

Estimativa das Emissões Evitadas e Sequestros de Carbono em Projetos Eco-sociais no Cerrado e na Caatinga

Felipe Eduardo Brandão Lenti

Brasília, dezembro de 2015.

Introdução

Em 1992, no Rio de Janeiro, adotou-se internacionalmente a convenção sobre mudanças climáticas (UNFCCC, *United Nations Framework Convention on Climate Change*), ratificada por 192 países. Trata-se de um acordo internacional com objetivos e diretrizes para lidar com o aquecimento global, com foco em estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa em níveis que previnam interferências perigosas da civilização humana sobre o sistema climático da Terra. Na conferência Rio+20, em 2012, a UNFCCC, a CBD (*Convention on Biological Diversity*) e a UNCCD (*United Nations Convention to Combat Desertification*) decidiram juntar esforços por entenderem a importância de integrar iniciativas de conservação da biodiversidade, de manejo sustentável e de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Esse gesto reitera o entendimento corrente de que a destruição de ecossistemas para uso humano da terra representa uma grave ameaça à biodiversidade (Folke et al. 2012; Schimel et al. 2013) e à provisão de serviços ecossistêmicos (GEF 2006; Woodward et al. 2009; Aronson et al. 2010), além de contribuir substancialmente para o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera (Kauffman et al. 2009; Fearnside et al. 2009). O apoio a iniciativas que promovam resiliência de agroecossistemas, o uso sustentável da vegetação nativa e/ou a restauração ecológica de áreas degradadas é, portanto, fundamental, pois contribui para os objetivos das três convenções e para as Metas de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Essas sinergias levaram ao fortalecimento de mecanismos para financiamento dessas iniciativas, como o *Global Environmental Facility* (GEF), viabilizando projetos de apoio técnico-financeiro a iniciativas que promovem qualidade de vida em comunidades locais através de manejo sustentável dos recursos naturais, como o *Small Grants*, a Iniciativa Satoyama e a programas no âmbito da *USAID*. Muitos desses projetos envolvem atividades que geram benefícios diretos em termos de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, como restauração de áreas degradadas e conservação de estoques de carbono (C) na vegetação nativa (Altieri 2004; Boyd et al. 2007; Thompson 2011; Maisharou et al. 2015). Quantificar esses benefícios nem sempre é simples, uma vez que as metodologias e protocolos disponíveis são, em sua maioria, voltados para projetos de redução de emissões ligadas à destruição e degradação de ecossistemas naturais (*REDD+*), que possuem foco específico no aumento dos estoques de carbono em ecossistemas naturais e agroecossistemas (Daviet and Ranganathan 2005; Estrada 2011; Pearson et al. 2013). Existem metodologias específicas para projetos sem esse enfoque na questão climática, mas cujos objetivos de uso sustentável dos recursos naturais promovem benefícios secundários em termos de sequestros e emissões evitadas, como o *AFOLU-Calculator* e o *Carbon Benefits Project*. Entretanto, são metodologias relativamente complexas, que exigem um sistema bem estabelecido de informações

geográficas acerca das áreas de influência dos projetos, mensurações regulares da vegetação em campo e outros pré-requisitos que demandam a alocação de recursos consideráveis em atividades de monitoramento da dinâmica de carbono, em detrimento de seu uso em atividades para o desenvolvimento sustentável de comunidades. Isso representa um impedimento em projetos que beneficiam populações de baixa renda, nos quais a prioridade reside na execução de atividades que melhorem a qualidade de vida e a relação com o meio ambiente, mais do que no monitoramento dessas.

Esse é o caso do Programa de Pequenos Projetos Ecosociais e da Iniciativa Satoyama, que contam com o suporte do *GEF-Small Grants*, do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e de outras instituições para dar apoio técnico-financeiro a projetos de base comunitária que visam melhorar a qualidade de vida de populações no Cerrado e da Caatinga de maneira sustentável. São projetos elaborados por comunidades economicamente e ambientalmente expostas e que, portanto, buscam geração de renda através de uso consciente dos recursos naturais e segurança alimentar através da aplicação de técnicas de manejo agroecológicas. A quantidade desses projetos (apenas o PPP-ECOS apoiou cerca de 400, na última década) e a falta de familiaridade das organizações beneficiárias com a questão climática são fatores adicionais que dificultam a implementação de metodologias mais elaboradas para estimativa de benefícios em termos de sequestro de carbono e emissões evitadas. Diante desses desafios, o presente trabalho propõem uma metodologia simplificada para quantificar dois indicadores da contribuição dos projetos apoiados pelo PPP-ECOS e pela Iniciativa Satoyama, no Cerrado e na Caatinga, para a questão do aquecimento global: (1) o aumento no estoque de C devido a projetos que promovem a restauração de ecossistemas (sequestros) e (2) as emissões (de gases de efeito estufa) evitadas através da adoção de boas práticas de manejo e uso sustentável da vegetação nativa.

Metodologia

A estimativa do sequestro de carbono e das emissões evitadas devido às atividades de manejo sustentável nos projetos avaliados foi obtida em quatro etapas: (1) levantamento e caracterização dos ecossistemas envolvidos: estado inicial e estado final; (2) categorização dos ecossistemas em classes de uso da terra; (3) levantamento de dados secundários para parametrização dos estoques de C nos compartimentos solo, biomassa e serapilheira; (4) quantificação das alterações estimadas em estoques de C e das emissões evitadas através de uso sustentável da vegetação nativa. As informações necessárias para as quatro etapas foram obtidas na documentação de cada projeto, como acordo de metas, cronogramas, relatórios de monitoramento, etc.; em visita às áreas ou entrevistas telefônicas

com pessoas que tenham visitado as áreas, ligadas ao gerenciamento dos projetos junto às comunidades; nos protocolos publicados e artigos metodológicos que propõem diretrizes para estimativas de emissões de gases de efeito estufa (*AFOLU 2006, USAID–AFOLU Calculator, GEF–Carbon Benefits Project, Clean Development Mechanism, etc.*) e em estudos quantitativos sobre estoques e fluxos de carbono em agroecossistemas e ecossistemas naturais nos trópicos. Foram avaliados 26 projetos de base comunitária que executaram, entre 2013 e 2015, atividades de restauração de áreas degradadas e de manejo sustentável para conservação de ecossistemas naturais, viabilizadas no âmbito da Iniciativa Satoyama e do PPP-ECOS.

Caracterização dos ecossistemas avaliados

O objetivo nessa primeira etapa é identificar, para cada projeto, as características ecológicas das áreas avaliadas e as propostas de manejo. Para isso, foi elaborado um roteiro de caracterização com sete variáveis: localização (município, UF), dimensão da área (em hectares), clima (tropical sazonal ou semiárido), tipo de vegetação no início da intervenção na área (estado inicial), grau de exploração (degradada, abandonada, extrativismo sustentável, etc.) tipo de vegetação esperada ao final da intervenção (estado final) e características do solo (textura, coloração, profundidade, etc). Indicadores adicionais foram usados para projetos com enfoque específico no uso da lenha ou no manejo do fogo: redução no volume explorado de lenha e regime (atual e esperado) de fogo, respectivamente. À partir das informações disponibilizadas pelas comunidades e pelas associações beneficiárias e, em alguns casos, obtidas em visitas a campo, o preenchimento do roteiro permitiu caracterizar o estado inicial e o estado final das 44 áreas avaliadas, definindo as transições de uso da terra no escopo de cada projeto (Tabela Suplementar 1).

Categorização

Com as características dos ecossistemas sistematizadas, definiu-se as classes de uso da terra com base nos seguintes critérios: o bioma (Cerrado e Caatinga), a função da área para a comunidade (vegetação natural, produção agroecológica, produção convencional e área degradada) e a forma da vegetação (floresta, savana, estepe, campo, cultivo, vegetação ausente). A categorização consiste em distribuir os 88 ecossistemas avaliados (estado inicial e estado final de cada área) nas 16 classes de uso da terra definidas (Tabela 1). Áreas em que o estado inicial e o estado final encontram-se em uma mesma classe de uso da terra correspondem a iniciativas de conservação de estoques de carbono, enquanto transições de uma classe para outra correspondem aos projetos onde há restauração de áreas degradadas, resultando em sequestro de CO₂ atmosférico.

Tabela 1. Esquema de categorização proposto para os ecossistemas avaliados. Os critérios considerados são o bioma, a função no contexto da comunidade envolvida e as particularidades do manejo e da vegetação na área. As classes resultantes são informadas na coluna Uso da Terra.

Bioma	Função	Vegetação	Uso da Terra	Abrev.
Cerrado	Vegetação Natural	Savana	Cerrado sentido restrito	CE
		Floresta	Floresta ripária	FR
		Campo	Vegetação campestre	VC
			Vereda	VE
	Produção agroecológica	Floresta	SAF em Cerrado	ACE
	Área degradada	Vegetação ausente	Solo nu	O
		Floresta	Floresta ripária degradada	FD
			Vereda degradada	VD
		Campo	Pasto degradado	PD
			Vegetação campestre degradada	CED
		Savana	Cerrado sentido restrito degradado	VCD
	Caatinga	Vegetação Natural	Floresta	Floresta estacional
Estepe			Caatinga	CA
Produção convencional		Cultivo	Cultivo tradicional degradado	CTD
Produção agroecológica		Floresta	SAF na Caatinga	ACA
Área degradada		Estepe	Caatinga degradada	CAD

Levantamento bibliográfico de dados secundários

Estoque de C na vegetação

A presente metodologia assume três compartimentos para definição dos estoques de C na vegetação: (1) massa de matéria seca em órgãos aéreos da vegetação (biomassa aérea; BA), (2) massa de matéria seca em órgãos subterrâneos da vegetação (biomassa subterrânea; BS) e (3) massa de matéria seca em detritos da vegetação encontrados na superfície do solo (serapilheira ou liteira; L); todos expressos em toneladas de matéria seca por hectare. Para expressar os estoques de carbono na biomassa (BA+BS) em termos de seu teor de carbono, definiu-se a fração de carbono da matéria seca (CF; *carbon fraction of dry matter*) como sendo igual a 0,475 (como sugerido pela *Food and Agriculture Organization*, Equação 1). Para o carbono na liteira (CL), entretanto, esse valor é pouco representativo, sendo adotado o valor padrão proposto no *GPG LULUCF 2003* (CF=0,370; Smith & Heath 2002; Equação 2).

Equação 1.

$$CB = (BA + BS) * 0,475$$

;onde CB (em tonC/ha) é o estoque de carbono na biomassa para um dado ecossistema; considera a biomassa aérea (BA) a biomassa subterrânea (BS) (toneladas de matéria seca/ha).

Equação 2.

$$CL = L * 0,37$$

;onde CL (em tonC/ha) é o estoque de carbono no compartimento serapilheira (L).

A avaliação de várias estimativas disponíveis na literatura fundamentou a escolha de um único trabalho, metodologicamente claro, para representar os estoques de carbono nos compartimentos da vegetação em uma dada classe de uso da terra. Foram considerados somente estudos que empregaram métodos diretos para mensuração dos estoques, fossem eles destrutivos ou conservativos; em detrimento daqueles que lançam mão de ferramentas de sensoriamento remoto para esse fim. Esse procedimento visou minimizar incertezas relacionadas a variações nos métodos de quantificação de BA , BS e L . Ainda assim, estimativas com base em dados secundários de estoque de C em Cerrado e Caatinga estão sujeitos a incertezas relacionadas à heterogeneidade ambiental que caracteriza esses biomas (Bustamante et al. 2010; Menezes et al. 2012). Para algumas classes de uso da terra, é reduzida a disponibilidade de estudos que quantificaram diretamente os estoques em cada compartimento, sobretudo com relação à BS . Em caso de ausência de estimativas adequadas na literatura, o valor de BS foi obtido através da multiplicação de BA por uma razão $BS:BA$, cujo valor pode ser mais facilmente obtido na literatura. Para três classes de uso da terra o compartimento L foi desconsiderado pelo estudo selecionado (Tabela 2).

Tabela 2. Para cada classe de uso da terra, a quantidade de carbono na biomassa (CB) e na liteira (CL). Foi priorizado o uso de estudo que quantificassem a biomassa aérea (BA), a biomassa subterrânea (BS) e a serapilheira (L), mas para algumas classes não foi possível obter dados confiáveis para todos os três compartimentos (-).

Classe de uso da terra	Estoques					Referências		
	BA	BS	L	CB	CL	Usada	Consultadas	
	ton/ha			tonC/ha				
Cerrado sentido restrito	CE	24,3	33,5	5,6	27,5	2,1	Miranda, 2013	1; 2; 4; 5; 6; 7; 8
Floresta ripária	FR	133,4	17,8	3,2	71,8	1,2	Delitti & Burger, 2000	9; 10; 11
Vegetação campestre	VC	15,6	22,1	2,3	17,9	0,9	Miranda, 2003	12; 13; 4; 14; 5
Vereda	VE	2,5	2,6	2,1	2,4	0,8	Fidelis et al., 2013	12; 13; 4; 14; 5; 15
SAF em Cerrado ^a	ACE	217,0	58,6	-	130,9	-	Kurzatkowski, 2007	16;17;18
Solo nú ^b	O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	GPG LULUCF 2003	19
Cerrado sentido restrito degradado ^c	CED	8,5	11,7	2,0	9,6	0,7	BRASIL, 2010	18
Vegetação campestre degradada ^c	VCD	5,5	7,7	0,8	6,3	0,3	BRASIL, 2010	18
Floresta estacional	FE	186,7	50,4	2,1	112,6	0,8	Scolforo et al., 2015	10; 18
Caatinga	CA	32,0	15,7	2,4	22,7	0,9	Costa et al., 2014	20; 21; 22; 23; 24
SAF em Caatinga ^d	ACA	16,5	8,3	-	11,8	-	Menezes et al, 2012	18
Corte-e-queima na Caatinga	CTD	0,0	1,0	0,0	0,5	0,0	Sampaio & Costa, 2011	20; 21; 22; 23; 24
Pasto degradado ^c	PD	-	-	-	1,3	-	BRASIL, 2010	18
Caatinga degradada ^c	CAD	11,2	5,5	0,8	7,9	0,3	BRASIL, 2010	18
Vereda degradada ^e	VD	0,1	2,6	0,0	1,3	0,0	Fidelis et al., 2013	4; 6; 25
Floresta Ripária degradada ^e	FD	85,4	11,4	0,0	46,0	0,0	GPG LULUCF 2003	9; 10; 18; 11; 26

^a Para essa classe foi considerada a média dos quatro valores reportados no estudo usado. Para cálculo de BS foi assumida razão BS:BA igual a 0,27.

^b Conforme sugerido nas referências indicadas, foi assumido conteúdo de carbono igual a zero para essas áreas.

^c Considerando que áreas de vegetação secundária inicial e intermediária pode conter biomassa entre 5% e 90% do estoque na vegetação nativa, assumiu-se valor de 35% para essas classes (BRASIL, 2010).

^d Foi assumido razão BS:BA igual a 0,5 no cálculo de BS para essa classe.

^e Essa classe representa ecossistemas severamente degradados, sendo adotados valores de BA e L que correspondem à biomassa logo após o fogo, conforme indicado nas referências consultadas. Assume-se que as mudanças no uso do fogo serão capazes de controlar novas queimas extensas e evitar que a área queime novamente em toda sua extensão, mantendo assim o estoque na área em valores próximos ao encontrado na vegetação nativa.

Referências: 1.Bustamante et al. 2007 2.Felfili 2008 3.Scolforo et al. 2015 4.Ottmar et al. 2001 5.Abdala et al. 1998 6.Castro & Kauffman, 1998 7.Kauffman et al. 1994 8.Batmanian & Haridasan, 1985 9.Miranda, 2013 10.Britez et al. 2003 11.Delitti et al. 2001 12.Rodin, 2004 13.Barbosa & Fearnside, 2005 14.Oliveira, 1999 15.Kauffman et al. 1998 16.Silva, 2013 17.Toledo, 2010 18.GPG LULUCF 2003 19.BRASIL 2010 20.Menezes et al. 2012 21.Sampaio & Costa, 2011 22.Amorim et al. 2005 23.Sampaio & Silva 2005 24.Sampaio et al, 1993 25.Castro,1996 26.Delitti et al. 2000.

Estoque de carbono no solo (CS)

São numerosos os tipos e subtipos de solos encontrados no Cerrado e na Caatinga. Para efeitos de simplificação, é possível representar esses tipos em cinco grandes grupos: solos com argila de atividade alta (S1), latossolos com argila de atividade baixa (S2), não-latossolos com argila de atividade baixa (S3), solos arenosos (S4), solos hidromórficos (S5). Essa divisão é adequada para avaliação de mudanças no estoque de carbono no solo, pois considera características como o tipo de argila (de alta ou baixa atividade), granulometria e regime hídrico (Bernoux et al. 2001; Bernoux et al. 2002; BRASIL 2010)

A partir desse esquema e de consulta a estudos que quantificaram diretamente o estoque de carbono (orgânico) no solo, elaborou-se uma matriz com valores de CS para cada combinação de classes de uso da terra *versus* tipos de solo (Tabela 3). A ausência de estudos dessa natureza em áreas consideradas degradadas foi resolvida multiplicando-se o valor obtido para o ecossistema natural (de referência) por um fator de mudança de estoque, que representa as perdas de estoque devido à ação continuada dos fatores de degradação. Para incluir estudos com descrição metodológica clara na parametrização de classes de uso da terra para as quais há carência de dados quantitativos, foram adotadas as profundidades 0 – 20 cm e 0 – 30 cm para definição de CS, pois o uso de outros intervalos – como apenas 0 – 20 cm ou 0 – 60 cm – restringia as opções de estudos adequados.

Estimativas de sequestro e emissões evitadas

O cômputo das estimativas adotou premissas análogas às do método de Diferença-de-Estoques apresentado no GPG LULUCF (IPCC 2003) e no GL AFOLU (IPCC 2006). Para os projetos nos quais há mudanças de classe de uso da terra (transições), comparamos a quantidade de carbono nos ecossistemas (CB+CL+CS) em dois momentos no tempo (estado inicial e estado final), assumindo que as diferenças no conteúdo de cada compartimento correspondem a CO₂ atmosférico sequestrado – seja diretamente, como através do aumento no CB (produção primária líquida); ou indiretamente, como através de aumentos no CL (produção de serapilheira) e no CS (incorporação de matéria orgânica ao solo. Transferências por percolação, lixiviação ou erosão foram desconsideradas. Para transições que envolvem mudança no estoque de C do solo (CS diferentes para o estado inicial e o estado final), o período necessário para que esses sequestros se concretizem pode chegar a 20 anos (valor considerando padrão no *GPG LULUCF* e no *GL AFOLU*).

Tabela 3. Para cada combinação entre classe de uso da terra e classe de solo (S1-S5), o estoque estimado de carbono orgânico no solo (CS) para a profundidade (Prof.) indicada. S1: Solos com argilas de atividade alta; S2: Latossolos; S3: Solos argilosos não latossólicos; S4: Solos arenosos; S5: Solos hidromórficos. Para alguns usos da terra foi aplicado um fator de mudança de estoque (*f*; obtido na literatura citada), que representa a redução de estoque, em relação ao ecossistema de referência (vide texto), devido à ação continuada de fatores de degradação.

Classe de uso da terra		Classes de solo					<i>f</i>	Referências	Prof.
		S1	S2	S3	S4	S5			
		ton/ha							cm
Cerrado sentido restrito	CE	-	47,5	48,9	41,1	-	-	GPG LULUCF	0-30
Cerrado sentido restrito degradado	CED	-	38,0	39,1	32,9	-	0,80	GPG LULUCF	0-30
Floresta ripária	FR	-	-	42,9	-	63,3	-	GPG LULUCF	0-30
Floresta Ripária degradada	FD	-	-	-	-	50,6	0,80	GPG LULUCF	0-30
Vegetação campestre	VC	-	72,0	-	-	79,5	-	Chapuis Lardy et al., 2002; Castro, 1995	0-20
Vegetação campestre degradada	VCD	-	50,4	-	-	55,7	0,70	GPG LULUCF	0-20
Vereda	VE	-	-	-	-	79,5	-	Castro, 1995	0-20
Vereda degradada	VD	-	-	-	-	77,1	0,97	Castro, 1995	0-20
SAF em Cerrado	ACE	-	98,0	-	-	-	-	Rocha et al., 2014	0-20
Caatinga	CA	-	-	45,0	15,1	-	-	BRASIL 2010; Sacramento et al., 2013	0-30
Caatinga degradada	CAD	19,4	-	-	-	-	0,80	GPG LULUCF	0-30
Floresta estacional	FE	40,9	44,3	37,4	27,0	-	-	BRASIL 2010	0-30
Cultivo degradado na caatinga	CTD	-	-	13,5	9,7	-	0,30	GPG LULUCF; Sacramento et al., 2013	0-20
SAF em Caatinga	ACA	31,3	-	26,2	-	-	-	Maia et al., 2007	0-20
Pasto degradado	PD	-	41,1	34,5	-	-	-	Freitas et al., 2000 in Batlle Bayer et al., 2010; Esobar & Oliveira 2008	0-20
Solo nú	O	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	GPG LULUCF	0-30

Apesar de os projetos receberem apoio técnico-financeiro por um período máximo de 24 meses, é razoável assumir que as comunidades envolvidas trabalharão para manter os benefícios ambientais que resultam das mudanças de uso da terra. Isso porque os projetos promovem ações de educação ambiental que valorizam as atividades e metas propostas e executadas pelas comunidades, além de oferecerem capacitação em elaboração de projetos socioambientais, o que facilita a captação de recursos para etapas posteriores dos projetos (ex.: manutenção, monitoramento) em outras fontes. Com as informações levantadas nas etapas anteriores e considerada a premissa de que os objetivos dos projetos serão atingidos, calculou-se a diferença total de estoque de carbono

entre o estado final e o estado inicial de um dado ecossistema. Entretanto, para estimar taxas anuais de sequestro faz-se necessário inserir um componente de temporalidade. A ampla variabilidade das condições sociais e ambientais que envolvem os projetos estudados constrangeu a escolha de um horizonte temporal único. Para obter estimativas anuais no âmbito do método da Diferença-de-Estoques, diretrizes do IPCC sugerem, para casos de conversão de uma classe de uso da terra para outra, que se contabilize todas as mudanças de estoque na vegetação no primeiro ano após a intervenção, dividindo-se essa quantidade pelo número de anos entre dois inventários nacionais consecutivos. Para que mudanças de estoque no C do solo se concretizem, um período de 20 anos é tido como padrão. Na presente metodologia, assume-se que o prazo necessário para que ocorram mudanças de estoque depende da conversão entre classes de uso da terra considerada. Com relação aos estoques na vegetação (CB e CL), assumiu-se que as alterações estimadas se concretizam em um prazo mínimo de cinco anos (ex.: cerrado sentido restrito degradado para cerrado sentido restrito ou floresta ripária degradada para floresta ripária), intermediário de 10 anos (ex.: recatingamento em área de cultivo degradada ou conversão de caatinga degradada para produção agroecológica) e máximo de 15 anos (ex.: conversão de pasto degradado para produção agroecológica ou recuperação de área com vegetação ausente no estado inicial). Com relação às estimativas de alteração nos estoques do solo, assumiu-se os intervalos de 10, 15 e 20 anos, de acordo com o prazo necessário para alterações nos estoques da vegetação, conforme indicado na Tabela 4.

Para cada projeto, após definidas as conversões entre classes de uso da terra, a dimensão das áreas avaliadas (em hectares) e o prazo assumido para que tais conversões se concretizem plenamente, aplicou-se a Equação 3 para estimar quantidade de CO₂ retirada anualmente da atmosfera (em tonCO₂e/ano).

Equação 3.

$$S = \left(\frac{(CB_{EF} - CB_{EI}) + (CL_{EF} - CL_{EI})}{t_v} + \frac{(CS_{EF} - CS_{EI})}{t_s} \right) * A * (44/12)$$

; onde S (tonCO₂e/ano) é o sequestro devido a atividades de restauração em um dado projeto; EF e EI correspondem aos estoques de carbono nos ecossistemas (CB , CL e CS ; em tonC/ha, vide texto) em seu estado final e em seu estado inicial, respectivamente; t_v corresponde ao período (em anos) necessário que ocorram as alterações no estoque da vegetação; 44/12 é a razão entre a massa molecular do CO₂ e a massa atômica do carbono.

Tabela 4. Período de tempo assumido para que se complete a alteração nos estoques de carbono da vegetação e do solo, considerando diferentes transições de uso da terra (do estado inicial para o estado final).

Classe de uso da terra		Tempo	
Inicial	Final	Vegetação	Solo
		anos	anos
O	CE	15	20
FD	FR	5	10
VD	VE	5	10
PD	ACA	10	15
	ACE	10	15
CED	CE	10	15
	FR	15	20
VCD	FR	15	20
	VC	5	10
CTD	CA	10	15
	ACA	10	15
CAD	CA	10	15
	ACA	10	15

Dadas as altas taxas de desmatamento observadas no Cerrado e na Caatinga, a grande quantidade de áreas degradadas nesses biomas e as pressões econômicas e políticas para conversão em agroecossistemas convencionais, assumiu-se que manejo sustentável da vegetação nativa por organizações de base comunitária evita o desmatamento e, conseqüentemente, a emissão de C nos estoques da vegetação (Sampaio et al. 1995; Klink & Machado 2005; Soares-Filho et al. 2014). Para os fins da presente estimativa, parte-se da premissa de que a transição desses ecossistemas naturais para qualquer dos agroecossistemas mais frequentes na paisagem local pressupõe desmatamento, com subsequente oxidação da totalidade do estoque de carbono na vegetação (CB+CL). Em outras palavras, o cenário de base (*baseline*) assumido para estimativa das emissões evitadas através manejo sustentável da vegetação nativa é a supressão completa da vegetação. Em nível de projeto, a identificação de diferentes fisionomias (ex.: savana, floresta) nas áreas avaliadas foi possível através de consulta aos técnicos envolvidos, o que possibilitou que um mesmo projeto envolva estoques de CB em duas ou mais classes de uso da terra. Embora seja usual considerar apenas o compartimento BA para cálculo de emissões devido a mudanças de uso da terra (Houghton 2005), a disponibilidade de dados para o compartimento subterrâneo e para a liteira permite considerar a oxidação das raízes e da necromassa vegetal que resta do desmatamento.

Considerando a variabilidade de tipos de solo tipicamente encontradas em paisagens de

Cerrado e Caatinga, mesmo em pequena escala, esse nível de detalhamento ficou inviabilizado. Assim, mesmo que sejam esperadas perdas no estoque de carbono do solo após o desmatamento, a ausência de informações sobre a variação dos tipos de solo nessas áreas prejudica as inferências acerca de mudanças no estoque de CS, sendo consideradas apenas as perdas em termos de alterações no CB. Ainda, a presente metodologia se abstém de designar um cenário de base em sua forma mais usual (*i.e.* uso da terra ou atividade produtiva mais provável em caso de ausência do projeto), pois mesmo as áreas em um mesmo projeto podem envolver considerável variação de condições socioeconômicas e políticas nas paisagens em que se inserem, assim como alta heterogeneidade do relevo, das características do solo e da estrutura da paisagem nos locais em que se encontram, fatores que impõe alta imprevisibilidade no que cerne a substituição da vegetação nativa por outro uso da terra “mais provável”.

Finalmente, a soma dos estoques CB e CL definidos para cada área avaliada foi multiplicado pela razão entre a massa molecular do dióxido de carbono e a massa atômica do carbono (44/12) para obtenção da quantidade equivalente de CO₂ que é mantida através de manejo sustentável de áreas nativas, considerando-se um período de 10 anos para cômputo das emissões anuais (Equação 4).

Equação 4.

$$E_{uso} = \frac{(CB + CL)}{10} * (44/12)$$

; onde E_{uso} (em tonCO₂e/ano) é a estimativa de emissões evitadas anualmente devido à manutenção de estoques de carbono nos compartimentos biomassa (CB, em tonC/ha) e serapilheira (CL, em tonC/ha). 44/12 é a razão entre a massa molecular do CO₂ e a massa atômica do C. Assume-se um período de 10 anos para oxidação completa da biomassa.

As seguintes informações foram usadas para estimar emissões de gases de efeito estufa evitadas através de manejo do fogo: o regime usual de queima na área (autodeclarado pelos projetos), a quantidade de biomassa aérea e de liteira, o fator de emissão (FE), o fator de combustão (FC) para eventos de queima em uma determinada classe de uso da terra e o potencial de aquecimento global dos três gases considerados (CO₂, CH₄ e N₂O; Equação 5). O valor de FC é definido como a proporção da biomassa aérea que é consumida pelo fogo e foi obtido, para cada classe de uso da terra avaliada, através de consulta à literatura científica. Assume-se que o

compartimento serapilheira é totalmente consumido durante um evento de queima ($FC=1$; Equação 6). Para expressar as emissões totais dos três gases de efeito estufa em um evento de queima, fez-se uso do potencial de aquecimento global (GWP , da sigla em inglês), atribuído a cada um dos gases de efeito estufa avaliados e que expressa sua contribuição para o aquecimento global, comparativamente à contribuição do CO_2 (cujo $GWP = 1$). Esse fator é calculado com base nas forçantes radiativas de cada gás e seu tempo estimado de residência na atmosfera. O FE é uma constante que corresponde à massa de gás emitida para cada unidade de massa seca queimada (em gramas de gás emitido por quilograma de biomassa seca; Delmas et al. 1995; Equação 7).

Equação 5.

$$E_{fogo} = \frac{E_{CO_2} + E_{CH_4} + E_{N_2O}}{T}$$

; onde E_{fogo} (em ton CO_2e /ano) são as emissões de gases de efeito estufa evitadas devido à redução da ocorrência de fogo em um dado projeto; corresponde à divisão da soma das emissões dos três gases (E_{CO_2} ; E_{CH_4} ; E_{N_2O}) durante um evento de queima pelo o número de anos entre dois eventos de queima consecutivos (T).

Equação 6.

$$E_g = BQ * FE_g * GWP_g$$

; onde E_g (em ton) é a quantidade de gás (CO_2 , CH_4 ou N_2O) emitido durante um evento de queima na área avaliada; considera o fator de emissão do gás (FE_g ; em g/kg) e seu potencial de aquecimento global (GWP_g), além da quantidade de biomassa queimada (BQ , em ton).

Equação 7.

$$BQ = (BA * FC + L) * A$$

; onde BQ (em ton) é a quantidade de biomassa que queimada durante um evento de queima; além do compartimento serapilheira (L ; ton/ha), leva em consideração o compartimento biomassa aérea (BA ; ton/ha) e o seu fator de combustão (FC), que varia de acordo com a classe de uso da terra considerada.

Fogões ecológicos otimizam a combustão e impedem a entrada de fumaça no ambiente doméstico, pois possibilitam o carregamento de lenha no forno através de um compartimento com tampa, sem que se comprometa a ventilação interna do forno, que é seu principal diferencial em relação ao forno tradicional. Esse simples aprimoramento permite reduções substanciais no consumo de lenha (40 – 60% conforme declaração de algumas comunidades). Para calcular as emissões evitadas devido a essa redução no uso da lenha, usamos as metas de redução declaradas por projetos que envolvem essas iniciativas, a densidade da madeira na vegetação considerada (obtido na literatura), um fator de expansão para converter o volume de lenha (V) em biomassa aérea (BA) e, finalmente, a fração carbono (FC) desse compartimento. A Equação 8 mostra como esses elementos se relacionam para resultar na estimativa de emissões evitadas (tonCO₂e) devido à redução na extração de lenha.

Equação 8.

$$E_{lenha} = V * FEB * DM * FC$$

; onde E_{lenha} (em tonCO₂/ano) são as as emissões evitadas devido à redução no uso de lenha; V (em m³/ano) é a meta de redução no volume de lenha extraída em um dado projeto; FEB é o fator de expansão da biomassa, que transforma o volume de madeira em biomassa aérea; DM é a densidade da madeira (seca) (em ton/m³); FC é a fração carbono da biomassa seca (=0,475).

Resultados

A estimativa de sequestro para projetos no Cerrado variaram de 132 tonCO₂e a 19.014 tonCO₂e (média = 3.461 tonCO₂e; desvio padrão = 5.271 tonCO₂e), totalizando 41.529 tonCO₂e quando somados. Para projetos na Caatinga, o sequestro total foi estimado em 69.042 tonCO₂e, com valores entre 224 tonCO₂e e 62.480 tonCO₂e (média = 11.507 tonCO₂e; desvio padrão = 22.816 tonCO₂e). Como indicado na Tabela 5, esses valores são diretamente proporcionais à dimensão da área no qual se dão as atividades de restauração. Em termos anuais, o conjunto de projetos no Cerrado apresentou estimativa de sequestro total igual a 3.996 tonCO₂e/ano (média = 333 tonCO₂e/ano; desvio padrão = 489 tonCO₂e/ano), enquanto que para os projetos na Caatinga esse

Tabela 5. Sequestros totais e anuais devido a atividades de restauração ambiental nos projetos avaliados. A é a área; S é o tpo de solo presente: solos com argila de atividade alta (S1), latossolos com argila de atividade baixa (S2), não-latossolos com argila de atividade baixa (S3), Solos arenosos (S4), Solos hidromórficos (S5); CB é o carbono contido na biomassa; CS é o carbono contido no solo (ton/ha).

Projeto	Transição	Área	Solo	Estoques			Sequestro		
				CB	CL	CS	dC	Total	Anual
	EF	ha		tonC/ha			tonC	tonCO ₂ e	tonCO ₂ e/ano
Satoyama	VCD	30	S5	6,3	0,3	55,7	2.221	8.145	529
	FR		S5	71,8	1,2	63,3			
	VCD	5	S2	6,3	0,3	50,4	169	619	84
	VC		S2	17,9	0,9	72,0			
	VCD	1	S5	6,3	0,3	55,7	36	132	18
	VC		S5	17,9	0,9	79,5			
	CED	2	S3	9,6	0,7	39,1	58	213	19
	CE		S3	27,5	2,1	48,9			
	O	5	S3	0,0	0,0	0,0	393	1.439	81
	CE		S3	27,5	2,1	48,9			
	O	2	S3	0,0	0,0	0,0	161	590	33
	CE		S3	29,5	2,1	48,9			
O	2	S3	0,0	0,0	0,0	157	576	32	
CE		S3	27,5	2,1	48,9				
Palmares	PD	1	S2	1,3	1,3	34,5	192	703	63
	ACE		S2	130,9	-	98,0			
Chapadinha	CED	5	S3	9,6	0,7	39,1	332	1.219	80
	FR		S3	71,8	1,2	42,9			
Terra Viva	PD	28	S2	1,3	1,3	41,1	5.186	19.014	1.707
	ACE		S2	130,9	-	98,0			
Xakriabá Peruaçu	VD	380	S5	1,3	0,0	77,1	1.628	5.970	862
	VE		S5	2,4	0,8	79,5			
	FD	20	S5	46,0	0,0	50,6	793	2.908	489
FR	S5		71,8	1,2	63,3				
TOTAL CERRADO		481					11.326	41.529	3.996

continua na próxima página.

Tabela 5. Continuação.

Projeto	Transição	Área ha	Solo	Estoques			Sequestro		
				CB	CL	CS	dC	Total	Anual
				tonC/ha			tonC	tonCO ₂ e	tonCO ₂ e/ano
Pico Do Jabre	CAD	60	S1	7,9	8,4	19,4	446	1.637	76
	ACA		S1	11,8	-	31,3			
SAF Cacique	CTD	4	S3	0,5	0,0	13,5	96	352	29
	ACA		S3	11,8	-	26,2			
AMJUS	CTD	600	S4	0,5	0,0	9,7	17.040	62.480	5.676
	CA		S4	22,7	0,8	15,1			
Paus Dóias	CTD	20	S4	0,5	0,0	9,7	334	1.225	28
	ACA		S4	11,8	-	15,1			
	CTD	30	S4	0,5	0,0	9,7	852	3.124	284
CA	S4		22,7	0,8	15,1				
Recatingamento	CAD	5	S1	7,9	8,2	19,4	61	224	18
	CA		S1	22,7	0,8	24,2			
TOTAL CAATINGA		719					18.830	69.042	6.110
TOTAL GERAL		1200					30.156	110.571	10.107

valor foi estimado em 6.110 tonCO₂e/ano (média = 1.018 tonCO₂e/ano; desvio padrão = 2085 tonCO₂e/ano). Os projetos com maior estimativa de sequestro anual são os que combinam as maiores áreas de intervenção dos projetos com as maiores diferenças registradas entre os estoques no estado inicial e no estado final. Considerando a soma das áreas dos projetos, estimou-se que os projetos possuem, em média, potencial de sequestro igual a 8,3 tonCO₂e/ha/ano e 8,5 tonCO₂e/ha/ano, para Cerrado e Caatinga, respectivamente. As transições observadas entre classes de uso da terra estão resumidas na Matriz 1 (em termos de área) e na Matriz 2 (em termos de sequestro total).

Considerando Cerrado e Caatinga conjuntamente, a estimativa das emissões evitadas através do manejo sustentável da vegetação nativa totalizou 498.158 tonCO₂e/ano, variando entre 12 tonCO₂e/ano e 244.420 tonCO₂e/anos (média= 20.757 tonCO₂e/ano; desvio padrão = 55.746 tonCO₂e/ano). Os maiores valores estão associados às maiores áreas e aos maiores estoques de carbono contidos na vegetação nativa, que variaram, respectivamente, de 10ha a 20.000ha e de 32tonC a 666.600 tonC (Tabela 6). Com relação ao manejo do fogo, estimou-se que as emissões evitadas totalizam 57.997tonCO₂e/ano (média= 9.666 tonCO₂e/ano; desvio padrão = 19.175

tonCO₂e/ano), sendo que 94% desse valor corresponde às emissões de CO₂, sendo o restante atribuído às emissões de CH₄ (3,4%) e N₂O (2,6%). Apenas um projeto prevê substituição de fogões a lenha tradicionais por fogões a lenha ecológicos, sendo responsável por evitar a emissão de 5.358 tonCO₂e/ano, através de uma redução estima de 1040m³/ano no uso da lenha.

Tabela 6. Emissões evitadas através de uso sustentável da vegetação nativa. As siglas representam as classes de uso da terra definidas na Tabela 1.

Projeto	Classe de uso da terra	Área	Estoque vegetação	Emissões evitadas
		ha	tonC	tonCO ₂ e/ano
AFAVE	FR	18	1.314	482
Entre Serras	CA	150	3.540	1.298
Cordeiros	CE	323	9.529	3.494
	FR	17	1.241	455
Geraizeras	FE	500	55.550	20.368
	VE	20000	64.000	23.467
Clemente	CE	3234	95.403	34.981
	VE	170	544	199
Cana-Brava	CA	100	2.360	865
Januária	CE	400	11.800	4.327
ABM	CE	100	2.950	1.082
	VE	10	32	12
	FR	50	3.650	1.338
Pico Do Jabre	CA	95	2.242	822
Paus Dóias	CA	30	708	260
Cooperacaju	CA	235	5.546	2.034
Ladeira Grande	CA	150	3.540	1.298
Kalunga	CE	40	1.180	433
Terra Viva	FR	18	1.314	482
Xakriabá	CE	14000	413.000	151.433
	FE	6000	666.600	244.420
Satoyama	FR	10	730	268
Quilombo Baú	FE	100	11.110	4.074
ASPASO	FR	10	730	268
TOTAL		45.760	1.358.613	498.158

Tabela 7. Emissões evitadas através de manejo no fogo. Os resultados são apresentados considerando e CO₂ e CH₄ e N₂O (CO₂e). O fator de combustão foi obtido na literatura (Ref); L é o compartimento serapilheira; BA é o compartimento Biomassa Aérea. Freq é a frequência de queima (autodeclarada) antes das ações de manejo no projeto.

Projeto	Classe de uso da terra	Área ha	Estoques		Fator de combustão	Freq.	Emissões Evitadas				Ref.
			BA	L			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	
			ton/ha	ton/ha			ton/ano				
Clemente	CE	3.234	24,3	5,6	0,54	bienal	49.577	72,6	4,5	52.497	1; 2
	VE	170	2,5	2,1	0,96	bienal	573	0,8	-	590	1; 2
Chapadinha	CED	5	20,2	2	0,54	trienal	35	0,1	-	37	1; 2
Xakriabá Peruaçu	VE	380	2,5	2,1	0,96	bienal	1.281	1,7	0,1	1.348	1; 2
	FR	20	133,4	3,2	0,36	bienal	809	4,6	0,1	937	3
Terra Viva	FR	28	133,4	3,2	0,36	anual	2.266	13	0,2	2.601	3
TOTAL		3.837					54.541	93	4,9	58.010	

Referências: 1. Castro & Kauffman, 1998 2. Castro, 1996 3. GPG LULUCF 2003.

Tabela 8. Emissões evitadas através de redução na extração de lenha, considerando os dois anos de duração básica dos projetos e a equivalência em termos de CO₂. V é o volume de redução resultante do projeto; DM é a densidade da madeira para a vegetação correspondente, levantada na literatura científica (Ref); EF é um fator de expansão que transforma o volume de lenha em biomassa consumida; FC é a fração carbono da biomassa seca (=0,475) e C é o estoque de carbono que deixou de ser queimado.

Projeto	Redução no uso m ³ /ano	Densidade da madeira g/cm ³	Fator de expansão	Fração carbono	Emissões evitadas tonCO ₂ e/ano	Ref.
Pico Do Jabre	1040	0,87	3,4	0,475	5358	1

Referência: 1. Sampaio & Silva, 2005.

Matriz 1. Resumo das transições de uso da terra observadas em termos da área total (em hectares). As classes de uso da terra (Inicial e Final) estão representadas por siglas (vide Tabela 1). As células brancas correspondem às transições possíveis e observadas (valores), possíveis e não observadas (em branco) e as transições que representam manutenção de estoque (-). As células hachuradas correspondem às transições possíveis porém indesejáveis, uma vez que acarretariam diminuição de estoques de C (não observadas. As células cinzas correspondem às transições consideradas impossíveis.

		Inicial															
		ACA	ACE	CA	CAD	CE	CED	CTD	FD	FE	FR	O	PD	VC	VCD	VD	VE
Final	ACA	-			60			24									
	ACE		-										29				
	CA			-	5			630									
	CAD				-												
	CE					-	2					9					
	CED						-										
	CTD							-									
	FD								-								
	FE									-							
	FR						5		20		-				30		
	O											-					
	PD												-				
	VC													-	6		
	VCD														-		
	VD															-	
	VE																380

Matriz 2. Resumo das transições de uso da terra observadas em termos do sequestro total observado (em tonCO₂e/ano). As classes de uso da terra (Inicial e Final) estão representadas por siglas (vide Tabela 1). As células brancas correspondem às transições possíveis e observadas (valores), possíveis e não observadas (em branco) e as transições que representam manutenção de estoque (-). As células hachuradas correspondem às transições possíveis porém indesejáveis, uma vez que acarretariam diminuição de estoques de C (não observadas). As células cinzas correspondem às transições consideradas impossíveis.

		Inicial															
		ACA	ACE	CA	CAD	GE	CED	CTD	FD	FE	FR	O	PD	VC	VCD	VD	VE
Final	ACA	-			68			61									
	ACE		-										486				
	CA			-	18			1.657									
	CAD				-												
	CE					-	5					40					
	CED						-										
	CTD							-									
	FD								-								
	FE									-							
	FR						22		133		-				144		
	O											-					
	PD												-				
	VC													-	18		
	VCD														-		
	VD															-	
	VE																235

Discussão

Os resultados obtidos revelam a ampla diversidade de iniciativas de manejo sustentável apoiados através de projetos aprovados no âmbito da Iniciativa Satoyama e do PPP-ECOS, tanto com relação às transições de uso da terra avaliadas como em relação à dimensão e localização das áreas. Os projetos avaliados ocorrem em ambientes que vão de vegetação campestre, a savana, savana estépica (caatinga) e floresta. Assim, importantes incertezas nas estimativas aqui apresentadas estão relacionadas à grande variação encontrada na estrutura da vegetação natural em paisagens heterogêneas (principalmente em relação ao Cerrado; Bustamante and Oliveira 2008; de Miranda et al. 2014) e à falta de estudos detalhados que quantifiquem os estoques de C em alguns usos da terra, sobretudo nos solos (BRASIL 2010).

Com relação a outras metodologias para quantificação de benefícios em termos de sequestro de carbono e emissões evitadas, avaliamos que o uso de classes de uso da terra muito gerais (ex.: cultivo, savana, campo e floresta, como sugerido pelo IPCC) pode ocultar diferenças em termos de técnicas de manejo, de processos ecológicos locais e associadas à heterogeneidade da paisagem (no espaço e no tempo). Para estudos que envolvem ampla heterogeneidade, uma etapa de construção de classes de uso da terra faz-se essencial para capturar detalhes específicos das áreas avaliadas, permitindo agrupá-las de forma mais acurada. Assim, a capacidade de representar classes de uso da terra que condizem com a diversidade de projetos avaliados é um ponto forte da metodologia apresentada, que deve ser articulado com as ferramentas apresentadas em metodologias mais elaboradas para tornar mais precisas as estimativas de sequestros e emissões evitadas por projetos socioambientais.

De um ponto de vista mais amplo, todas as estimativas aqui apresentadas estão sujeitas à incerteza de continuidade dos modos de vida dessas comunidades locais. Tanto que a avaliação de riscos junto às comunidades é um dos pré-requisitos para aprovação de projetos. A função desse procedimento é identificar fatores que podem dificultar o cumprimento das metas colocadas pela comunidade, com proposição de ações para evitar essas dificuldades. Previamente à aprovação são avaliadas, ainda, as soluções enxergadas pelas comunidades para garantir as condições que possibilitam o sucesso dos projetos e subsequente obtenção de benefícios ambientais e sócio-econômicos em longo prazo. Com relação a fatores externos, essas condições passam pela segurança fundiária e inserção da comunidade no cenário político local, enquanto que a articulação entre os membros da comunidade e o reconhecimento da importância do cuidado com o meio ambiente para a qualidade de vida são fatores internos importantes (Petersen et al. 1999; Carvalho

and Sawyer 2008). Uma vez aprovados, os projetos abordam esses potenciais riscos através de fomento a assembleias nas comunidades, apoio técnico e ações de cunho educacional. A presença dessa articulação entre os membros da comunidade é a maior garantia de que os projetos avaliados alcançarão os objetivos propostos. Uma vez que essas condições são majoritariamente encontradas nos projetos avaliados, conclui-se que o PPP-ECOS e a Iniciativa Satoyama conseguem atrelar, de forma consistente, o desenvolvimento sustentável de comunidades locais com metas de conservação de recursos naturais, de manejo sustentável e de mitigação/adaptação às mudanças climáticas globais, apresentando resultados que corroboram com a estratégia de interesses convergentes no âmbito das comissões das Nações Unidas para o meio ambiente (UNFCCC, CBD e UNCCD).

Referências Bibliográficas

- Abdala GC, Caldas LS, Haridasan M, Eiten G (1998) Belowground Organic Matter and Root Shoot Ratio in a Cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology* 02(01):11–23.
- Altieri MA (2004) Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(1):35–42.
- Amorim IL de, Sampaio EV de SB, Araújo E de L (2005) Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil.
- Aronson J, Blignaut JN, Milton SJ, Le Maitre D, Esler KJ, Limouzin A, Fontaine C, de Wit MP, Mugido W, Prinsloo P, van der Elst L, Lederer N (2010) Are socioeconomic benefits of restoration adequately quantified? a meta-analysis of recent papers (2000-2008) in restoration ecology and 12 other scientific journals. *Restoration Ecology* 18(2):143–154.
- Barbosa RI, Fearnside PM (2004) Wood density of trees in open savannas of the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 199(1):115–123.
- Battle-Bayer L, Batjes NH, Bindraban PS (2010) Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137(1-2):47–58.
- Batmanian GJ, Haridasan M (1985) Primary production and accumulation of nutrients by the ground layer community of cerrado vegetation of central Brazil. *Plant and Soil* 88(3):437–440.
- Bernoux M, Carvalho M da CS, Volkoff B, Cerri CC (2002) Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science ...* 66(3):888–896.
- Bernoux M, Da Conceição M, Carvalho S, Volkoff B, Cerri CC (2001) CO₂ emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. *Global Change Biology* 7(7):779–787.
- Boyd E, Gutierrez M, Chang M (2007) Small-scale forest carbon projects: Adapting CDM to low-income communities. *Global Environmental Change* 17(2):250–259.
- BRASIL (2010) Relatórios de Referência para o Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa: Uso da Terra e Florestas. Brasília
- Britez RM, Alger K, Baumgarten JE, Castella PR, Cullen Júnior L, Faria D, Felfili JM, Fernandes RV, Fonseca GAB, Landau EC (2003) Gestão de paisagens fragmentadas e recomendações de políticas públicas: manejo do entorno. In: Rambaldi DM, Oliveira DA. (eds) *Causas, Efeitos Sobre a Diversidade e Recomendações de Políticas Públicas*. MMA. Brasília. pp 348–365.
- Bustamante M, Ferreira LG, Hill MJ, Niall P, Hanan NP (2010) Land use change and the carbon

- budget in the Brazilian Cerrado. In: Hill MJ, Hanan NP (eds) *Ecosystem Function in Savannas Measurement and Modeling at Landscape to Global Scales*. American Geophysical Union.
- Bustamante MM da C, Oliveira EL de (2008) Impacto das atividades agrícolas, florestais e pecuárias nos recursos naturais. In: Faleiro FG, Faria Neto AL (eds) *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. EMBRAPA Cerrados. Brasília, DF. pp 647–669.
- Carvalho ISH de, Sawyer DR (2008) A cooperativa grande sertão e as riquezas socioambientais do norte de Minas. 14.
- Castro EA de (1995) *Biomass, nutrient pools and response to fire in the Brazilian Cerrado*. Oregon State University.
- Castro EA de, Kauffman JB (1998) Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. *Journal of Tropical Ecology* 14(3):263–283.
- Chapuis Lardy L, Brossard M, Lopes Assad M., Laurent J-Y (2002) Carbon and phosphorus stocks of clayey Ferralsols in Cerrado native and agroecosystems, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 92(2-3):147–158.
- Costa TL, Sampaio EVSB, Sales MF, Accioly LJO, Althoff TD, Pareyn FGC, Albuquerque ERGM, Menezes RSC (2014) Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. *Plant and Soil* 378(1-2):113–123.
- Daviet F, Ranganathan J (2005) *The Greenhouse Gas Protocol Protocol for Project Accounting*.
- de Miranda S do C, Bustamante M, Palace M, Hagen S, Keller M, Ferreira LG (2014) Regional Variations in Biomass Distribution in Brazilian Savanna Woodland. *Biotropica* 46(2):125–138.
- Delitti WBC, Burger DM (2000) Carbon and mineral nutrient pools in a gallery forest at Mogi Guaçu River, Southeast Brazil. *Annals of Forest Science* 57(1):39–47.
- Delitti WBC, Pausas JG, Burger DM (2001) Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. *Annals of Forest Science* 58(7):713–721.
- Delmas R, Lacaux JP, Brocard D (1995) Determination of biomass burning emission factors: Methods and results. *Environmental monitoring and assessment* 38(2-3):181–204.
- Dixon RK, Winjum JK, Schroeder PE (1993) Conservation and sequestration of carbon. *Global Environmental Change* 3(2):159–173.
- Escobar MEO, de Oliveira TS (2008) Substitution of Brazilian Native Plants for Agricultural Systems. *The Americas* 2(2):21–31.
- Estrada M (2011) Standards and methods available for estimating project-level REDD+ carbon benefits: Reference guide for project developers. pp 65.
- Fearnside PM, Righi CA, Graça PML de A, Keizer EWH, Cerri CC, Nogueira EM, Barbosa RI (2009) Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. *Forest Ecology and Management* 258(9):1968–1978.
- Felfili MC (2008) Proposição de critérios florísticos, estruturais e de produção para o manejo do cerrado sensu stricto do Brasil Central.
- Fidelis A, Lyra M, Pivello VR (2013) Above-and below-ground biomass and carbon dynamics in Brazilian Cerrado wet grasslands.
- Folke C, Holling CS, Perrings C (2012) Biological Diversity, Ecosystems, and the Human Scale. *Ecological Applications* 6(4):1018–1024.

- GPG LULUCF (2003) GPG LULUCF. In: Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, et al. (eds) Intergovernmental Panel on Climate Change, Good Practice Guidelines on Land Use, Land Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies. Japan. p 589.
- Grace J, José J, Meir P, Miranda HS, Montes RA (2006) Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography* 33:387–400.
- Houghton RA (2005) Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Global Change Biology* 11(6):945–958.
- IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use. In: Intergovernmental Panel on Climate Change, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Kauffman JB, Cummings DL, Ward DE (1994) Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. *Journal of Ecology* 519–531.
- Kauffman JB, Hughes RF, Heider C (2009) Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecological Applications* 19(5):1211–1222.
- Klink CA, Machado RB (2005) A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1(1):147–155.
- Kurzatowski D (2007) Potencial do seqüestro de carbono nos sistemas agroflorestais: análise dos quatro sistemas implantados no município de Pium-TO.
- Maia SMF, Xavier FAS, Oliveira TS de, Mendonça E de S, Araújo Filho JA (2007) Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry Systems* 71(2):127–138.
- Maisharou A, Chirwa PW, Larwanou M, Babalola F, Ofoegbu C (2015) Sustainable land management practices in the Sahel : review of practices , techniques and technologies for land restoration and strategy for up-scaling. *International Forestry Review* 17(s3):19.
- Menezes RSC, Sampaio EV de SB, Giongo V, Pérez-Marin AM (2012) Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian Journal of Biology* 72(3):643–653.
- Murphy PG, Lugo AE (1986) Ecology of Tropical Dry Forest. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 17:67–88.
- Odum H (1988) Environmental systems and public policy. University of Florida
- Oliveira RS (1999) Padrões sazonais de disponibilidade de água nos solos de um cerrado denso e um campo sujo e evapotranspiração. Universidade de Brasília.
- Ottmar R, Vihnanek R, Miranda HS (2001) Stereo photo series for quantifying cerrado fuels in Central Brazil—volume I. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station., Portland
- Pearson T, Walker S, Brown S (2013) Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects.
- Petersen P, Tardin JM, Marochi F (1999) Participatory development of no-tillage systems without herbicides for family farming: The experience of the center-south region of Paraná. *Environment, Development and Sustainability* 1(3-4):235–252.
- Ribeiro JF, Walter BMT (1998) Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP de (eds) Cerrado: ambiente e flora. Embrapa-CPAC Planaltina.
- Rocha GP, Fernandes LA, Cabacinha CD, Lopes IDP, Ribeiro JM, Frazão LA, Sampaio RA (2014) Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. *Ciência Rural* 44:1197–1203.
- Rodin P (2004) Distribuição da biomassa subterrânea e dinâmica de raízes finas em ecossistemas

- nativos e uma pastagem plantada no cerrado do Brasil Central. Universidade de Brasília.
- Sampaio EV de SB, Costa TL Da (2011) Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. *Revista Brasileira de Geografia Física* 061275–1291.
- Sampaio EV de SB, Mooney HA, Medina E (1995) Overview of the Brazilian caatinga. Seasonally dry tropical forests. In: Bullock SH, Mooney HA, Medina E (eds) *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press. Melbourne, AU. p 450.
- Sampaio EV de SB, Salcedo IH, Kauffman JB (1993) Effect of different fire severities on coppicing of caatinga vegetation in Serra Talhada, PE, Brazil. *Biotropica* 25(4):452–460.
- Sampaio EV de SB, Silva GC (2005) Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. *Acta Botanica Brasilica* 19(4):935–943.
- Schimel DS, Asner GP, Moorcroft P (2013) Observing changing ecological diversity in the Anthropocene. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(3):129–137.
- Scolforo HF, Scolforo JRS, Mello CR, Mello JM, Ferraz Filho AC (2015) Spatial Distribution of Aboveground Carbon Stock of the Arboreal Vegetation in Brazilian Biomes of Savanna, Atlantic Forest and Semi-Arid Woodland. *PloS one* 10(6):e0128781.
- Silva SM (2013) Quantificação de carbono de um sistema agroflorestal em área de cerrado no Brasil Central.
- Smith JE, Heath LS (2002) A model of forest floor carbon mass for United States forest types. United States Department of Agriculture
- Soares-Filho BS, Rajão R, Macedo M, Carneiro A, Costa W, Coe MT, Rodrigues H, Alencar A (2014) Cracking Brazil's Forest Code. *Science* 344(6182):363–4.
- Thompson B a. (2011) Planning for Implementation: Landscape-Level Restoration Planning in an Agricultural Setting. *Restoration Ecology* 19(1):5–13.
- Woodward FI, Bardgett RD, Raven J a., Hetherington AM (2009) Biological Approaches to Global Environment Change Mitigation and Remediation. *Current Biology* 19(14):R615–R623.

Tabela Suplementar 1. Resumo das características dos projetos avaliados. S=sequestro; M=manutenção de estoques. As siglas representam as classes de uso da terra (vide Tabela 1).

ID	Nome	Localização	Área (ha)	Clima	Estado inicial	Uso; grau de exploração	Regime de fogo	Tipo de solo	Estado final	Objetivo
1	SATOYAMA	Veredinha -MG	2	TS	CED	Sem uso; devastada pelo pisoteio, sobrepasto e exploração carvoeira.	NA	Argiloso não-latossólico	CE	S
2		Veredinha -MG	2	TS	CED	Sem uso; devastada pelo pisoteio, sobrepasto e exploração carvoeira.	NA	Argiloso não-latossólico	CE	S
3		Veredinha -MG	2	TS	CED	Sem uso; devastada pelo pisoteio, sobrepasto e exploração carvoeira.	NA	Argiloso não-latossólico	CE	S
4		Veredinha -MG	5	TS	CED	Sem uso; devastada pelo pisoteio, sobrepasto e exploração carvoeira.	NA	Argiloso não-latossólico	CE	S
5		Veredinha – MG	30	TS	VCD	Sem uso. Degradada pelo pisoteio e exploração carvoeira.	NA	Argiloso não-latossólico	FR	S
6		Veredinha – MG	5	TS	VCD	Sem uso; degradada pelo pisoteio.	NA	Hidromórfico	VC	S
7		Turmalina – MG	10	TS	FR	Proteção permanente; pouco impactada.	NA	Argiloso não-latossólico	FR	M
8		Turmalina – MG	1	TS	VCD	Sem uso; degradada pelo pisoteio.	NA	Hidromórfico	VC	S

continua na próxima página.

Tabela Suplementar 1. Continuação.

ID	Nome	Localização	Área (ha)	Clima	Estado inicial	Uso; grau de exploração	Regime de fogo	Tipo de solo	Estado final	Objetivo
9	QUILOMBO BAÚ	Araçuaí – MG	100	SA	FE	Patrimônio cultural; pouco impactada.	NA	Argiloso não-latossólico	FE	M
10	CLEMENTE	Correntina – BA	3234	TS	CE	Pasto extensivo; pouco impactada.	Bienal	Areia	CE	M
11		Correntina – BA	170	TS	VE	Pasto extensivo; degradada pelo fogo.	Bienal	Hidromórfico	VE	M
12	SAF CACIQUE	Iguapé - CE	4	SA	CTD	Corte-e-queima; degradada por pousio insuficiente.	A cada 5 anos	Argiloso não-latossólico	ACA	S
13	ENTRE SERRAS	Petrolândia, Tacaratu e Jatobá – PE	150	SA	CE	Extrativismo sustentável; pouco impactada.	NA	Areia	CE	M
14	XAKRIABÁ	São João das Missões -MG	14000	TS	CE	Extrativismo sustentável; pouco impactada.	NA	Latossolo	CE	M
15		São João das Missões -MG	6000	SA	FE	Extrativismo sustentável; pouco impactada.	NA	Argiloso não-latossólico	FE	M
16	TERRA VIVA	Porto Alegre do Norte – MT	18	TS	FR	Proteção permanente; degradada pelo fogo.	Anual	Argiloso não-latossólico	FR	M
17		Porto Alegre do Norte – MT	28	TS	PD	Pasto convencional; degradada pelo pisoteio.	NA	Latossolo	ACE	S
18	KALUNGA	Cavalcante – GO	40	TS	CE	Extrativismo sustentável; pouco impactada.	NA	Latossolo	CE	M
19	PICO DO JABRE	Maturéia – PB	60	SA	CAD	Pasto extensivo; degradada pelo sobrepasto.	NA	AAA	ACA	S
20		Maturéia – PB	95	SA	CA	Exploração de lenha; degradada pelo uso indevido.	NA	AAA	CA	M
21	JANUÁRIA	Januária – MG	400	TS	CE	Extrativismo sustentável; pouco impactada.	NA	Areia	CE	M
22	CANA-BRAVA	Santa Brígida – BA	100	SA	CA	Extrativismo sustentável; pouco impactada.	NA	AAA	CA	M
23	PALMARES	Planaltina – DF	1	TS	PD	Pasto convencional; degradada pelo pisoteio.	NA	Latossolo	ACE	S
24	ABM	Carolina – MA	35	TS	FR	Proteção permanente; pouco impactada.	NA	Areia	FR	M
26	RECATINGAMEN TO	Maturéia – PB	5	SA	CAD	Pasto extensivo; degradada pelo sobrepasto.	NA	AAA	CA	S
27	CHAPADINHA	Lago Oeste – DF	5	TS	CED	Sem uso; degradada pelo fogo.	Trienal	Latossolo	FR	S
29	GERAZERAS	São Desidério – BA	20000	TS	VE	Pasto extensivo; pouco impactada	NA	Hidromórfico	VE	M
30		São Desidério – BA	500	TS	FE	Extrativismo sustentável; pouco impactada.	NA	Argiloso não-latossólico	FE	M

continua na próxima página.

Tabela Suplementar 1. Continuação.

ID	Nome	Localização	Área (ha)	Clima	Estado inicial	Uso; grau de exploração	Regime de fogo	Tipo de solo	Estado final	Objetivo
31	CORDEIROS	Cordeiros- BA	323	TS	CE	Extrativismo sustentável; pouco impactada.	NA	Argiloso não-latossólico	CE	M
32		Cordeiros- BA	17	TS	FR	Proteção permanente; pouco impactada.	NA	Hidromórfico	FR	M
33	AFAVE	Veredinha -MG	17,5	TS	FR	Proteção permanente; pouco impactada.	NA	Argiloso não-latossólico	FR	M
34	ASPASO	Cavalcante – GO	10	TS	FR	Proteção permanente; pouco impactada.	NA	Hidromórfico	FR	M
35	AMERICANA	Grão Mogol – MG	895	TS	CE	Pasto extensivo; pouco impactada	NA	Latossolo	CE	M
36	ARESOL	Monte Santo – BA	270	SA	CA	Extrativismo sustentável; pouco impactada.		Argiloso não-latossólico	CA	M
37	AMJUS	São Miguel do Gostoso – RN	600	SA	CTD	Corte-e-queima; degradada por pousio insuficiente.	NA	Areia	CA	S
39	LADEIRA GRANDE	Casa Nova – BA	150	SA	CA	Pasto extensivo; pouco impactada	NA	Areia	CA	M
41	COOPERA CAJU	Serra do Mel – RN	235	SA	CA	Reserva legal; pouco impactada.	NA	Areia	CA	M
42	PAUS DÓIAS	Exú – PE	30	SA	CA	Reserva legal; pouco impactada.	NA	Areia	CA	M
46		Exú – PE	20	SA	CTD	Corte-e-queima; degradada por pousio insuficiente.	NA	NA	ACA	S
47		Exú – PE	30	SA	CTD	Corte-e-queima; degradada por pousio insuficiente.	NA	NA	CA	S
43	XAKRIABÁ PERUAÇU	São João das Missões – MG	380	TS	VED	Pasto extensivo; degradada pelo pisoteio.	NA	Hidromórfico	VE	S
44		São João das Missões – MG	20	TS	FD	Proteção permanente; degradada pelo pisoteio.	NA	Hidromórfico	FR	S