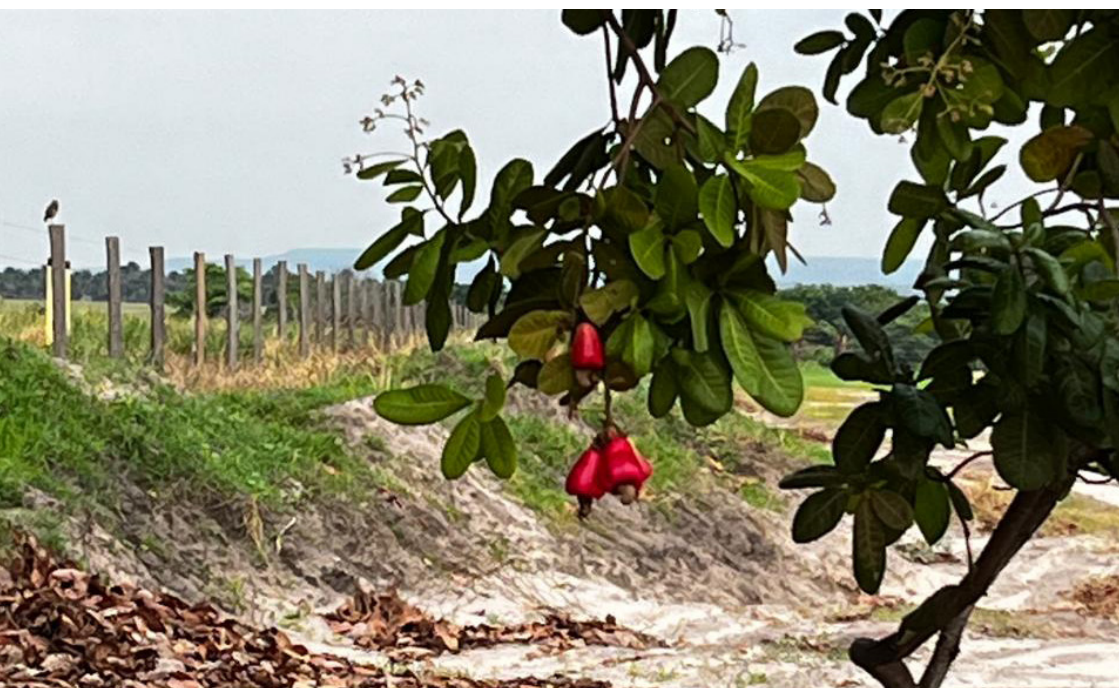


Rio de Janeiro, RJ / Novembro, 2025

Avaliação do serviço ecossistêmico
do solo de regulação climática como
estratégia de mitigação e adaptação às
mudanças climáticas e sua importância
no contexto das políticas públicas

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Embrapa

Solos

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura e Pecuária***

ISSN 1517-2627 / e-ISSN 2966-2443

Documentos 253

Novembro, 2025

**Avaliação do serviço ecossistêmico
do solo de regulação climática como
estratégia de mitigação e adaptação às
mudanças climáticas e sua importância
no contexto das políticas públicas**

Joyce Maria Guimarães Monteiro

Dafne Godoy

Elaine Cristina Cardoso Fidalgo

Aline Pacobahyba de Oliveira

Rachel Bardy Prado

Cynara Alets Sthuaeth Souza de Melo França

***Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2025***

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1024.
Jardim Botânico.
Rio de Janeiro, RJ
22460-000
www.embrapa.br/solos
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações

Presidente

Cláudia Pozzi Jantalia

Secretário-executivo

Marcos Antônio Nakayama

Membros

*Bernadete da Conceição Carvalho
Gomes Pedreira, David Vilas Boas
de Campos, Evaldo de Paiva Lima,
Helga Restum Hissa, José Francisco
Lumbreras, Joyce Maria Guimarães
Monteiro, Lucia Raquel Queiroz Pereira
da Luz, Maurício Rizzato Coelho e
Wenceslau Geraldes Teixeira*

Edição executiva

Marcos Antônio Nakayamal

Revisão de texto

Marcos Antônio Nakayama

Normalização bibliográfica

Luciana Sampaio de Araujo

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Foto da capa

Aline Pacobahyba de Oliveira

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Solos

Avaliação do serviço ecossistêmico do solo de regulação climática como estratégia de
mitigação e adaptação às mudanças climáticas e sua importância no contexto das
políticas públicas / Joyce Maria Guimarães Monteiro ... [et al.]. — Rio de Janeiro :
Embrapa Solos, 2025.

PDF (33 p.). — (Documentos / Embrapa Solos, e-ISSN 2966-2443 ; 253)

1. Solo. 2. Mudança Climática. 3. Sequestro de Carbono. 4. Políticas Públicas.
I. Monteiro, Joyce Maria Guimarães. II. Godoy, Dafne. III. Fidalgo, Elaine Cristina
Cardoso. IV. Oliveira, Aline Pacobahyba de. V. Prado, Rachel Bardy. VI. França, Cynara
Alets Sthuasth Souza de Melo. VII. Embrapa Solos. VIII. Série.

CDD (23. ed.) 631.4

Autores

Joyce Maria Guimarães Monteiro

Engenheira-agrônoma, doutora em Planejamento Energético, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Dafne Godoy

Geógrafa, bolsista (PronaSolos/Finep) da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Elaine Cristina Cardoso Fidalgo

Engenheira-agrônoma, doutora em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Aline Pacobahyba de Oliveira

Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Rachel Bardy Prado

Bióloga, doutora em Ciências da Engenharia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Cynara Alets Sthuaeth Souza de Melo França

Bióloga, doutora em Geografia, bolsista (PronaSolos/Finep) da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Apresentação

O solo constitui um dos principais componentes da biosfera com capacidade de regulação climática, atuando como fonte e sumidouro de gases de efeito estufa (GEE) e como reservatório de carbono orgânico. Esse papel estratégico é valorizado nas políticas públicas brasileiras voltadas para o alcance das metas de mitigação e adaptação do setor agropecuário previstas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Plano ABC e pelos compromissos assumidos no âmbito do Acordo de Paris, demonstrando sua importância no contexto das políticas públicas brasileiras.

Este manuscrito apresenta uma metodologia para quantificação do estoque de carbono do solo a partir dos dados do levantamento para a classificação dos solos como uma aproximação para a avaliação do serviço ecossistêmico de regulação climática em sistemas agrícolas. A avaliação de serviço ecossistêmico (SE) foi ilustrada em um estudo de caso que considerou como aproximação do serviço ecossistêmico do solo (SES) o potencial de mudança do estoque de carbono do solo devido à recuperação de pastagens degradadas nos tipos de solo predominantes no município de Campo Grande, MS.

Trata-se, portanto, de um convite à revalorização do solo como infraestrutura natural para o clima, ressaltando o serviço ecossistêmico do solo de regulação climática, associado ao potencial de mudança do estoque de carbono do solo e às práticas de manejo sustentável, como estratégia nacional de mitigação de GEE e adaptação dos agroecossistemas às mudanças climáticas.

Marisa Teixeira Mattioli

Chefe-Geral em exercício da Embrapa Solos

Sumário

Introdução	9
Políticas públicas de mudanças climáticas e os serviços ecossistêmicos do solo (SES) como estratégia de mitigação e adaptação	11
Proposta metodológica para avaliar o serviço ecossistêmico do solo de regulação climática, a partir de estudo de caso desenvolvido em Campo Grande, MS	19
Aplicação da metodologia proposta no município de Campo Grande, MS	21
Considerações finais	25
Referências	26

Introdução

A produção agropecuária sustentável está no topo da agenda política global, impulsionada pelos desafios de produzir alimentos suficientes para alimentar a crescente população mundial e promover um uso mais eficiente e prudente dos recursos naturais. Esses desafios levam a uma expectativa social de que o setor agrícola deve aumentar a oferta e a diversificação da produção e, ao mesmo tempo, contribuir para a manutenção de serviços ecossistêmicos. Os serviços ecossistêmicos são definidos como as contribuições diretas e indiretas de um ecossistema para o bem-estar humano, tais como o fornecimento de água limpa, habitats para a biodiversidade, a reciclagem de nutrientes e a mitigação às mudanças climáticas (TEEB, 2010).

O solo e seus múltiplos serviços ecossistêmicos associados têm um papel importante neste processo. Os serviços ecossistêmicos do solo (SES) são definidos como os fluxos de serviços direta e indiretamente úteis aos seres humanos, gerados pelo capital natural solo. O manejo do uso da terra afeta os estoques de capital natural do solo, ou seja, suas propriedades e, portanto, os fluxos de SES (Dominati et al., 2010). No entanto, muitas vezes a escassez de informações organizadas sobre SES constitui a principal deficiência para sua avaliação (Dominati et al., 2010; Ellili-Bargaoui et al., 2023).

As opções de mitigação e adaptação às mudanças climáticas no setor agropecuário têm estreita relação com a provisão dos serviços ecossistêmicos prestados pelos solos. Pelo lado da mitigação, o solo é o principal reservatório de carbono do ecossistema terrestre e seu uso e manejo podem ser analisados quanto a sua contribuição para a emissão ou redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Mielniczuk et al., 2003). Pelo lado da adaptação, o manejo adequado do solo pode reduzir a vulnerabilidade e aumentar a resiliência dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas (Monteiro et al., 2017).

No Brasil, algumas políticas preveem, direta ou indiretamente, a provisão dos SES como forma de cumprir metas de redução de emissões de GEE no setor agrícola. A Política Nacional de Mudança do

Clima (PNMC) (Brasil, 2009) previu a criação do Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, conhecido como Plano ABC (Brasil, 2012), atualizado em 2021 como o Plano de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC+) para o período de 2020–2030 (Brasil, 2021a). Ambos preveem o fortalecimento das estratégias que incorporam a gestão do uso do solo nas propriedades rurais, visando à mitigação e à adaptação às mudanças climáticas. Também, na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) assumida pelo Brasil como parte do Acordo de Paris da UNFCCC, a fim de reduzir as emissões de GEE nacionais até 2030, no que tange ao setor agrícola, está proposto o fortalecimento do Plano ABC, com o aumento de suas metas de recuperação de pastagens degradadas e implantação de sistemas de integração sustentáveis, como a Integração Lavoura-Pecuária-Florestas (ILPF), até 2030 (Brasil, 2015).

Este documento descreve uma proposta metodológica para a avaliação do serviço ecossistêmico de regulação climática do solo como estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, a partir de um estudo de caso desenvolvido em Campo Grande, MS. Complementarmente apresenta políticas nacionais que tratam da mitigação e adaptação às mudanças climáticas que preveem, direta ou indiretamente, a provisão dos serviços ecossistêmicos do solo.

Cabe destacar que o Brasil está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Nesse contexto, iniciativas que visem apoiar as políticas climáticas do setor agrícola devem considerar, além dos desafios e oportunidades do setor agropecuário frente às mudanças climáticas, os aspectos sociais, ambientais e econômicos, contribuindo assim não só para a ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima, mas, também para os ODS 2 – Fome zero e agricultura sustentável, ODS-6 – Água limpa e saneamento, ODS 7 – Energia acessível e limpa, ODS 12 – Consumo e produção sustentável e ODS 15 – Vida terrestre.

Políticas públicas de mudanças climáticas e os serviços ecossistêmicos do solo (SES) como estratégia de mitigação e adaptação

Em 2009, o Brasil anunciou internacionalmente, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, conhecida pela sigla em inglês como UNFCCC, que iria assumir metas voluntárias para reduzir as emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% das suas emissões projetadas até 2020, principalmente por meio da redução de 80% da taxa de desmatamento na Amazônia e de 40% no Cerrado, mas também pela ampliação do uso de práticas de manejo sustentáveis na agricultura. O marco legal para a ratificação desses compromissos foi a Lei nº 12.187/2009, que estabelece a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) (Brasil, 2009). O Decreto nº 7.390/2010 regulamentou a PNMC e criou o Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura de 2010 a 2020, conhecido como Plano ABC (Brasil, 2010).

O objetivo do Plano ABC é promover a redução das emissões de GEE na agricultura, melhorando a eficiência no uso de recursos naturais e aumentando a resiliência de sistemas produtivos e de comunidades rurais, possibilitando a adaptação do setor agropecuário às mudanças climáticas (Brasil, 2012). O Plano ABC foi estruturado em sete Programas: 1) Recuperação de Pastagens Degradadas (RAD); 2) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs); 3) Sistema Plantio Direto (SPD); 4) Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN); 5) Florestas Plantadas; 6) Tratamento de Dejetos Animais; e 7) Adaptação às Mudanças Climáticas. O potencial de mitigação por redução de emissão de

GEE previsto para o período de 2010 a 2020 foi de 133,9 a 162,9 milhões de Mg CO₂ eq (Brasil, 2012).

Em 2021, o Plano ABC foi atualizado para o Plano de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC+) para o período de 2020-2030 (Brasil, 2021a). O Plano ABC+ incentiva os Programas, Práticas, Produtos e Processos de Produção Sustentáveis (SPSABC), totalizando 8 tecnologias ABC, a saber: 1) Sistema de Plantio Direto: Sistema Plantio Direto de Grãos e Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH); 2) Sistemas Irrigados (SI); 3) Terminação Intensiva (TI); 4) Práticas para Recuperação de Pastagens Degradadas (PRPD) – recuperação e renovação de pastagens; 5) Sistemas Intensivos (ILPF e SAF); 6) Florestas Plantadas; 7) Bioinsumos – Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e Microrganismos Promotores do Crescimento de Plantas (MPCP); e 8) Manejo de Resíduos da Produção Animal (MRPA). As tecnologias ABC também têm benefícios reconhecidos para a adaptação às mudanças climáticas, principalmente devido ao aumento da resiliência e da eficiência dos agrossistemas. As metas do Plano ABC+ incluem ampliar a área de adoção das tecnologias ABC em 72,68 milhões de hectares, incluindo a restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030, aumentar em 208,40 milhões de m³ os resíduos animais tratados e abater 5 milhões de bovinos em terminação intensiva, com uma capacidade de mitigação equivalente a 1.110,34 milhões de Mg CO₂ eq até 2030 (Brasil, 2021a).

Em paralelo, desde 2015, o país assinou o Acordo de Paris (ratificado pelo Congresso Nacional em setembro de 2016). Na ocasião, o Brasil determinou sua forma de contribuição para manter o aumento da temperatura global abaixo de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais. Nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) brasileiras está prevista uma redução de 37% das emissões de GEE em 2025 com base nos níveis de 2005 e de 43% prevista até 2030. No setor agrícola, a proposta era fortalecer o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) como a principal estratégia para o desenvolvimento sustentável

na agricultura, inclusive por meio da restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 e da implantação de 5 milhões de hectares de sistemas de ILPF até 2030 (Brasil, 2015).

No setor florestal, pretendia-se fortalecer políticas e medidas com vistas a alcançar, na Amazônia brasileira, o desmatamento ilegal zero até 2030 e a compensação das emissões de gases de efeito estufa provenientes da supressão legal da vegetação até 2030; restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, entre outras ações. No âmbito do Acordo de Paris, os países concordaram em apresentar novas NDCs a cada cinco anos, refletindo a “maior ambição possível”. Em 2021, a NDC foi atualizada e o compromisso passou a ser reduzir as emissões em 50% até 2030. Para tanto, dentre outras ações, o Brasil contabilizou as metas previstas no Plano ABC+.

A Tabela 1 apresenta uma breve descrição sobre as tecnologias ABC previstas no Plano ABC+ (Brasil, 2021a) e ressalta seus principais impactos para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, bem como o fornecimento de serviços ecossistêmicos.

As tecnologias conservacionistas previstas no Plano ABC+ estão vinculadas à economia de baixo carbono, promovendo a mitigação das emissões de GEE na agricultura e auxiliando a ampliação da capacidade de adaptação do setor agropecuário. Todas as tecnologias ABC promovem impactos positivos na provisão de serviços ecossistêmicos e aumentam a resiliência dos sistemas agrícolas frente aos impactos das mudanças climáticas, como os eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes (Monteiro et al., 2017, 2019; Manzatto et al., 2020; Assad, et al., 2022). Também a conservação e a restauração florestal, além do potencial de sequestro e armazenamento de carbono na biomassa aérea e no solo, contribuem para a redução de enchentes (FAO, 2005), aumentando a resiliência dos sistemas de produção agropecuários de forma geral, com grande potencial para mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

Tabela 1. Descrição das tecnologias ABC+ e seus benefícios para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas e serviços ecossistêmicos

Tecnologias ABC	Descrição	Benefícios para a mitigação, adaptação às mudanças climáticas e serviços ecossistêmicos
Plantio direto	Revolvimento do solo restrito às linhas de semeadura, rotação de culturas, com a manutenção dos resíduos culturais na superfície, cobertura permanente do solo e incorporação dos resíduos vegetais da cultura anterior no solo.	Aumenta o estoque de carbono do solo devido à adição perene de matéria orgânica; reduz emissões de CO ₂ em função do menor revolvimento e da cobertura permanente do solo; reduz o uso de combustíveis fósseis devido à menor utilização de maquinário; reduz emissões de óxido nitroso (N ₂ O) devido à maior eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados; aumenta a conservação do solo e da água no solo, em função da redução dos processos erosivos, bem como da melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo; aumenta a produção por área, o que reduz a pegada de carbono.
Sistemas de integração	Integra atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais em uma mesma área. Ex.: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Integração Lavoura-Pecuária (LP), Integração Pecuária-Floresta (IPF), Sistemas Agroflorestais (SAF).	Incrementam o sequestro de carbono atmosférico devido ao componente arbóreo e/ou à diversificação do sistema; aumentam a biodiversidade; melhoram a conservação do solo e da água; aumentam o conforto térmico e o microclima (bem-estar animal, umidade do solo); incrementam a eficiência no uso de fertilizantes por área, minimizando perdas de nutrientes e a emissão de N ₂ O; aumentam a produção por área, o que reduz a pegada de carbono

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Tecnologias ABC	Descrição	Benefícios para a mitigação, adaptação às mudanças climáticas e serviços ecossistêmicos
Bioinsumos	Fixação biológica de nitrogênio (FBN), microrganismos promotores do crescimento de plantas (MPCP) e multifuncionais que atuam na melhoria da fixação e/ou na disponibilidade de nutrientes (ex.: fitormônios, micorrizas, inoculantes).	Reduzem as emissões de GEE da fabricação, transporte e uso de fertilizantes sintéticos, principalmente os nitrogenados (redução de N_2O); favorecem o sistema radicular das plantas aumentando o aproveitamento hídrico, a incorporação de C no solo e o rendimento por área, reduzindo a pegada de carbono.
Manejo de resíduos animais	Tratamento dos resíduos como fezes, urina, restos de alimentos, camas e carcaças de animais mortos, por meio da biodigestão ou da compostagem, produzindo, respectivamente, biogás ou biofertilizantes.	A decomposição anaeróbica de compostos orgânicos gera metano, e a queima do biogás gera dióxido de carbono, que tem um potencial de aquecimento global (GWP) menor do que o metano, contribuindo como uma fonte limpa de energia; o biofertilizante pode substituir parte dos fertilizantes sintéticos, reduzindo a emissão de óxido nitroso (N_2O). Reduz a poluição hídrica e a propagação de doenças, devido à destinação correta dos resíduos orgânicos.
Recuperação de áreas degradadas	Recuperar ou renovar pastagens com algum grau de degradação, por meio do manejo, como o pastejo rotacionado, fertilização, calagem ou pela introdução de uma nova forrageira e/ou leguminosa.	A recuperação de pastagens resulta em ganho de produtividade biológica, armazenando mais carbono na biomassa acima e abaixo do solo, bem como no aumento da biodiversidade; pastagens recuperadas são mais produtivas e mais nutritivas, o que torna o sistema de produção mais eficiente, o que, por sua vez, reduz as emissões de metano (CH_4) entérico por quilo de carne ou litro de leite produzido, reduzindo a pegada de carbono.

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Tecnologias ABC	Descrição	Benefícios para a mitigação, adaptação às mudanças climáticas e serviços ecossistêmicos
Florestas plantadas	O plantio de florestas de espécies exóticas como eucalipto, pinus e acácia ou de espécies nativas.	As árvores absorvem carbono da atmosfera e armazenam grande quantidade de carbono. São utilizadas em atividade de compensação das emissões de carbono decorrentes do uso de bens e serviços e no mercado de carbono. Ambientes florestados auxiliam na conservação do solo e da água, melhoram o microclima, protegem encostas, aumentam a beleza cênica e fornecem produtos que podem ser utilizados como fonte de combustível renovável. Podem acumular mais carbono no solo que pastagens mal manejadas.
Sistemas irrigados	Uso de equipamentos e sistemas para fornecer água às plantas.	Aumenta a produção por unidade de área e evita a necessidade de abertura de novas fronteiras agrícolas; possibilita a fertilirrigação e o aproveitamento de dejetos animais; evita quebras de safra por alterações no regime hídrico.
Terminação intensiva (TI)	Intensificação do manejo alimentar na fase final de produção de bovinos destinados ao abate, principalmente pela adoção de regimes de confinamento, semi-confinamento e suplementação a pasto.	Reduz a intensidade de emissão de forma direta, ao reduzir as emissões de metano durante a fermentação no rúmen, e de forma indireta, ao encurtar o ciclo de produção, permitindo o abate de animais mais jovens; promove a versatilidade no uso de pastagens, contribuindo para a redução da vulnerabilidade dos sistemas de produção agropecuários e para o aumento da resiliência dos sistemas de produção de bovinos de corte.

Fonte: Adaptado de Brasil (2021a).

De fato, os diferentes tipos de manejo sustentável podem auxiliar no aumento do estoque de carbono do solo (ECS). Entre as práticas que se destacam estão o sistema de plantio direto (SPD), os sistemas agroflorestais (SAF), a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e a recuperação de pastagens degradadas, que contribuem para reduzir as perdas de carbono do solo e melhorar sua capacidade de sequestro de carbono, resultando na provisão de serviço ecossistêmico do solo de regulação climática.

Vários autores calcularam as taxas de mudança do ECS devido ao manejo do solo e derivaram taxas de sequestro de carbono do solo por meio de modelos que, em geral, incluem a variação por tipo de solo, classe de textura, profundidade do solo e as escalas espaciais (bioma, região, país) e temporais (Ogle et al., 2004, 2005; Bayer et al., 2006; Maia et al., 2009, 2013; Sanderman; Baldock, 2010). A Tabela 2 reúne alguns exemplos de taxas de de sequestro em CO_2eq estimadas nesses estudos, associados a algumas práticas de agricultura de baixo carbono previstas nas políticas de mudanças climáticas no Brasil.

As taxas de sequestro de carbono do solo por área em $\text{MgCO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ devido às tecnologias conservacionistas previstas no Plano ABC+ (tecnologias ABC+) são amplamente referenciadas na literatura científica (Tabela 2). Alguns desses trabalhos citam mais detalhes, como a escala temporal, a profundidade de amostragem, o tipo de solo e o teor de argila, enquanto outros trabalham com médias para vários tipos de solo e profundidades.

Para que haja impactos positivos das tecnologias ABC+ para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, é preciso fazer uso de indicadores ambientais. Um dos caminhos para tal é utilizar a abordagem dos serviços ecossistêmicos (Millennium Ecosystem Assessment, 2003), que aproxima a ciência dos tomadores de decisão e apresenta metodologias para medir os serviços (benefícios) prestados pelos ecossistemas. Nesse sentido, o presente estudo apresenta uma proposta metodológica para avaliar o serviço ecossistêmico do solo de regulação climática, a partir de estudo de caso desenvolvido em Campo Grande, MS.

Tabela 2. Potencial de sequestro de carbono do solo ($\text{MgCO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) associado às tecnologias conservacionistas previstas no Plano ABC+..

Tecnologia ABC	Taxa anual de sequestro de C ($\text{Mg CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	Escala temporal	Fonte/notas
Plantio Direto	1,83	10	Plano ABC (Brasil, 2012) Cerri et al. (2007)
	1,95	10	Plano ABC+ (Brasil, 2021a)
	2,31	20	Maia et al. (2022)/média Brasil para profundidade do solo de 0–30 cm
Recuperação de pastagens degradadas	3,79	20	Plano ABC (Brasil, 2012) e Plano ABC+ (Brasil, 2021a) a partir do valor default IPCC (Eggleston et al., 2006), que considera 20 anos e 0–30 cm profundidade do solo
	2,64	-	Conant et al. (2001, 2017) e Salton et al. (2011)/média para o Brasil considerando o consórcio com leguminosas
	2,68	-	Salton (2005) e Salton et al. (2011)/média para o Brasil
	4,11	-	Salton et al. (2011)/Campo Grande (MS), consórcio de leguminosas, profundidade de 0–20 cm
Sistema de Integração	ILPF	10	Plano ABC (Brasil, 2012) e Plano ABC+ (Brasil, 2021a)
	ILPF	-	Conceição et al. (2017)/Latosolo Vermelho Amarelo argiloso (argila = 56%)/Cerrado, profundidade solo 0–30 cm
	ILP	4	Carvalho et al. (2010)/Cerrado
	ILP	20	Oliveira et al. (2022)/Cerrado profundidade do solo 0–30 cm

Proposta metodológica para avaliar o serviço ecossistêmico do solo de regulação climática, a partir de estudo de caso desenvolvido em Campo Grande, MS

O estoque de carbono do solo (ECS) é dinamicamente equilibrado com seu ambiente (Lal et al., 2015). A mudança de uso e cobertura dos solos e as práticas de manejo dos solos afetam o balanço de carbono do solo e fluxos associados, podendo levar a perdas significativas de carbono na forma de CO_2 , resultando na variabilidade espacial e temporal dos estoques de carbono do solo (Stockmann et al., 2013).

O sequestro de carbono do solo é considerado um indicador do serviço ecossistêmico do solo de regulação climática e pode ser estimado pela variação do estoque de carbono nos solos. O sequestro de carbono pelos solos representa o principal mecanismo de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) nos ecossistemas terrestres (Lal, 2014). O balanço de carbono e, consequentemente, o sequestro pelo solo são modulados pelos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, por outros fatores ambientais (relevo, clima, vegetação) e pelo uso das terras, incluindo as práticas de manejo.

O levantamento de solos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, fornece informações sobre aspectos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e biológicos, com o objetivo de sua caracterização, classificação e cartografia (Santos et al., 2018). Os dados provenientes dos levantamentos de solo são públicos e podem ser utilizados como base para os zoneamentos agrícolas, agroecológicos e ecológico-econômicos, e podem também vir a subsidiar a avaliação dos SES de regulação climática.

O estoque de carbono nos solos (ECS) está diretamente relacionado ao teor de carbono orgânico do solo (COS), à densidade do solo

(Ds), à classe do solo, à textura e ao uso do solo e ao manejo do solo. A partir do teor de carbono orgânico e da densidade do solo é possível calcular o ECS, utilizando a Equação 1 (Ellert; Bettany, 1995):

$$\text{ECS} = \frac{C \times Ds \times p}{10} \quad (1)$$

em que:

ECS é o estoque de carbono do solo (Mg ha^{-1}).

C é o teor de carbono orgânico do solo (g kg^{-1}).

Ds é a densidade do solo (Mg m^{-3}).

p é a profundidade (cm).

O teor de carbono orgânico do solo (COS) por horizonte e perfil está disponível nos levantamentos de solo. A densidade do solo (Ds) nem sempre consta nos levantamentos dos solos, já que tal propriedade não é necessária para distinguir um determinado tipo ou classe de solo dos demais (Santos et al., 2018).

Como a densidade do solo não é medida de forma expedita no campo, é comum o uso das funções de pedotransferência para estimar a densidade do solo (conhecidas pela sigla PTF-Ds). As PTF-Ds são modelos preditivos geralmente baseados em propriedades físicas e químicas disponíveis nos levantamentos, como a granulometria (teores das frações areia, silte e argila), conteúdo de carbono orgânico, pH e soma de cátions (Pimentel, et al., 2024; Reis et al., 2024). No que se refere à profundidade das camadas do solo para avaliação do ECS é comum utilizar a profundidade até 30 cm, conforme sugerida pelo IPCC (Eggleston et al., 2006) e adotada pelos inventários nacionais de GEE (Brasil, 2021b). Isso se justifica porque as camadas mais superficiais do solo (aráveis) são as mais alteradas pelos sistemas de manejo do solo, podendo contribuir de forma mais efetiva para a mitigação das mudanças climáticas (Abdalla et al., 2013; Sá et al., 2017). Os dados dos levantamentos do solo são coletados por horizontes (horizonte A, B, C) em cada perfil de solo descrito, e a profundidade

dos horizontes não necessariamente coincide com as profundidades usualmente adotadas para o cálculo do ECS (30 cm). Assim, é necessário adequar o conteúdo de carbono ponderando-o pela proporção da altura de cada horizonte para completar os 30 centímetros de solo.

O estoque de carbono do solo pode ser estimado pela mediana dos valores calculados a partir dos dados do levantamento do solo (tendência central menos influenciada pelos valores extremos). Já o potencial de mudança de estoque de carbono do solo devido à adoção de tecnologia ABC pode ser estimado a partir da diferença entre os valores medianos de ECS e os valores de percentil 90%. Ao considerar o percentil de 90%, assume-se que os valores de ECS podem atingir somente 90% a mais que o conjunto de valores utilizados para o cálculo para estimar a mediana, sendo uma medida conservadora.

Aplicação da metodologia proposta no município de Campo Grande, MS

Foi considerado como estudo de caso o município de Campo Grande, MS, para ilustrar a quantificação do ECS e do potencial de mudança de estoque de carbono do solo como uma estimativa para a avaliação do serviço ecossistêmico de regulação climática, utilizando os dados do levantamento de solo (Mothci; Amaral, 1979; Motta et al., 2013).

A escolha do município foi devido à disponibilidade de dados e informações de solos. Campo Grande possui importância econômica para o país enquanto produtor de commodities, com suas terras ocupadas primeiramente por pastagens, 530.000 ha, que compõem 65% da sua área total sendo 490.000 ha de pastagens com nível

intermediário e avançado de degradação (Universidade Federal de Goiás, 2022), e com uma área agrícola plantada/colhida de mais de 165.000 ha, ocupada principalmente com culturas de grãos, como soja 60% e milho 36% (IBGE, 2022). De acordo com o mapa de solos (1:100.000) deste município (Motta et al., 2013), as unidades de mapeamento (UM) mais abrangentes são aquelas cujo componente dominante é o Neossolo Quartzarênico, que cobrem aproximadamente 368.782 ha. Em seguida, estão as áreas onde o Latossolo Vermelho predomina, totalizando cerca de 337.791 ha.

Foi adotada a PTF de Reis et al. (2024) para estimar a DS (Equação 2). Essa PTF é uma das onze PTFs estudadas por Pimentel et al. (2024) com maior acurácia para estimar a DS no estado do Mato Grosso do Sul.

$$PTF - DS = 1,198 + 2,971 \cdot 10^{-3} (areiaf) + 4,472 \cdot 10^{-3} (areiag) - 8,706 \cdot 10^{-1} (argila) \quad (2)$$

em que:

PTF-DS é a densidade calculada pela função de pedotransferência (g cm^3).

areiaf é o conteúdo de areia fina (%).

areiag é o conteúdo de areia grossa (%).

argila é o conteúdo de argila (%).

Assim, a partir dos dados de granulometria dos horizontes dos perfis descritos para Campo Grande, MS, foi obtida a DS. Considerando a DS e o COS para cada um dos horizontes dos perfis, obtém-se o ECS por horizonte (Equação 1), que então é calculado até a profundidade de 30 cm.

Optou-se pela apresentação da mediana dos ECS, pois ela é a medida de tendência central menos influenciada pelos valores extremos. Os resultados referem-se aos solos sob pastagens, que é o uso do solo predominante no município, para as classes de solos mais representativas do município de Campo Grande, MS e às diferenças entre as

medianas e o percentil 90%, assumidas como potencial de ganho de ECS pela recuperação dessas pastagens. A Tabela 3 apresenta a área de pastagens por tipo de solo predominante em Campo Grande, MS.

A Tabela 4 apresenta o número de amostras (n) do levantamento de solos de Campo Grande, MS (Mothci; Amaral, 1979; Motta et al., 2013) das classes de solo mais representativas sob pastagens e a estimativa do ECS (Equação 1) e do potencial de ganho de carbono do solo, calculado pela diferença entre o valor da mediana e do percentil 90% do ECS.

Dessa forma, a partir dos dados e informações dos levantamentos para classificação do solo foi possível estimar valores de ECS em Mg ha⁻¹ de pastagens por tipo de solo e um potencial de ganho de

Tabela 3. Área de pastagens por tipo de solo (hectares) em Campo Grande, MS.

Tipo de solo	Total (ha)
Latossolo Vermelho	197.184,45
Neossolo quartzarênico	301.424,00
Total	498.608,45

Fonte: Motta et al. (2010) e Projeto MapBiomias (2023).

Tabela 4. Classe de solo predominante sob pastagens, número de amostras (n), estoque de carbono do solo (ECS) e potencial ganho de estoque de carbono do solo até 30 cm (MgC ha⁻¹) no município de Campo Grande, MS.

Classe de solo	n	ECS até 30 cm (MgC ha ⁻¹)	Percentil 90 ECS até 30 cm (MgC ha ⁻¹)	Potencial de ganho de ECS até 30 cm (MgC ha ⁻¹)
Latossolo Vermelho	14	44,0	65,5	21,5
Neossolo Quarta-rênico	6	26,0	29	3,0

Fonte: Mothci e Amaral (1979) e Motta et al. (2013).

ECS que pode ser considerado como uma aproximação do SES de regulação climática (Tabela 3). Quanto mais completas as informações dos levantamentos dos solos, melhor o nível de informações associadas à informação-alvo, neste caso o ECS e o potencial ganho de ECS.

Os resultados da Tabela 4 estão em conformidade com estudos que investigam a relação entre o estoque de carbono do solo e sua textura. De acordo com Maia et al. (2013), o conteúdo de argila influencia as variações no ECS, com maiores valores de ECS associados a solos de textura fina, que possuem maior concentração de argila, como os Latossolos Vermelhos. Bayer et al. (2006) também sugerem uma maior estabilidade física da matéria orgânica associada à argila, que predomina nos Latossolos. Lal (2007) afirma que solos arenosos tendem a apresentar maiores perdas de carbono, devido à alta magnitude da depleção em solos de textura grossa, como os de textura arenosa, com drenagem excessiva, argilas de baixa atividade e agregação deficiente.

Caso se considere a área de pastagens por tipo de solo no município de Campo Grande, MS, apresentada na Tabela 3, e o potencial de ganho de ECS apresentado na Tabela 4, assumindo que toda essa área de pastagens estaria em um nível intermediário e avançado de degradação e supondo a adoção de práticas de manejo de recuperação de pastagens degradadas, poderia haver um ganho potencial de ECS na faixa de 904 mil MgC, calculado a partir da área de pastagens sob Neossolos Quartzarênicos (Tabela 3) e o potencial de ganho de ECS até 30 cm em pastagens sob o mesmo solo (Tabela 4). Já no caso dos Latossolos Vermelhos, o potencial de estoque de C seria muito superior, de cerca de 4 milhões de MgC, apesar de ocupar menos área. Importante ressaltar a limitação dessa abordagem metodológica, uma vez que não se considerou o estado de degradação das pastagens, tampouco a escala temporal.

Considerações finais

As políticas de mudanças climáticas, como o Acordo de Paris, a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil, e o Plano ABC+, integram diretrizes para a redução de emissões e aumento da resiliência dos sistemas agrícolas. Estima-se que práticas de manejo conservacionista possam aumentar significativamente os estoques de carbono dos solos agrícolas e pastoris do Brasil, bem como aumentar a capacidade de adaptação dos sistemas agrícolas.

A capacidade dos solos em sequestrar e armazenar carbono orgânico é particularmente relevante para as estratégias de mitigação, uma vez que, bem manejado, o solo contribui para a redução das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE). Nas políticas de mudanças climáticas mencionadas neste documento, a recuperação de pastagens degradadas, o sistema de plantio direto e os sistemas integrados como ILP, ILPF e SAF, consideram o potencial de sequestro de carbono do solo ($\text{Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) como o fator de remoção de GEE para atingimento das metas de mitigação. O potencial de sequestro de carbono do solo pode ser estimado pela mudança do estoque de carbono do solo ao longo do tempo.

Indica-se como promissor o uso de informações e dados usados para a descrição dos perfis para o levantamento e classificação dos solos como indicadores para a avaliação de SES de regulação climática, adicionando mais uma funcionalidade aos levantamentos e à descrição do solo. Por meio da metodologia descrita, foi possível utilizar os dados e informações do levantamento de solos do município de Campo Grande, MS, para estimar o estoque de carbono do solo por tipo de solo e uso do solo predominantes e, a partir daí, estimar um potencial ganho no ECS pelo emprego de práticas de manejo sustentáveis, que pode representar o serviço ecossistêmico do solo de regulação climática.

A metodologia proposta poderá ser aprimorada para a implantação das políticas de enfrentamento das mudanças climáticas, inclusive com elaboração de cenários de ganhos potenciais de ECS

a partir de áreas com diferentes níveis de degradação de pastagens e adotando ou não práticas sustentáveis, a fim de demonstrar que a metodologia pode aferir esse potencial e ter aplicabilidade para as políticas públicas que financiam essas práticas.

Referências

ABDALLA, M.; OSBORNE, B.; LANIGAN, G.; FORRISTAL, D.; WILLIAMS, M.; SMITH, P.; JONES, M. B. Conservation tillage systems: a review of its consequences for greenhouse gas emissions. **Soil Use and Management**, v. 29, n. 2, p. 199-209, Jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12030>.

ASSAD, E. D.; CALMON, M.; LOPES-ASSAD, M. L.; FELTRAN-BARBIERI, R.; POMPEU, J.; DOMINGUES, L. M.; NOBRE, C. A. Adaptação e resiliência de sistemas agrícolas às mudanças climáticas locais e eventos extremos: uma revisão integrativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, e72899, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/72899>. Acesso em: 14 nov. 2025.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, F. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, Apr. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.023>.

BRASIL. **Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010**. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm. Acesso em: 14 nov. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 14 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, DF: Mapa, 2012. 173 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/download.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária 2020-2030**: plano operacional. Brasília, DF: Mapa, 2021a. 133 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/final-isbn-plano-setorial-para-adaptacao-a-mudanca-do-clima-e-baixa-emissao-de-carbono-na-agropecuaria-compactado.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF: MCTI, 2021b. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/comunicacoes-nacionais-do-brasil-a-unfccc/arquivos/4comunicacao/4_com_nac_brasil_web.pdf. Acesso em: 17 nov. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF: MMA, 2015. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL%20INDC%20portugues%20FINAL.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUS, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 175-186, Sept. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.011>.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming:

impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 1, p. 83-99, fev. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000100013>.

CONANT, R. T.; CERRI, C. E. P.; OSBORNE, B. B.; PAUSTIAN, K. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. **Ecological Applications**, v. 27, n. 2, p. 662-668, Mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.1473>.

CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E. T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, v. 11, n. 2, p. 343-355, Apr. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0343:GMACIG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2).

CONCEIÇÃO, M. C. G. da; MATOS, E. da S.; BIDONE, E. D.; RODRIGUES, R. de A. R.; CORDEIRO, R. C. Changes in soil carbon stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest system in the Brazilian Amazon Region. **Agricultural Sciences**, v. 8, n. 9, p. 904-913, Sept. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/as.2017.89066>.

DOMINATI, E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics**, v. 69, n. 9, p. 1858-1868, Jul. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>.

EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE K. (ed.). **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em: 17 nov. 2025.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, Nov. 1995. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjss95-075>.

ELLILI-BARGAOUI, Y.; WALTER, C.; LEMERCIER, B.; ARMAND, R.; SELIM, S.; MICHOT, D. The accuracy of soil information influences assessment of soil ecosystem services in Brittany, France. **Geoderma Regional**, v. 34, e00704, Sept. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00704>.

FAO. **Forests and floods: drowning in fiction or thriving on facts?** Bangkok: FAO: CIFOR, 2005. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ae929e>. Acesso em: 17 nov. 2025.

IBGE. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em: 17 nov. 2025.

LAL, R. Carbon management in agricultural soils. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 12, n. 2, p. 303-322, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11027-006-9036-7>.

LAL, R.; NEGASSA, W.; LORENZ, K. Carbon sequestration in soil. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 15, p. 79-86, Aug. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.09.002>.

LAL, R. Soil conservation and ecosystem services. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 3, p. 36-47, Sept. 2014. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30021-6](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30021-6).

MAIA, S. M. F.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; LAL, R.; BERNOUX, M. V. G.; CERRI, C. C. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 75-84, Oct. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.06.002>.

MAIA, S. M. F.; MEDEIROS, A. de S.; SANTOS, T. C. dos; LYRA, G. B.; LAL, R.; ASSAD, E. D.; CERRI, C. E. P. Potential of no-till agriculture as a nature-based solution for climate-change mitigation in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 220, 105368, Jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105368>.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v. 149, n. 1/2, p. 84-91, Feb. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.023>.

MANZATTO, C. V.; ARAUJO, L. S. de; ASSAD, E. D.; SAMPAIO, F. G.; SOTTA, E. D.; VICENTE, L. E.; PEREIRA, S. E. M.; LOEBMANN, D. G. dos S. W.; VICENTE, A. K. **Mitigação das emissões de gases de efeitos**

estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2020. 35 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 122). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123612/1/Manzatto-emissoes-gases-2020.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BESAN, F. M.; LOVATO, T.; FERNÁNDEZ, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de S, 2003. v. 3, p. 209-248.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being:** a framework for assessment. Washington, DC: Island Press, 2003. Disponível em: http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf. Acesso em: 17 nov. 2025.

MONTEIRO, J. M. G.; ANGELOTTI, F.; SANTOS, M. M. de O. Adaptação e mitigação às mudanças climáticas: contribuição dos serviços ecossistêmicos dos solos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, n. 2, p. 32-36, maio/ago. 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1080528/1/2017041.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MONTEIRO, J. M. G.; SCHULER, A. E.; PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; TURETTA, A. P. D.; MARTINS, A. L. da S.; OLIVEIRA, A. P. de; DONAGEMMA, G. K. Soil and water management for ecosystem services provision in agricultural landscapes: the challenge of monitoring. In: NEHREN, U.; SCHLÜTER, S.; RAEDIG, C.; SATTler, D.; HISSA, H. (Ed.). **Strategies and tools for a sustainable rural Rio de Janeiro**. Cham: Springer, 2019. cap. 5, p. 53-67. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-89644-1_5.

MOTHCI, E. P.; AMARAL, J. A. M. do. **Levantamento de reconhecimento-detalhado e aptidão agrícola dos solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Mato Grosso do Sul**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. 225 p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim técnico,

59). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/327954>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MOTTA, P. E. F. da; CARVALHO FILHO, A. de; PEREIRA, N. R.; BHERING, S. B.; CARVALHO JUNIOR, W. de; AGLIO, M. L. D.; AMORIM, A. M.; TAKAGI, J. S.; LOPES, C. H. L.; SOUZA, J. S de; RODRIGUES, R. S.; SILVA, N. C. L. e. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do município de Campo Grande - MS**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

MOTTA, P. E. F. da; PEREIRA, N. R.; CARVALHO FILHO, A. de; GONCALVES, A. O.; BHERING, S. B.; CARVALHO JUNIOR, W. de; AMORIM, A.; SOTOYA, J.; LEMOS, C. H.; AGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. de. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Município de Campo Grande, MS**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 183 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 235). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/980321>. Acesso em: 17 nov. 2025.

OGLE, S. M.; BREIDT, F. J.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**, v. 72, p. 87-121, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-004-0360-2>.

OGLE, S. M.; CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K. Deriving grassland management factors for a carbon accounting method developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Environmental Management**, v. 33, n. 4, p. 474-484, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-003-9105-6>.

OLIVEIRA, D. C. de; MAIA, S. M. F.; FREITAS, R. de C. A.; CERRI, C. E. P. Changes in soil carbon and soil carbon sequestration potential under different types of pasture management in Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 22, n. 3, 87, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01945-9>.

PIMENTEL, L. G.; TEIXEIRA, W. G.; HERNANI, L. C.; BHERING, S. B.; VALLE, L. G. de F. Use of pedotransfer equations (PTF) to estimate soil density in the hydrographic basins of the Amambai, Iguatemi and Ivinhema

Rivers in the State of Mato Grosso do Sul. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 3, e04347, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n3-003>.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 8 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 17 nov. 2025.

REIS, A. M. H. dos; TEIXEIRA, W. G.; FONTANA, A.; BARROS, A. H. C.; VICTORIA, D. de C.; VASQUES, G. M.; SAMUEL-ROSA, A.; OTTONI, M. V.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Hierarchical pedotransfer functions for predicting bulk density in Brazilian soils. **Scientia Agricola**, v. 81, e20220255, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2022-0255>.

SÁ, J. C. de M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, M.; CARVALHO, P. C. de F. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**, v. 98, p. 102-112, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.020>.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/4834>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, out. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>.

SANDERMAN, J.; BALDOCK, J. A. Accounting for soil carbon sequestration in national inventories: a soil scientist's perspective. **Environmental Research Letters**, v. 5, 034003, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/3/034003>.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro**

de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1094003/2/SiBCS2018ISBN9788570358004.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

STOCKMANN, U.; ADAMS, M. A.; CRAWFORD, J. W.; FIELD, D. J.; HENAKAARCHCHI, N.; JENKINS, M.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.; COURCELLES, V. de R. de; SINGH, K.; WHEELER, I.; ABBOTT, L.; ANGERS, D. A.; BALDOCK, J.; BIRD, M.; BROOKES, P. C.; CHENU, C.; JASTROW, J. D.; LAL, R.; LEHMANN, J.; O'DONNELL, A. G.; PARTON, W. J.; WHITEHEAD, D.; ZIMMERMANN, M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 164, p. 80-99, Jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>.

TEEB. **A economia dos ecossistemas e da biodiversidade:** TEEB para formuladores de políticas locais e regionais. [S.l.], 2010. 257 p. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/portaleducacaoambiental/sites/201/2020/09/teeb-para-formuladores-de-politicas-locais-e-regionais.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS. Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. **Atlas das pastagens brasileiras.** Goiânia, 2022. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>. Acesso em: 17 nov. 2025.

