritas como as áreas protegidas. O método bayesiano de Pesos de Evidência leva em consideração os efeitos de determinantes espaciais sobre a previsão espacial do desmatamento. Dentre os diversos fatores que influenciam a localização do desmatamento na Amazônia (7), foram escolhidas as seguintes variáveis: 1) distância aos rios; 2) distância às estradas principais; 3) máximo valor presente líquido entre as rendas de soja e gado; 4) aptidão agrícola para culturas mecanizadas (1), 5) elevação, 6) declividade, e 7) atração por centros urbanos.

A métrica utilizada para avaliar o efeito local das APs sobre o desmatamento é a razão de chance de desmatamento, a qual se define como a razão entre a probabilidade de ocorrência de um evento e a probabilidade de que ele não ocorra. Essa métrica foi adaptada para considerar as diferenças na probabilidade de desmatamento tanto nas células florestais como nas células de desmatamento das zonas de amortecimento usadas para a comparação pareada. Ela foi assim denominada como "razão de chance ajustada". O efeito médio de uma AP foi determinado selecionando os resultados da série de razão de chance ajustada de 1997 a 2015 apenas para os anos após a designação. O teste U de Mann-Whitney foi utilizado para verificar a diferença nas médias da população. Esse é um teste não paramétrico de que duas amostras provêm da mesma população contra uma hipótese alternativa de que uma das populações tende a ter valores maiores. Esse método não requer a suposição de distribuição normal.

Contribuição das APs

Dado a interação entre as intervenções que reduziram o desmatamento na Amazônia, traduzir medidas de efetividade das APs em sua contribuição relativa é bastante desafiador. Efeitos de sinergia entre as intervenções de políticas públicas e privadas demandam um derradeiro modelo capaz de avaliar ao longo do tempo e do espaço os efeitos combinados das principais intervenções em vigor, a fim de destrinchar suas contribuições relativas. Por exemplo, o papel das APs na redução do desmatamento na Amazônia certamente se beneficiou do aumento das ações de comando e controle dentro e fora das APs. Não obstante o papel das outras intervenções, foi utilizado o modelo SimAmazonia-2 (1) para avaliar a redução do desmatamento dentro das APs. SimAmazonia-2 foi aplicado para simular o desmatamento sob um cenário de linha de base com taxas anuais de desmatamento de $19.600 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$, ou seja, a média anual entre 1996 e 2005. O cenário de linha de base incorpora somente APs designadas até 2004 e as suas efetividades (pesos de evidência) antes de 2005. SimAmazonia-2 inicia as simulações regionalizando as taxas anuais de desmatamento amazônico através de um modelo econométrico. A seguir, as taxas regionais são alocadas espacialmente com base na influência de um conjunto de determinantes espaciais como descrito acima, incluindo as próprias APs. Para calcular o potencial de redução de CO_2 , o modelo soma anualmente os estoques de carbono (8) de todas as células desmatadas nas APs sob o cenário prescrito, assumindo que 85% de seu carbono florestal é liberado para a atmosfera com o desmatamento (23). Para calcular as emissões totais reduzidas nas APs, o modelo deduz a quantidade de emissões que ocorreram nas APs advindas do desmatamento observado (12) das emissões dentro das APs no cenário de linha de base (Fig. 6). Para contabilizar as incertezas espaciais, SimAmazonia-2 foi rodado 50 vezes, recalculando-se a cada vez os valores de emissões. Dessa forma, a abordagem utilizada considera quais áreas seriam mais vulneráveis se o desmatamento continuasse desenfreado, apresentando, portanto, um quadro realista da contribuição direta

das APs. Análises espaciais e simulações foram realizadas usando o freeware Dinamica EGO (www.csr.ufmg.br/dinamica).

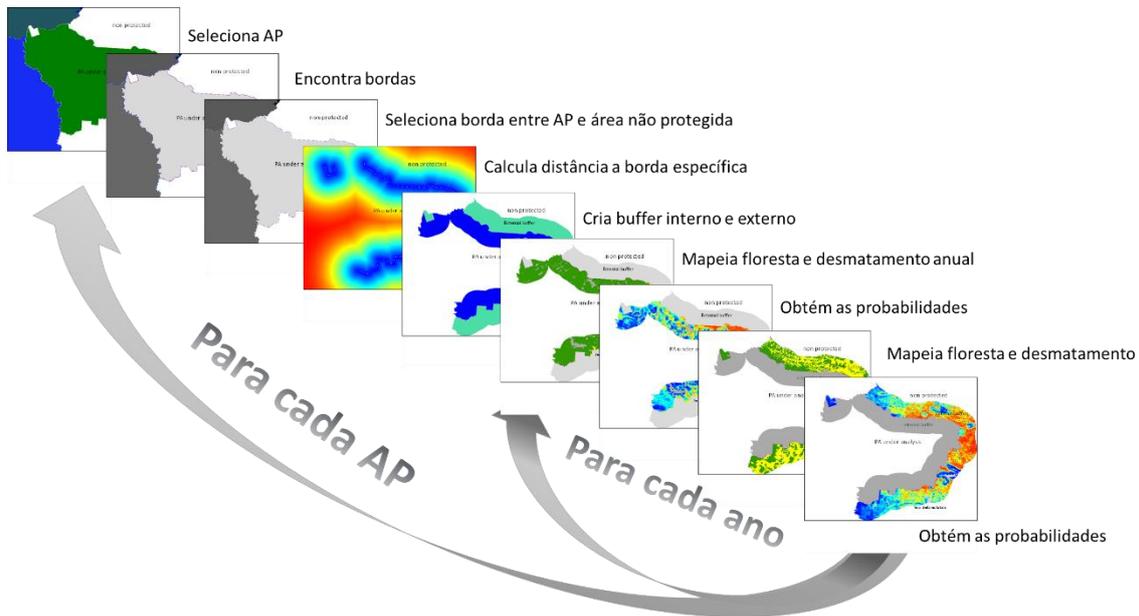


Fig. 7. Passos de processamento da análise das taxas de desmatamento dentro e fora de uma área protegida para fins de cálculo da razão de chance ajustada de desmatamento.

5. Referências

1. B. S. Soares-Filho, P. Moutinho, D. Nepstad, A. Anderson, H. Rodrigues, R. Garcia, L. Dietzsch, F. Merry, M. Bowman, L. Hissa, R. Silvestrini, C. Maretti, Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *P Natl Acad Sci USA* **107**, 10821-10826 (2010).
2. J. Börner, S. Wunder, S. Wertz-Kanounnikoff, G. Hyman, N. Nascimento, Forest law enforcement in the Brazilian Amazon: Costs and income effects. *Glob. Environ. Change* **29**, 294-305 (2014).
3. Serviço Florestal Brasileiro, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, *A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados* (Belém, PA, 2010).
4. H. K. Gibbs, J. Munger, J. L'Roe, P. Barreto, R. Pereira, M. Christie, T. Amaral, N. F. Walker, Did Ranchers and Slaughterhouses Respond to Zero-Deforestation Agreements in the Brazilian Amazon? *Conservation Letters* **9**, 32-42 (2016).
5. E. Y. Arima, P. Barreto, E. Araújo, B. Soares-Filho, Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. *Land Use Policy* **41**, 465-473 (2014).
6. H. K. Gibbs, L. Rausch, J. Munger, I. Schelly, D. C. Morton, P. Noojipady, B. S. Soares-Filho, P. Barreto, L. Micol, N. F. Walker, Brazil's Soy Moratorium. *Science* **347**, 377-378 (2015).
7. B. S. Soares-Filho, D. C. Nepstad, L. M. Curran, G. C. Cerqueira, R. A. Garcia, C. A. Ramos, E. Voll, A. McDonald, P. Lefebvre, P. Schlesinger, Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* **440**, 520-523 (2006).

8. Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Available at <sirene.mcti.gov.br/publicacoes>. Access 21/11/2016 (2016).
9. C. Nolte, A. Agrawal, K. M. Silvius, B. S. Soares-Filho, Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. *P Natl Acad Sci USA* **110**, 4956–4961 (2013).
10. N. Myers, R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca, J. Kent, Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* **403**, 853-858 (2000).
11. Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis* (Washington, DC, 2005).
12. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, *PRODES – Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite* (São José dos Campos, SP, 2016).
13. R. Rajão, B. Soares-Filho, Policies undermine Brazil's GHG goals. *Science* **350**, 519-519 (2015).
14. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Volume III* (Brasília, DF, 2016).
15. T. R. Feldpausch, O. L. Phillips, R. J. W. Brienen, E. Gloor, J. Lloyd, et al. Amazon Forest Response to repeated droughts. *Glob. Biogeochem. Cycles* (2016).
16. D. C. Morton, Y. Le Page, R. DeFries, G. J. Collatz, G. C. Hurtt, Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B: Biol. Sci.* **368** (2013).
17. J. A. Foley, G. P. Asner, M. H. Costa, M. T. Coe, R. DeFries, H. K. Gibbs, E. A. Howard, S. Olson, J. Patz, N. Ramankutty, P. Snyder, Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Front. Ecol. Environ.* **5**, 25-32 (2007).
18. Serviço Florestal Brasileiro, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, *Florestas Nativas de Produção Brasileiras* (Brasília, DF, 2011).
19. Merry F., Soares-Filho B., Nepstad D., Amacher G., Rodrigues H. Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. *Environ. Manag.*, **44**, 395 (2009).
20. Nunes F. et al. Economic benefits of forest conservation: assessing the potential rents from Brazil nut concessions in Madre de Dios, Peru, to channel REDD+ investments. *Environ. Cons.*, **39** (2012).
21. B. Soares-Filho, R. Rajão, M. Macedo, A. Carneiro, W. Costa, M. Coe, H. Rodrigues, A. Alencar, Cracking Brazil's Forest Code. *Science* **344**, 363-364 (2014).
22. B. Soares-Filho, R. Rajão, F. Merry, H. Rodrigues, J. Davis, L. Lima, M. Macedo, M. Coe, A. Carneiro, L. Santiago, Brazil's Market for Trading Forest Certificates. *Plos One*, **11**, p. e0152311 (2016).
23. Houghton RA, et al. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature* **403**:301-304 (2000).