



Redução das emissões de carbono do desmatamento no Brasil: o papel do Programa Áreas Protegidas da Amazônia (Arpa)



**REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO DO DESMATAMENTO NO BRASIL:
O PAPEL DO PROGRAMA ÁREAS PROTEGIDAS DA AMAZÔNIA (ARPA)**

AUTORES:

Britaldo Silveira Soares Filho (UFMG, britaldo@csr.ufmg.br)
Laura Dietzsch (IPAM)
Paulo Moutinho (IPAM/WHRC)
Alerson Falieri (UFGM)
Hermann Rodrigues (UFMG)
Erika Pinto (IPAM)
Cláudio C. Maretti (WWF-Brasil)
Carlos Alberto de Mattos Scaramuzza (WWF-Brasil)
Anthony Anderson (WWF-Brasil)
Karen Suassuna (WWF-Brasil)
Miguel Lanna (WWF-Brasil)
Fernando Vasconcelos de Araújo (WWF-Brasil)

APOIO:

WWF-Brasil
WWF-US
IPAM
The David and Lucile Packard Foundation
Blumoon Foundation

FOTO DA CAPA:

Resex Riozinho do Anfrísio
©WWF-Brasil/Clóvis Miranda

AGRADECIMENTOS:

Ana Cíntia Guazzelli (WWF-Brasil), Claudia Stickler (WHRC/IPAM), Daniel Nepstad (WHRC/IPAM), Daniela Oliveira e Silva (MMA), Denise Oliveira (WWF-Brasil), Isabel Castro (MMA), Johannes Scholl (GTZ), Mauro Armelin (WWF-Brasil), Matthew Perl (WWF-US), Sidney Rodrigues (WWF-Brasil).

REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO DO DESMATAMENTO NO BRASIL: O PAPEL DO PROGRAMA ÁREAS PROTEGIDAS DA AMAZÔNIA (ARPA)

RESUMO

As áreas protegidas da Amazônia, cobrindo atualmente 43% desse bioma, têm cumprido um papel decisivo na conservação de extensas áreas de floresta e, conseqüentemente, na redução do desmatamento regional. Assim, o Programa Áreas Protegidas da Amazônia (Arpa), lançado pelo governo brasileiro em 2002, vem desempenhando um papel de alta relevância. O Arpa tem como meta até 2016 garantir a proteção de ecossistemas amazônicos, sobretudo florestas, em unidades de conservação abrangendo um total de 563 mil km² – uma área equivalente ao estado de Minas Gerais. Neste trabalho, avaliou-se pela primeira vez o papel global das áreas protegidas na Amazônia brasileira e, particularmente, daquelas apoiadas pelo Arpa na redução do desmatamento regional e de suas emissões de carbono.

A partir de análises de dados de desmatamento entre 2002 e 2007, foram calculadas as probabilidades históricas de desmatamento em cada uma das 521 áreas protegidas existentes na Amazônia – incluindo áreas de proteção integral, uso sustentável, áreas militares e terras indígenas – e comparadas com as probabilidades de desmatamento em suas respectivas zonas de entorno com largura incrementais de 10 km, 20 km e 50 km. Os resultados indicaram que as áreas protegidas são, de fato, inibidoras do desmatamento. A probabilidade de ocorrer desmatamento nas zonas de entorno das áreas protegidas é em até dez vezes superior àquela do seu interior e cresce em direção às zonas mais distantes dos limites das áreas protegidas.

Por meio de um modelo de simulação de desmatamento (SimAmazonia-2), foi também avaliada a contribuição potencial das unidades de conservação na redução futura (até 2050) do desmatamento e de suas conseqüentes emissões de carbono sob diferentes cenários socioeconômicos e de políticas públicas. Os resultados da modelagem evidenciaram que somente a expansão das unidades de conservação ocorrida entre 2003-2007 poderá induzir até 2050 uma redução das emissões na ordem de $3,3 \pm 1,1$ bilhões de toneladas de carbono equivalente. Desse total, $0,43 \pm 0,14$ bilhões de toneladas são atribuíveis às 13 unidades criadas até 2007 com apoio do Arpa. Já o total de unidades de conservação criadas entre 2003-2007 adicionado aos 127 mil km² de novas unidades em processo de estabelecimento pelo programa Arpa deverá resultar até 2050 numa redução de emissões de carbono na ordem de $4,3 \pm 1,2$ bilhões de toneladas. O modelo indica que desse total, $1,4 \pm 0,47$ bilhões de toneladas de carbono ou 5,1 bilhões de toneladas de CO₂ seriam atribuíveis às unidades de conservação com apoio do Arpa. Para fins de comparação, essa última cifra é equivalente a aproximadamente 16% das emissões anuais provenientes de todas as fontes globais de emissão, ou a 70% da meta de redução de emissões prevista para o primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto.

Portanto, devido ao seu papel central na redução do desmatamento regional, o programa Arpa se viabiliza como um importante instrumento a ser incorporado a mecanismos voluntários ou formais de incentivos às reduções das emissões de carbono pelo desmatamento atualmente em negociação nas convenções do Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

INTRODUÇÃO

No princípio da década de 70, a floresta amazônica brasileira ocupava uma área total de 4,18 milhões de km². Atualmente, o desmatamento acumulado já ultrapassa 650 mil km² – 15% de sua extensão original –, uma área maior que a França e quase o dobro da Alemanha. Grande parte do desmatamento ocorre ao longo do chamado arco do desmatamento (Figura 1) que se estende do nordeste do estado do Pará ao leste do estado do Acre e abriga a maior fronteira agrícola em expansão no mundo (Morton *et al.*, 2006).

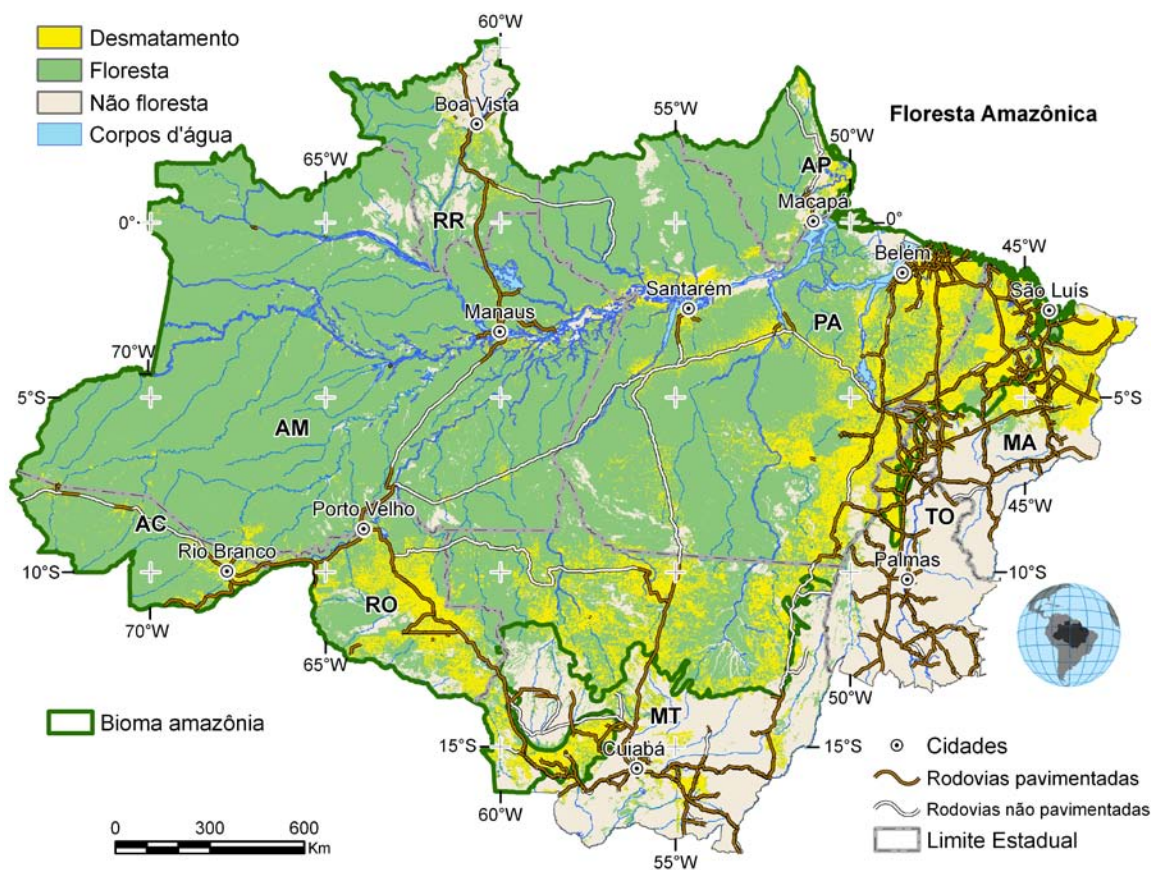


Fig. 1 - Áreas desmatadas até 2007 na Amazônia brasileira

As taxas anuais de desmatamento situaram-se em torno dos 17 mil km² ao longo da década de 90 (Figura 2), correspondendo a emissões médias anuais na ordem de 200 milhões de toneladas de carbono equivalente¹. No início da década de 2000, houve um período de ascensão vertiginosa do desmatamento, quando a taxa anual alcançou 27 mil km² em 2004. As pastagens, a maioria de baixa produtividade, cobrem atualmente mais de 70% da área desmatada na região (Margulis, 2003, Alencar *et al.*, 2004), sendo a pecuária o principal vetor de desmatamento. Além da pecuária, a expansão do agronegócio, a profusão de projetos de assentamentos e a abertura e pavimentação de estradas contribuíram para a manutenção de elevadas taxas de desmatamento. A esses vetores, somam-se os mercados ilegais de terras e de madeira e as dificuldades do Estado em controlar ações criminosas, como a grilagem de terra.

¹ Este cálculo assume que um hectare abriga em média 120 toneladas de carbono (Nepstad *et al.*, 2007).

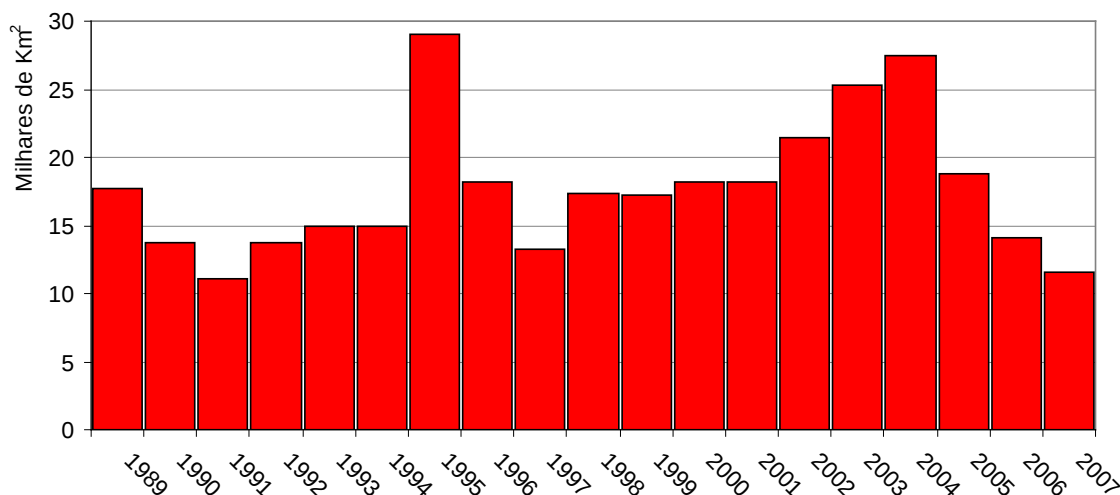


Fig. 2 - Taxas anuais de desmatamento na Amazônia brasileira (INPE, 2008).

Estudos recentes demonstraram o risco de colapso ambiental caso haja continuidade da tendência de desmatamento observada no início dessa década (Soares-Filho *et al.*, 2006; Nepstad *et al.*, 2008). Usando uma simulação de desmatamento que incorpora a tendência histórica entre 1997-2002 ao efeito do asfaltamento de uma série de estradas, Soares-Filho *et al.* (2006) apontaram que poderia se esperar para 2050 uma perda de até 40% das florestas remanescentes amazônicas (Soares-Filho *et al.*, 2005; Soares-Filho *et al.*, 2006). O impacto desse desmatamento futuro sobre a biodiversidade e outros serviços ambientais da Amazônia poderá ser dramático. Estima-se, por exemplo, que das 382 espécies de mamíferos analisadas por Soares Filho *et al.* (2006), um quarto perderá mais de 40% da sua área de distribuição geográfica. A confirmação dessa tendência comprometeria totalmente na região o cumprimento das metas da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB, 1992) no tocante à redução do ritmo de perda da diversidade biológica até 2010.

Em relação à perda de serviços ambientais, o desmatamento nessa escala provocará a redução do regime de chuvas regionais (Nobre *et al.*, 1991; Sampaio *et al.*, 2007, Silva *et al.*, 2008), alteração no regime dos principais rios amazônicos (Coe *et al.*, 2009) e grande impacto no clima global (Houghton, 2005). Soma-se a isso o efeito do aquecimento global que poderá induzir na região amazônica estações secas mais prolongadas (Malhi *et al.*, 2008) e o aumento na frequência e intensidade de fenômenos climáticos como El Niño (Cox *et al.*, 2004; Marengo *et al.*, 2008), os quais favorecem a ocorrência de extensivos incêndios florestais (Nepstad *et al.*, 1999), gerando, portanto, complexas interações que poderão levar as florestas remanescentes na Amazônia a um vicioso ciclo de degradação (Nobre *et al.*, 1996; Nepstad *et al.*, 2008). Em termos das emissões de gás carbônico, o principal gás que contribui para o aquecimento do planeta, a prevalência de um cenário de intenso desmatamento poderá acarretar em cerca de 117 ± 30 bilhões de toneladas de emissão de CO₂ para a atmosfera até 2050 (Soares Filho *et al.*, 2006), um volume equivalente a mais de três anos de emissões globais, tendo como base o ano de 2000².

² As emissões globais de CO₂ atingiram 33 bilhões de toneladas em 2000, o que equivale aproximadamente a nove bilhões de toneladas de carbono (CAIT-WRI, 2008).

Não obstante, há sinais de reversão da tendência histórica. Desde 2004 as taxas de desmatamento vêm declinando, atingindo 11,2 mil km² em 2007, a segunda menor taxa histórica medida pelo programa de observação do desmatamento – PRODES (INPE, 2008) (Figura 2). Essa queda refletiu, em parte, a influência de fatores econômicos como a queda nos preços internacionais da soja e da carne e a valorização do real frente ao dólar, o que dificulta as exportações. Por outro lado, o aumento da governança nas frentes de expansão do desmatamento desde 2004, com a implementação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia, ampliando a capacidade de ação fiscalizadora e consolidando políticas de conservação da floresta amazônica³, também tem contribuído de forma significativa para essa redução. Prova desse esforço consiste na criação entre 2003 e 2007 de 148 áreas protegidas cobrindo um total de 640 mil km², grande parte situada ao largo do arco do desmatamento, em regiões sob intenso conflito pela posse da terra.

A eficácia das áreas protegidas na contenção do desmatamento tem sido avaliada ao redor do mundo por vários estudos. Os resultados encontrados, em geral, indicam que as taxas de derrubada da floresta no interior dessas áreas são significativamente menores quando comparadas às suas áreas adjacentes (Bruner *et al.*, 2001; Naughton-Treves *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2005; Soares-Filho *et al.*, 2006; Nepstad *et al.*, 2006). Por outro lado, a comparação interior *versus* exterior tem sido vista como incompleta no sentido que o estabelecimento de áreas protegidas pode redistribuir o desmatamento através de uma região e não diminuí-lo em termos absolutos (Vandermeer, 1995; Cronon, 1995). Nesse aspecto, estudos que quantificam os efeitos de áreas protegidas em escala regional são ainda praticamente inexistentes. Com essa perspectiva, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito das áreas protegidas do bioma Amazônia, com ênfase nas áreas apoiadas pelo programa Arpa, na redução do desmatamento histórico e futuro e, por conseguinte, de suas emissões de carbono.

³ Como parte das ações estratégicas do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia, o governo está empenhado na melhoria do monitoramento do desmatamento, realização de ações permanentes de fiscalização de crimes ambientais, regularização fundiária e combate à apropriação ilegal de terras públicas, criação e consolidação de unidades de conservação, e implementação do novo marco legal para a exploração florestal.

ÁREAS PROTEGIDAS E O PROGRAMA ARPA

Neste estudo foram consideradas como áreas protegidas tanto as unidades de conservação quanto as terras indígenas e áreas militares. As unidades de conservação brasileiras são atualmente divididas em 12 categorias no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Essas categorias são, inicialmente, subdivididas em dois grandes grupos: áreas protegidas de uso sustentável e de proteção integral. O primeiro grupo visa conciliar a conservação com o uso sustentável dos recursos naturais. Já o segundo busca preponderantemente a conservação da diversidade biológica. Em ambos os casos, estão associados os demais interesses e benefícios da conservação da natureza, como os processos ecológicos e serviços ambientais.

Por sua vez, as terras indígenas visam a proteção social e cultural de povos indígenas. Por exercerem efeito positivo na conservação da biodiversidade amazônica (Nepstad *et al.*, 2006), podem ser consideradas como áreas protegidas (Maretti, 2005). À semelhança das áreas indígenas, as áreas militares também desempenham um papel relevante para a conservação ambiental.

Até 1987, as unidades de conservação de proteção integral constituíram a maior parte das áreas protegidas. A partir de 1986, houve um grande esforço do governo com a criação de cerca de 400 mil km² de unidades de conservação de uso sustentável e a homologação de quase um milhão de km² de terras indígenas (Figura 3).

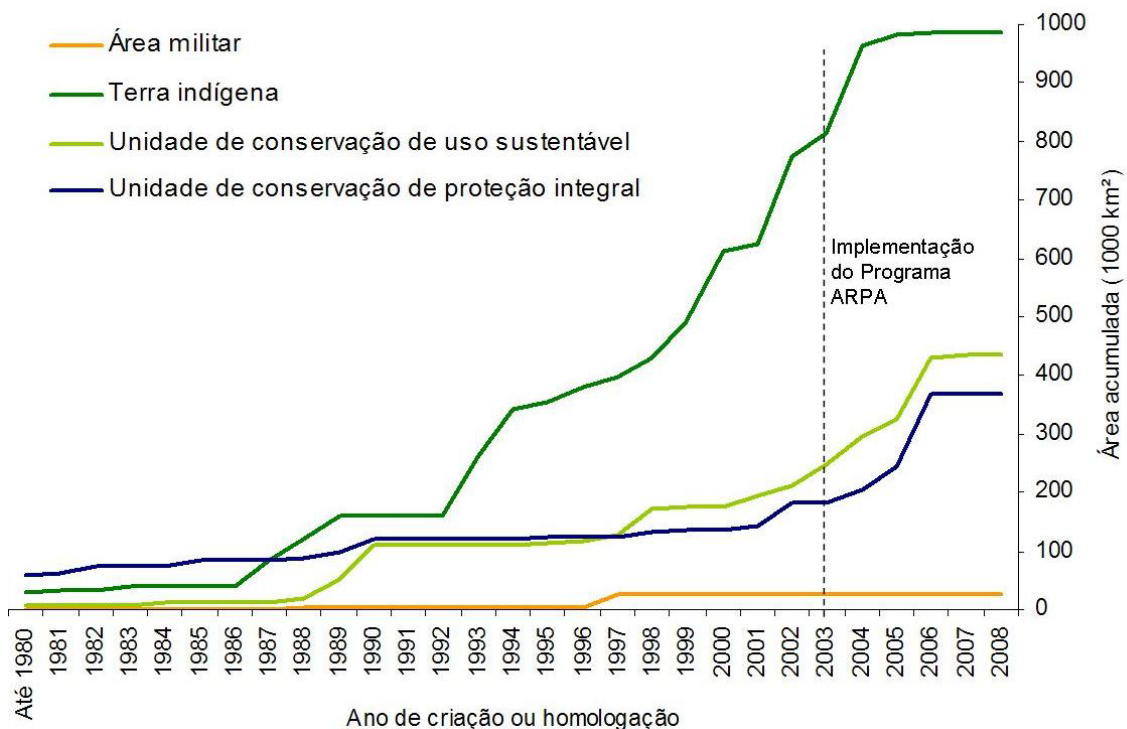


Fig. 3 - Trajetória de expansão das unidades de conservação, áreas militares e terras indígenas no bioma amazônico até abril de 2008.

Atualmente, 43% (1,8 milhões de km²) do bioma amazônico está protegido sob diversas designações, cobrindo 51% da floresta remanescente. Entre essas, 54% são terras indígenas e 44%, unidades de conservação. Da quantidade de unidades de conservação na Amazônia, 26% são apoiados pelo programa Áreas Protegidas da Amazônia (Tabela 1).

Tabela 1 – Categorias, número e extensão das unidades de conservação, terras indígenas e áreas militares no bioma amazônico, suas proporções em relação ao bioma e porcentagem apoiada pelo programa Arpa até o final de 2007.

Unidades		Nº	Área (km ²)	Proporção do bioma (%)	Proporção de unidades de conservação apoiada pelo programa Arpa (%)
Área militar		6	26.235	0,6	-
Terra indígena		282	987.219	23,4	-
Proteção integral	estadual	44	137.385	3,3	22,5
	federal	37	231.072	5,5	80,6
Uso sustentável	estadual	72	201.918	4,8	13,2
	federal	80	233.523	5,5	26,2
Total		521	1.817.355	43,0	-

Lançado em 2002 por meio do Decreto Federal nº 4.326 e com início operacional em 2003, o programa Arpa objetiva proteger amostras significativas da biodiversidade amazônica numa escala inédita, reunindo o estado da arte em biologia da conservação e integração participativa de comunidades locais. As metas do Arpa foram recentemente ampliadas: entre 2003-2016, o programa visa criar um total de 493 mil km² de novas unidades de conservação, alcançando a proteção de um total de 563 mil km² de ecossistemas naturais, sobretudo florestas. O Arpa só apóia certas categorias de unidades de conservação⁴ e não contempla terras indígenas ou áreas militares. As unidades de conservação apoiadas pelo programa estão distribuídas em todos os estados da Amazônia (Figura 4), perfazendo até 2007 um total 334 mil km², sendo 208 mil km² de proteção integral e 126 mil km² de uso sustentável⁵.

Os parceiros do programa Arpa⁶ já investiram cerca de US\$ 105 milhões em doações na primeira fase do programa (2003-2008). Além de apoiar ações executadas a curto prazo, esse montante corresponde a recursos investidos no Fundo de Áreas Protegidas (FAP), um instrumento fiduciário de capitalização

⁴ Entre as categorias de unidades de conservação apoiadas pelo programa Arpa constam: (1) Grupo de proteção integral—reserva biológica (Rebio), estação ecológica (Esec), e parque nacional (Parna) ou parque estadual (PE); e (2) Grupo de uso sustentável—reserva de desenvolvimento sustentável (RDS) e reserva extrativista (Resex).

⁵ Em todos os cálculos foram excluídas as sobreposições dando prioridade às terras indígenas; em seguida, às unidades de conservação de proteção integral; depois, às unidades de conservação de uso sustentável; e por último às áreas militares.

⁶ Ministério do Meio Ambiente (MMA), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio – antes Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA), governos estaduais e municipais da Amazônia, Fundo para o Meio Ambiente Global (GEF), Banco Mundial, Banco de Cooperação da Alemanha (KfW), Agência de Cooperação Técnica da Alemanha (GTZ), WWF-Brasil, Governo da Itália, setor privado brasileiro, Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (Funbio). Entre os parceiros, alguns colaboram com apoio técnico, outros apoio financeiro ou ambos. Organizações da sociedade civil também participam dos mecanismos de gestão, como o Comitê de Programa, que decide sobre a alocação de recursos.

permanente estabelecido para garantir a sustentabilidade financeira das unidades de conservação criadas e consolidadas com apoio do programa.

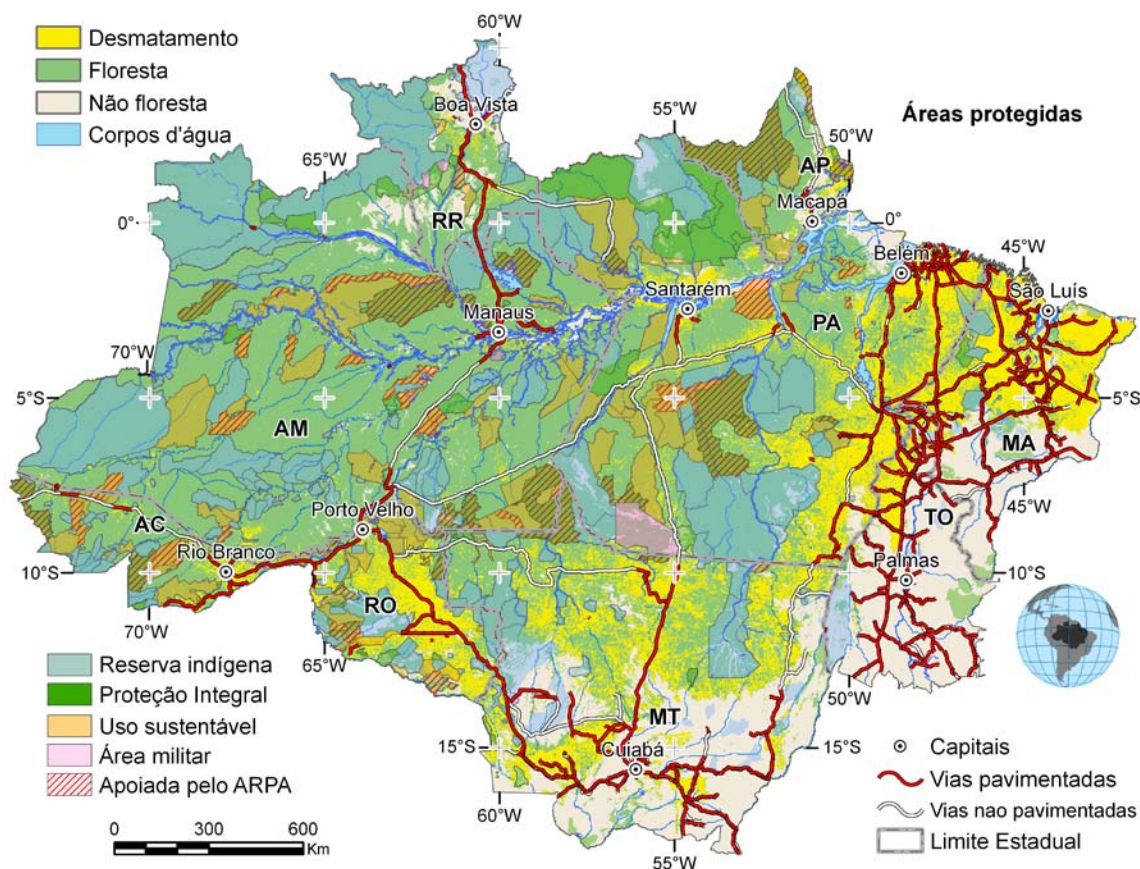


Fig. 4 - Áreas protegidas do bioma amazônico com destaque para as unidades de conservação apoiadas pelo programa Arpa.

O PAPEL HISTÓRICO DAS ÁREAS PROTEGIDAS NA REDUÇÃO DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA

De 2002 até 2007, o desmatamento acumulado no interior das áreas protegidas foi relativamente baixo: 9,7 mil km² (0,54% da área total protegida na Amazônia brasileira ou 8% do desmatamento total no período). Distribuído pelas diferentes categorias de áreas protegidas, o desmatamento acumulado naquelas de proteção integral totalizou 1,7 mil km² (0,46% da área dessa categoria). Nas áreas de uso sustentável, o valor atingiu 5,5 mil km² (1,26%), nas áreas militares foi de 109 km² (0,42%) e em terras indígenas o acumulado totalizou 2,46 mil km² (0,25%).

Para se avaliar os efeitos das áreas protegidas como um todo e das unidades de conservação apoiadas pelo programa Arpa, em particular, sobre o desmatamento no bioma amazônico, foram calculadas as probabilidades de ocorrência do desmatamento no interior de cada uma das áreas protegidas e em suas respectivas zonas de entorno – essas divididas, a partir do limite de cada área, em faixas com largura de 10 km, 20 km e 50 km. As probabilidades de desmatamento foram mensuradas sobrepondo-se o mapa das 521 áreas protegidas na região com mapas de desmatamento anual entre 2002 e 2007.

A assertiva que as áreas protegidas inibem o desmatamento é apoiada pela comparação das probabilidades (Figura 5). A probabilidade de ocorrer desmatamento nas zonas do entorno das áreas protegidas é em até dez vezes superior comparada àquela do interior das mesmas e cresce em direção às zonas mais distantes dos limites das áreas protegidas.

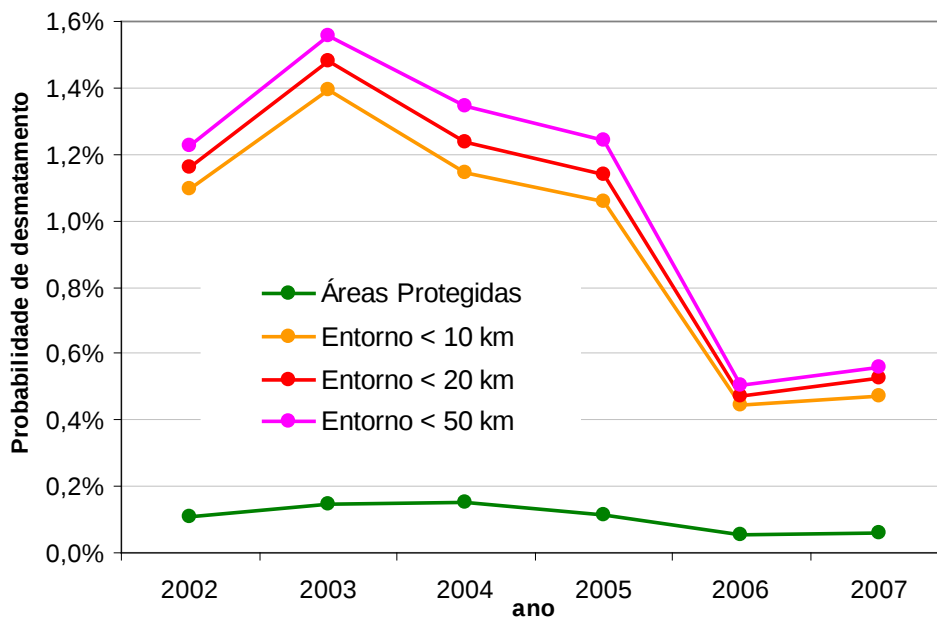


Fig. 5 - Probabilidade de ocorrência de desmatamento em áreas protegidas, incluindo Arpa, e nas suas respectivas zonas de entorno (10 km, 20 km e 50 km) entre 2002 e 2007.

Para efeito de comparação do grau de refração ao desmatamento entre categorias de áreas protegidas, foram analisadas populações de quatros grupos: terras indígenas, proteção integral, uso sustentável e área militar. As unidades de conservação de uso sustentável e de proteção integral foram, por sua vez, separadas em áreas com e sem apoio do Arpa. Como parte dessas áreas foi criada após 2003, foram utilizados somente dados de desmatamento no período 2004-2007. Para análise do grau de refração foi utilizado o método Peso de Evidência (Bonham-Carter, 1994). Neste estudo específico, peso de evidência (W^+) consiste numa razão entre as chances de ocorrer desmatamento dentro e fora das áreas protegidas. Áreas altamente refratárias são aquelas, portanto, que possuem baixo desmatamento interno, mas com elevado desmatamento em sua zona de entorno. Foi então calculada a média dos pesos de evidências anuais entre 2004-2007 de cada área protegida para compor os dados das populações analisadas.

A Tabela 2 mostra as médias dos pesos de evidências para grupos de áreas protegidas e o resultado do teste estatístico de comparação entre as médias das áreas apoiadas e não apoiadas pelo programa Arpa (ver anexo para mais detalhes).

Tabela 2 – Média de pesos de evidências com dados de desmatamento entre 2004-2007 para populações de áreas protegidas. Quanto mais negativo a média dos W^+ , mais refratária ao desmatamento consiste a população de áreas protegidas.

Suporte	Designação	Amostras	Média dos W^+ 2004-2007	Significância estatística
Arpa	Proteção integral	34	-2,21	-
-	Proteção integral	47	-1,15	Diferença significativa
Arpa	Uso sustentável	27	-0,77	-
-	Uso sustentável	125	-1,12	Diferença não-significante
-	Terras indígenas	282	-1,64	-
-	Áreas militares	6	-0,55	-

Os resultados dessa análise mostram que as áreas protegidas são, de fato, inibidoras do desmatamento, como demonstrado pelos seus valores negativos de peso de evidência. Essa análise indica também que as áreas de proteção integral apoiadas pelo Arpa se mostram significativamente⁷ mais refratárias ao desmatamento do que as não apoiadas pelo Arpa. Contudo, esse último resultado pode evidenciar uma correlação, não indicando casualidade, sendo necessária, portanto, uma análise mais detalhada para identificar quais fatores locais contribuíram para a redução do desmatamento em função do apoio do Arpa. A realização dessa análise será interessante em um estágio avançado do programa, quando seus impactos serão mais evidentes e o tempo decorrido permitirá mensurá-lo mais adequadamente.

O PAPEL DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA REDUÇÃO DO DESMATAMENTO FUTURO E DE SUAS EMISSÕES DE CARBONO

Além da análise do papel histórico das áreas protegidas em conter o desmatamento, o presente trabalho analisou os efeitos das unidades de conservação sobre o potencial de desmatamento futuro e suas emissões associadas de carbono. Nessa análise, foi utilizado um modelo espacialmente explícito de simulação do desmatamento desenvolvido pelo projeto “Cenários para a Amazônia Brasileira”⁸, sob a liderança do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Universidade Federal de Minas Gerais e The Woods Hole Research Center. Esse modelo, conhecido como SimAmazonia-2, incorpora diversos fatores que influenciam o desmatamento na região, como os fluxos migratórios regionais, projetos de pavimentação de estradas, taxas da expansão da agricultura e pecuária, bem como o papel inibidor das áreas protegidas tanto em escala local como regional (Soares-Filho et al., 2008) – ver anexo.

No caso específico deste estudo, o SimAmazonia-2 foi utilizado para avaliar os efeitos das unidades de conservação – excluindo-se as terras indígenas e áreas militares – sobre a trajetória futura do desmatamento. Essa trajetória foi simulada sob dois cenários extremos: um cenário pessimista⁹ de forte expansão da fronteira agrícola associada a intensos fluxos migratórios e extensiva pavimentação de

⁷ Nível de confiança de 90%. Teste Kruskal-Wallis.

⁸ <http://www.ipam.org.br/web/programas/cenarios/cenarios.php> e <http://www.csr.ufmg.br/simamazonia/>

⁹ A palavra pessimista refere-se ao maior potencial de desmatamento, enquanto otimista indica o contrário.

estradas, e um outro cenário otimista de moderada expansão da agricultura e pecuária, baixa mobilidade populacional e pavimentação restrita de estradas.

Para se avaliar o papel das unidades de conservação sobre o desmatamento futuro, inicialmente simulou-se o desmatamento até 2050 sob o cenário pessimista, excluindo-se todas as unidades criadas até 2008. Desse exercício, foi derivado um índice de ameaça de desmatamento¹⁰ (Albernaz *et al.*, 2006) que leva em conta não somente a chance do desmatamento futuro em uma determinada localidade, mas também a sua premência, ou seja, o quão cedo esse desmatamento poderá ocorrer (Figura 6).

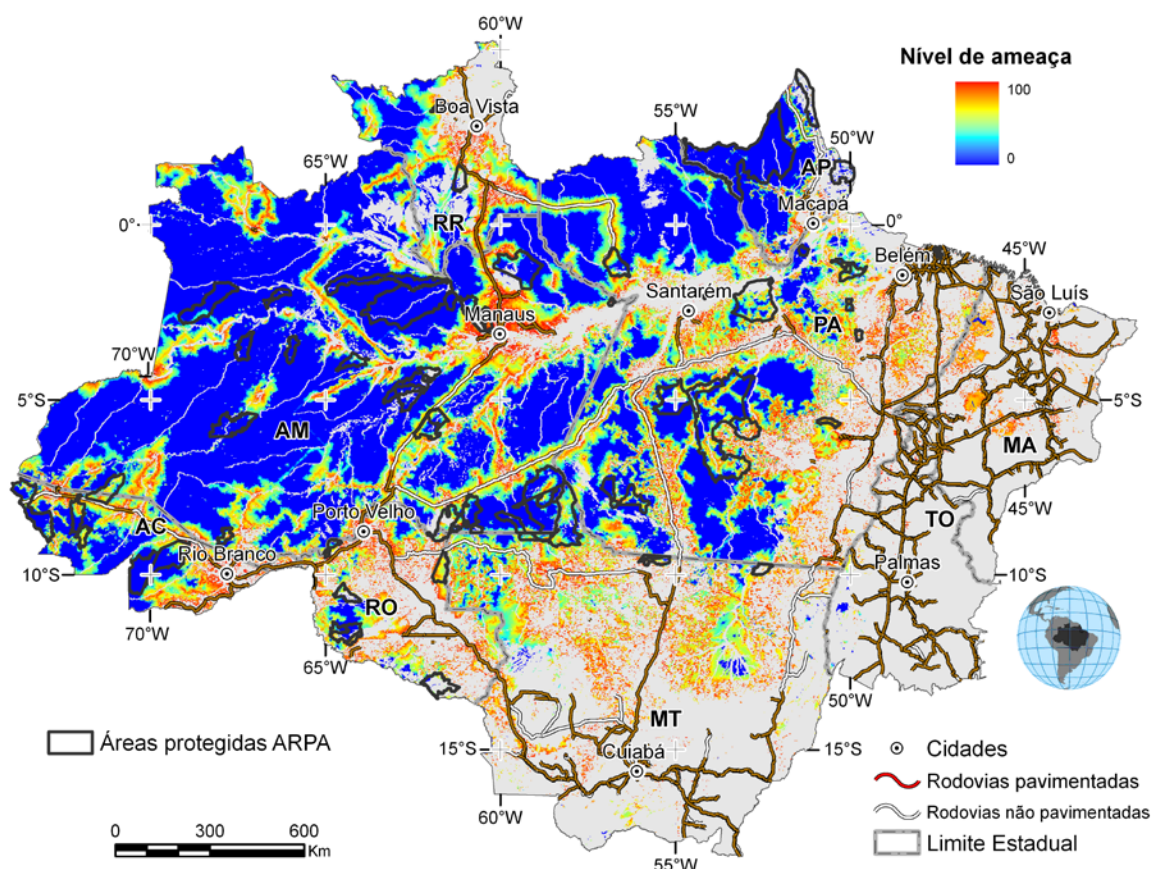


Fig. 6 – Nível de ameaça de desmatamento no bioma amazônico acumulado até 2050, em um cenário pessimista e desconsiderando a existência de todas as unidades de conservação já criadas até 2008.

Em seguida, utilizou-se um mapa da distribuição da biomassa florestal da Amazônia (Saatchi et al., 2007) para determinar os estoques de carbono contidos nas unidades de conservação apoiadas pelo Arpa (Figura 7). Este mapa de estoque foi então sobreposto àquele de desmatamento simulado sob o cenário pessimista com exclusão das unidades de conservação, obtendo-se assim o potencial de emissão de carbono oriundo da derrubada da floresta nas unidades caso elas não existissem. Considerou-se para esse

¹⁰ Índice de ameaça corresponde ao ano que uma parcela da área protegida seria desmatada se ela não fosse criada e implementada: $\text{Ameaça} = 100 \times (2051 - \text{ano_do_desmatamento}) / (2051 - \text{ano_inicial})$.

cálculo que 85% do carbono florestal é liberado para a atmosfera durante e após o desmatamento (Houghton et al., 2000) (Figura 8)¹¹.

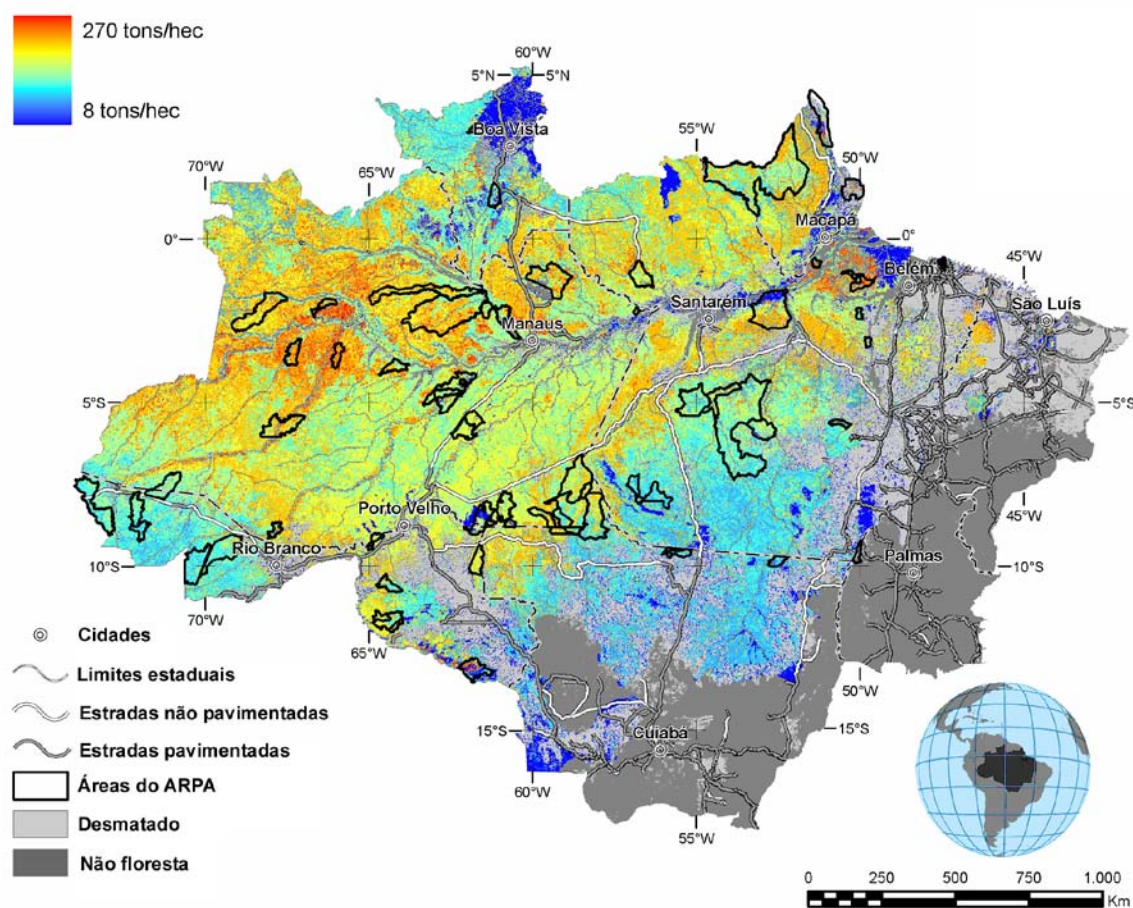


Fig. 7 – Distribuição dos estoques de carbono florestal no bioma amazônico, com destaque para as unidades de conservação apoiadas pelo Arpa.

Esses resultados demonstram que as unidades de conservação próximas à fronteira ativa do desmatamento são as mais ameaçadas e, portanto, apresentam o maior potencial de redução de emissões de carbono, logo representam uma peça chave a uma estratégia regional de conservação das florestas amazônicas.

O total de 61 unidades já apoiadas pelo Arpa até o final de 2007 possui um estoque de carbono florestal da ordem de 4,6 bilhões de toneladas, o que corresponde a 18% do carbono florestal de todas as áreas protegidas da Amazônia brasileira. Os resultados da modelagem apontam que essas unidades possuem um potencial direto¹² de redução de emissões de carbono ao redor de 1,1 bilhões de toneladas até 2050, considerando o desmatamento que poderia ocorrer caso elas não existissem (Figura 8).

¹¹ Para essa análise não foi adotada uma linha de base, portanto, foram consideradas todas as unidades de conservação apoiadas pelo programa Arpa independente do seu ano de criação.

¹² Considerando apenas o interior dessas áreas.

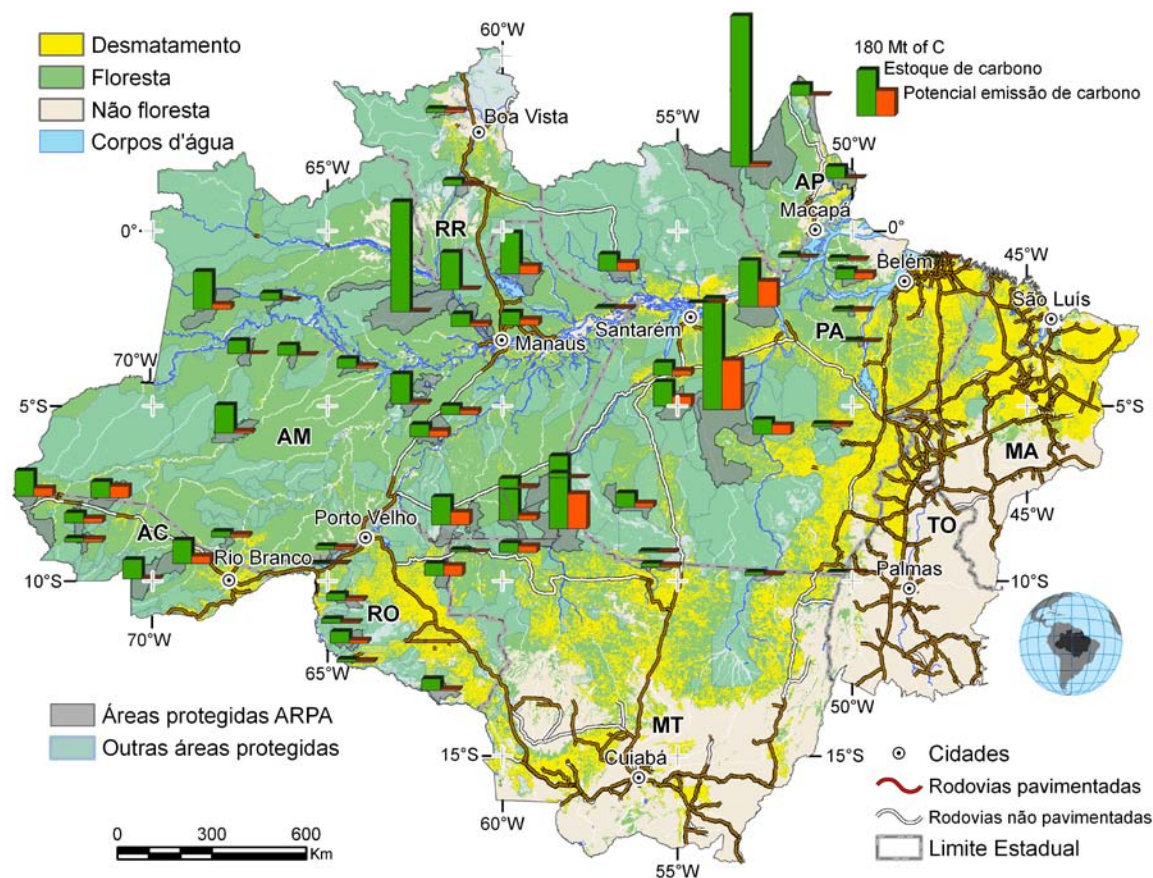


Fig. 8 - Estoques e emissões potenciais de carbono até 2050 nas 61 unidades de conservação com apoio do programa Arpa sob um cenário pessimista.

Para se avaliar também o efeito total das unidades de conservação, ou seja, direto e indiretamente, na contenção do desmatamento regional foram modeladas quatro trajetórias de desmatamento, sob cenários de aumentos progressivos e cumulativos dessas unidades, usando-se o SimAmazonia-2. Os quatro cenários considerados estão descritos a seguir:

Cenário 1 - Linha de base ou referência. Esse cenário considera como ponto de partida a existência somente de unidades de conservação criadas até 2002. Dessa forma, é possível estabelecer comparações do potencial de reduções do desmatamento e emissões à medida que se expande a rede de unidades de conservação;

Cenário 2 - Unidades de conservação do cenário de linha de base mais unidades criadas entre 2003-2007, excluindo-se aquelas apoiadas pelo Arpa (13 unidades de conservação);

Cenário 3 - Unidades de conservação do cenário 2 mais as 13 unidades criadas entre 2003-2007 apoiadas pelo programa Arpa;

Cenário 4 - Unidades de conservação do cenário 3 mais as unidades em processo de criação no âmbito do Arpa a partir de 2008.

Cada um desses quatro cenários de unidades de conservação foi rodado sob os dois cenários socioeconômicos extremos, a saber: pessimista e otimista, para se gerar uma faixa de incerteza. O efeito de

redução na trajetória do desmatamento foi então calculado utilizando como referência o cenário de linha de base com apenas as unidades de conservação estabelecidas até 2002 (Figura 9).

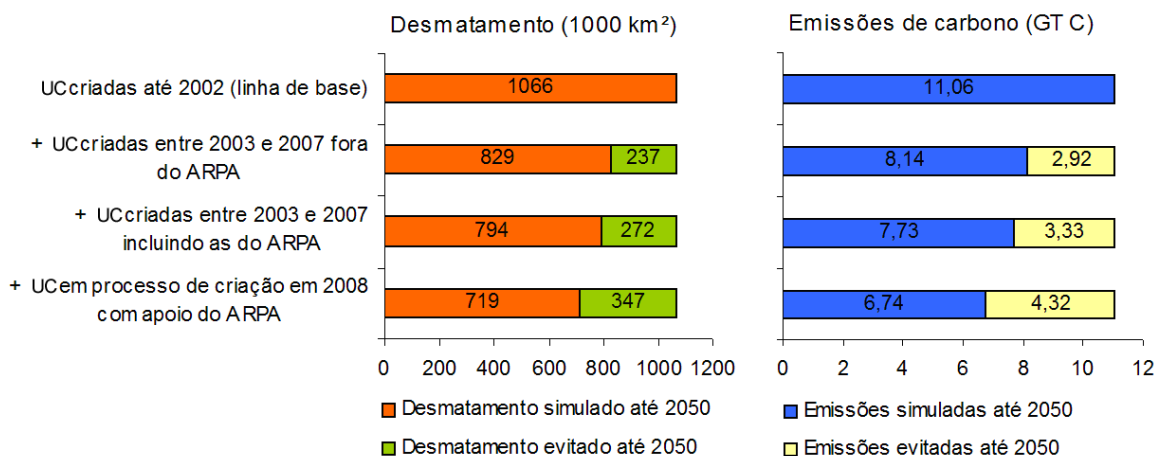


Fig. 9 – Potencial de desmatamento e emissão de carbono obtido a partir das médias entre os dois cenários socioeconômicos extremos para cada um dos quatro cenários de expansão de unidades de conservação. Potenciais de desmatamento e emissões a serem evitados têm como base o cenário de linha de base das unidades de conservação criadas até 2002.

Como resultado, a modelagem de simulação demonstra que apenas a expansão das unidades de conservação ocorrida entre 2003 e 2007 (cenário 3) possibilitará uma redução no desmatamento até 2050 de 272 ± 180 mil km², correspondendo a uma redução de emissões de $3,3 \pm 1,1$ bilhões de toneladas de carbono equivalente. Desde total, 35 ± 23 mil km² de desmatamento evitado ou $0,4 \pm 0,1$ de emissões de carbono podem ser atribuídos às unidades criadas com apoio do Arpa entre 2002 e 2007. Já uma expansão de 129 mil km² incluindo todas as unidades em processo de criação a partir de 2008 com apoio do programa Arpa aumentaria essa redução para 347 ± 170 mil km² (cenário 4), o equivalente à redução de emissões em $4,3 \pm 1,2$ bilhões de toneladas de carbono.

Em termos da redução específica a ser atribuída às unidades de conservação apoiadas pelo programa Arpa, a comparação entre os cenários 2 e 4 permite inferir que as unidades criadas ou em processo de criação com apoio direto do programa a partir de 2003 permitirão uma redução do desmatamento esperado até 2050 em 110 ± 73 mil km², traduzindo-se em uma redução de $1,4 \pm 0,5$ bilhões de toneladas de carbono ou 5,1 bilhões de toneladas de CO₂. A título de ilustração, essa última cifra equivale a aproximadamente 16% das emissões por ano provenientes de todas as fontes globais de emissão, ou a 70% da meta de redução de emissões prevista para o primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto.

Em efeito, os resultados da análise histórica em conjunto com os da modelagem de simulação de desmatamento demonstram que as áreas protegidas, em particular as do Arpa, possuem um papel fundamental na redução do desmatamento em escala regional, derrubando a hipótese que o estabelecimento de áreas protegidas simplesmente redistribui o desmatamento sem diminuí-lo em termos absolutos (Vandermeer, 1995; Cronon, 1995).

CONCLUSÕES

Este estudo demonstra que, além de exercerem funções críticas na conservação da biodiversidade, preservação dos valores culturais e sociais das populações tradicionais da Amazônia, manutenção dos regimes fluviais e estabilização dos climas regional e continental, as áreas protegidas da Amazônia brasileira, particularmente as do programa Arpa, exercem efeitos significativos na redução do desmatamento e, portanto, nas suas emissões associadas de carbono. Esses serviços ambientais beneficiam a humanidade como um todo, posto que conferem um valor adicional às áreas protegidas pelo seu papel no combate ao aquecimento global.

Historicamente, as áreas protegidas são eficazes na contenção do desmatamento consistindo, portanto, numa barreira efetiva ao avanço ocupação ilegal e predatória da floresta amazônica. Ademais, a análise empírica apresentada aqui demonstra que elas não somente inibem o desmatamento em seus limites, como também exercem um efeito redutor no desmatamento regional.

Sob esse enfoque, as áreas protegidas que se situam ao largo das frentes de desmatamento, próximas às fronteiras agrícolas em plena expansão, são as mais ameaçadas e, caso efetivamente consolidadas, apresentarão um maior potencial de redução das emissões de carbono pelo desmatamento. Por essas razões, as áreas que atuam como verdadeiras barreiras verdes merecem especial atenção quanto aos investimentos necessários a sua consolidação e manutenção. Apesar dessa inovadora estratégia de conservação apresentar maiores riscos do que abordagens tradicionais – as quais priorizam áreas para proteção em rincões com alta biodiversidade e baixo grau de ameaça antrópica –, ela favorece de modo mais extensivo e mais a longo prazo a conservação da biodiversidade, visto que assegura a manutenção da funcionalidade ambiental de um arranjo interligado de paisagens florestais. Logo, uma eficaz estratégia de conservação consiste em focar as áreas protegidas atualmente mais ameaçadas, mas que ao mesmo tempo assegurem a proteção de amostras representativas da biodiversidade no bioma amazônico como um todo (Albernaz *et al.*, 2006).

Além de atender às prioridades da Convenção sobre Diversidade Biológica, apresentando resultados positivos no tocante à proteção de amostras ecologicamente representativas da diversidade biológica, o programa Arpa exerce também um papel crucial na redução das emissões associadas ao desmatamento, merecendo, portanto, destaque sob a luz da Convenção do Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. A esse respeito, a quantificação aqui apresentada das reduções histórica e futura do desmatamento e de suas emissões de carbono pelas áreas protegidas como um todo e, em particular, pelas áreas com apoio do programa Arpa, é uma importante contribuição ao debate internacional sobre a mitigação das mudanças climáticas.

No âmbito dessa convenção, o Plano de Ação de Bali¹⁴, acordado na Conferência das Partes realizada em 2007 em Bali (COP 13), coloca na agenda das negociações para um acordo de mudanças climáticas pós-2012 a proposta de um mecanismo global de financiamento para reduzir as emissões do desmatamento chamado REDD - Redução das Emissões provenientes do Desmatamento e Degradação Florestal. O plano refere-se especificamente ao desenvolvimento de políticas públicas e incentivos à redução das emissões do desmatamento em países em desenvolvimento, levando em consideração que

¹⁴ Report of Conference of Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007 – FCCC/CP/2007/6/Add.1 em <http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/eng/06a01.pdf#page=8>

reduções sustentáveis dessas emissões requerem a disponibilidade de recursos de forma estável e previsível. Também se reconhece que reduzir emissões advindas do desmatamento pode promover co-benefícios e complementar os objetivos de outras convenções relevantes. Nesse contexto, um aporte substancial de recursos a curto prazo e sua sustentabilidade a longo prazo tornam-se imprescindíveis ao sucesso do programa Arpa, tendo em vista a premência de se criar e consolidar áreas protegidas em regiões de alta pressão antrópica que atuem como barreiras verdes ao avanço do desmatamento. Logo, o programa Arpa se viabiliza como um importante instrumento a ser incorporado a mecanismos voluntários ou formais de incentivos às reduções das emissões de carbono pelo desmatamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albernaz, A. L. K. M. Soares-Filho, B. S., Nelson, B. W. **Estratégias de Conservação para o Programa Arpa**. Relatório Interno. IBAMA, Brasília, 2006.
- Alencar, A.; Nepstad, N.; McGrath, D.; Moutinho, P.; Pacheco, P.; Diaz, M. D. C. V.; Soares-Filho, B. **Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica**. Manaus, IPAM, 2004.
- Bonham-Carter, G. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. New York, **Pergamon**, 1994.
- Bruner, A.; Gullison, R.; Rice, R.; Fonseca, G. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. **Science**, 291:125–28, 2001.
- CAIT-WRI (Climate Analysis Indicator Tool , World Resources Institute) <http://cait.wri.org/>. Acesso em abril de 2008.
- CBD. **Convention on Biological Diversity**. 1992.
- Coe, M, Costa, M., Soares-Filho, B.S. The Influence of Historical and Potential Future Deforestation on the Stream Flow of the Amazon River - Land Surface Processes and Atmospheric Feedbacks. **Journal of Hydrology**, doi:10.1016/j.jhydrol.2009.02.043, 2009.
- Cox, P.M., Betts, R.A., Collins, M., Harris, P.P., Huntingford, C., Jones, C.D. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. **Theor. and Appl. Clim.**, 78, 137-156, 2004.
- Cronon, W. The trouble with wilderness; or getting back to the wrong nature. In **Uncommon Ground**, ed. W Cronon, p. 69–90, New York, 1995.
- Ferreira, L. V.; Venticinque, E.; Almeida, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, 19:1–10, 2005.
- Gibbons, J.D. **Nonparametric Methods for Quantitative Analysis**. Holt, Rhinehart, and Winston. 1976
- Houghton, R. A. *et al.* Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature** 403, 301-304, 2000.
- Houghton, R. A. **Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions**. In: Moutinho, P. & Schwartzman, S. (Ed.) Tropical Deforestation and Climate Change. Woods Hole: The Woods Hole Research Center, 2005.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite: projeto Prodes. <http://www.obt.inpe.br/prodes/>. Acesso em março de 2008.
- Malhi, Y. J.; Roberts, T.; Betts, R. A.; Killeen, T. J.; Li, W.; Nobre, C. A. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. **Science**, 319: 169-172, 2008.
- Marengo, J.A., Nobre, C., Tomasella, J., Oyama, M., Sampaio, G., Camargo, H., Alves, L.M. The drought of Amazônia in 2005. **J. Clim.**, 21, 495-516, 2008.
- Maretti, C.C. 2005. *Conservação e valores; relações entre áreas protegidas e indígenas: possíveis conflitos e soluções*. In: Ricardo, F. (org.). 2004 (nov.). **Terras indígenas & unidades de conservação da natureza: o desafio das sobreposições**. São Paulo, Instituto Socioambiental, p. 85–101.
- Margulis, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. 1ª ed. Brasília: Banco Mundial, 2003.
- Morton, D. C.; DeFries, R. S.; Shimabukuro, Y. E.; Anderson, L. O.; Arai, E.; Espirito-Santo, F. B.; Freitas, R.; Morissette, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Sustainable Science**. 2006.
- Naughton-Treves, L.; Holland, M. B.; Brandon, K. The Role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. **Annu. Rev. Environ. Resour.** 30:219–52. 2005.

- Nepstad, D.; Verissimo, A.; Alencar, A.; Nobre, C.; Lima, E.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Potter, C.; Moutinho, P.; Mendoza, E.; Cochrane, M.; Brooks, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature** 398: 505 – 508, 1999.
- Nepstad, D.; Schwartzman, S.; Bamberger, B.; Santilli, M.; Ray, D.; Schlesinger, P.; Lefebvre, P.; Alencar, A.; Prinz, E.; Fiske, G.; Rolla, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous reserves. **Conservation Biology** 20: 65–73, 2006.
- Nepstad, D.; Soares-Filho, B. S.; Merry, F.; Moutinho, P.; Rodrigues, H. O.; Bowman, M.; Schwartzman, S.; Almeida, O.; Rivero, S. **The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon**. Report launched in the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Conference of the Parties (COP), Thirteenth session. Bali, Indonesia. December, 2007.
- Nepstad, D.; Stickler, C.; Soares-Filho, B. S.; Merry, F. Interactions among Amazon land use, forests, and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philosophical Transactions of The Royal Society** doi:10.1098/rstb.2007.0036, 1-10, 2008.
- Nobre, C. A.; Sellers, P. J.; Shukla, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **J. Climate** 4, 957-988. 1991.
- Nobre, C. A.; Gash, J. H. C.; Roberts, J. M.; Victoria, R. L. 1996. Conclusions from Abracos. In Gash, J.H.C., Nobre, C.A., Roberts, J.R. e Victoria, R.L. (eds.) **Amazonian Deforestation and Climate**. John Wiley and Sons, Chichester, UK 1996.
- Saatchi, S. S.; Houghton, R. A.; Dos Santos Alvalá, R. C.; Soares, Z. J. V.; Yu, Y. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. **Global Change Biology** 13, 816–837. 2007.
- Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M.H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B.S., Cardoso, M., 2007. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophys. Res. Lett.** 34 (17), L17709, doi:10.1029/2007GL030612.
- Silva, R.R., Werth, D., Avissar, R., 2008. Regional Impacts of Future Land-Cover Changes on the Amazon Basin Wet-Season Climate. **J. Climate.**, 21 (6), 1153-1170
- Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D. C.; Curran, L. M.; Cerqueira, G. C.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; Voll, E.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Mcgrath, David. Cenários de desmatamento para Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 138-152, 2005.
- Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D. C.; Curran, L. M.; Cerqueira, G. C.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; Voll, E.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. Modelagem da Conservação na Bacia Amazônica. **Nature**, 2006.
- Soares-Filho, B. S.; Garcia, R. A.; Rodrigues, H.; Moro, S.; Nepstad, D. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado. In: Batistella, M.; Alves, D.; Moran, E. (Org.). **Amazônia. Natureza e Sociedade em Transformação**. Edusp. São Paulo, 2008.
- Vandermeer, J.; Perfecto I. **Breakfast of Biodiversity**. Oakland, CA: Inst. Food Dev. Policy. 1995.

ANEXO: DETALHES DA METODOLOGIA ADOTADA

Por meio da sobreposição do mapa de áreas protegidas com os mapas de desmatamento anual entre 2002 e 2007, obtidos do PRODES (INPE 2008) à resolução de 90 metros, foi possível avaliar a evolução do desmatamento tanto no interior quanto nos arredores dessas áreas. Os dados de desmatamento anteriores a 2002 foram desconsiderados nesta análise devido à alteração do método do PRODES a partir de 2001 (INPE, 2008). Para a análise da região de entorno, foram definidas zonas de entorno de 10 km, 20 km e 50 km para, então, estabelecer o efeito proximal das áreas protegidas no desmatamento. Os dados de desmatamento anual foram empregados para desenvolver uma análise *bayesiana* de pesos de evidência que calcula probabilidades *a posteriori* e a razão de chance de ocorrer um evento (o desmatamento) dado um padrão espacial que, nesse caso, corresponde à presença ou ausência de uma área protegida ou suas áreas de entorno (Bonham-Carter, 1994).

A probabilidade *a posteriori* considera a taxa global de desmatamento, espelhando, portanto, o declínio dessa taxa nos valores de probabilidades. Por sua vez, a análise de pesos de evidência ($W+$) independe desse efeito, posto que $W+$ corresponde ao logaritmo natural da razão de chance de se achar uma área protegida com desmatamento *versus* o contrário. Valores positivos de $W+$ favorecem uma associação, enquanto valores negativos indicam refração. Nesse caso, a análise de pesos de evidência mostra o grau de refração das áreas protegidas em relação ao seu entorno independentemente da taxa global de desmatamento. A análise da probabilidade de ocorrência de desmatamento foi aplicada para cada área protegida individualmente, considerando os registros de desmatamento histórico dentro de cada área protegida e sua específica zona de entorno. Desse modo, foi utilizado o entorno de 20 km para assegurar uma melhor amostragem de dados e condições de entorno em média semelhantes as do interior da área protegida, caso a caso. Para o cálculo dos pesos de evidências, foram consideradas somente áreas protegidas com ocorrências de desmatamento tanto dentro do período inicial quanto no final, tendo em vista as falhas de cobertura dos dados PRODES. Assim, analisou-se a contribuição de cada uma delas para a redução relativa do desmatamento, independentemente da trajetória de ascensão ou declínio do desmatamento na Amazônia como um todo. Portanto, a análise de pesos de evidência consiste numa razão entre as ocorrências de desmatamento dentro de uma área protegida e sua zona de entorno. Para efeito de comparação, as áreas protegidas foram agrupadas em quatro tipos: terras indígenas, proteção integral, uso sustentável e área militar. As unidades de conservação de uso sustentável e de proteção integral foram, por sua vez, separadas em áreas com e sem apoio do Arpa. Para a comparação entre o grau de refração ao desmatamento, como indicado pelos valores de peso de evidências, foram utilizados somente os dados de 2004-2007, tendo em vista que parte dessas áreas foi criada após 2003. Foram então calculadas médias do período 2004-2007 com os pesos de evidências de dados anuais, as quais constituíram os dados das populações analisadas conforme discriminado na Tabela 2. Como boa parte das populações de amostras de áreas protegidas não se ajusta à distribuição normal, foi empregado o teste Kruskal-Wallis para se avaliar se há diferença significativa ou não entre as médias das populações. O teste de Kruskal-Wallis consiste em um teste não paramétrico, robusto, para comparação de duas ou mais populações, podendo substituir a Análise de Variância (ANOVA) quando os dados não seguem a distribuição normal (Gibbons, 1976).

Os dados obtidos da análise histórica foram utilizados para calibrar o modelo de simulação de desmatamento. Além da análise Bayesiana apresentada anteriormente, demonstra-se que a fração de área protegida em uma dada região é a única variável a apresentar correlação negativa com as taxas de desmatamento. A Tabela A mostra o resultado de uma regressão por defasagem espacial obtida com dados

socioeconômicos, infra-estrutura, percentagem de área protegida *versus* taxa de desmatamento entre 1997-2001 de 399 municípios na Amazônia. Das cinco variáveis selecionadas com efeito significativo na taxa de desmatamento, a fração de área protegida é a única que apresenta efeito negativo nas taxas de desmatamento. Portanto, a extensão de áreas protegidas não somente afeta a localização do desmatamento, mas também sua taxa regional.

Tabela A – Regressão por defasagem espacial de dados municipais de desmatamento entre 1997-2001.

Técnica	Máxima Verossimilhança			
Múltiplo R	0,8021			
R ²	0,6434			
Observações	399			
Modelo OLS	MV			
	Coefficientes	S.D.	z	Prob.
Constante	0,01703	0,0024	7,1499	0,0000
Proximidade média a rodovias pavimentadas	0,00003	0,0000	-2,4317	0,0150
Aumento no número de cabeças de gado por km ²	0,00053	0,0001	7,3599	0,0000
% de aumento nas áreas de culturas	0,09547	0,0456	2,0930	0,0363
Taxa migratória líquida (1995/2000)	0,01412	0,0055	2,5815	0,0098
% de área protegida	-0,0002	0,0001	-3,9195	0,0001
<i>Outlier Positivo</i>	0,07978	0,005	15,3247	0,0000
<i>Outlier Negativo</i>	-0,0474	0,015	-3,1092	0,0019
Defasagem espacial (r)	0,48948	0,041	11,8227	0,0000

Essa relação obtida da regressão por defasagem espacial com dados coletados entre 1997-2001 foi utilizada para calibrar o modelo de projeção de desmatamento a nível municipal. Já o período de 2002 e 2006 foi usado para sua validação (Figura A). Observe que a projeção do desmatamento predito acompanha tanto a ascensão quanto a queda recente do desmatamento (PRODES), devido a flutuações dos mercados agrícolas (negativamente à produção e exportação) e expansão recente das áreas protegidas.

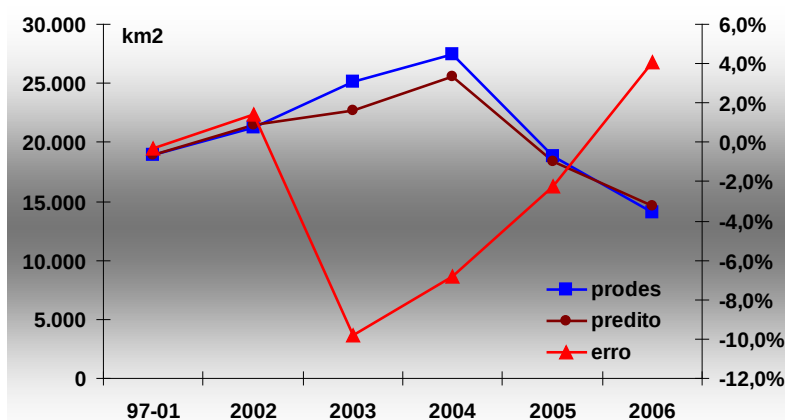


Fig. A – Validação da previsão do desmatamento amazônico pelo SimAmazonia-2.