

Mitigação das emissões de Gases de Efeitos Estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

13
AÇÃO CONTRA A
MUDANÇA GLOBAL
DO CLIMA



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 122

Mitigação das emissões de Gases de Efeitos Estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais

*Celso Vainer Manzatto
Luciana Spinelli de Araujo
Eduardo Delgado Assad
Fernanda Garcia Sampaio
Eleneide Doff Sotta
Luiz Eduardo Vicente
Sandro Eduardo Marschhauen Pereira
Daniel Gomes dos Santos W. Loebmann
Andrea Koga Vicente*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2700
Fax: +55 (19) 3311-2640
<https://www.embrapa.br/meio-ambiente/>
SAC: <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente

Ana Paula Contador Packer

Secretária-Executiva

Cristina Tiemi Shoyama

Membros

*Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria
Cristina Tordin, Daniel Terao, Victor Paulo Marques
Simão, Geraldo Stachetti Rodrigues, Vera Lucia
Ferracini, Marco Antonio Gomes*

Revisão de texto

Eliana de Souza Lima

Normalização bibliográfica

Victor Paulo Marques Simão, CRB-8/5139

Editoração eletrônica

Silvana Cristina Teixeira

Fotos da Capa

*Maria Celuta Machado Viana
Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida*

1ª edição

2020

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 Meio Ambiente

Mitigação das emissões de gases de efeitos estufa pela adoção das tecnologias
do Plano ABC: estimativas parciais / Celso Vainer Manzatto ... [et al.]. –
Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2020.
PDF (35p.) – (Documentos / Embrapa Meio Ambiente, 1516-4691 ; 122).

1. Efeito estufa. 2. Agricultura sustentável. 3. Agricultura de baixo carbono. 4.
Plano ABC. I. Manzatto, Celso Vainer. II. Série.

CDD (21.ed.) 363.7

Victor Paulo Marques Simão (CRB-8/5139)

© Embrapa, 2020

Autores

Celso Vainer Manzatto

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Luciana Spinelli de Araujo

Engenheira-florestal, doutora em Ecologia Aplicada, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente/Plataforma ABC, Jaguariúna, SP.

Eduardo Delgado Assad

Engenheiro-agrícola, doutor em Hidrologia e Matemática, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP.

Fernanda Garcia Sampaio

Zootecnista, doutora em Ciências Fisiológicas, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Eleneide Doff Sotta

Engenheira Florestal, doutora em Geotecnologias, pesquisadora da Embrapa Amapá, Macapá, AP.

Luiz Eduardo Vicente

Geógrafo, doutor em Ciências da Terra, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente/Plataforma ABC, Jaguariúna, SP.

Sandro Eduardo Marschhauen Pereira

Engenheiro Civil, doutor em Meio Ambiente, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Daniel Gomes dos Santos W. Loebmann

Geógrafo, mestre em Geografia, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Andrea Koga Vicente

Geógrafa, doutora em Modelagem Ambiental, bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Apresentação

A modernização e o crescimento do setor agropecuário permitiram ao Brasil elevar sua produção e produtividade, aproveitando a diversidade de suas condições edafoclimáticas. Neste contexto, o Brasil foi pioneiro em reunir estratégias de fomento de tecnologias sustentáveis no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas, visando à consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura (Plano ABC), o qual logrou sucesso e foi base para a construção de políticas regionais. Trata-se do maior plano de fomento a tecnologias sustentáveis de produção do mundo, e que em 2020 completa 10 anos de execução.

Fundamentado em bases científicas e tecnológicas, o Plano ABC reuniu as mais eficientes tecnologias de produção, que resultam em ganhos produtivos, longevidade, resiliência e contribuem também para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Com isso, torna-se imprescindível o acompanhamento das ações e a verificação do avanço da adoção das tecnologias, tanto para reconhecer o sucesso do Plano ABC quanto para compreender onde podemos avançar.

A Embrapa e seus parceiros, por meio das ações da Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agricultura – Plataforma ABC, desenvolveram metodologias e estratégias para monitorar os avanços e os resultados do Plano, destacando-se a proposta recente e inédita de um método de monitoramento, relatório e verificação (MRV), de baixo custo, passível de uso em larga escala no território nacional.

Este documento apresenta um primeiro estudo de interpretação dos dados disponíveis sobre a adoção das tecnologias e os fatores de emissão para acompanhamento do Plano ABC em todo território nacional, cujo objetivo foi subsidiar a execução do Plano e gerar dados para sua modernização. O trabalho comprova o compromisso do estado brasileiro em relação à sustentabilidade da agropecuária, setor que representa a base do complexo agroindustrial responsável pelo superávit da balança comercial, além de ratificar sua responsabilidade com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU - ODS 13, o que prevê medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos.

Marcelo Boechat Morandi
Chefe-geral da Embrapa Meio Ambiente

Sumário

Introdução	
Material e Métodos	8
Estimativa de expansão da adoção das tecnologias ABC	9
Estimativa de mitigação das Tecnologias ABC	11
Formato de apresentação dos resultados e critérios para avaliação da qualidade das estimativas	14
Resultados	15
Recuperação de Pastagens Degradadas	15
Integração Lavoura Pecuária Floresta	16
Sistema Plantio Direto	17
Fixação Biológica de Nitrogênio	17
Florestas Plantadas	18
Tratamento de Dejetos Animais	20
Estimativa Total da Mitigação de GEE pelas TEC_{ABC}	22
Discussão	24
Agradecimentos	30
Referências	31

Introdução

Ao longo das últimas duas décadas, o setor agropecuário vem se destacando pelo seu desempenho econômico com ganhos crescentes de produção e produtividade, num processo que reuniu eficiência produtiva, desenvolvimento científico e tecnológico, organização empresarial e novas formas de comercialização, com forte protagonismo do setor privado (Embrapa, 2018). Este processo de modernização e intensificação produtiva da agropecuária, baseado na mecanização e uso de insumos, contribuiu também para o crescimento da indústria associada ao setor (Gasques et al., 2010) e por cerca de 21,1% do PIB brasileiro (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2019).

Atualmente, o grande desafio para o setor é manter a trajetória de aumento constante da produção, gerando segurança alimentar com sustentabilidade socioambiental. Esse desafio surge em meio aos debates e às pressões sociais por um novo modelo de desenvolvimento, que seja capaz de conciliar crescimento econômico e conservação do meio ambiente (Sambuichi et al., 2012), aumentando a resiliência dos sistemas produtivos e reduzindo e/ou mitigando as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

De fato, o Brasil desde a Rio 92 tem sido protagonista nas discussões internacionais sobre desenvolvimento sustentável e assumido compromissos de redução e mitigação de suas emissões de GEE. Inicialmente, assumiu compromissos de forma voluntária em 2009 na COP 15, por meio de Ação de Mitigação Nacionalmente Apropriada (NAMA's - Nationally Appropriate Mitigation Action), e posteriormente em 2016, com as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) perante a UNFCCC no Acordo de Paris, ratificada pelo Decreto nº 9.073 (Brasil, 2017). Para o setor agropecuário estes compromissos reforçam a estratégia em adotar tecnologias e sistemas produtivos sustentáveis, adequados às diversas realidades do produtor rural e, em estabelecer indicadores e métricas relativas ao aumento da capacidade adaptativa dos sistemas produtivos e à mitigação das emissões de GEE do setor agropecuário, como forma de informar e prestar contas à sociedade e aos organismos multilaterais dos resultados das políticas públicas, relacionadas às mudanças climáticas e agropecuária.

O Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC (Brasil, 2012), lançado em 2010 como parte dos compromissos voluntários brasileiros, foi uma iniciativa estratégica e pioneira para conciliar a segurança alimentar com a sustentabilidade ambiental. O Plano ABC foi instituído pelo artigo 3º do Decreto nº 7.390 da Política Nacional sobre Mudanças do Clima - PNMC, e tem por finalidade a organização e o planejamento das ações a serem realizadas para a adoção das tecnologias de produção sustentáveis, selecionadas com o objetivo de responder aos compromissos voluntários de mitigar as emissões de GEE (Brasil, 2009, 2010). Trata-se, de fato, de uma estratégia inovadora para a agropecuária brasileira ao propor a ampliação da adoção de tecnologias que garantem melhor desempenho produtivo, maiores ganhos econômicos com adequabilidade técnica, e intensificação produtiva com reflexos indiretos na redução da pressão por desmatamento (Campos; Fischmann, 2014), bem como as novas exigências do mercado agrícola em relação à sustentabilidade ambiental (Hoffman, 2004; Manzatto et al., 2018).

Esta estratégia também denominada como Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC), possui como princípios básicos a adoção de tecnologias agropecuárias que aumentem a resiliência, os ganhos econômicos e ainda contribuam com uma baixa emissão e/ou a mitigação de GEE (dióxido

de carbono – CO₂, óxido nitroso – N₂O e metano – NH₄) em decorrência da adoção das melhores práticas de gestão agrícola e acréscimo no sequestro de C (Sá et al., 2017). Como principais compromissos da estratégia consta a ampliação da adoção dos processos tecnológicos (TEC_{ABC}) referentes à Recuperação de Pastagens Degradadas, Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs), Sistema Plantio Direto (SPD), Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), Florestas Plantadas (FP) e Tratamento de Dejetos Animais (TDA) em 35,5 milhões de hectares com mitigação das emissões de GEEs da ordem de 133,9 a 162,9 milhões de Mg CO₂eq¹ até o prazo final do compromisso em 2020. Para alcançar tais metas foram previstas ações de fomento tais como a de transferência de tecnologias como estratégia para a promoção da adoção das TEC_{ABC} pelos agricultores. As metas de adoção previstas no Plano ABC não se restringem apenas às áreas financiadas diretamente pelo Programa ABC, mas ao total da área de expansão das TEC_{ABC}, independente da fonte de financiamento para a sua adoção.

Para o monitoramento da adoção das TECABC, o Plano ABC previu ainda a criação da Plataforma Multi-institucional de Monitoramento das Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária – Plataforma ABC, com o objetivo de avaliar a contribuição da mitigação das emissões de GEE (milhões de Mg CO₂eq), decorrentes da implementação desta política pública, pois a metodologia utilizada nos Inventários Nacionais de Emissões de GEE não refletem as variações dos estoques de carbono no solo relacionadas às práticas de manejo agrícola, histórico de uso da terra e tempo de adoção das tecnologias (Maia et al., 2009; Carvalho et al., 2010, 2014),

Em atendimento às premissas estabelecidas, a Plataforma ABC elaborou este estudo, avaliado e aprovado previamente pelo Comitê Diretor da Plataforma ABC em maio de 2018, e teve como objetivo discutir, analisar a lógica produtiva das TEC_{ABC} e realizar uma estimativa inicial da contribuição do Plano ABC para a mitigação das emissões de GEE, ressaltando-se as variações e incertezas dos dados disponíveis sobre a adoção das TEC_{ABC}, a diversidade de sistemas de produção e manejo do solo e a ausência de coeficientes de emissões regionalizados.

Material e Métodos

As estimativas sobre a redução e mitigação das emissões de GEEs decorrentes da adoção de TEC_{ABC} foram baseadas em revisão bibliográfica, em informações provenientes de bases de dados e repositórios de instituições governamentais oficiais (IBGE e MAPA, MCTIC) e estimativas setoriais (Indústria Brasileira de Árvores), tendo como linha de base o ano de 2010, ano de lançamento do Plano ABC e da finalização da III Comunicação do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 2016), cujos fatores de emissão foram fundamentais para estabelecer as estimativas de emissão do Plano ABC.

Ressalta-se que neste estudo não foram considerados os impactos das mudanças indiretas de uso da terra, decorrentes da expansão da agropecuária sobre a vegetação nativa, bem como a implementação das TEC_{ABC} foram exclusivamente em áreas agrícolas.

¹ Mg CO₂eq – milhões de gramas de gás carbônico equivalente.

Estimativas da expansão da adoção das Tecnologias ABC

Para estimar a expansão da adoção das TEC_{ABC} em hectares foi definido o ano base de 2010 e os incrementos de adoção de 2016 a 2018, conforme a disponibilidade de dados. O ano base de 2010 foi definido por ter sido o ano de início das ações, assumindo desta forma, que grande parte da expansão destas áreas ocorre devido às ações de fomento do Plano ABC. O levantamento de informações sobre a área plantada e produção em níveis nacional e municipal foi obtido do Censo Agropecuário Brasileiro (Censo) e da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), ambos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), publicações oficiais do governo brasileiro. Dados sobre a quantidade de contratos por TEC_{ABC} , valores financiados (R\$) e área financiada (ha) para o período de 2013 a 2018, tiveram como fonte os dados do Banco Central do Brasil (BACEN) que opera o Programa ABC (Tabela 1), uma linha de crédito de financiamento rural específica para apoiar projetos de adoção das TEC_{ABC} . Os dados do Programa ABC são disponibilizados por ano e por área, mas apesar de indicar o investimento que os produtores estão fazendo para a implementação das TEC_{ABC} em suas propriedades, não representam a área total com adoção de TEC_{ABC} no Brasil, pois muitos produtores adotam as tecnologias com recursos próprios ou com outra fonte de financiamento (Observatório ABC, 2019).

Tabela 1. Valor financiado (R\$), área financiada (ha), volume de dejetos (m^3) e números de contratos concedidos pelo Programa ABC¹, para as Tecnologias ABC no período 2013 a 2018.

Tecnologias ABC ¹	Valor Financiado (R\$)	Área Financiada (ha)	Quantidade Contratos
RPD	5.831.232.323,32	3.308.415	12.263
ILPF	707.837.454,46	387.248	1.276
SPD	3.346.601.367,49	2.132.7670	5.620
FP	1.335.296.573,96	633.557	2.568
TDA	36.840.893,81	114**	60
Outros	1.203.694.053,28	122.098	2.691
Total	12.461.502.666,32	6.584.202	24.478

¹ Fonte: Banco Central do Brasil (BACEN) - Programa ABC (2018). Onde: RPD = Recuperação de Pastagens Degradadas. ILPF = Integração Lavoura Pecuária Florestas. SPD = Sistema Plantio Direto. FP = Florestas Plantadas. TDA = Tratamento Dejetos Animais. ** Tecnologia mensurada por volume em m^3 e não por área.

Para a análise e interpretação de expansão das áreas com TEC_{ABC} , os dados obtidos foram comparados com os compromissos estabelecidos no Plano ABC. Para tanto, os dados de expansão da adoção das TEC_{ABC} foram apresentados como a área expandida de 2010 até o período avaliado e, posteriormente, calculado o percentual da expansão em relação à meta estabelecida. Entretanto, as áreas de expansão das TEC_{ABC} não representam o total de área nacional que utiliza as TEC_{ABC} , mas somente a expansão incremental do período.

Para levantamento da área expandida de RPD foram feitos dois exercícios distintos: a) dados de projetos financiados para RPD diretamente no Programa ABC no período 2013 a 2018 (Tabela 1) e estimativa de projetos para RPD em relação ao total financiado entre 2010 e 2013; e b) estimativas da expansão de área de pastagens bem manejadas, obtidas através da taxa de lotação de animais (> 5 animais/hectare) com base nos dados da PAM, como proposto por Azevedo et al. (2018).

A expansão da adoção de sistemas de ILPF foi calculada com base no levantamento amostral, realizado pela Associação Rede ILPF (Skorupa; Manzatto, 2019) com dados de adoção para os anos safra de 2010 e 2015/16. Com base nestes dados foi calculada a taxa média de crescimento anual (T_c) pela variação percentual da adoção no período (%/ano). A área inicial em hectares (V_0)

considerou a área com ILPF no ano de 2010. Para calcular a área final de expansão (V_f) no período de 2010 a 2016, foi utilizada a equação 1:

$$V_f = V_0 \times (1 + T_c)^n \quad (1)$$

Onde:

V_f = expansão da área (ha) no tempo t ;

V_0 = área inicial (ha);

T_c = taxa média de crescimento anual;

n = número de anos.

Para as estimativas de expansão da área de SPD inicialmente foram utilizados os dados do Censo de 2006 e de 2017 referentes ao plantio direto na palha. Para tanto, calculou-se a taxa de crescimento anual (T_c) utilizando-se a área de plantio direto na palha de 2017 como V_f e a área de plantio direto na palha de 2006 como V_0 (equação 1). Uma vez que os dados de plantio direto na palha contemplam apenas os anos de 2006 e 2017, foi necessário realizar uma relação entre o plantio direto e área plantada de soja, considerando que o plantio direto da palha é utilizado em cerca de 80% da área plantada com soja no Brasil (Fidelis et al., 2002). Foi considerado como linha de base de adoção o ano de 2010 e para a expansão no período até 2016/17, utilizando os dados anuais da PAM (IBGE, 2018).

Para a obtenção da expansão do SPD anual (Ad_{SPD}) a T_c foi multiplicada pela área de plantio de soja (A_{soja}) em cada ano (equação 2).

$$Ad_{SPD} = A_{Soja} \times T_c \quad (2)$$

Onde:

Ad_{SPD} = área de adoção de SPD no ano n ;

A_{Soja} = área de plantio de soja no ano n ;

T_c = taxa média de crescimento anual.

Os dados de expansão da área de FBN foram calculados considerando-se a área de expansão do plantio de soja publicada anualmente na PAM (IBGE, 2018).

O Plano ABC estabeleceu como meta para FP apenas a área de expansão de cultivo, não estabelecendo, portanto, a meta de mitigação de GEEs desta TECABC. Entretanto, ao considerar que a estratégia FP é parte da do esforço da ABC no Brasil, este estudo realizou dois exercícios para estimar a mitigação devido aos plantios florestais: (i) a fixação de C na biomassa vegetal da área de expansão financiada diretamente pelo Programa ABC e (ii) a fixação de C no solo, promovida tanto pelas áreas financiadas diretamente quanto pela expansão do plantio de outras essências florestais estimadas pela IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores, 2019) no período de 2010 a 2018. Destaca-se que, como os dados fornecidos pelo sistema bancário sobre as áreas financiadas com FP não permitem a definição da espécie florestal utilizada no plantio, optou-se por quantificar

o sequestro de CO₂ na biomassa vegetal de *Eucalyptus* spp., por ser a espécie mais utilizada para reflorestamento no País, com uma área plantada de 5,7 milhões de ha e 73% do total de florestas comerciais segundo a IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores, 2019).

A adoção da tecnologia TDA foi estimada com base no número e valor dos contratos para TDA financiados pelo Programa ABC entre 2013 e 2018, na estimativa de produção média de esterco por categoria animal (Oliveira, 1993) e no volume diário de dejetos líquidos produzidos em sistemas de produção de suíno para Unidade de Produção de Leitão (UPL) (Santa Catarina, 2014).

Devido à ausência de detalhamento sobre os projetos financiados pelos contratos, esses foram separados em três categorias: pequenos (< 200 mil reais); médios (de 200 a 999 mil reais) e grandes (> 1 milhão de reais). Para projetos pequenos foi atribuído um número médio de 1.000 animais, para os médios de 2.000 animais e para os grandes de 10.000 animais.

Para o cálculo do volume total de dejetos produzido, foi multiplicado o número médio de animais dos projetos de cada categoria, por ano de financiamento, pelo fator de produção de dejetos (L·suíno⁻¹ d⁻¹), considerando o tempo médio de atividade (anos) durante o período avaliado (2013 a 2018). A título de comparação foram considerados dois fatores de produção de dejetos (L·suíno⁻¹ d⁻¹), o primeiro de 8,6 utilizando como referência por Oliveira (1993), considerando que a maior parte dos animais estão em fase fisiológica de crescimento/terminação, e o segundo de 22,8 utilizando como referência a Unidade de Produção de Leitão (UPL) proposta pela Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (2014).

A expansão na adoção da tecnologia TDA (m³) foi então estimada por categoria para o período de 2013 a 2018, multiplicando o volume total de dejetos (m³ dia⁻¹) produzidos pelo tempo total de atividade de cada projeto (dias) para cada fator de produção de dejetos.

Estimativas de mitigação das Tecnologias ABC

As contribuições em mitigação (milhões de Mg CO₂eq) foram estimadas a partir da área expandida em ha multiplicada pelo fator de emissão/remoção (F_{E/R}) correspondente, conforme equação 3. Para estimar as emissões/remoções de carbono resultantes da expansão das áreas com TEC_{ABC} foram feitos dois exercícios. Inicialmente, foi multiplicada a área de expansão de cada TEC_{ABC} versus os F_{E/R default} (Tabela 02), que havia sido previamente empregados para os cálculos de metas na elaboração do Plano ABC. Um segundo exercício foi feito ainda, multiplicando o mesmo valor de área das TEC_{ABC} versus F_{E/R}, quando disponível na literatura científica nacional (Tabela 02).

$$\text{Mitigação}_{\text{EST}} = \text{ADT} \times \text{F}_{\text{E/R}} \quad (3)$$

Onde:

Mitigação_{EST} = Estimativa de carbono mitigado pela adoção da tecnologia no período considerado (Mg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹);

ADT = Expansão da adoção da tecnologia em ha;

F_{E/R} = Fator de emissão/remoção (Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹).

Tabela 2. Fatores de emissão/remoção ($F_{E/R}$) utilizados para os cálculos de estimativas de mitigação das emissões de GEE devido à adoção das Tecnologias ABC (TEC_{ABC}).

TEC_{ABC}	$F_{E/R} default^1$	$F_{E/R} LN^2$	Literatura Nacional (LN)
RPD	3,79	5,51	Bustamante et al., (2006)
ILPF	3,79	6,24	Carvalho et al., (2010)
SPD	1,83	1,83	Cerri et al., (2007)
FBN	1,83	1,69	Sá et al., (2017)
FP	-	-	Bustamante et al., (2006) Lima et al (2006)
TDA	1,56	-	-

¹ Fatores de emissão/remoção ($F_{E/R} default$) utilizados para a definição das metas de mitigação no Plano ABC (Brasil, 2012). ² Fatores de emissão/remoção ($F_{E/R} LN$) disponíveis na literatura científica nacional. Onde: RPD = Recuperação de Pastagens Degradadas. ILPF = Integração Lavoura Pecuária Florestas. SPD = Sistema Plantio Direto. FBN = Fixação Biológica de Nitrogênio. FP = Florestas Plantadas. TDA = Tratamento Dejetos Animais.

As estimativas das emissões evitadas pela FBN foram obtidas pela adaptação da abordagem realizada por Sá et al. (2017), que está embasada em estudos que demonstram que o nitrogênio (N) aplicado na forma de fertilizante nas regiões tropicais e subtropicais, devido às perdas por volatilização, desnitrificação e lixiviação, possui uma eficiência 50% menor em relação a cada kg de N sintetizado pela soja por meio da fixação biológica (Hungria et al., 2000, 2006; Urquiaga et al., 2005; Ormeño-Orrillo et al., 2013). O procedimento de cálculo envolveu os dados censitários da PAM referente à soja por município: a área plantada (AP_{soja} em ha), a produção (t) e a produtividade média (RMP_{soja} em t/ha). Também foi considerado que a quantidade de N absorvida por Mg de grãos de soja é de 80 kg de N (Abs_N) e que a contribuição da FBN para cada Mg de grãos de soja é em média 81,5% ($AbsN_{FBN}$). Além disso, foi considerado que: i) com base no conceito de eficiência do uso de N, 1 kg de N fixado biologicamente é equivalente a 2 kg de N sintético ($Equiv_{FBN/fert}$); ii) a emissão de GEE causada por volatilização e denitrificação por kg de N sintético é equivalente a 4,5 kg de CO_2eq ($Equiv_{N/CO2eq}$); e iii) a aplicação média de 32 kg de N ha^{-1} no plantio de soja (N_{fert}) (Hungria et al., 2000, 2006; Urquiaga et al., 2005; Sá et al., 2017). Com base nestas premissas, a estimativa de mitigação de FBN foi calculada por município, utilizando a equação 4, para capturar a influência da produtividade na absorção de N no plantio da soja. As estimativas municipais foram consolidadas em termos de expansão de área plantada no País, tendo como linha de base a área plantada com soja em 2010.

$$Mitigação_{FBN} = ((RMP_{Soja} \times AP_{Soja} \times Abs_N \times Abs_{NFBN} \times Equiv_{FBN/fert} \times Equiv_{N/CO2eq}) - (N_{fert} \times AP_{Soja})) / 1000 \quad (4)$$

Onde:

$Mitigação_{FBN}$ = emissões evitadas pela FBN (Mg de CO_2eq);

RMP_{Soja} = produtividade média da soja ($t ha^{-1}$);

AP_{Soja} = área plantada de soja (ha);

Abs_N = quantidade de N absorvido (kg) em um hectare de lavoura de soja;

Abs_{NFBN} = contribuição proporcional da FBN na absorção do N (%);

$Equiv_{FBN/fert}$ = N fixado biologicamente (kg);

$Equiv_{N/CO2eq}$ = equivalência do nitrogênio em kg de CO_2eq ; e

N_{fert} = quantidade de N (kg) aplicado na forma de fertilizante no cultivo da soja.

As estimativas de mitigação de GEEs promovidas para FP não foram consideradas quando da elaboração do Plano ABC, pois já são contabilizadas nos Inventários Nacionais de GEEs. Mesmo com esta ressalva, este estudo incluiu a contribuição do Plano ABC na mitigação devido aos plantios florestais, considerando a fixação de C na biomassa vegetal e a fixação de C no solo promovidas pela expansão de área financiada diretamente pelo Programa ABC, bem como a fixação de C no solo promovida pela expansão de cultivo de outras essências florestais, estimadas pela IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores, 2019). Destaca-se que os dados utilizados sobre financiamento de FP não incluíam a definição da espécie florestal utilizada no plantio, optou-se por quantificar o sequestro de CO₂ na biomassa vegetal de *Eucalyptus* spp., por ser a espécie mais utilizada para reflorestamento no País, cerca de 73% do total plantado segundo a IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores, 2019).

A estimativa para sequestro de C no solo seguiu a equação 3, proposta para as demais tecnologias. Para a estimativa de estoque de C na biomassa vegetal de FP foi utilizada a metodologia adaptada do III Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (Bustamante et al., 2015) para estimar o incremento anual de biomassa de florestas plantadas, como descrito na equação (5):

$$GW = IV \times D \times BEF \quad (5)$$

Onde:

GW = média anual de incremento da biomassa acima do solo de 44 Mg m s ha⁻¹ ano⁻¹;

IV = incremento líquido médio anual em volume, adequado para processamento industrial (m³ ha⁻¹ ano⁻¹);

D = densidade básica de madeira 0,425 Mg m s m⁻³;

BEF = fator de expansão da biomassa para converter o incremento líquido médio anual para o incremento da biomassa da árvore acima do solo de 0,2 (adimensional), acrescentado da proporção de raiz (adimensional) de 0,35.

Com base no incremento anual estimou-se a produção de biomassa anual da área plantada no período até o 7º ano de plantio, que totalizou uma biomassa da ordem de 142 Mg/ha. Para o cálculo do carbono sequestrado na biomassa utilizou-se um teor médio de 44% na biomassa, de acordo com o IPCC (Eggleston, 2006).

De posse dos dados de expansão e de mitigação das TEC_{ABC} foram calculadas as porcentagens de realização em relação às metas estabelecidas no Plano ABC (Tabela 3).

Tabela 3. Metas previstas no Plano ABC de expansão das TEC_{ABC} e potencial de mitigação.

Tecnologias ABC	Unidade de medida da expansão	Expansão das TEC_{ABC}	Potencial de Mitigação (Milhões Mg CO ₂ eq)
RPD	Milhões de ha	15,00	83 a 104
ILPF	Milhões de ha	4,00	18 a 22
SPD	Milhões de ha	8,00	16 a 20
FBN	Milhões de ha	5,50	10
FP	Milhões de ha	3,00	-
TDA	Milhões de m ³	4,40	6,9
Total		-	133,9 a 162,9

Fonte: Brasil (2012).

Formato de apresentação dos resultados e critérios para avaliação da qualidade das estimativas

Para análise e interpretação da contribuição do Plano ABC para a expansão das áreas (milhões de ha) com a adoção das TEC_{ABC} os dados levantados foram discutidos considerando as metas estabelecidas no Plano ABC, tanto em relação aos compromissos em hectares quanto ao previsto como potencial de mitigação (milhões de Mg CO eq.), de cada TEC_{ABC} (Tabela 3). Os dados de expansão da adoção das TEC_{ABC} foram apresentados como a área total do território nacional com a TEC_{ABC} (milhões de ha), a área expandida das TEC_{ABC} após o ano de 2010 e calculado o percentual da expansão em relação à meta estabelecida no Plano ABC.

Foram ainda definidos critérios para avaliar a qualidade das estimativas dos dados gerados utilizando as categorias descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Critério de Tipo para avaliar a qualidade das estimativas geradas para expansão das TEC_{ABC} , emissões/remoção de GEE decorrentes da expansão da adoção das TEC_{ABC} e qualidade geral da estimativa.

Estimativa	Tipo	Qualidade
Expansão das TEC_{ABC}	1	Os dados necessários para a estimativa são existentes de forma direta (ex. dados primários coletados por instituições públicas e/ou privadas de forma sistematizada).
	2	Os dados necessários para a estimativa são gerados por meios indiretos - por meio de correlações, projeções e outras operações com dados primários
	3	Os dados necessários para a estimativa são parciais ou são de difícil avaliação
Emissão/Remoção de GEE decorrentes da expansão da adoção das TEC_{ABC}	1	Fatores consideram e representam a diversidade regional/local de tipos de clima, de solo, de sistemas de produção, de manejo, e culturas agrícolas no Brasil
	2	Fatores restritos e utilizados em nível nacional, não consideram os diferentes tipos produtivos, de manejo e edafoclimáticos (solo e clima) no Brasil
	3	Fatores disponibilizado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) - não representam necessariamente as condições brasileiras
Estimativa Geral	1	Dado confiável e preciso
	2	Dado confiável, porém, pode gerar diferenças significativas - aprimoramento recomendável
	3	Dado pouco confiável e preciso ou de difícil avaliação - necessita aprimoramento

Fonte: Adaptado de Azevedo et al. (2018).

Resultados

Recuperação de Pastagens Degradadas

A área de adoção de RPD considerando os valores de financiamento pelo Programa ABC demonstram uma expansão de 3,31 milhões de ha entre 2010 e 2018 (Tabela 5). A expansão calculada com estes dados representa apenas parte da totalidade da área expandida, tendo em vista que nem todas as áreas de pastagem recuperadas no período de 2010 - 2018 utilizaram o crédito do Programa ABC. Por outro lado, quando as estimativas da expansão são baseadas na metodologia proposta por Azevedo et al. (2018), a área de adoção de RPD é de 10,44 milhões ha entre 2010 e 2017 (Tabela 6).

Tabela 5. Área de expansão de Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD) financiadas pelo Programa ABC e estimativa de mitigação em Mg CO₂ equivalente para o período de 2013 - 2018 com base em fatores de emissão/remoção *default* ($F_{E/R} default$) e disponíveis na literatura nacional ($F_{E/R} LN$).

Ano	Área de Adoção (Milhões ha)	Expansão acumulada (Milhões ha)	Mitigação de emissões (Milhões Mg CO ₂ eq)*	
			$F_{E/R} default^1$	$F_{E/R} LN^2$
2010-2013	0,49	0,49	1,86	2,70
2014	0,54	1,03	3,90	5,67
2015	0,45	1,48	5,60	8,13
2016	1,36	2,84	10,76	15,64
2017	0,31	3,15	11,91	17,32
2018	0,16	3,31	12,54	18,23
Total	3,31		12,54	18,23

¹ $F_{E/R} default = 3,79 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Brasil, 2012); ² $F_{E/R} LN = 5,51 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Bustamante et al., 2006).

Tabela 6. Área de expansão de Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD) de acordo com a classificação de Azevedo et al. (2018) e estimativa de mitigação em Mg CO₂ equivalente para o período 2010 - 2017 com base em fatores de emissão/remoção *default* ($F_{E/R} default$) e disponíveis na literatura nacional ($F_{E/R} LN$).

Ano	Área de adoção (milhões ha)	Expansão acumulada (milhões ha)	Mitigação de emissões (Milhões Mg CO ₂ eq)*	
			$F_{E/R} default^2$	$F_{E/R} LN^3$
2010	-	-	-	-
2011	1,67	1,67	6,33	9,20
2012	1,37	3,04	5,19	7,55
2013	2,22	5,26	8,41	12,23
2014	1,00	6,26	3,79	5,51
2015	1,45	7,71	5,50	7,99
2016	3,36	11,07	12,73	18,51
2017	-0,63	10,44	-2,39	-3,47
Total	10,44		39,57	57,52

¹ $F_{E/R} default = 3,79 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Brasil, 2012); ² $F_{E/R} LN = 5,51 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Bustamante et al., 2006).

Os resultados de expansão na adoção de RPD, calculados com base no Programa ABC e como proposto por Azevedo et al. (2018), indicam que entre 2010 e 2018 foram atingidos 70% dos 15 milhões de ha estabelecidos como meta no Plano ABC para 2020, com 22% da meta com financiamento direto pelo Programa.

As estimativas de mitigação de GEE, no período de 2010 a 2018, calculadas utilizando o $F_{E/R}$ default foram da ordem de 12,54 Mg CO₂eq e de 39,57 Mg CO₂eq, considerando a área de expansão com base no Programa ABC e como proposto por Azevedo et al. (2018), respectivamente. Por outro lado, utilizando o $F_{E/R}$ LN as estimativas de mitigação são da ordem de 18,23 milhões de Mg CO₂eq e 57,52 milhões de Mg CO₂eq, respectivamente. Considerando um potencial de mitigação entre 83 e 104 milhões Mg CO₂eq (Tabela 3), a mitigação calculada com o $F_{E/R}$ default leva a um atingimento da meta de 13% (com base no Programa ABC) e 20% (com base em Azevedo et al., 2018). Já com o $F_{E/R}$ LN o cumprimento da meta alcança 42% e 62%, respectivamente.

Integração Lavoura Pecuária Floresta

A área de adoção de ILPF para o período 2010 a 2016 é da ordem de 5,83 milhões de ha (Tabela 7), chegando a 146% da meta de expansão estabelecida no Plano ABC para 2020.

Tabela 7. Área de expansão de Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) de acordo com Skorupa e Manzatto (2019) e estimativa de mitigação em Mg CO₂eq para o período 2010 - 2016 com base em fatores de emissão/remoção default ($F_{E/R}$ default) e disponíveis na literatura nacional ($F_{E/R}$ LN).

Ano	Área de adoção ILPF (Milhões ha)	Expansão anual da adoção (Milhões ha)	Expansão acumulada (Milhões ha)	Sequestro de C no solo (Milhões Mg CO ₂ eq)	
				$F_{E/R}$ default ¹	$F_{E/R}$ LN ²
2010	6,78				
2011	7,53	0,75	0,75	4,69	2,85
2012	8,37	0,83	1,59	9,90	6,01
2013	9,29	0,93	2,51	15,68	9,52
2014	10,32	1,03	3,54	22,11	13,43
2015	11,47	1,14	4,69	29,24	17,76
2016	12,61	1,15	5,83	36,40	22,11
Total	12,61			36,40	22,11

¹ $F_{E/R}$ default = 3,79 Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ (Brasil, 2012); ² $F_{E/R}$ LN = 6,24 Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ (Carvalho et al., 2010); ³ Projeção da adoção para a safra 2016 (IBGE 2017).

A estimativa de mitigação é da ordem de 22,10 a 36,40 milhões de Mg CO₂eq, utilizando o $F_{E/R}$ default (3,79 Mg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹) e o $F_{E/R}$ LN (6,24 Mg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹) respectivamente, superando a meta prevista no Plano ABC em 111 a 182%.

Sistema Plantio Direto

Estima-se que a expansão de SPD verificada no período de 2010 a 2017 foi da ordem de 12,72 milhões de hectares (Tabela 8), superando em 59% a meta de 8,0 milhões de há, estabelecida para expansão de SPD no Plano ABC para 2020.

Tabela 8. Área de expansão de Sistema Plantio Direto (SPD) e estimativa de mitigação em Mg CO₂eq para o período 2010 - 2017, sendo que os valores dos fatores de emissão/remoção *default* ($F_{E/R}^{default}$) e disponíveis na literatura nacional ($F_{E/R}^{LN}$) são iguais.

Ano	Área de plantio com soja (milhões ha)	Área de SPD relativizada ¹ (milhões ha)	Área de adoção (milhões ha)	Expansão acumulada (milhões ha)	Mitigação de emissões ² (milhões Mg CO ₂ eq)
2010	23,34	20,16	-	-	-
2011	24,03	21,09	0,94	0,94	1,72
2012	25,09	22,38	1,29	2,23	4,08
2013	27,95	25,34	2,96	5,19	9,49
2014	30,31	27,93	2,59	7,78	14,23
2015	32,21	30,17	2,24	10,01	18,32
2016	33,31	31,74	1,57	11,58	21,20
2017	33,98	32,88	1,14	12,72	23,28
Total			12,72		23,28

¹Área de adoção estimadas pelo Censo Agropecuário IBGE de 2006 e 2017; ² $F_{E/R}^{default} = F_{E/R}^{LN} = 1,83 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Cerri et al., 2007; Brasil, 2012).

Tendo em vista que o $F_{E/R}^{LN}$ para SPD ($1,83 \text{ Mg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) é igual ao valor $F_{E/R}^{default}$ previamente definido no Plano ABC (Brasil, 2012), a estimativa de mitigação para SPD foi da ordem de 23,28 milhões Mg CO₂eq, o que corresponde a 114% da meta estabelecida pelo Plano ABC, de 16 a 20 milhões de Mg CO₂eq.

Fixação Biológica de Nitrogênio

Os compromissos assumidos no Plano ABC eram de expandir em 5,5 milhões de ha, contribuindo com a mitigação de 10 milhões de Mg CO₂eq. As estimativas realizadas mostram que a área total de FBN utilizada no plantio da soja é atualmente de 33,31 milhões de ha, com expansão de adoção de 9,97 milhões de ha no período de 2010 a 2016 (Tabela 9), de acordo com a área plantada anualmente nos municípios produtores de soja, registrada no Censo Agropecuário de 2006 e PAM (IBGE, 2018). Esta expansão do plantio de soja e consequente FBN corresponde a 181% da meta estabelecida no Plano.

Tabela 9. Área de expansão de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) obtidas pela adaptação da abordagem descrita por Sá et al. (2017) e estimativa de mitigação em Mg CO₂eq para o período 2010 - 2017 com base em fatores de emissão/remoção default ($F_{E/R\ default}$) e disponíveis na literatura nacional ($F_{E/R\ LN}$).

Ano	Área de plantio com soja (Milhões ha)	Área de adoção (Milhões ha)	Expansão acumulada (Milhões ha)	Mitigação de emissões (Milhões Mg CO ₂ eq)	
				$F_{E/R\ default}^1$	$F_{E/R\ LN}^2$
2010	23,34	-	-	-	-
2011	24,03	0,69	0,69	1,27	1,17
2012	25,09	1,06	1,75	1,94	1,79
2013	27,95	2,86	4,61	5,23	4,83
2014	30,31	2,36	6,97	4,32	3,99
2015	32,21	1,99	8,87	3,47	3,21
2016	33,31	1,13	10,00	2,02	1,87
2017	33,98	0,64	10,64	1,23	1,13
Total		10,64		19,47	17,98

¹ $F_{E/R\ default}$ = 1,83 Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ (Brasil, 2012); ² $F_{E/R\ LN}$ = 1,69 Mg CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ (Sá et al. 2017).

A estimativa de mitigação devido à utilização de FBN é da ordem de 17,98 a 19,47 milhões de Mg CO₂eq, utilizando o $F_{E/R\ LN}$ (1,69 Mg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹) e o $F_{E/R\ default}$ (1,83 Mg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹) respectivamente, superando a meta prevista para FBN no Plano ABC em 169 a 182%.

Florestas Plantadas

As estimativas de evolução da área plantada foram da ordem de 634 mil ha e o sequestro de carbono na biomassa vegetal estimado em 25,4 milhões de Mg de CO₂eq (Tabela 10), utilizando a metodologia de Bustamante et al. (2015). A expansão do plantio é próxima à área estimada pela IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores, 2019) da ordem de 771 mil ha, porém não foram realizadas estimativas de sequestro de C na biomassa, face a possibilidade de sobreposição das estimativas de plantio pelas duas fontes de dados.

Tabela 10. Plantio de Florestas financiadas pelo Plano ABC em hectares e estimativa de sequestro de Carbono na Biomassa Florestal em toneladas CO₂eq para o período 2013 - 2018.

Ano	Área Financiada Plano ABC (ha)	Biomassa Arbórea (milhões Mg/ano)	Estoque de Carbono Biomassa (milhões Mg.ano)	Sequestro CO ₂ eq na Biomassa (Mg.ano)
2013	123.076,07	1,27	0,61	2,18
2014	404.762,35	4,16	0,90	3,28
2015	55.799,34	0,57	1,16	4,24
2016	28.037,87	0,29	1,34	4,92
2017	14.058,41	0,15	1,43	5,22
2018	7.822,96	0,81	1,51	5,53
Total	633.557,00	6,52	6,93	25,37

Embora o Plano ABC não tenha considerado em suas metas o sequestro de C no solo, promovido pelo plantio de cultivos florestais, estimou-se a contribuição do sequestro de C no solo promovido pela expansão de FP, a exemplo do realizado para as Tecnologias RP, ILPF e SPD. A Tabela 11 apresenta as estimativas de sequestro de C no solo para o período de 2013 - 2018 decorrentes do financiamento do Plano ABC da ordem de 0,54 milhões de Mg CO₂.

Tabela 11. Expansão da área de Florestas Plantadas financiadas pelo Plano ABC em hectares e estimativa de sequestro de Carbono no solo em Mg CO₂equivalente para o período 2013 - 2018.

Ano	Área Financiada pelo Plano ABC (ha)	Expansão acumulada no período (ha)	Sequestro de C no solo (milhões Mg CO ₂ eq)
2013	123.076,07	0	0,00
2014	404.762,35	527.838,42	0,45
2015	55.799,34	583.637,76	0,50
2016	28.037,87	611.675,63	0,52
2017	14.058,41	625.734,04	0,53
2018	7.822,96	633.557,00	0,54
Total	633.557,00		0,54

A mitigação oriunda da expansão de 130 mil ha de FP por outros cultivos florestais entre 2010 e 2018 foi de 0,65 milhões Mg CO₂ (Tabela 12), com base nas estatísticas da IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores, 2019). Para ambas as estimativas adotou-se um F_{ER} LN de 0,8 Mg CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹ (Lima et al., 2006).

Tabela 12. Expansão da área de Florestas Plantadas por outras culturas florestais (seringueira, acácia, teca, paricá, araucária, pópulus e outras) em hectares e estimativa de sequestro de Carbono no solo em milhões de Mg CO₂eq. no período 2010 - 2018.

Ano	Área de adoção (ha) ¹	Expansão acumulada (ha)	Mitigação das emissões (milhões Mg CO ₂ eq)
2010	462.390	0	0,00
2011	489.282	26.892	0,02
2012	521.131	85.633	0,07
2013	557.653	180.896	0,14
2014	588.521	307.027	0,25
2015	589.201	433.838	0,35
2016	589.361	560.809	0,45
2017	585.825	684.244	0,55
2018	591.451	813.305	0,65
Total	591.451		0,65

¹Indústria Brasileira de Árvores (2019) - Histórico da área plantada por outras culturas florestais. 2010-2018.

Tratamento de Dejetos Animais

Considerando o fator de produção de dejetos mais conservador (Oliveira, 1993) a expansão da adoção de TDA foi de 1,7 milhões de m³. No entanto, ao considerar em sistemas de produção de suíno para Unidade de Produção de Leitão (UPL), conforme FATMA (Santa Catarina, 2014) a expansão chegou a 4,5 milhões de m³ (Tabela 13). Em relação à mitigação das emissões, as estimativas variaram entre 2,66 e 7,04 milhões de Mg de CO₂eq, respectivamente, atingindo 39% a 103% da meta prevista para TDA no Plano ABC.

Tabela 13. Expansão da adoção de Tratamento de Dejetos Animais em metros cúbicos e estimativa de mitigação em toneladas Mg CO₂eq. no período 2013 - 2018 utilizando dados de produção de dejetos líquidos de Oliveira (1993) e Santa Catarina (2004).

ANO	Valor financiado dos projetos (em mil Reais)	Projetos Financiados	Numero médio de animais	Total de dejetos produzidos (m ³ /dia) (Oliveira, 1993)	Total de dejetos produzidos (m ³ /dia) (Santa Catarina, 2014)	Tempo médio de atividade dos projetos (anos)	Tempo em atividade (dias)	Expansão da capacidade de TDA financiada pelo ABC (m ³) (Oliveira, 1993)	Expansão da capacidade de TDA financiada pelo ABC (m ³) (Santa Catarina, 2014)	Estimativa de Mitigação das Emissões Mg CO ₂ eq (Oliveira, 1993)	Estimativa de Mitigação das Emissões Mg CO ₂ eq (Santa Catarina, 2014)
2013	<200	3	1000	26	68	5	1825	47.085	124.830	73.452,60	194.734,80
	>200	9	2000	155	410	5	1825	282.510	748.980	440.715,60	1.168.408,80
	>1000	0	10000	-	-	5	1825	-	-	0,00	0,00
2014	<200	3	1000	26	68	4	1460	37.668	99.864	58.762,08	155.787,84
	>200	7	2000	120	319	4	1460	175.784	466.032	274.223,04	727.009,92
	>1000	3	10000	258	684	4	1460	376.680	998.640	587.620,80	1.557.878,40
2015	<200	2	1000	17	46	3	1095	18.834	49.932	29.381,04	77.893,92
	>200	5	2000	86	228	3	1095	94.170	249.660	146.905,20	389.469,60
	>1000	1	10000	86	228	3	1095	94.170	249.660	146.905,20	389.469,60
2016	<200	2	1000	17	46	2	730	12.556	33.288	19.587,36	51.929,28
	>200	6	2000	103	274	2	730	75.336	199.728	117.524,16	311.575,68
	>1000	5	10000	430	1.140	2	730	313.900	832.200	489.684,00	1.298.232,00
2017	<200	2	1000	17	46	1	365	6.278	16.644	9.793,68	25.964,64
	>200	6	2000	103	274	1	365	37.668	99.864	58.762,08	155.787,84
	>1000	3	10000	258	684	1	365	94.170	249.660	146.905,20	389.469,60
2018	<200	1	1000	9	23	0,5	182,5	1.570	4.161	2.449,20	6.491,16
	>200	1	2000	17	46	0,5	182,5	3.139	8.322	4.896,84	12.982,32
	>1000	2	10000	172	456	0,5	182,5	31.390	83.220	48.968,40	129.823,20
2013-2018		61						1.702.908	4.514.685	2.656.536,48	7.042.908,60

Obs.: Coeficiente de emissão *Default* de 1,56 Mg de CO₂eq.m⁻³ (Brasil, 2012).

Estimativa Total da Mitigação de GEE pelas TEC_{ABC}

A Tabela 14 apresenta a sistematização dos dados utilizados e as estimativas de expansão de área de adoção, redução de emissões com seus respectivos coeficientes por TEC_{ABC}, mitigação total e qualidade geral das estimativas. Observa-se que as TEC_{ABC} ocupam atualmente uma área da ordem de 91 a 114 milhões de hectares, com uma área de expansão nos últimos 7-8 anos entre 33 e 41 milhões de hectares, correspondendo a 93 a 115% da meta compromisso de 35,5 milhões de hectares, comprovando as previsões de adoção do Plano ABC. Calculando-se as taxas de expansão das TEC_{ABC} relacionadas ao processo de intensificação produtiva, observa-se uma expansão no período considerado para RPD, ILP e SPD de 66, 86 e 45%, respectivamente, e uma taxa de crescimento anual 7,5% para RPD, 9,2% para ILPF e 5,5% para SPD.

Entretanto, as metas setoriais de RPD e FP não foram atingidas com base nas estimativas realizadas, situando-se entre 22 a 70% e 21 a 41%, respectivamente. Ao se considerar as estimativas de especialistas sobre a evolução da recuperação de pastagens no período considerado – da ordem de 10 a 19 milhões de ha (Laerte G. Ferreira, LAPIG/UFG, informação pessoal) e a parcialidade dos dados de adoção disponíveis até o momento, pode-se afirmar que certamente as metas setoriais já tenham sido atingidas. Porém, necessita-se de um esforço metodológico adicional para a quantificação da evolução da recuperação de pastagens no País, bem como no levantamento do tratamento de dejetos animais nas cadeias de suínos e de pecuária leiteira.

Embora com as limitações metodológicas deste estudo, reflexo da deficiência de coeficientes de emissões regionalizados, a qualidade geral das estimativas foi classificada como nível 2, em sua maioria (Tabela 14). Esses números evidenciam a sustentabilidade ambiental do setor agropecuário e demonstram para a sociedade brasileira o forte engajamento dos diferentes atores do setor agropecuário, produtores, técnicos, extensionistas e pesquisadores que capacitaram e motivaram a adoção das TEC_{ABC} como estratégia de intensificação produtiva e para o enfrentamento das mudanças climáticas globais, por meio da adoção de tecnologias sustentáveis de produção.

Tabela 14. Metas voluntárias, estimativas de expansão da adoção, mitigação e critérios de avaliação decorrentes do fomento às tecnologias de baixa emissão de carbono no âmbito do Plano ABC.

Tecnologias ABC	Recuperação de Pastagens Degradada (RPD)	Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF)	Sistema Plantio Direto (SPD)	Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)	Florestas Plantadas (FP)	Tratamento de Dejetos Animais (TDA - milhões m ³)	TOTAL
1) Metas do Plano ABC							
1.1) Compromissos ¹ (Milhões ha)	15,0	4,0	8,0	5,5	3,0	4,40	35,50
1.2) Potencial de Mitigação da Tecnologia (Milhões Mg CO ₂ eq.) ¹	83 a 104	18 a 22	16 a 20	10	N.E.	6,9	132,9 a 162,9
2.1) Área total estimada (Milhões ha)	3,30 ²	12,61 ⁴	32,88 ⁵	33,98 ⁵	0,63 ²	7,84 ⁵	91,04 a 113,88
2.2) Expansão da adoção no período (milhões ha)	3,30 ²	5,83 ⁴	12,72 ⁵	10,64 ⁵	0,63 ²	0,71 ⁶	33,12 a 40,86 ¹⁶
2.3) % atingida em relação à meta do Plano ABC	22%	146%	159%	193%	21% 41%	1,71 ^{8a}	93% a 115%
2.4) Período considerado	2010 a 2018	2010 a 2016	2010 a 2017	2010 a 2017	2010 a 2016/18	2013 a 2018	2010 a 2018
3) Estimativas de Mitigação							
3.1) Fator emissão (Mg CO ₂ eq.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	3,79 ⁹	3,79 ⁹	1,83 ⁹	1,83 ⁹	3,89 ¹³	1,57 ⁹	----
3.2) Mitigação (Milhões Mg CO ₂ eq.)	12,54	22,11 ⁹	23,28	19,74 ⁹	25,37 ¹³	2,67 ^{8a}	106,25 ¹⁵ 131,57 ¹⁶
3.3) % média atingida em relação à média da meta do Plano ABC	13%	111%	129%	197%	180%	39%	72% 89%
4) Qualidade das Estimativas							
4.1) Dados da Atividade*	1	2	2	1	2	2	2
4.2) Fatores de Remoção de GEE*	2	2	2	1	1	2	2
4.3) Qualidade Geral da Estimativa*	2	3	2	1	2	3	3

¹ Compromissos voluntários (NAMA) estabelecidos no Plano ABC para expansão da adoção das tecnologias e redução das emissões de GEE; ²Dados do Banco Central (BACEN) referentes aos financiamentos do Programa ABC; ³ Estimativas de Azevedo (2018) com base na estimativa de lotação de pastagens bem manejadas; ⁴ Dados da Associação Rede ILPF e da Plataforma ABC (2016); ⁵ Dados oriundos do Censo Agropecuário (2006 e 2017); ⁶ Dados da Indústria Brasileira de Árvores (2019); ⁷ Total de FP financiadas pelo Plano ABC e outros cultivos florestais (Indústria Brasileira de Árvores, 2019) para estimativa de sequestro C no solo; ⁸ Dados estimados pela expansão da capacidade de TDA financiada pelo Programa ABC/BACEN; ^{8a} baseado na estimativa de produção média de esterco por categoria animal por Oliveira (1993) e ^{8b} volume diário de dejetos líquidos produzidos em sistemas de produção de suíno para UPL pela Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (Santa Catarina, 2014); ⁹ Brasil (2012); ¹⁰ Bustamante et al. (2006); ¹¹ Carvalho et al. (2010); ¹² Plataforma ABC - adaptado de Sá et al. (2017); ¹³ Sequestro de carbono na biomassa vegetal (Bustamante et al., 2015); ¹⁴ Sequestro de C no solo sob cultivo florestal - Lima et al. (2006); ¹⁵ Soma das estimativas de redução das emissões, excluindo RPD financiadas pelo Programa ABC e sequestro de C na biomassa de FP; ¹⁶ Soma das estimativas de redução de RPD financiada pelo Programa. NE = não definido no Plano ABC; NA= não se aplica

Discussão

Historicamente, a maior parte das emissões de GEE do Brasil é oriunda de mudanças no uso da terra, particularmente da conversão de vegetação natural para uso agrícola (Brasil, 2016). Apesar da tendência de diminuição das emissões brasileiras de CO₂ entre 2005 e 2010 (1,7 - 0,3 Milhões de Mg CO₂.ano⁻¹), em 2015 a agropecuária foi diretamente responsável por 31% das emissões brasileiras de GEEs, com um aumento de 5,36% em relação às emissões de 1990 e, alcançando 55% das emissões, quando associadas às emissões relacionadas a mudanças de uso das terras promovidas pela dinâmica da agropecuária.

Mudanças no uso e manejo da terra podem resultar em efeitos negativos ou positivos no que se refere à emissão ou sequestro de GEEs para a atmosfera, bem como afetando a sustentabilidade e produtividade da produção agrícola via degradação da matéria orgânica do solo, com reflexos negativos nos atributos físicos, químicos e biológicos (Carvalho et al., 2010). Para Madari et al. (2018), a mitigação das emissões reflete-se em balanços de GEE mais favoráveis nos agroecossistemas, os quais podem se comportar como sistemas neutros ou sumidouros de GEE, nos quais a redução das emissões de GEE e o aumento do sequestro de carbono, principalmente do carbono orgânico, são um dos objetivos principais na transição para uma produção agropecuária de baixa emissão de carbono.

Em condições naturais o teor de C no solo é definido principalmente pelas condições edafoclimáticas (textura, mineralogia, fertilidade, temperatura, precipitação, tipologia vegetal entre outros), enquanto em solos agrícolas, o C no solo depende das condições edafoclimáticas e do manejo agrícola adotado, principalmente em relação à forma de preparo do solo, erosão, práticas que afetem a atividade microbiana e suas enzimas e a exposição da matéria orgânica do solo (Balesdent et al., 2000). Por exemplo, na renovação das pastagens em sistemas ILPF a adoção de plantio direto (PD) diminui a mineralização de carbono do solo em relação ao preparo convencional do solo Balbino et al. (2011). Para Salton (2005), os estoques de C do solo ocorrem de forma decrescente nos sistemas de produção de pastagem permanente > ILP sob PD > lavoura em SPD > lavoura em cultivo convencional, com taxas de acúmulo de C no solo em ILP sob plantio direto e as de lavouras sob SPD de 0,60 e 0,43 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. De forma concordante, West e Post (2002), com base em dados de 67 experimentos de longa duração, quantificaram as taxas potenciais de sequestro de C do solo para diferentes culturas com e sem aração do solo e rotação de cultivos nos Estados Unidos. Estes autores relatam aumentos do armazenamento de C no solo a taxas de 0,57 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, podendo atingir um pico entre 5 e 10 anos e alcançando um equilíbrio entre 15 e 20 anos. Já para Stahl (2017), pastagens bem manejadas e com mistura de espécies C3 e C4 como forrageiras tropicais podem garantir um sequestro contínuo de C da ordem de 1,3 ± 0,37 e 5,3 ± 2,08 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, superior ao acúmulo em floresta nativa vizinha, onde o acúmulo foi da ordem de 3,2 ± 0,65 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹.

Na literatura científica variações de coeficientes de acúmulo de C no solo refletem as variações das condições ambientais e dos sistemas de manejo do solo. Por exemplo, Moraes et al. (1996), Neill et al. (1997), Bernoux et al. (2002), Cerri et al. (2007) registram variações de acúmulo de C no solo da ordem de 2,7 a 6,0 Mg C ha⁻¹.ano⁻¹ em pastagens bem manejadas. Bustamante et al. (2006), com base em uma compilação de dados, relatam que após a conversão do Cerrado, de vegetação nativa para pastagem, o aumento médio do estoque de C no solo é da ordem de 1,23 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C, com amplitude de 0,9 a 3,0 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, dependendo do tipo de manejo do solo e das gramíneas utilizadas.

Na região do Cerrado a taxa de acúmulo de C na conversão do sistema de SPD para ILP sob plantio direto pode variar de 0,8 a 2,58 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, após quatro anos de cultivo, dependendo das condições edafoclimáticas e do tempo da adoção da tecnologia (Carvalho et al., 2010). Já a conversão da vegetação nativa do Cerrado para pastagens de *B. decumbens* e sucessão de culturas com soja como principal cultura reduz os estoques de C no solo e aumenta as emissões de N₂O e CH₄, resultando respectivamente em emissões de 0,54 e 0,72 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ nos primeiros quatro anos, podendo ser revertida com uma mitigação das emissões de 0,36 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ após oito anos de cultivo em sistemas de integração lavoura-pecuária (Carvalho et al., 2014). Na Mata Atlântica dados compilados por Mello et al. (2006) indicam acúmulo de C da ordem de 2,71 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C no solo.

Portanto, as diferenças de resultados de taxas de sequestro e ou emissão de C do solo refletem as variações associadas às práticas de manejo, rotação de culturas, condições edafoclimáticas e tempo de adoção (Bayer et al., 2006; Maia et al., 2009), nos diversos ambientes produtivos do País. Entretanto, no Brasil ainda são escassos estudos regionalizados sobre estoques de C e N em sistemas de uso e gestão da terra de paisagens agrícolas, que possam ser utilizados nas estimativas de emissões de uso, mudanças de uso e manejo agrícola das terras (Sá et al., 2013). Madari et al. (2018) reforçam esta deficiência, como observado nos projetos desenvolvidos pela Embrapa, onde os modelos de simulação e cenários das emissões de GEE em sistemas agrícolas, atualmente em uso, não fornecem resultados satisfatórios pela falta de parametrização para as condições brasileiras.

Como consequência da deficiência de coeficientes regionalizados de emissão de GEEs e de dados sobre a adoção das tecnologias, foram utilizados os coeficientes de emissão do Plano ABC (Brasil, 2012) para cada uma das Tec_{ABC} e coeficientes da literatura científica utilizados em estudos semelhantes (Tabela 2), com reflexos diretos na baixa qualidade das estimativas de mitigação, à exceção da FBN (Tabela 14).

Pastagens degradadas são consideradas conceitualmente por Dias Filho (2011) como uma área com acentuada diminuição da produtividade agrícola (baixa capacidade de suporte), ou seja, perda da capacidade de manter a produtividade do ponto de vista biológico (acumular biomassa). Macedo et al. (2013) estimam que aproximadamente 70% das pastagens plantadas no Brasil estão em algum estágio de degradação, decorrência principalmente para Dias Filho (2014) da adaptação da espécie de gramínea ao ambiente local e às práticas de manejo utilizadas.

Dados preliminares do Censo Agropecuário de 2017 apontam que a área ocupada com pastagens no Brasil é da ordem de 158,6 milhões de ha, sendo que destas 46,85 milhões de ha são de pastagens naturais e 11,82 milhões de ha de área de pastagens consideradas como degradadas (IBGE, 2017). Entretanto, estudos desenvolvidos pela Fundação Getúlio Vargas (2015); Dias et al. (2016); Azevedo et al. (2018) estimam que a área de pastagens degradadas do País é da ordem de 53, 51 e 50 milhões de há, respectivamente. Já o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (2019) estimou a área ocupada com pastagens em 2018 em 168,9 milhões de ha, das quais 74 milhões de ha foram classificados como não degradados (44% do total); 29,6 milhões de ha com degradação leve (18%); 25,1 milhões de ha moderadamente degradados (15%) e 40,2 milhões de ha com degradação severa (24%)

Estas estimativas confirmam, em parte, a afirmação de Strassburg et al. (2014), de que a bovinocultura de corte ainda representa uma das principais fontes de emissão de GEE da agropecuária, decorrência principalmente da sua dimensão territorial. Por meio da adoção de TECABC a pecuária pode representar uma oportunidade para a melhoria do quadro de degradação das pastagens

nacionais e redução das emissões. Para Sollenberger et al. (2019) a literatura científica suporta a afirmação de que o gerenciamento e manejo das pastagens com o uso forrageiras mais produtivas, o aumento do número de espécies de plantas ou grupos funcionais, especialmente quando as leguminosas são adicionadas e o aporte de fertilizantes, geralmente aumentam o acúmulo de C no solo com produtividade.

Em relação à taxa de lotação de animais e sequestro de C no solo, Sollenberger et al. (2019) consideram que taxas de lotação baixas ou moderadas em pastagens não degradadas favorecem o acúmulo de C no solo em relação às altas taxas de lotação, especialmente em ambientes com baixa precipitação. Entretanto, para Oliveira et al. (2014), pastagens sob manejo intensivo ao longo dos anos aumentam o teor de matéria orgânica e a capacidade de troca de cátions do solo, podendo ocorrer teores maiores de matéria orgânica nestas quando comparadas com matas não antropizadas localizadas na mesma gleba.

Portanto, estimativas sobre o valor correto da área de pastagens degradadas, sua recuperação ao longo do tempo e emissões de GEEs associadas é um desafio para a pesquisa agropecuária. Ou seja, ainda é necessário desenvolver uma metodologia uniforme para caracterizar os indicadores de degradação das pastagens que considerem as diversas condições e realidades produtivas locais e regionais, como por exemplo, a produtividade que se consideraria ideal para uma determinada pastagem em particular (Dias Filho, 2011).

Existe consenso, entretanto, que o valor é elevado e seu monitoramento é fundamental para o planejamento da expansão da agropecuária brasileira. A recuperação e intensificação dessas áreas, bem como a adoção de ILPF podem permitir o aumento da capacidade de suporte animal, diminuir indiretamente a pressão para a abertura de novas áreas agrícolas (Oliveira, 2015) e reduzir as emissões de GEE do setor agropecuário. Da mesma forma, há concordância quanto à importância da intensificação sustentável da pecuária bovina como alternativa para atender a demanda crescente de produção de carne e a necessidade de redução das emissões de GEE (Cohn et al., 2014; Strassburg et al., 2014; Embrapa, 2018).

Adicionalmente, pressões ambientais e de mercado (Skorupa; Manzatto, 2019), associadas à disponibilidade de técnicas para a formação e manejo das pastagens têm contribuído para uma mudança de atitude dos produtores, que investem no aumento da eficiência na produção animal a pasto (Dias Filho, 2014), na produtividade das pastagens e na taxa de lotação animal no Brasil (Dias et al., 2016).

As estimativas de expansão da adoção de RPD realizadas neste estudo indicaram uma área de expansão no período muito superior à área financiada pelo Programa ABC (3,3 milhões de ha) em relação à estimativa de cerca de 10 milhões de ha de Azevedo et al. (2018) (Tabela 6 e 7). Esta diferença indica que a expansão da RPD não ficou restrita apenas às áreas financiadas pelo Programa ABC, corroborando também a tendência de intensificação e integração produtiva da pecuária brasileira apontada pelos cenários realizados pela Embrapa (2018). Esta mesma conclusão também se aplica às demais TECABC, ou seja, políticas de crédito e ações de fomento desenvolvidas pelo Plano ABC são ferramentas importantes de indução da adoção destas tecnologias pelos produtores rurais, ressaltando-se a necessidade do desenvolvimento de metodologias mais eficientes para acompanhar e monitorar a adoção das TECABC no território nacional.

Entretanto, a expansão da adoção de RPD foram inferiores à meta estabelecida no Plano ABC e podem ser reflexo da deficiência de metodologias para o monitoramento em larga escala da evolução da produtividade das pastagens brasileiras, como discutido anteriormente. As instituições

que compõem a Plataforma ABC estão trabalhando para desenvolver indicadores e metodologias para o monitoramento com uso de sensoriamento remoto como forma de apoio às políticas públicas, bem como para apoiar uma estratégia de mercado, interno e externo, quanto à sustentabilidade da pecuária brasileira (Manzatto et al., 2018).

Em decorrência da dimensão territorial ocupada pela pecuária, o Brasil tem apostado na integração produtiva por meio de sistemas integrados como o ILPF. Balbino et al. (2011) define o ILPF como:

“uma estratégia que visa à produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica”.

Atualmente, o ILPF é considerado como uma estratégia promissora para atender a demanda global por produtos à base de carne bovina, diminuindo a pressão por desmatamento de novas áreas florestais por meio do aumento da produtividade da pecuária e restauração de pastagens degradadas (Reis et al., 2018), com maior conforto térmico para os animais.

Por estes motivos, a Associação Rede ILPF em 2016 contratou a Kleffmann Group com orientação técnica da Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna, SP) para realizar uma pesquisa com agricultores e pecuaristas sobre a adoção de Sistemas ILPF. O estudo revelou que os entrevistados com atuação principal na pecuária e que adotam a estratégia ILPF, 83% utilizam o sistema Lavoura-Pecuária (ILP); 9% ILPF e 7% Integração Pastagem-Floresta (IPF) e, entre aqueles com atuação predominante na produção de soja e milho verão, 99% adotam o sistema ILP; 0,4% ILPF e 0,2% possuem Lavoura-Floresta (ILF) em sua propriedade (Skorupa; Manzatto, 2019). A pesquisa demonstrou ainda que a expansão de ILPF no período foi superior à meta estabelecida pelo Plano ABC.

Destaca-se, entretanto, que mantendo-se as taxas de expansão das tecnologias relacionadas ao processo de intensificação produtiva da pecuária observadas no período considerado pelo estudo, de 66 e 86% para RPD e ILPF respectivamente, com uma taxa média de crescimento anual de 7,5 e 9,2% respectivamente, projeta-se para 2030 uma expansão da ordem de 22 e 30 milhões de hectares de áreas produtivas com RPD e ILPF respectivamente, suficientes para demonstrar as importantes contribuições do setor agropecuário brasileiro em atender os compromissos das NAMAs e NDC.

Consonante com a estratégia ILPF, que prevê o uso de plantio direto, o SPD é conceituado como uma forma de manejo conservacionista baseada na semeadura de culturas sem revolvimento do solo, com a presença de cobertura morta ou palhada e na rotação de culturas. O Plantio Direto teve início em 1969 na região Sul, inicialmente como alternativa aos impactos ambientais decorrentes do sistema de cultivo convencional como a erosão do solo, perdas de nutrientes e, conseqüente, queda na produtividade agrícola (Cassol et al., 2007). Atualmente, esta prática está difundida em todas as regiões do País não apenas para o controle da erosão, mas com várias outras vantagens, como de tempo nas atividades agrícolas, menor incidências de pragas e doenças, redução dos custos de produção, aumento ou manutenção da produtividade das culturas, quando comparado com o cultivo convencional, sendo uma excelente alternativa para evitar a degradação dos recursos naturais (Silva et al., 2009). Ressalta-se ainda, que o SPD tem sido responsabilizado por promover mudanças na biodiversidade de plantas daninhas e, também alterações de inóculos de doenças e ainda mudanças quanto aos insetos-praga (Silva et al., 2009), podendo gerar aumento da incidência de pragas, o que resulta em maior uso de defensivos químicos (Camargo et al., 2016).

Integrada à RPD, ILPF e SPD, a fixação biológica do nitrogênio (FBN) é um processo no qual o nitrogênio (N₂) presente na atmosfera é convertido por alguns grupos de micro-organismos como fonte de nitrogênio (N) para a nutrição das plantas. O desenvolvimento de cultivares de soja e estirpes de *Rizobium* sp. adaptados às condições de clima e solos brasileiros viabilizou a expansão do cultivo de soja (Döbereiner, 1990) e a competitividade da produção brasileira em relação a de outros países. No caso da soja brasileira, para rendimentos médios de 3 Mg ha⁻¹ a economia de fertilizantes é da ordem de 240 kg de N ha⁻¹, ou o dobro desta quantidade de N, quando se considera a eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados, quantidade esta suprida totalmente pelas estirpes de *rizobium* selecionadas pela pesquisa brasileira (Hungria et al., 2013; Sá et al., 2017). Embora outros cultivos com espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio e pastagens também contribuam para as metas estabelecidas no Plano ABC, a ausência de dados e informações para o cálculo da contribuição da FBN, neste estudo considerou-se apenas a contribuição do cultivo de soja, que foi suficiente para cumprir em 197% a meta do Plano sem a necessidade de financiamento pelo Programa ABC (Tabelas 4 e 10).

Destaca-se a possibilidade de aumentar o fomento do potencial de mitigação e dos benefícios sustentáveis da FBN em gramíneas como o milho e pastagens consorciadas com leguminosas forrageiras atualmente em desenvolvimento pela pesquisa agropecuária brasileira, evitando-se a necessidade de fertilização nitrogenada.

Em relação à FP, segundo a IBÀ (Indústria Brasileira de Árvores, 2019), a área total de árvores plantadas no Brasil com fins comerciais totalizou 7,83 milhões de ha em 2018, mantendo-se praticamente estável em relação ao ano de 2017, com um ligeiro recuo de 0,1%. Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares desse total, enquanto as áreas com pinus somam 1,6 milhão de hectares, e outras espécies, entre elas seringueira, acácia, teca e paricá, representam cerca de 590 mil hectares. Deste total 36% pertencem às empresas do segmento de celulose e papel, 29% em propriedades rurais que investem na produção de madeira em tora e 12% para produção de carvão vegetal destinada à siderurgia.

O incremento de área plantada em relação ao ano de 2010 foi de cerca de 700 mil hectares, valor próximo à área financiada pelo Programa ABC, que foi da ordem de 633 mil ha, porém muito inferior aos 3 milhões de ha estabelecidos como meta do Plano. Destaca-se, entretanto, que a linha de financiamento do Plano ABC para recomposição florestal de passivos ambientais decorrentes da promulgação da Lei nº 12.651/2012 – Novo Código Florestal, que não foi completamente implementada, o que certamente teria sido um indutor para atingir a meta prevista em termos de área e mitigação das emissões. Adicionalmente, fatores econômicos de mercado contribuíram para o baixo crescimento do setor de florestas plantadas para fins comerciais no Brasil no período avaliado.

Da mesma forma, a meta prevista para TDA também foi parcialmente atingida, com base nas estimativas baseadas no número de financiamentos diretos do Programa ABC. Entretanto, a exemplo da RPD, estas estimativas são parciais e decorrentes da falta de dados sobre a adoção e informações setoriais mais abrangentes sobre a venda e implantação de equipamentos para o tratamento de dejetos de animais, especialmente nos setores de suinocultura e pecuária leiteira. Estudos contratados pelo DEPROS/MAPA indicam que o volume de tratamento de dejetos é muito superior ao financiado diretamente pelo Programa, fato este que também foi observado em relação à ILPF e RPD.

Do ponto de vista do mercado agrícola, no Brasil as discussões sobre a sustentabilidade e as emissões de GEEs do setor agrícola, aliados aos ganhos de produtividade, eficiência e integração

dos sistemas agropecuários (Caro et al., 2014), ganham força e sinalizam, de um lado, como uma oportunidade importante para atender à crescente demanda por produtos agropecuários, com potencial para limitar o impacto no sistema climático global (Gerber et al., 2013; Havlík et al., 2014), e de outro, questionamentos sobre seus impactos em relação ao desmatamento e emissões de GEEs decorrentes de mudanças de uso das terras, especialmente em mercados agrícolas mais exigentes em relação à sustentabilidade ambiental. Para Hoffman (2004), estamos em um período de transição, onde o tema mudanças climáticas ainda é um assunto abstrato para grande parte da sociedade, principalmente em relação às métricas de emissões, riscos e oportunidades associados à agenda. Porém, as estimativas de mitigação apontam para uma oportunidade de mercado para os produtos agropecuários brasileiros, que podem contribuir ainda com o aumento da produtividade, rentabilidade e sustentabilidade da produção por meio das TEC_{ABC} , especialmente em relação à RPD e ILPF.

Desde 2001, Landers e Freitas (2001) já destacavam os benefícios socioambientais da intensificação e a integração produtiva com RPD, ILPF, SPD e FBN com reflexos inclusive no desestímulo ao desmatamento de novas áreas, especialmente na Amazônia. Estas tecnologias possuem múltiplas externalidades positivas ao meio ambiente com ganhos de produtividade, rentabilidade dos cultivos, consideradas pelos autores como a chave para a sustentabilidade econômica e ambiental do agronegócio brasileiro. Oliveira (2015) e Oliveira et al. (2014) acrescentam que as ações mitigadoras indicadas para a agropecuária caracterizam-se também como ações de adaptação às mudanças climáticas, que promovem a diminuição das perdas de nutrientes nos agroecossistemas e o aumento do estoque de carbono nos solos e no componente arbóreo, contribuindo para manter altos índices de produtividade e melhor aproveitamento dos recursos naturais, especialmente solo e água. Incentivos para adoção desta estratégia produtiva é socialmente justificável e financeiramente rentável, podendo ser implementada por exemplo, pela incorporação das TEC_{ABC} como referência na concessão de financiamentos de custeio do Plano Safra.

Quanto à qualidade das estimativas, à exceção da TDA que foi classificada como dado pouco confiável e/ou de difícil avaliação, face à diversidade de sistemas de produção de suínos e a falta de informações sobre a tecnologia utilizada, as demais estimativas foram consideradas como confiáveis, com destaque para a FBN que possuem fontes de dados e $F_{E/R}$ confiáveis (Tabela 14). Como discutido anteriormente, as estimativas obtidas podem apresentar diferenças regionais significativas, necessitando de aprimoramento em decorrência principalmente da falta de coeficientes de sequestro de carbono regionalizados (FE/R), das variações regionais dos sistemas produtivos e da definição de indicadores homogêneos para o monitoramento da adoção, como ilustrado no caso da RPD.

Portanto, a implementação e o monitoramento em larga escala da adoção de TEC_{ABC} , bem como a estruturação de estatísticas, bases de dados e coeficientes de emissão regionalizados demandam a implementação da atuação da Plataforma ABC, a internalização e a integração institucional dos diversos atores do tema – pesquisadores, técnicos, extensionistas e produtores rurais, visando à definição de metodologias e responsabilidades por meio de uma Rede Colaborativa, cujas ferramentas de monitoramento em larga escala já estão disponíveis e validadas. O desenvolvimento de uma metodologia de Monitoramento, Relatório e Verificação (MRV) recomendada pelo IPCC é ainda uma meta do Plano ABC a ser cumprida.

Silva (2019) na dissertação de mestrado na Escola de Economia de São Paulo, da Fundação Getúlio Vargas (EESP/FGV), avaliou três tecnologias MRV (AgroTag, SATVeg e protocolo GHG) que acompanham práticas conservacionistas e são ferramentas úteis para monitoramento e qualificação de práticas do Plano ABC. O estudo avaliou o uso das três tecnologias de MRV no

acompanhamento físico-financeiro de contratos do Plano ABC para a recuperação de pastagens. O AgroTag e o SATVeg são produtos da Embrapa e o protocolo GHG é um método norte-americano adaptado à realidade do País pela Embrapa. Esta proposta de MRV continua em desenvolvimento atualmente por meio da Parceria Embrapa e Observatório ABC da FGV com apoio do Mapa.

O próximo passo é a estruturação da Rede Colaborativa público-privada para o monitoramento da adoção de TEC_{ABC} e sequestro de carbono no solo, para as tecnologias RPD, ILPF e SPD, como estratégia não apenas para cumprir as exigências das NAMAs e das NDCs, mas também para subsidiar o Mapa e o Governo Brasileiro na definição de metodologias, responsabilidades institucionais – especialmente o papel do setor financeiro, financiamento agropecuário e integração de políticas públicas relacionadas às Mudanças Climáticas, Meio Ambiente e Segurança Alimentar.

Agradecimentos

Ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), pela dedicação por meio do Departamento de Produção Sustentável e Irrigação, da Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação na execução do Plano ABC e do Programa ABC, bem como na implantação do Comitê Diretor da Plataforma ABC, este último estratégico para a prestação de contas à sociedade brasileira sobre a evolução da sustentabilidade da agropecuária nacional e do atendimento das metas setoriais estabelecidas.

Ao Dr. Ciniro Costa Junior do Imaflora, pela sugestão de metodologia de avaliação da qualidade e revisão das estimativas.

Referências

- AZEVEDO, T.; COSTA JUNIOR, C.; BRANDÃO JUNIOR, A.; CREMER, M. S.; PIATTO, M.; TSAI, D. S.; BARRETO, P.; MARTINS, H.; SALES, M.; GALUCHI, T.; RODRIGUES, A.; MORGADO, R.; FERREIRA, A. L.; SILVA, F. B.; VISCONDI, G. F.; SANTOS, K. C.; CUNHA, K. B.; MANETTI, A.; COLUNA, I. M. E.; ALBUQUERQUE, I. R., WATANABE JUNIOR., S.; LEITE, C.; KISHIMANI, R. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Scientific Data**, v. 5. n. 180045. 2018. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/sdata201845>>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALBANE, M. Relationship of soil organicmatter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 53, n. 1-4, p. 215-230, 2000.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco referencial em integração lavoura-pecuária-floresta (iLPP)**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 130 p.
- BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. D. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002. Doi: 10.2136/sssaj2002.0888.
- 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. **Diário Oficial da União**, 10 dez. 2010. Seção 1, p. 4.
- BRASIL. Decreto nº 9.073 de 05 de julho de 2017. Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016. **Diário Oficial da União**, 6 jun. 2017. Seção 1, p. 3. 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D9073.htm>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- BRASIL. Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 29 dez. 2009. Seção 1, p. 109. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm>. Acesso em: 9 dez. 2019.
- 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, 2012. 172 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Pecuária e abastecimento. **Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos**. Brasília, DF: 2016a. 100 p.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Brasília, DF, 2016. 44 p.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. ; CERRI, C. E. P. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Haworth, 2006. p. 285-304.
- BUSTAMANTE, M. M.C.; SANTOS, M. M. de O.; SHIMBO, J. Z.; CANTINHO, R. Z.; MELLO, T. de R. B. de; OLIVEIRA, P. V. de C. e; CUNHA, P. W. P. da; MARTINS, F. da S. R. V.AGUIAR, A. D.; OMETTO, J. **Terceiro inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: relatório de referência: setor uso da terra. mudança do uso da terra e florestas**. MCTI. Brasília: DF, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2015. 342 p. Disponível em: <http://redd.mma.gov.br/images/FREL/RR_LULUCF_Mudana-de-Uso-e-Floresta.pdf>. . Acesso em: 10 set. 2018.

CAMARGO, F. P. de; ANGELO, J. A.; OLIVETTE, M. P. A. Expansão do plantio direto nas principais culturas no Estado de São Paulo, 2011-2015. **Informações econômicas**, v. 46. n. 6, p. 1-13, 2016.

CAMPOS, J. G. F. de; FISCHAMANN, A. A. Visão estratégica das mudanças climáticas na cadeia produtiva da carne bovina no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 3.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 2., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Uninove, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.uninove.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1025/388.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 2 fev. 2018.

CARO, D.; DAVIS, S. J.; BASTIOANONE, S.; CALDEIRA, K. Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock. **Climatic Change**, v. 126, n.1-2, p. 203-216, 2014.

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, 2010.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; FRAZÃO, L. A.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 183, p. 167-175, 2014.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema Plantio direto: evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo: volume 5**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 333-365.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB Agro Cepea-USP/CNA**. 2018. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 02 dez. 2019.

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, 2007.

COHN, A. S.; MOSNIER, A.; HAVLÍK, P.; VALIN, H.; HERRERO, M.; SCHMID, E.; O'HARE, M.; OBERSTEINER, M. Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 20, p. 7236-7241, 2014.

DIAS, L. C. P.; PIMENTA, F. M.; SANTOS, A. B.; COSTA, M. H.; LADLE, R. J. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. **Global Change Biology**, v. 22, n. 8, p. 2887-2903, 2016. DOI: 10.1111/gcb.13314.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed.. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 215 p.

DIAS FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. 204. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).

DÖBEREINER, J. Avanços recentes na pesquisa em fixação biológica de nitrogênio no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 8, p. 144-152, 1990.

EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Ed.). **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Japan: IGES, 2006. 5 v. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>>. Acesso em: 11 dez. 2019.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF, 2018. 212 p.

FIDELIS, R. R.; ROCHA, R. N. C.; LEITE, U. T.; TANCREDI, F. B. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. **Bioscience Journal**, v. 19, n. 1, p. 23-31, 2003.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Invertendo o sinal de carbono da agropecuária brasileira**: uma estimativa do potencial de mitigação de tecnologias do Plano ABC de 2012 a 2023. São Paulo, 2015. 32 p. Disponível em <http://mediadrawer.gvces.com.br/abc/original/gv-agro_09_em-simples.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2019.

GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. (Org.). **A agricultura brasileira**: desempenho, desafios e perspectivas. Brasília, DF: IPEA, 2010. 298 p.

GERBER, P.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; FALCUCCI, A.; TEMPIO, G. **Tackling climate change through livestock**: a global assessment of emissions and mitigation. Rome, FAO, 2013. 115 p.

HAVLÍK, P.; VALIN, H.; HERRERO, M.; OBERSTEINER, M.; SCHMID, E. Climate change mitigation through livestock system transitions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 10, p. 3709-3714, 2014.

HOFFMAN, A. J. **Climate change strategy**: the business logic behind voluntary greenhouse gas reductions. Ann Arbor: University of Michigan, 2004. 44 p. (Working Paper, 905). Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/30840778>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio com a cultura da soja. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados, MS. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 51- 75. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: Contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Sciences**, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; MERCANTE, F. M. **A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para as culturas do feijoeiro e da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 24 p. (Embrapa Soja. Documentos, 337).

IBGE. **Censo agropecuário 2017**: resultados preliminares. Rio de Janeiro, 2017. RJ. V7 108 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.

IBGE. Sistema de Recuperação Automática. **Produção Agrícola Municipal**. 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 14 set. 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2019**. 2019. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 9 dez. 2019.

Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. **Atlas das pastagens brasileiras**. Goiânia, 2019. Disponível em: <<https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php/produtos/atlas-digital-das-pastagens-brasileiras>>. Acesso em: 15 dez. 2019.

LANDERS, J. N.; FREITAS, P. L. Preservação da vegetação nativa nos trópicos Brasileiros por incentivos econômicos aos sistemas de integração lavoura x pecuária com plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECO-ECO, 4., 2001, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 2001. 7 p. 2001. Disponível <https://www.researchgate.net/publication/266219325_Preservacao_da_Vegetacao_Nativa_nos_Tropicos_Brasileiros_por_Incentivos_Economicos_aos_Sistemas_de_Integracao_Lavoura_x_Pecuaria_com_Plantio_Direto>. Acesso em: 11 dez. 2019.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S.; SMYT, T. J. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 235. n. 1-3, p. 219231, 2006.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G.; ARAUJO, A. R. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA, 1., 2013, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181.

MADARI, B. E.; CUADRA, S. V.; OLIVEIRA, P. P. A.; HIGA, R. C. V.; RAMOS, N. P.; ANDRADE, C. A. de; KEMENES, A.; GONDIM, R. S. O papel da agricultura na mitigação das emissões de gases de efeito estufa. In: CUADRA, S. V.; HEINEMANN, A. B.; BARIONI, L. G.; MOZZER, G. B.; BERGIER, I. (Ed.). **Ação contra a mudança global do clima: contribuições da Embrapa**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 59-68.

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, 2009.

MANZATTO, C. V.; SPINELLI-ARAÚJO, L.; VICENTE, L. E.; VICENTE, A. K.; PEROSA, B. Plataforma ABC: monitoramento da mitigação das emissões de carbono na agropecuária. **Agroanalysis**, v. 38, n. 3, p. 26-29, 2018.

MELLO, F. F. C.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Potential of soil carbon sequestration for the Brazilian Atlantic Region. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C. E. P. (Ed.). **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Haworth, 2006. p. 349-368.

MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, v. 70, n. 1, p. 63-81, 1996.

NEILL, C.; CERRI, C. C.; MELILLO, J. M.; FEIGL, B. J.; STEUDLER, P. A.; MORAES, J. F. L.; PICCOLO, M. C. Stocks and dynamics of soil carbon following deforestation for pasture in Rondonia. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F. & STEWART, B. A., (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC, 1997. p. 9-28.

OBSERVATÓRIO ABC. Análise dos recursos do Programa ABC Safras 2017/18 e 2018/19. Fundação Getúlio Vargas (FGV) Centro de Estudos em Agronegócio (FGV Agro), Escola de Economia de São Paulo (EESP). 38 p. 2019.

OLIVEIRA, P. A. V. de (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188 p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27).

OLIVEIRA, P. P. A. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 623-634, 2015.

OLIVEIRA, P. P. A.; BERNARDI, A. C. C.; ALVES, T. C.; PEDROSO, A. de F. Evolução na recomendação de fertilização de solos sob pastagens: eficiência e sustentabilidade na produção pecuária. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 9.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF BEFF CATTLE PRODUCTION, 5., 2014. **O Encontro do boi verde: anais**. Viçosa: UFV, 2014. p. 289-344.

ORMEÑO-ORRILLO, E.; HUNGRIA, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Dinitrogen-fixing prokaryotes. In: ROSENBERG, E.; DELONG, E. F.; LORY, S.; STACKEBRANDT, E.; THOMPSON, F. (Ed.). **The prokaryotes: prokaryotic physiology and biochemistry**. 4. ed. Berlin: Springer, 2013. p. 427-451.

REIS, J. C.; KAMOI, M. Y. T.; LATORRACA, D.; CHEN, R. F. F.; MICHETTI, M.; WRUCK, F. J.; GARRET, R. D.; VALENTIM, J. F.; RODRIGUES, R. A. R.; RODRIGUES-FILHO, S. Assessing the economic viability of integrated crop-livestock systems in Mato Grosso, Brazil. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 34, p. 1-12, 2018. DOI: 10.1017/S1742170519000280.

SÁ, J. C. 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: 10.1016/j.envint.2016.10.020.

SÁ, J. C. M.; SANTOS, J. B.; LAL, R.; MORAES, A.; TIVET, F.; SÁ, M. F. M.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. O.; FARIAS, G. E. A.; FRIEDRICH, T. Soil-specific inventories of landscape Carbon and Nitrogen stocks under no-till and native vegetation to estimate carbon offset in a subtropical ecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 6, p. 2094-2110, 2013.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 158 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SAMBUICHI, R. H. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; SILVA, A. P. M.; LUEDEMANN, G. **A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios**. Brasília, DF: IPEA, 2012. 46 p. (Texto para discussão).

SANTA CATARINA. Fundação do Meio Ambiente. **Instrução normativa nº 65**. 2014. Disponível em: <http://fatma.sc.gov.br/site_antigo/downloads/images/stories/Instrucao%20Normativa/IN%2065/in_65.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SILVA, F. C. **Avaliação dos contratos do Plano de Agricultura de Baixo Carbono para recuperação de pastagens degradadas por ferramentas de MRV (Monitoramento, Relato e Verificação)**. 2019. 85 f. Dissertação (Mestrado)-EESP/FGV, São Paulo.

SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009.

SKORUPA, L.; MANZATTO, C. V. Avaliação da adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil. In: SKORUPA, L.; MANZATTO, C. V. (Ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologias, avaliação da adoção e de impactos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. p. 340-379.

SOLLENBERGER, L. E.; KOHMANN, M. M.; DUBEUX, J. C. B.; SILVEIRA M. L. Grassland management affects delivery of regulating and supporting ecosystem services. **Crop Science**, v. 59, n. 2, p. 441-459. 2019.

STAHL, C. Continuous soil carbon storage of old permanent pastures in Amazonia. **Global Change Biology**, v. 23, n. 8, p. 3382-3392, 2017.

STRASSBURG, B. B. N.; LATAWIEC, A. E.; BARIONI, L. G.; NOBRE, C. A.; SILVA, V. P. da; VALENTIM, J. F.; VIANNA, M.; ASSAD, E. D. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84-97, 2014.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; RESENDE, A. S. de; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produtividade dos sistemas agrícolas na América Latina. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. p. 181-200.

WEST, T. O.; POST, W. M. Global analysis of soil organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 6, p. 1930-1946, 2002.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE - 16045