AGROPOLÍTICA EMDEBATE

Destravar o potencial brasileiro: incentivos necessários para estimular produtores a apoiarem a descarbonização

CAMILA DIAS DE SÁ
CLAUDIA CHERON KÖNIG
NIELS SØNDERGAARD

APD
DIÁLOGO AGROPOLÍTICO BRASIL · ALEMANHA
AGRARPOLITISCHER DIALOG BRASILIEN · DEUTSCHLAND

APD | DIÁLOGO AGROPOLÍTICO BRASIL · ALEMANHA
AGRARPOLITISCHER DIALOG BRASILIEN · DEUTSCHLAND

O Diálogo Agropolítico Brasil-Alemanha (APD) é um mecanismo de intercâmbio de conhecimentos e de informações sobre os desafios agroambientais bilaterais e globais. Há mais de duas décadas, a Alemanha desenvolve iniciativas semelhantes com diversos países. Elas são importantes referências para o desenvolvimento do APD no Brasil.

As atividades do APD têm como base o Memorando de Entendimento assinado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e o Ministério da Alimentação e Agricultura da Alemanha (BMEL, na sigla em alemão). Participam do Diálogo representantes desses ministérios, do agronegócio, da academia e da sociedade civil do Brasil e da Alemanha.

O objetivo é a busca de um melhor entendimento sobre questões-chave das políticas agropecuárias e ambientais frente aos crescentes desafios agroambientais e das mudanças climáticas. O intercâmbio e a disseminação de conhecimento dão-se por meio de seminários, de fóruns, de conferências, de publicações e de viagens de intercâmbio.

SCN Quadra 1 Bloco C salas 1102-1104
Ed. Brasília Trade Center Brasília - DF
Tel.: +55 61 9 9964-3731
contato@apd-brasil.de
www.apdbrasil.de
APD Brasil Alemanha
APD Brasil Alemanha

Com o apoio de:

Ministério Federal da Alimentação e Agricultura

em virtude de decisão do Bundestag Alemão

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

Implementado por

GFA CONSULTING GROUP
Mandatário do BMEL
Escritório de Berlim

IAK AGRAR CONSULTING

AGROPOLÍTICA EMDEBATE

Destravar o potencial brasileiro: incentivos necessários para estimular produtores a apoiarem a descarbonização

CAMILA DIAS DE SÁ
CLAUDIA CHERON KÖNIG
NIELS SØNDERGAARD

São Paulo, outubro de 2022

SOBRE ESTE ESTUDO

Este estudo foi encomendado como documento de referência pelo APD | DIÁLOGO AGROPOLÍTICO BRASIL - ALEMANHA. O seu conteúdo é de responsabilidade exclusiva dos autores. Quaisquer opiniões aqui expressas não são necessariamente representativas ou endossadas pelo APD.

AUTORES

Camila Dias de Sá
Professora e pesquisadora do Insper Agro Global, São Paulo, especialista em agronegócios com foco nas indústrias de insumos agrícolas e cadeias agroindustriais. Camila tem interesse em temas agroambientais e relacionados ao comércio internacional. Ela é engenheira agrônoma (Esalq-USP) e tem doutorado em Administração (FEA-USP).

Claudia Cheron König
Pesquisadora da Fundação José Luiz Egydio Setúbal e do CORS-USP, São Paulo. É doutora em Administração pela Universidade de São Paulo e mestre em International Business pela Friedrich-Alexander-Universität-Erlangen-Nürnberg, Alemanha. Tem pós-doutorado em economia das organizações, com foco em bioeconomia, pela Universidade de São Paulo.

Niels Søndergaard
Niels tem doutorado em Relações Internacionais pela Universidade de Brasília, Brasil (2018), mestrado em Estudos Globais com especialização em Ciência Política pela Universidade de Lund, Suécia (2014). O seu foco de pesquisa é produção agrícola, comércio e governança.

Sumário

Sumário Executivo 5

Abreviaturas 9

1. Introdução 10

1.1. Mercados internacionais de carbono e mecanismos de precificação 12

1.2. O contexto brasileiro 13

2. Panorama dos desafios da agropecuária brasileira nos mercados de carbono 20

2.1. Mecanismos regulatórios da precificação do carbono no Brasil 20

2.2. Integridade da Certificação 23

2.3. Fatores culturais 27

2.4. Fatores econômicos 30

3. Oportunidades para a adoção dos mercados de carbono por parte do setor agrícola brasileiro 32

3.1. O lado da oferta; vantagens comparativas 32

3.2. Demanda por créditos de carbono e mercados de carbono brasileiros 37

3.3. Cobenefícios para melhorar a inclusão social 40

4. Ajuste de incentivos para promover esforços de mitigação por meio da precificação do carbono 44

4.1. Os desafios dos esquemas de preços no Brasil 44

4.2. Articulação e governança 48

5. A dimensão técnica dos mercados de carbono 50

5.1. Assistência técnica 50

5.2. Mensuração, Relato e Verificação (MRV) <?>

6. Considerações Finais 58

Referências 60

Sumário Executivo

A aceleração da crise climática global impulsionou esforços para promover a transição para a profunda descarbonização das economias em todo o mundo. A precificação do carbono pode ser uma ferramenta importante para internalizar os custos das emissões de gases de efeito estufa entre os agentes econômicos responsáveis, e para destinar incentivos a iniciativas de mitigação. Devido às consideráveis contribuições para as emissões brasileiras de GEE, grandes reduções poderiam ser feitas na produção agropecuária se incentivos adequados fossem criados para desencorajar práticas de produção nocivas e, ao mesmo tempo, promover iniciativas de sustentabilidade. Tais resultados ambientais positivos seriam exacerbados pela dimensão do Brasil e extensas dotações de recursos naturais, que o posicionam como uma potência agroambiental. O presente relatório avalia as oportunidades e desafios da implementação de esquemas de descarbonização no setor, incluindo a precificação do carbono e iniciativas voluntárias, e seu potencial em termos de adoção de práticas de produção de baixo carbono. O relatório trata dos seguintes pontos centrais e faz uma série de recomendações de políticas em diferentes dimensões temáticas:

A dimensão técnica

- O Brasil tem um potencial significativo para Soluções Climáticas Naturais (SCN) devido à extensa dotação de recursos naturais do país. O setor agropecuário também ocupa uma posição chave nesse sentido, e necessariamente precisa ser incluído em planos destinados a reduzir as emissões de GEE dos ecossistemas e aproveitar seu potencial de armazenamento de carbono.
- Além do reflorestamento e da conversão de vegetação natural evitada, grande parte das vantagens comparativas brasileiras em SCN derivam de práticas que melhoram o teor de carbono nos solos e estimulam o uso mais racional de insumos, como plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, sistemas integrados e do potencial para a intensificação sustentável da agricultura e da pecuária. Todas essas práticas poderiam ser significativamente escaladas com consideráveis ganhos de sustentabilidade.
- Um dos desafios iniciais mais significativos para a implementação de projetos de mitigação de baixo carbono na agropecuária diz respeito à disponibilização de recursos e know-how necessários para iniciar a transição. O envolvimento do poder

público e das parcerias público-privadas podem ser muito importantes nesse sentido, principalmente em relação aos pequenos e médios produtores.

- A assistência técnica é um importante fator de incentivo à disseminação de práticas de baixo carbono no Brasil. Há evidências de que, por meio de assistência técnica personalizada, os produtores podem aumentar a produtividade, sua renda e obter uma redução nas emissões de CO_2 como resultado da combinação de sequestro de carbono e emissões evitadas.
- As condições específicas de clima e de solo do Brasil permitem o cultivo durante todo o ano e até três safras anuais. Essa realidade deve ser considerada no processo de definição e adaptação das metodologias de MRV. Os esforços atuais para criar sistemas de informação em larga escala que unam bancos de dados sobre os resultados de diversas intervenções agrícolas em diferentes biomas brasileiros com modelos de dinâmica de emissões são importantes para reduzir os custos com MRV.
- A implementação de sistemas adequados de MRV é fundamental para o sucesso da geração de créditos de carbono ou para diferenciar o produto para o consumidor final, incluindo prêmios de preço pela adoção de práticas sustentáveis. É fundamental que o padrão seja cientificamente sólido, reconhecido pelo mercado e viável para os produtores.

A dimensão institucional

- É crucial que haja uma estrutura institucional para promover incentivos econômicos de precificação de carbono em favor de esforços de mitigação. Os governos devem criar estruturas regulatórias apropriadas para a precificação obrigatória do carbono dos setores econômicos que mais emitem gases de efeito estufa. Portanto, criar os pilares institucionais necessários para a precificação doméstica do carbono, mas também para sustentar o crescimento dos mercados voluntários, é uma tarefa importante para o Brasil.
- Para estimular uma descarbonização profunda na economia brasileira, os setores que mais emitem gases de efeito estufa, i.e., agricultura e pecuária (incluindo mudança de uso da terra), precisarão ser submetidos a uma estrutura abrangente de reduções de emissões obrigatória para garantir uma transição para uma agricultura com baixas emissões de carbono.
- A integridade da certificação é fundamental para garantir a confiança em iniciativas de reduções de emissões. O setor agrícola deve manter os mais altos padrões de mercado, mesmo que isso reduza o escopo de projetos passíveis de certificação.

- Enfrentar a destruição da vegetação nativa por meio da rigidez e rapidez na fiscalização para atingir a meta de desmatamento ilegal zero torna-se condição indispensável para dar credibilidade ao contexto geral das SCN brasileiras.

A dimensão econômica

- A precificação do carbono e o potencial das SCN representam uma combinação de incentivos econômicos positivos e negativos para estimular um movimento em direção à produção de baixo carbono, embora soluções e políticas de mitigação específicas devam ser específicas para cada contexto.
- A viabilidade da geração de créditos de carbono depende, em última análise, de seu preço e custos de implementação. Os preços têm estado historicamente baixos, embora tenham aumentado mais recentemente. Os custos de implementação ainda são elevados. Conferir escala aos projetos de mitigação e certificação pode reduzir os custos de entrada, e pequenos e médios produtores podem ser incluídos por meio de cooperativas.
- A demanda por créditos de carbono no mercado voluntário tem aumentado rapidamente nos últimos anos e deve continuar em uma curva de crescimento exponencial. Se os agentes brasileiros se tornarem elegíveis a suprir mercados regulados, isso estaria associado a uma demanda possivelmente considerável, mas provavelmente também dependeria de um esquema obrigatório de precificação de carbono no país.

A dimensão social

- Além dos desafios técnicos e institucionais, os fatores culturais também contribuem para alimentar o ceticismo dos produtores rurais, podendo ser parcialmente superado por meio de esforços para destacar os diversos benefícios associados às iniciativas de mitigação de carbono, como maior produtividade e fertilidade do solo.
- Mesmo que as barreiras culturais sejam vencidas, muitos produtores brasileiros dificilmente conseguirão se engajar em projetos de adoção de boas práticas ou participar de mercados de carbono de forma individual. Será necessária a coordenação desse processo por agentes que congreguem recursos e forneçam bens coletivos.

- A geração de créditos de carbono deve, no entanto, ser considerada como um dos vários benefícios da transição para a agricultura de baixo carbono. É importante promover o entendimento entre os produtores de que o aumento do estoque de carbono no solo promove ganhos de produtividade.
- Os cobenefícios socioambientais são importantes para gerar repercussões positivas de projetos de mitigação no setor agropecuário. Garantir a ausência de danos e maximizar os cobenefícios também pode contribuir para uma abordagem de sustentabilidade mais holística nos projetos de mitigação de GEE.

Abreviaturas

ABC | Agricultura de Baixo Carbono
APD | Diálogo Agropolítico Brasil Alemanha
FBN | Fixação Biológica de Nitrogênio
CCBA | Aliança para o Clima, Comunidade e Biodiversidade
MDL | Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
ILPF | Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
IPC | Instrumentos de Precificação de Carbono
ESG | Meio Ambiente, Social, Governança
SCE | Sistema de Comércio de Emissões
GEE | Gases de Efeito Estufa
IBRA | Instituto Brasileiro de Análises
IPCC | Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas
ITMOs | Resultados de Mitigação Internacionalmente Transferidos
MRV | Mensuração, Relato, Verificação
SBN | Soluções Baseadas na Natureza
SCN | Soluções Climáticas Naturais
NDC | Contribuições Nacionalmente Determinadas
PSA | Pagamento por Serviços Ambientais
PMR | Partnership for Market Readiness
PNMC | Política Nacional sobre Mudança do Clima
REDD+ | Redução das Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal (mais conservação de estoques de carbono florestal, manejo sustentável de florestas e aumento dos estoques de carbono florestal)
SINARE | Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa
TSVCM | Taskforce on scaling voluntary carbon markets (Força-Tarefa do Escalonamento dos Mercados Voluntários de Carbono)
COS | Carbono Orgânico do Solo
UNFCCC | Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas

1. Introdução

As manifestações cada vez mais evidentes de uma crise climática global fizeram com que esse tema passasse a definir as agendas agroambientais no mundo inteiro. Tendo em vista que as atividades humanas aumentaram o risco de se cruzar fronteiras planetárias elementares, a mudança climática agora se destaca como uma das ameaças ecológicas contemporâneas mais prementes (Rockstrom et al. 2009; Steffen et al. 2015). A produção agropecuária está intimamente associada aos riscos de se ultrapassar os limites planetários relacionados ao uso da terra, escassez de água, ciclos de fósforo e nitrogênio, integridade da biosfera e, principalmente, mudanças climáticas (Springmann et al. 2018; Willett et al. 2019). A produção de commodities agrícolas, como carne bovina, soja, óleo de palma e produtos madeireiros, está intimamente relacionada a processos de mudança no uso da terra com impactos climáticos nocivos (Henders et al. 2015; Pendrill et al. 2019), o que, em última análise, também pode desencadear importantes pontos de ruptura ecológica (Lovejoy & Nobre, 2018; 2019).

As tentativas de mitigação dos efeitos negativos da agricultura sobre o sistema climático global têm ganhado cada vez mais atenção nos últimos anos. Elas agora abrangem diferentes iniciativas que vão desde a intensificação sustentável, experimentação agroflorestal, redução da aplicação de fertilizantes, desvinculação da produção de alimentos do desmatamento e outras mudanças nos modos convencionais de produção e consumo. Dada a escala da atual contribuição do setor para a crise climática global, uma transição em direção à agricultura de baixo carbono pode se tornar uma alavanca essencial para mudanças nos esforços globais de mitigação do clima. O caso do setor agropecuário brasileiro não é menos importante. Por meio de suas emissões diretas e indiretas, esse setor representa a maior fonte brasileira de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Considerando a dimensão da área dedicada a lavouras ou pastagens no Brasil – aproximadamente 250 milhões de hectares – bem como a extrema variação entre modos de produção mais e menos intensivos em emissões, existe um enorme potencial de mitigação por meio da adoção de práticas de baixo carbono em nível setorial. Além disso, dado o caráter relativamente limpo da matriz energética brasileira, baseada em grande parte na energia hidrelétrica, o setor agrícola se destaca como o desafio mais importante do ponto de vista climático.

O presente relatório aborda a questão de como os mecanismos de precificação e comércio de carbono podem contribuir para melhorar os resultados de sustentabilidade da agricultura brasileira. Mais especificamente, pretendemos apresentar uma visão geral do cenário atual dos incipientes mecanismos do mercado de carbono brasileiro e destacar as oportunidades e os desafios que eles oferecem em termos de redução dos níveis setoriais de emissões. A precificação do carbono tem sido defendida como um passo importante para destinar incentivos econômicos em favor de um desenvolvimento de baixo carbono (Edmonds et al. 2019; Stiglitz & Stern 2017; van den Bergh & Botzen, 2020). No entanto, diferentes estudiosos também alertaram sobre os riscos que esses mecanismos de mercado podem representar, especialmente no que diz respeito à integridade ambiental das reduções de emissões (Green, 2017; Ervine, 2018; Schneider & La Hoz Theuer, 2019; Schneider et al., 2019).

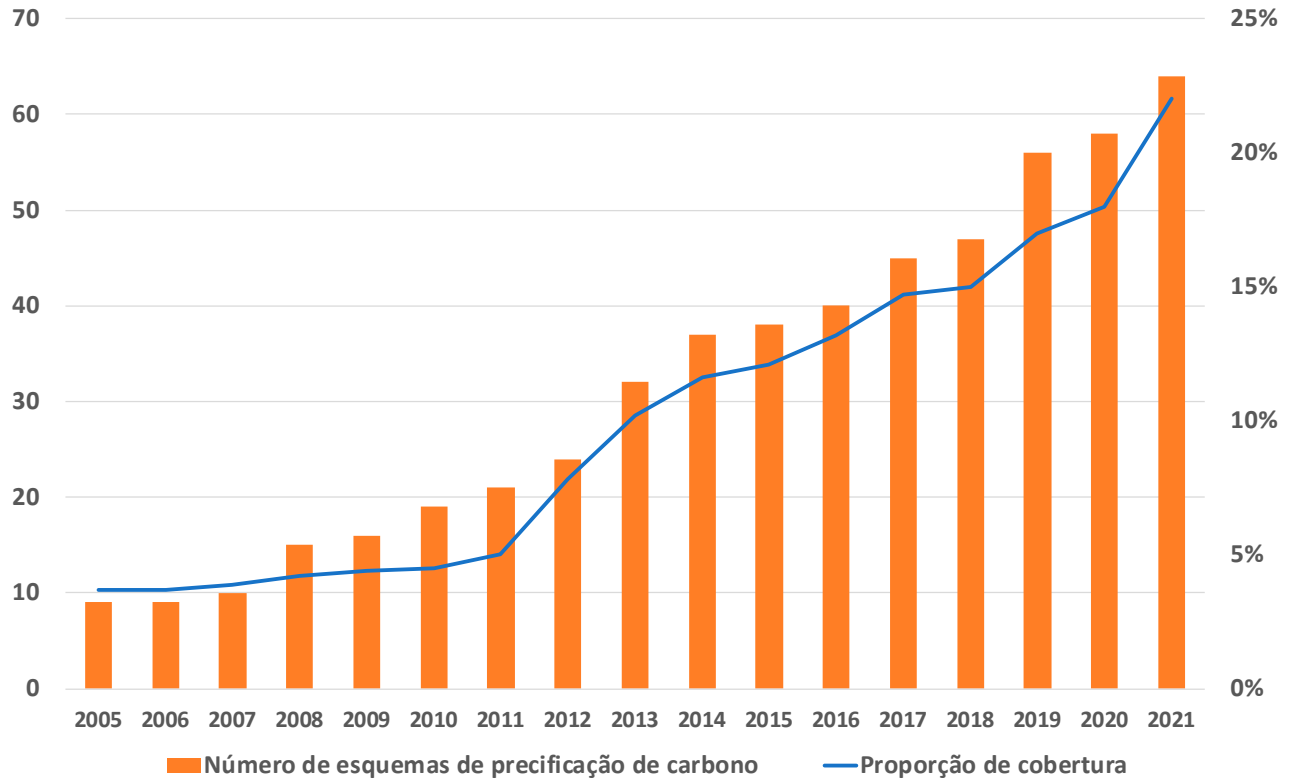
Este relatório também se baseia no conhecimento obtido por uma das autoras, que participou do evento "Diálogo de especialistas: produção de commodities agrícolas de baixo carbono", realizado em junho de 2022 no Centro de Pesquisas para o Desenvolvimento da Universidade de Bonn, na Alemanha. O fórum, organizado pelo Diálogo Agropolítico Brasil-Alemanha (APD), fez parte de uma viagem de intercâmbio com o objetivo de compartilhar conhecimentos e perspectivas sobre mercados de carbono e setores agrícolas dos dois países. A autora viajou a convite da APD juntamente com pesquisadores de importantes órgãos de pesquisa do Brasil, além de interlocutores do setor privado e da sociedade civil. Com base nessas percepções, buscamos apresentar uma perspectiva realista e equilibrada sobre os esforços existentes e as potencialidades futuras para fomentar a redução de emissões por meio da precificação do carbono.

Na seção 1, o relatório apresenta inicialmente um panorama dos conceitos, tendências e agentes essenciais nos mercados globais de carbono, bem como alguns dados importantes sobre o perfil de emissões do Brasil e o potencial de participação do setor agrícola, com destaque para as oportunidades no mesmo. A seção 2 aborda alguns dos desafios mais importantes nesse sentido, relacionados principalmente a estruturas regulatórias, integridade de certificação, obstáculos culturais e fatores econômicos. Na seção 3, são examinadas as oportunidades relacionadas à vantagem comparativa, demanda e cobenefícios. A seção 4 trata de algumas das opções disponíveis para ajustar os incentivos e promover os esforços de mitigação por meio da precificação do carbono. A seção 5 examina os desafios técnicos e possíveis soluções para apoiar a inclusão setorial nos mecanismos de precificação do carbono. A conclusão resume nossos resultados e apresenta nossas recomendações gerais.

1.1. Mercados internacionais de carbono e mecanismos de precificação

As tentativas de mitigar as emissões globais de GEE têm assumido diferentes formas. No centro destas iniciativas estão os esforços de precificação das emissões, para que os agentes econômicos responsáveis internalizem os custos associados. Os **Instrumentos de Precificação de Carbono** (IPCs) contam com a visão das mudanças climáticas como uma falha de mercado, que é tratada por meio de uma mudança na estrutura de incentivos econômicos (Steer & Hanson, 2021; Hingne, 2019). Como resultado, a proporção de emissões globais de GEE cobertas por IPCs aumentou de cerca de 5% em 2005 para 22% em 2021, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Emissões globais de GEE cobertas pela precificação do carbono (proporção em % entre 2005–2021)



Fonte: Banco Mundial (2022)

Os arranjos regulatórios mais comuns para os IPCs são um **imposto sobre o carbono** ou um **Esquema de Comércio de Emissões** (ECE). Os impostos de carbono, geralmente, são aplicados como um preço fixo sobre as emissões de GEE correspondentes a 1 tonelada de CO_2 em termos de potencial de aquecimento global. Os ECEs, por outro lado, funcionam limitando as emissões no âmbito de determinados setores econômicos

e/ou jurisdições. Muitas vezes, um número de cotas de emissão ("o direito de emitir") é distribuído entre os entes regulados para serem negociados entre eles, e o preço é determinado pela oferta e demanda. Os entes sujeitos à taxação do carbono ou incluídos em ECEs estão principalmente em setores intensivos em emissões, onde a contabilização de GEEs é relativamente fácil. Quando a precificação do carbono é uma exigência pública, os mercados que surgem para garantir a conformidade por meio da compra de cotas de emissões são conhecidos como **mercados regulados**. Por meio da noção de R**esultados de Mitigação Internacionalmente Transferidos** (ITMOs), o Acordo de Paris de 2015 permite que os estados comercializem emissões de CO_2 para cumprir suas respectivas metas de redução. No entanto, até o momento, isso não resultou no surgimento de mercados internacionais de carbono baseados em ITMOs.

Quando a precificação do carbono não é uma exigência legal, a comercialização da mitigação de emissões ocorre em **mercados voluntários**. Por sua natureza, os mercados voluntários são mais flexíveis e dependem da monetização de projetos de mitigação ou sequestro, já que os compradores privados buscam compensar as emissões feitas em outros lugares. A geração de **créditos de carbono**, referente a 1 tonelada de CO_2 equivalente, dentro desses mercados, depende da confiança dos compradores nesses produtos. Diversos projetos de sequestro e mitigação podem, assim, levar à geração de créditos de carbono, o que frequentemente também tem resultado em sérios problemas de integridade, quando há dúvidas sobre a solidez dos créditos de carbono. Para fazer face aos problemas de **integridade**, quando há dúvidas sobre a solidez dos créditos de carbono. Para fazer face aos problemas de integridade, diversos mecanismos foram criados, como agências de certificação independentes ou mecanismos de compensação relacionados ao mercado regulado.[1]

1.2. O contexto brasileiro

Devido ao seu tamanho e extensa dotação de recursos naturais, o Brasil ocupa uma posição central dentro do regime climático global, o que significa que o curso de ação do país torna-se importante para agravar ou mitigar a crise climática. Em especial, o setor agrícola brasileiro ocupa uma posição chave, pois medidas de sustentabilidade dentro desse setor seriam importantes para mitigar as emissões brasileiras de GEE. Os produtores agrícolas

1 Até 2020, o padrão *Verified Carbon Standard* (VCS) foi responsável pela maior quantidade de créditos de carbono gerados, seguido pelo *Gold Standard* e pelo *American Carbon Registry.* O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) concebido como um mecanismo de compensação sob o Protocolo de Kyoto foi a segunda maior fonte de geração de créditos de carbono.

e pecuaristas poderiam, assim, fazer parte da solução desse problema, pois existe um grande potencial, seja pela conservação da vegetação nativa dentro das fazendas, seja pela adoção de modelos de produção mais modernos e intensivos em terra, ou pela introdução de práticas que aumentem os estoques de carbono no solo. Embora a maior parte do desmatamento atual no bioma amazônico ou nas regiões fronteiriças do Cerrado seja ilegal (Valdiones et al., 2021) e deva ser combatida por meio de ações públicas rápidas, a legislação brasileira permite o desmatamento sob certas circunstâncias. [2] Os incentivos financeiros podem ajudar a estimular a conservação além da requerida pela lei e a adoção de práticas sustentáveis com resultados de mitigação positivos.

A dotação de recursos naturais do Brasil pode fornecer certas vantagens comparativas para o país dentro dos mercados globais de carbono. As estratégias de uso da terra, como projetos de conservação e reflorestamento, constituem, atualmente, algumas das alternativas mais econômicas para reduções de emissões. O Banco Mundial (2022) sugere que os créditos de carbono gerados por projetos florestais e de uso da terra aumentaram 159% em relação a 2021, respondendo por mais de um terço do total de emissões de crédito. De fonte de emissões líquidas no início deste século, até 2030, as florestas podem se tornar um importante sumidouro de carbono se forem adotados arranjos de governança adequados. Além dos projetos florestais, a implementação de práticas de agricultura de baixo carbono também contém um potencial considerável de redução de emissões na agricultura brasileira. Soluções baseadas na natureza (SBN), que dependem do aprimoramento de atividades naturais para ajudar a enfrentar os desafios sociais, têm chamado bastante atenção nos últimos anos. No âmbito das SBN, as Soluções Climáticas Naturais (SCN) se referem explicitamente a iniciativas de conservação e manejo que reduzem as emissões de GEE dos ecossistemas e lançam mão de seu potencial para armazenar carbono (Seddon, 2020). [3] Soluções Climáticas Naturais (SCN) custo-efetivas podem oferecer uma grande proporção de mitigação climática em nível global nas próximas décadas. Nesse contexto, os países tropicais merecem destaque, pois detêm cerca de 60% do potencial global de SCN (Griscom et al. 2017). Do ponto de

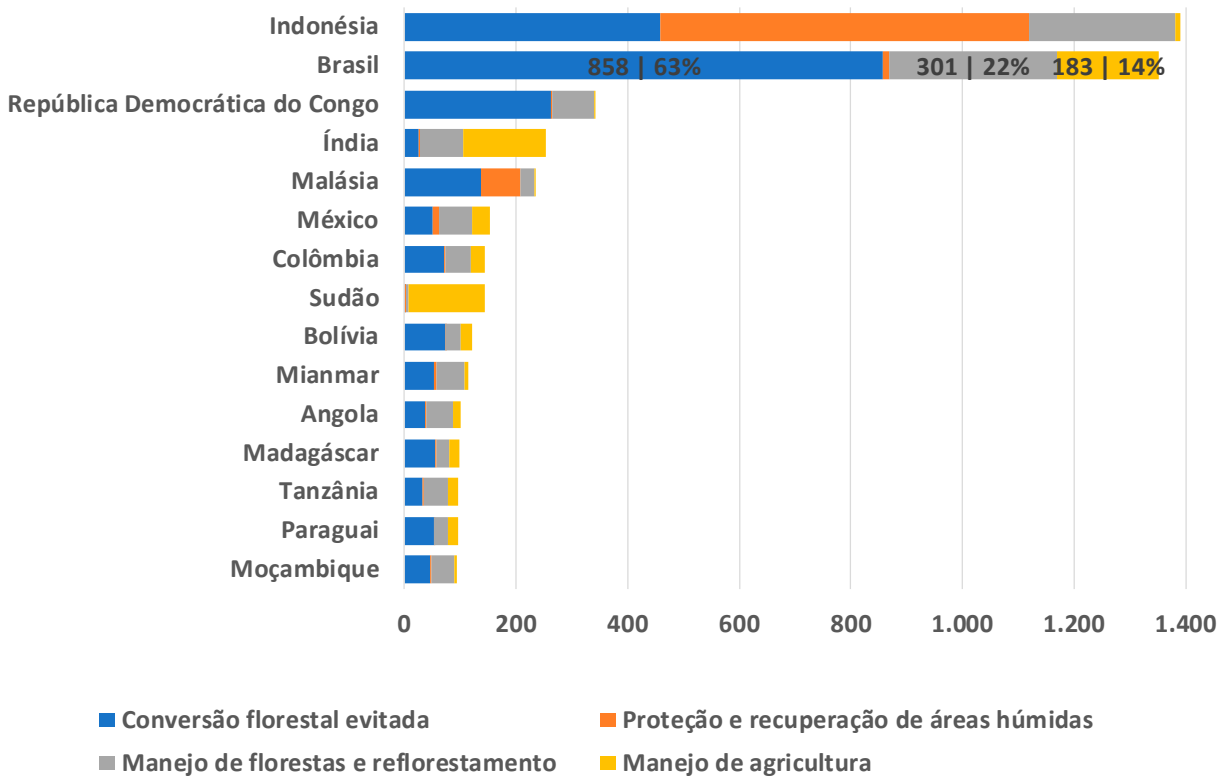
2 As propriedades rurais privadas no Brasil precisam manter a chamada reserva legal de vegetação nativa intacta, numa proporção que varia de 20 a 80% da propriedade de acordo com o bioma. Quem tiver vegetação nativa acima desse patamar pode desmatá-la legalmente, nos casos em que houver autorização.

3 As SBN abrangem diversas ações, como a proteção e gestão de ecossistemas naturais e seminaturais, a incorporação de infraestrutura verde e azul em áreas urbanas e a aplicação de princípios ecossistêmicos a sistemas agrícolas. O conceito se baseia no conhecimento de que ecossistemas naturais saudáveis e manejados produzem uma rede diversificada de serviços dos quais depende o bem-estar humano, desde o armazenamento de carbono, controle de inundações, estabilização de encostas até o fornecimento de ar e água limpos, alimentos, combustível, medicamentos e recursos genéticos. As SBN são um "conceito guarda-chuva" que engloba outras abordagens consagradas "baseadas na natureza", como adaptação baseada em ecossistema (AbE) e mitigação baseada em ecossistema, redução de risco de desastres ecológicos e infraestrutura verde. Mais recentemente, o termo "soluções climáticas naturais (SCN)" entrou no léxico (Seddon, 2020, p.2).

vista climático, o o aperfeiçoamento do manejo do solo é necessário para atingir a meta de temperatura do Acordo de Paris e, nos trópicos, o potencial de armazenamento adicional de carbono no solo é maior.

O Brasil está muito bem posicionado no que se refere a mitigação em larga escala por meio de SCN no curto prazo, uma vez que detém pelo menos 21% do potencial de SCN tropicais "custo-efetivas" (<US$ 100 $MgCO_2e$-1) (Griscom et al., 2020). Quando se trata do potencial global de SCN, o Brasil pode responder por 15% do total (McKinsey Nature Analytics, 2021). Assim, juntamente com a Indonésia, o país responde pela maior parte do potencial de SCN "custo-efetivas" (Figura 2).

Figura 2 – Os 12 principais países tropicais em termos de SCN "custo-efetivas" (Tg CO_2e ano-1) e caminhos para a mitigação das mudanças climáticas



Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados retirados de Griscom et al. (2020). Observação: a unidade refere-se a média anual em milhões de toneladas métricas de CO_2 equivalente no período de 2030–2050 ($TgCO_2e$ ano-1)

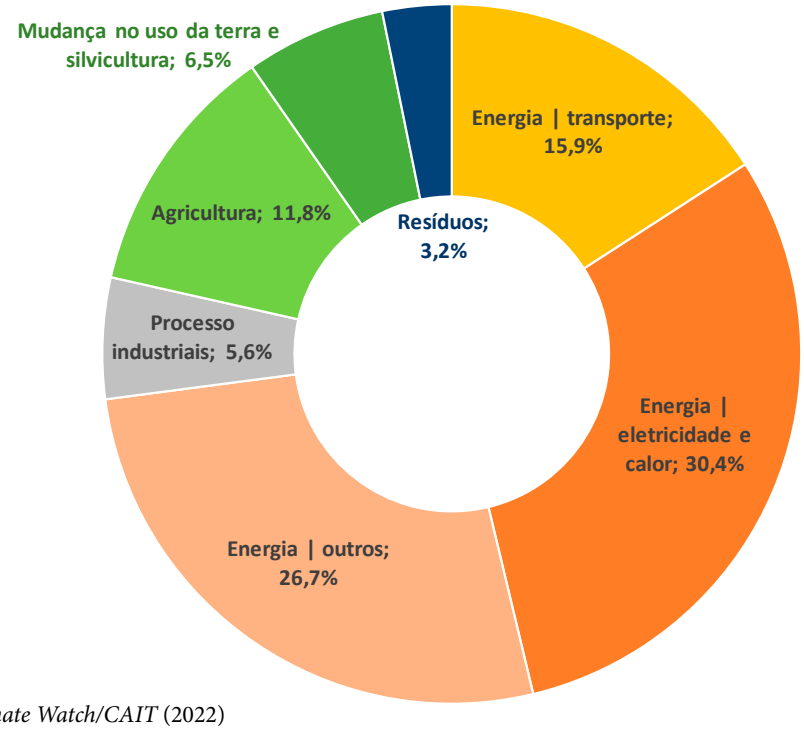
Apesar do grande potencial de resultados de mitigação das mudanças climáticas relacionados aos recursos florestais, o Brasil também possui opções significativas relacionadas à agricultura e manejo do solo, o que representa 14% do total. Em comparação com os grandes provedores de SCN, o Brasil está entre os poucos que têm peso financeiro ou a capacidade de atrair os investimentos necessários para promover a adoção de projetos

de SCN. O cofinanciamento internacional pode acelerar a implementação de SCN, desde que aliado a capacidades institucionais e boa governança.

No que diz respeito especificamente à agricultura e ao manejo do solo, o financiamento climático vem melhorando e há um foco crescente na agricultura no âmbito do Acordo de Paris. Desde 2018, o Grupo de Trabalho Koronivia para a Agricultura Sustentável (*Koronivia Joint Work on Agriculture)*, na esfera da UNFCCC, tem explorado o potencial de mitigação na agricultura e nos solos, abrangendo melhorias no carbono orgânico do solo (COS), saúde e fertilidade do solo em pastagens e terras agrícolas, bem como sistemas integrados (UNFCCC, 2018). Globalmente, há também uma variedade de novas iniciativas do setor privado em COS que prometem financiamento suficiente e possíveis resultados (Bossio, et al. 2020).

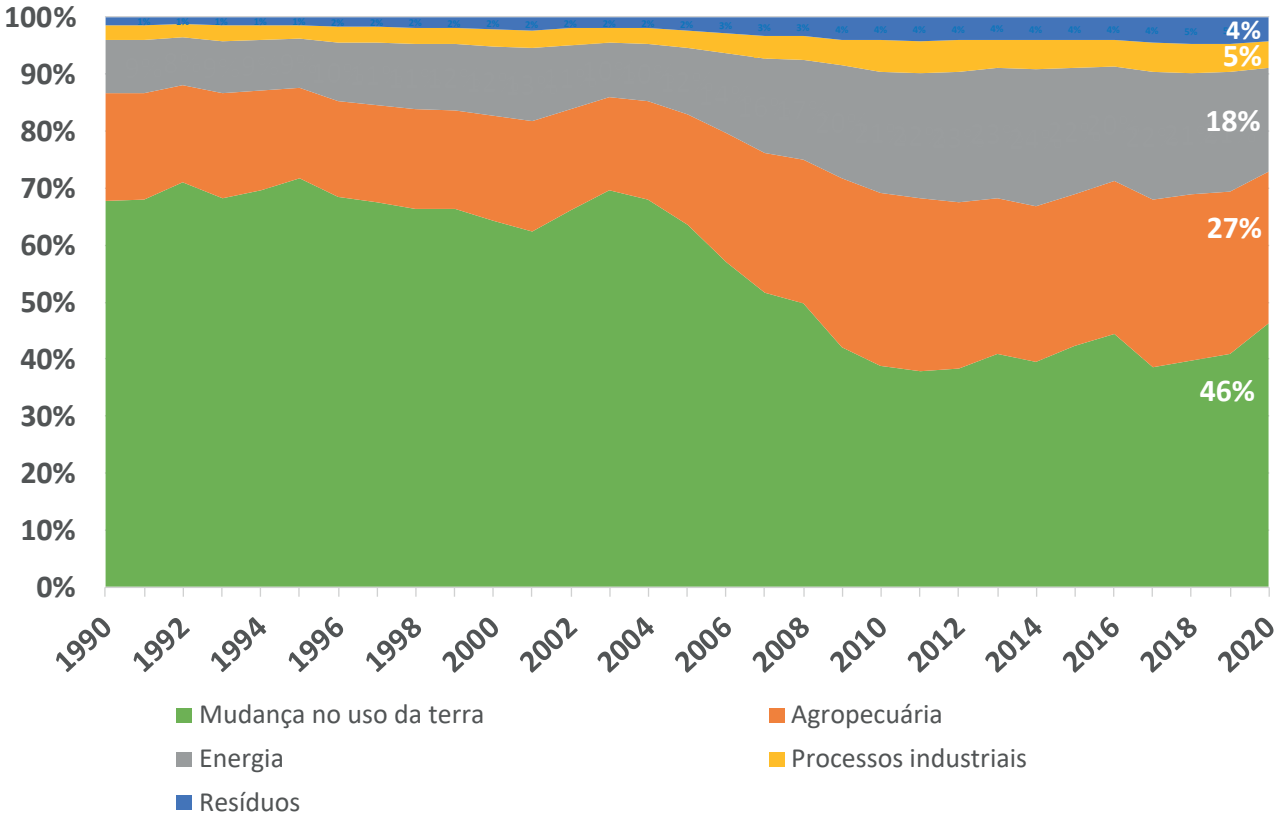
A localização geográfica do Brasil em biomas predominantemente tropicais significa que as emissões de GEE provenientes da perda de vegetação nativa são elevadas. No entanto, simultaneamente, também significa que o potencial de armazenamento adicional de carbono no solo é significativo. Em todo o mundo, as emissões são em grande parte provenientes do setor de energia, que responde por 73%. As emissões da agricultura, mudança no uso da terra e silvicultura representam pouco mais de 18% (Figura 3). No Brasil, esses dois setores emissores respondem por 73% (Figura 4).

Figura 3 – Proporção das emissões globais de GEE por fonte de emissão em 2018



Fonte: *Climate Watch/CAIT* (2022)

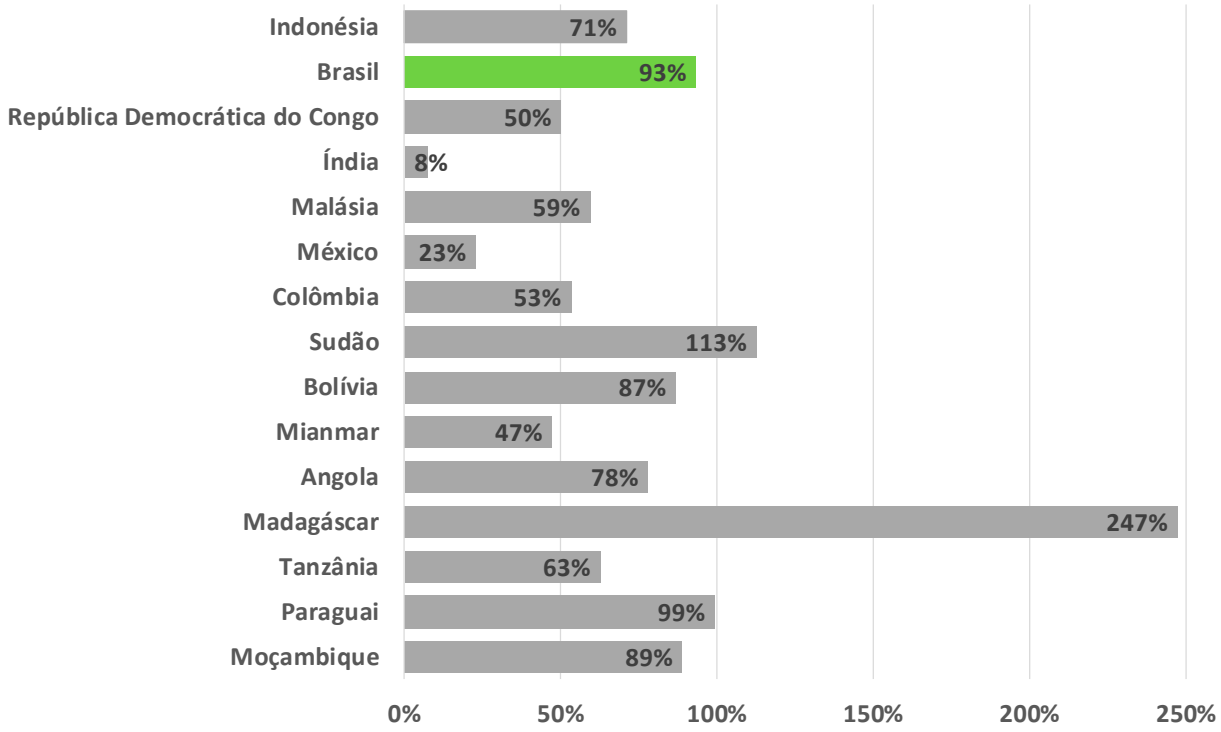
Figura 4 – Evolução histórica da proporção das emissões brasileiras por fonte emissora



Fonte: SEEG (2021)

Diversos países tropicais têm um perfil de emissão com grande participação do desmatamento e uso da terra. Em comparação com outros países, o grande potencial desses países em SCN não deve, portanto, ser visto apenas em termos absolutos, mas também a partir de uma perspectiva relativa em relação à dimensão das suas emissões. Essa proporção é importante no sentido de equilibrar as emissões totais de GEE do país (Figura 5). No caso do Brasil, essa proporção destaca a importância de incentivar a adoção de práticas agrícolas sustentáveis para cumprir seus compromissos climáticos. Vale ressaltar que, apesar do potencial de mitigação, o CO_2 emitido e removido pelo solo ainda não é contabilizado nos inventários nacionais de emissões do Brasil. Portanto, ainda não foi computado para fins de verificação das metas climáticas do país (Potenza et al., 2021).

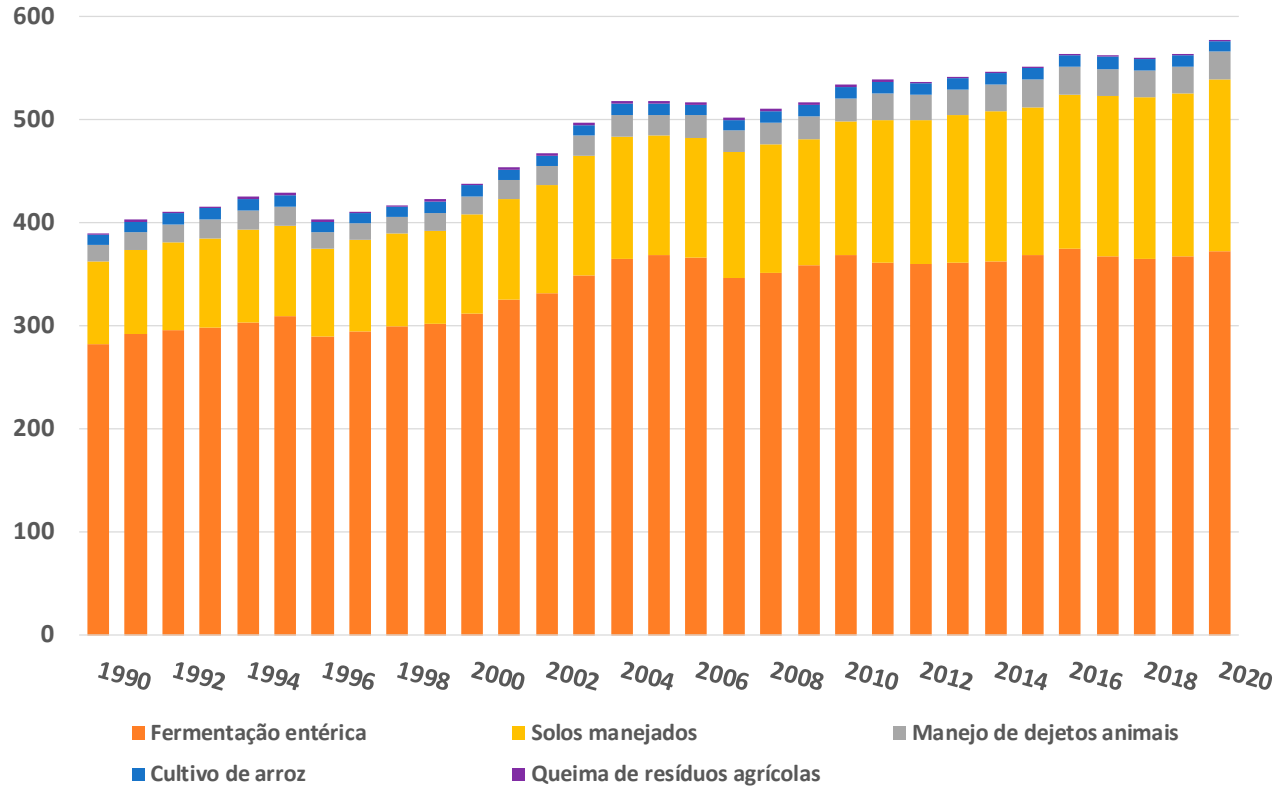
Figura 5 – Porcentagem de SCN no total de emissões nacionais de GEE dos 12 principais países tropicais em termos de SCN custo-efetivas



Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados retirados de Griscom et al. (2020) e Climate Watch/CAIT (2022).
Obs.: Para este cálculo, foram utilizadas as emissões nacionais de 2019.

A partir do perfil de emissões da agropecuária brasileira (excluindo mudança de uso da terra), observa-se que atividades como pecuária (via fermentação entérica) e manejo do solo respondem pela maior parcela das emissões setoriais (Figura 6). Consequentemente, a intensificação sustentável da pecuária, recuperação de pastagens degradadas por meio de conversão em pastagens bem manejadas, agricultura de baixo carbono ou reflorestamento, adoção de sistemas integrados e estratégias para reduzir a fertilização nitrogenada são componentes importantes da solução para o engajamento do país na agenda climática. Nesse contexto, a estocagem de carbono no solo representa grande parte do potencial brasileiro. Globalmente, o carbono estocado no solo representa 25% do potencial das SCN e compreende 47% do potencial de mitigação da agricultura e pastagens, além de propiciar diversos serviços ecossistêmicos (Bossio et al. 2020).

Figura 6 – Emissões da agropecuária brasileira. Por fonte em milhões de toneladas de CO_2eq (excluindo uso da terra)



Fonte: SEEG (2021a)

2. Panorama dos desafios da agropecuária brasileira nos mercados de carbono

No âmbito do Acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões em 50% até 2030, com relação às emissões de 2005, por meio de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). A elaboração de bases institucionais domésticas é uma característica definidora da capacidade dos estados de se engajar em seus compromissos climáticos. Avaliar o processo de materialização das instituições voltadas para o avanço da integração a esse mercado torna-se, assim, um importante foco analítico inicial.

2.1. Mecanismos regulatórios da precificação do carbono no Brasil

O Brasil foi pioneiro no desenvolvimento de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) durante o Protocolo de Kyoto. O país registrou seu primeiro projeto em 2004 e foi responsável por uma grande parcela das iniciativas de MDL. O Brasil também foi um dos primeiros países a estabelecer localmente as bases jurídicas necessárias para o desenvolvimento de projetos de MDL. Esse fato proporcionou uma experiência importante, além de capacidades institucionais para enfrentar os desafios regulatórios e legislativos domésticos, facilitando um mercado global de carbono mais integrado, em consonância com o Acordo de Paris (Mozzer & Pellegrino, 2018; Bittencourt; Busch; Cruz, 2018).

Em 2009, o Brasil instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), representando uma importante plataforma institucional para a estruturação de um Sistema de Comércio de Emissões (SCE) brasileiro. Em 2010, foi adotado o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC), que contém diversas medidas para apoiar os esforços de mitigação no setor agrícola brasileiro. Em 2021, foi lançada a versão atualizada, o "Plano ABC+". Além disso, a revisão do Código Florestal Brasileiro em 2012 também inclui disposições (Artigo 41) destinadas a facilitar o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Essas disposições permitem ao governo instituir um programa de apoio e incentivo à conservação ambiental e à produção rural sustentável. Embora o Artigo 41 do Código Florestal ainda não tenha sido regulamentado

até 2022, em 2021, o Brasil promulgou uma Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Lei 14.119). Essa política reconheceu iniciativas de conservação e recuperação de vegetação nativa, fontes hídricas e biodiversidade em áreas rurais e urbanas, bem como a gestão sustentável de sistemas agrícolas, agroflorestais e agrossilvipastoris (Pinto; Guimarães, Moutinho, 2022). Em 2019, foi lançada oficialmente a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), política de incentivo à expansão do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional brasileira.

Sob a coordenação do Ministério da Economia e do Banco Mundial, o Projeto Partnership for Market Readiness – o Projeto PMR Brasil – teve como objetivo discutir a conveniência e a oportunidade de incluir a precificação do carbono no pacote de instrumentos para a implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) no período pós-2020. O projeto terminou em dezembro de 2020, com a recomendação de um Sistema de Comércio de Emissões – SCE (Albuquerque et al. 2021). A PNMC previa que as diretrizes específicas para uma economia de baixa emissão de carbono seriam detalhadas na forma de um decreto federal. Esse decreto, de número 11.075, só seria publicado em maio de 2022, quase 13 anos após sua previsão na PNMC. Embora o decreto sinalize a prontidão do poder executivo em estabelecer as bases institucionais para um mercado de carbono regulado, muitas questões ainda estão em discussão, principalmente no que diz respeito aos prazos e obrigações setoriais de redução de emissões.

Além da insegurança jurídica associada ao decreto executivo – que pode sofrer alterações significativas no curto prazo – a formulação do decreto não é clara quanto à obrigatoriedade da redução das emissões. Da forma como está, parece permitir que os agentes regulados cumpram suas metas por meio da compra de compensações, não diferenciando o mercado regulado do mercado voluntário. Além disso, não especifica prazos para o alcance desses objetivos e se haverá consequências para os setores que descumprirem as metas de redução. Os diferentes setores econômicos devem apresentar suas estratégias de descarbonização e trajetórias esperadas no prazo máximo de um ano a partir da data de publicação do decreto. Ainda assim, planos setoriais específicos e suas metas serão estabelecidos pelos Ministérios do Meio Ambiente, das Relações Exteriores e demais órgãos administrativos correlatos. Nesse sentido, as metas não serão impostas, mas sim tratadas em discussões com setores específicos, ainda que a palavra final caiba ao Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Portanto, alguns analistas temem que as metas setoriais possam se transformar em acordos mais amplos que favoreçam os interesses de setores regulados específicos. Além disso, as perspectivas de planos de mitigação com

cronogramas diferenciados para cada setor podem facilitar o lobby por parte de grupos empresariais que buscam adiar o período de adaptação de suas obrigações de mitigação.

O decreto institui o SINARE (Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa) que deverá funcionar como central de registro de redução de emissões, compensações e transferências de créditos. O SINARE também aceitará registros de emissões do ciclo de vida do carbono, fluxos de carbono da vegetação nativa, carbono estocado no solo e carbono azul, e unidades de estoque de carbono sem necessidade de certificação. Ao apresentar as diretrizes para a elaboração dos chamados Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, o documento apresenta uma série de limitações técnicas nas definições conceituais sobre o que podem ser considerados créditos de carbono, créditos de metano, créditos de redução de emissões etc. Esses conceitos aparentemente refletem uma tentativa de integrar os ativos ambientais ao mercado de carbono, uma vez que o modelo tradicional de cap & trade não permite a precificação de outros ativos. No entanto, alguns desses conceitos são singulares em termos globais, como o crédito de metano, que recebeu críticas quase unânimes, visto que em quase todos os mercados, as emissões de metano são medidas e comercializadas em unidades de equivalentes de CO_2. A principal preocupação é que a existência de mais de uma medida pode gerar problemas de dupla contagem, comprometendo assim a adicionalidade climática. Uma outra crítica é que tais créditos originários do Brasil podem não ser aceitos internacionalmente.

Em suma, embora tenha sido aclamado pelo governo como um decreto que estabelece um mercado regulado de carbono no Brasil, não cria um cap and trade ou sistema de tributação do carbono em que as metas de emissão estabelecidas pelo órgão regulador possam ser alcançadas por meio de licenças/cotas de emissões, e não apenas pelo uso de créditos de carbono. O decreto parece, assim, restringir-se a organizar a demanda voluntária por créditos de carbono, com um viés de oportunidade na geração de créditos de carbono. Não impõe limites de emissão, que de outra forma seriam necessários para uma efetiva internalização de externalidades negativas por meio da precificação do carbono. Um ponto positivo do decreto diz respeito à presença da agropecuária entre os setores sujeitos a regulamentação. Além de demonstrar certa coerência das políticas públicas em termos de inclusão de todos os setores emissores mais importantes, isso também converge com os compromissos net-zero assumidos por grandes empresas e abre um leque de oportunidades para que esse setor se engaje ativamente na mitigação de emissões de GEE. O necessário processo legislativo que confere mais segurança jurídica, por meio de legislação específica, para a criação e regulamentação de um mercado doméstico de carbono, conforme já previsto na PNMC, teve início com o projeto de lei 528, que será discutido mais adiante, na seção 4.1.

2.2. Integridade da Certificação

Globalmente, as SBN vêm ganhando destaque na política internacional e na retórica empresarial. Isso também tem sido evidente no Brasil, e as empresas dedicadas a desenvolver projetos de geração de créditos de carbono a partir da preservação da Amazônia vêm ganhando força e grandes aportes de investimentos (Adachi, 2022). Em termos de políticas públicas, o Plano ABC foi recentemente prorrogado até 2030 (ver seção 3.1). As SBN representam uma oportunidade para enfrentar os desafios de mitigação e adaptação climática, geralmente a custos razoáveis, propiciando benefícios sociais e ambientais adicionais.

Para o setor agropecuário brasileiro se inserir nos mercados globais de carbono, torna-se extremamente importante garantir a integridade dos créditos de carbono emitidos e a redução de emissões que eles representam. Protocolos sólidos de créditos de carbono, portanto, precisam ser estruturados de acordo com uma série de princípios-chave de integridade, aos quais se torna imperativo aderir para poder comercializar essas compensações em âmbito internacional. Tratamos seis desses princípios-chave, quais sejam: livre de danos, permanência, contenção de vazamentos, sem dupla contagem, adicionalidade e verificabilidade independente.

Em primeiro lugar, garantir que os projetos de mitigação de carbono **não causem danos** às pessoas e ao meio ambiente em que são implementados é primordial para garantir a integridade. Isso implica a necessidade de prestar atenção às comunidades e populações locais possivelmente afetadas, estabelecendo processos de consulta significativos para obter seu consentimento e envolvê-las de forma a garantir a distribuição equitativa das receitas do projeto. À medida que as chamadas "apropriações verdes"4 foram ganhando destaque nos últimos anos, essa abordagem de sustentabilidade equilibrada e mais holística para projetos de mitigação tornou-se ainda mais imperativa. Também converge com a necessidade de evitar um foco míope na mitigação de GEE na concepção do projeto, que apesar de ser o principal resultado desejado, também deve ser considerado em conjunto com diversos indicadores chave de desempenho socioambiental. No mínimo, nenhum dano deve ser detectado em relação a outros parâmetros de sustentabilidade. Na prática, isso também significa que os produtores e demais atores interessados em

4 A apropriação verde (green grabbing) se refere à apropriação de terras para fins de conservação que exclui ou expulsa diretamente as comunidades locais dessas áreas de uma forma que afeta seus meios de subsistência.

se engajar na geração de créditos de carbono precisam apresentar um desempenho de sustentabilidade rigorosamente compatível, tanto no que diz respeito às repercussões diretas da implementação do projeto como também de forma mais ampla em suas propriedades.

Alguns *trade-offs* podem surgir se a política de mitigação climática encorajar SCN com baixo valor de biodiversidade, como o reflorestamento com espécies não nativas ou lavouras de baixa diversidade, podendo resultar em má adaptação, comprometendo outros serviços ecossistêmicos reguladores e culturais. Nesse sentido, deve-se garantir que as soluções naturais possam atingir seu potencial para enfrentar as crises climáticas e da biodiversidade (Seddon, et al., 2020). Tendo em vista que o mercado brasileiro está mais maduro em termos de valorização da mitigação climática (emissões de carbono) do que em relação à valorização de serviços ambientais de forma mais ampla, esse *trade-off* não deve ser negligenciado pelos formuladores de políticas públicas e pelos agentes que atuam no mercado de SBN. Garantir uma transição saudável para uma economia de baixa emissão de carbono, preservando a biodiversidade, é a chave para se obter um meio ambiente mais resiliente.

Um segundo princípio fundamental de integridade diz respeito à **permanência** das reduções de emissões. Esse princípio depende da capacidade de se definir mecanismos contratuais e outros mecanismos institucionais sólidos para garantir que as reduções efetivas e futuras, dependentes das linhas de base dos projetos, não sejam revertidas. Isso naturalmente requer horizontes de planejamento mais longos do que muitos produtores rurais estão habituados, uma vez que o carbono estocado no solo ou na biomassa precisa permanecer armazenado por pelo menos 20 a 30 anos. O caráter amplamente tropical da agricultura brasileira significa que a permanência no solo difere daquela da agricultura temperada em muitos aspectos, o que chama a atenção para a necessidade de procedimentos e tecnologias de Mensuração, Relato e Verificação (MRV) aprimorados e melhor calibrados.

Uma abordagem alternativa para a questão da permanência se baseia na abertura de um fundo de garantia para a carteira de projetos (cada projeto contribui com uma parcela dos créditos obtidos) que funciona como uma espécie de seguro. Para qualquer ocorrência, intencional ou não intencional, que cause reversões de sumidouros ou perdas de estoque de carbono, os créditos mantidos no fundo de garantia serão liberados e cancelados permanentemente. A maioria das normas sobre mercados voluntários de mercado operam com fundos de garantia (Bossio et al., 2020).

Conter o **vazamento** de atividades emissoras constitui outro princípio central de integridade para a geração de créditos de carbono. Vazamento refere-se ao processo pelo qual as emissões, reduzidas na área ou atividade em que o projeto está implantado, são deslocadas para outras áreas e/ou atividades. O vazamento é provável de ocorrer sempre que o escopo geográfico de uma intervenção é limitado em relação ao escopo geral da atividade-alvo (Wunder, 2008). É, portanto, um problema sem solução fácil. Iniciativas jurisdicionais, por exemplo, podem reduzir o nível de vazamento, mas não o eliminar completamente. Regulamentações muito rígidas que abrangessem todo o território brasileiro de forma isonômica, entretanto, provavelmente enfrentariam uma resistência generalizada. Em relação à agricultura brasileira, o deslocamento do desmatamento de uma jurisdição e propriedade para outra, ou entre áreas dentro da mesma propriedade, como consequência das atividades de conservação relacionadas ao projeto, constitui um exemplo clássico de vazamento (Newell et al. 2013). Outra forma de vazamento diz respeito aos processos de intensificação sustentável. Os ganhos ambientais da produção intensificada, por exemplo, na forma de poupa terra e/ou redução dos ciclos de criação, correm o risco de ser prejudicados se não levarem a uma redução na área total dedicada à produção, ou se os produtores simplesmente escolherem aumentar as taxas de lotação. O monitoramento de vazamentos está associado a dificuldades significativas de avaliar os efeitos indiretos dos projetos, sendo, portanto, um processo altamente complexo.

Um ponto central de atenção nos debates sobre compensações de GEE e mercados de carbono diz respeito ao risco de **dupla contagem**. Quando as mesmas reduções de emissões são contabilizadas em mais de uma jurisdição, propriedade, projeto, etc., problemas de dupla contagem de carbono tornam-se evidentes, o que implica o risco de comprometer a confiança nos sistemas de comércio de carbono (Schneider & La Hoz Theuer, 2019). A dupla contagem tem sido frequentemente discutida com atenção voltada ao nível das jurisdições nacionais, destacando os riscos de que sistemas contábeis fracos significariam que os mesmos ganhos de redução poderiam aparecer nos inventários de carbono de dois países diferentes. No contexto da agricultura brasileira, também existe o risco de que sistemas de monitoramento insuficientes possam significar que as mesmas reduções possam ser contabilizadas em diferentes projetos. Para evitar a dupla contagem, a criação de registros nacionais abrangentes e detalhados foi proposta como solução (Schneider et al., 2019). Isso chama a atenção para o estabelecimento de arranjos institucionais robustos para orientar as transações dentro de esquemas futuros para um mercado de carbono brasileiro e a necessidade de abranger todos os setores, projetos e regiões dentro desse sistema.

O princípio da **adicionalidade** é particularmente importante no que diz respeito às avaliações do potencial da agricultura brasileira para se engajar nos mercados globais de carbono. De acordo com esse princípio, os projetos só podem ser considerados elegíveis para a geração de créditos de carbono se for possível provar que suas reduções de GEE não teriam ocorrido na sua ausência. No que diz respeito a tecnologias e sistemas de produção inovadores no setor agropecuário brasileiro, esse princípio pode abrir caminho para o financiamento de projetos com potencial de mitigação ou sequestro de grandes quantidades de CO_2. Mas também significa que quando sistemas de produção com perfil positivo de emissão se tornam práticas comuns no setor como, por exemplo, devido a possíveis vantagens econômicas, eles perdem gradativamente sua adicionalidade e, consequentemente, o potencial de geração de créditos de carbono. Esse pode ser o caso da integração lavoura-pecuária ou do plantio direto, ambos com significativo potencial de mitigação em relação aos modos de produção convencionais, mas devido ao aumento da produção já se difundiram na agricultura brasileira. Por exemplo, a Verra considera como adicional se menos de 20% dos produtores de uma região adotarem determinada prática (Verra, 2020). Nesse caso, uma eventual adicionalidade poderia ser obtida por meio da melhoria contínua das práticas, como um "empilhamento" de intervenções sustentáveis que possam comprovar a adicionalidade ao longo do tempo.

Outro ponto importante de discussão sobre a adicionalidade diz respeito à conservação da vegetação nativa nas propriedades privadas brasileiras. De acordo com o Código Florestal Brasileiro, os proprietários de terras precisam preservar entre 20 a 80% da propriedade, dependendo do bioma, a chamada reserva legal. Como a reserva legal é um requisito que raramente pode ser encontrado fora do Brasil, algumas vozes do agronegócio brasileiro afirmam que, embora a manutenção da reserva legal intacta seja exigida por lei, eles deveriam ter o direito de gerar créditos de carbono correspondentes à quantidade de CO_2 estocada nessas áreas. Embora essa percepção seja comum no setor agrícola brasileiro, é muito improvável que compradores internacionais e outros atores do setor de comércio de emissões considerem a conservação legalmente obrigatória como adicional. Superar essa arraigada percepção do direito de monetizar reservas legais pode se tornar um dos principais obstáculos para convencer os agricultores e pecuaristas brasileiros a se envolverem nos mercados globais de carbono por meio de esforços de conservação além do exigido por da lei, que têm muito mais probabilidade de serem considerados de acordo com o princípio da adicionalidade.

Por fim, garantir a **verificabilidade independente** das reduções de emissões e dos créditos de carbono gerados na agricultura brasileira também se torna fundamental para

garantir a integridade. Inicialmente, isso requer o desenvolvimento de uma estrutura institucional de verificação de terceiros em nível de mercado, dependente da certificação de projetos por certificadores reconhecidos internacionalmente e metodologias comprovadas. Mais importante ainda, a certificação deve ser independente dos implementadores do projeto para evitar conflitos de interesses. No nível prático, a certificação depende de sistemas sólidos de MRV. Os MRV são fundamentais para registrar e documentar os sequestros de carbono decorrentes da implementação e das operações dos projetos. Assim, a consolidação de um MRV incontroverso e tecnicamente comprovado, especificamente voltado para as condições tropicais da produção agropecuária brasileira é crucial, como veremos nas próximas seções.

2.3. Fatores culturais

Além dos aspectos regulatórios, os fatores sociais e culturais também influenciam os produtores, sendo de grande importância em relação aos desafios de implantação de um mercado de carbono. Os produtores precisam se adequar aos arranjos institucionais e aderir às regras ambientais. Além disso, eles também enfrentam expectativas de adotar as melhores práticas ambientais. Ou seja, para além dos desafios puramente técnicos, as questões sociais, incluindo as limitações culturais, econômicas e políticas, são igualmente complexas e muitas vezes ignoradas (Amundson & Biardeau, 2019; Bradford et al., 2019; Thamo & Pannell, 2016; Thamo et al., 2020).

Além de buscar aumentar os níveis de eficiência, os produtores também estabelecem padrões de comportamento por meio da influência de aspectos culturais e normativos. Em outras palavras, o comportamento dos produtores é definido não apenas por normas, leis e regras regulamentadoras, mas principalmente por expectativas e aceitação social no meio em que estão inseridos. A replicação das boas práticas dos pioneiros que obtiveram sucesso pode ser importante para motivar outras pessoas a mudar seus modos de produção, mas também mudar as percepções coletivas e acelerar a conformidade da sustentabilidade por meio da pressão social. A eficácia da adoção de práticas sustentáveis depende da participação de baixo para cima, fortalecendo os canais necessários para a divulgação de resultados e modelos de intervenção. Um sistema de governança ambiental deve considerar a interação de agentes públicos, privados, e da sociedade. O poder público pode desempenhar um papel importante ao assumir a liderança, mas deve considerar as diferenças culturais entre as regiões e os indivíduos que atuam no setor.

A adoção de práticas de baixa emissão de carbono na agricultura brasileira impõe a necessidade de enfrentar o ceticismo e uma mentalidade um tanto conservadora por parte dos produtores. Embora as práticas tradicionais muitas vezes representem modos de produção ultrapassados que comprometem tanto a produtividade quanto o meio ambiente, elas costumam ser muito persistentes e enraizadas. A dinâmica do carbono estocado no solo é complexa, e para que os produtores consigam sequestrar carbono, eles precisam adotar práticas como rotação de culturas, manejo do solo, drenagem, etc. No entanto, as perspectivas de monetizar o carbono sequestrado em solos agrícolas estimularam um aumento drástico no interesse público e privado. Os proponentes desses programas apresentam o sequestro de carbono de solos agrícolas como uma solução ganha-ganha, atendendo às metas climáticas e como fonte de renda para os produtores. No entanto, esse enquadramento muitas vezes ignora os desafios significativos associados à implementação bem-sucedida de um mercado de carbono estocado no solo.

Muitos agricultores e pecuaristas brasileiros apresentam resistência em adotar práticas de produção mais sustentáveis por causa do apego aos modos tradicionais de produção e aversão a novas tecnologias (Bungestab, 2012). Mudanças em algumas práticas e modos de produção também podem apresentar desafios para os produtores, pois isso requer um planejamento mais estruturado e novos aportes de conhecimento (Nobre & Oliveira, 2018). As evidências também sugerem que a falta de precursores e inovadores na região pode dificultar a difusão e adoção de tecnologias sustentáveis (Mattila et al., 2022). Consequentemente, a adoção dos mercados de carbono está associada a uma série de desafios adicionais. A noção de mercados de carbono também ainda é relativamente abstrata. De acordo com um estudo publicado em 2022, 50% dos produtores ainda não entendem como funciona o mercado de carbono e temem que as mudanças possam comprometer a produção (Ferreira et al., 2022). A mudança comportamental, portanto, muitas vezes depende da capacidade de demonstrar que a descarbonização está associada a benefícios agronômicos, que muitas vezes se materializam ao longo do tempo.

Aumentar os estoques de carbono no solo significa que ele reterá mais matéria orgânica e, em geral, a fertilidade e a qualidade do solo são maiores e mais propícias ao desenvolvimento das plantas, produzindo um círculo virtuoso de aumento de rendimento e melhoria da lucratividade. Mesmo na ausência do potencial de monetização das intervenções no manejo agrícola por meio do mercado de carbono, os aderentes podem ainda receber reconhecimento por meio de prêmios de preços. Nesse caso, o apelo do consumidor

pode ser garantido por meio de certificações, rotulagem e compromissos voluntários.[5] Atualmente, dado o estágio incipiente de desenvolvimento desse mercado no Brasil, o carbono não deve ser um fim em termos de monetização, mas sim ser visto como consequência de melhores práticas ou como um meio para melhorar a produtividade. As perspectivas, porém, são mais promissoras quando se olha para fora do Brasil. Em 2022, anunciou-se nos EUA a primeira emissão em larga escala de créditos de carbono a partir de práticas de manejo do solo em uma área de cerca de 40 mil hectares (Florentino, 2022). A UE planeja apresentar uma estrutura de certificação oficial para sumidouros de carbono até o final de 2022 (Parlamento Europeu, 2022). Enquanto isso, vão surgindo outros mecanismos. Na Alemanha, os agricultores adotam práticas agrícolas que armazenam carbono no solo, enquanto as empresas compram esses serviços de armazenamento de carbono. No entanto, isso ainda está restrito a um mercado privado que não é contabilizado no inventário nacional de gases de efeito estufa.[6]

No Brasil, o processo de sucessão de propriedades pelas gerações mais jovens pode se tornar fundamental para impulsionar a transição para uma agricultura de baixa emissão de carbono. Essas gerações geralmente têm uma mentalidade mais positiva em relação às novas tecnologias e às questões socioambientais. No entanto, permanecem preocupações significativas relacionadas à viabilidade econômica, obrigações contratuais, elegibilidade para linhas de crédito e custos associados à verificação dos estoques de carbono (Thompson et al., 2022; Thamo & Pannell, 2016; Ritter & Treakle, 2020). As medições de carbono estocado no solo dependem de uma combinação de amostragem de solo e modelagem de campo para medir o sequestro de carbono. Assim, devido aos altos custos de transação, as empresas devem ser transparentes e se empenhar para ganhar a confiança dos produtores. Para que os mercados de carbono consigam atrair a ampla participação dos produtores, esses desafios precisarão ser enfrentados. A transição das práticas de produção acarreta altos custos iniciais para os agricultores e pecuaristas e baixos retornos durante o período de transição. Requer, portanto, uma mudança de comportamento que só pode ser alcançada se os produtores estiverem convencidos da viabilidade econômica e da lucratividade da adoção do novo sistema de produção, o que também implica uma discussão mais ampla sobre a necessidade de boa governança e políticas públicas efetivas que priorizem programas de apoio duradouros que promovam atividades de subsistência alternativas sustentáveis adequadas também aos pequenos produtores.

5 Os produtores brasileiros de café que usam métodos certificados como sustentáveis estão recebendo até 50% a mais do que o preço de mercado por suas safras por meio de contratos privados com torrefadoras estrangeiras que buscam melhorar sua reputação ambiental (Lewis e Trevisani, 2021).

6 Paga-se cerca de 30 euros por uma tonelada de CO_2.

2.4. Fatores econômicos

Em última análise, os projetos de mitigação das emissões de GEE do setor agropecuário brasileiro dependerão necessariamente de seu grau de viabilidade econômica. A precificação do carbono varia consideravelmente em diferentes partes do mundo. Embora o custo de emissão de uma única tonelada de CO_2 equivalente em mercados regulados, em alguns casos, ultrapasse US$ 100, os preços nos mercados voluntários tendem a ser muito mais baixos (Banco Mundial, 2022). No Brasil, os agentes de mercado informam preços na faixa de 10 US$/tonelada no caso da maioria dos projetos de REDD+. Preços mais elevados podem ser encontrados em alguns casos, como US$ 20/ton para manejo de terras agrícolas – recuperação de pastagens e conversão para agricultura – e US$ 30/ton para florestamento/reflorestamento/revegetação. Os preços em geral relativamente baixos (cerca de US$ 8–10, dependendo do ano de emissão) impõe uma série de limitações ao tipo de projetos e atividades de mitigação que são economicamente viáveis. O aumento dos preços no médio prazo provavelmente dependerá do estabelecimento de uma estrutura institucional adequada para a precificação do carbono em nível nacional – principalmente se for criado um mercado regulado sólido – e dos fatores de demanda associados, que serão tratados na próxima seção.

O crescimento significativo dos mercados voluntários em nível global também pode ter repercussões no Brasil. Isso depende principalmente de até que ponto as organizações nacionais conseguirão fornecer uma grande oferta de créditos de alta qualidade para compradores globais interessados no preço estipulado. A preços baixos, os custos de administração dos projetos, certificação e cobertura de diferentes tipos de fatores de risco podem representar uma grande parcela das receitas, complicando ainda mais o desenvolvimento dos projetos. No caso de projetos envolvendo conservação da paisagem, os altos custos de oportunidade em zonas de expansão agrícola podem representar obstáculos significativos (Garrett et al. 2022). Além disso, os longos prazos contratuais em que os produtores rurais precisam garantir a continuidade das atividades de mitigação também podem ser pouco atraentes para esse grupo, principalmente considerando os curtos horizontes temporais que caracterizam esse setor. Nesses casos, os projetos de mitigação de carbono podem ser mais atraentes como um entre muitos componentes em esforços amplos para avançar em direção a modelos de produção mais sustentáveis. Como visto nos casos de sistemas integrados ou sistema de plantio direto, tais transformações produtivas muitas vezes conciliam ganhos econômicos e de sustentabilidade. A partir dessa perspectiva, a monetização da mitigação de GEE por meio da geração de créditos de carbono poderia

constituir um incentivo adicional para seguir esse curso de ação. Além disso, esforços de mitigação verificados independentemente também podem servir para disponibilizar prêmios para produtos com características específicas de sustentabilidade, como a carne produzida em sistemas agroflorestais.

A capacidade de conferir escala a projetos de mitigação de carbono também se destaca como fator importante para torná-los economicamente viáveis no setor agropecuário brasileiro. Por si só, muitos pequenos e médios produtores não possuem os conhecimentos nem os meios financeiros para assumir os custos iniciais de desenvolvimento e verificação de projetos. Tais projetos são, portanto, muito mais propensos a se tornarem economicamente viáveis ao reunir seus recursos em esforços comuns para criar grandes projetos conjuntos, o que pode ajudar a diminuir os custos por unidade de crédito de carbono gerado. Isso, no entanto, requer significativos esforços de articulação entre diversos participantes. As cooperativas rurais podem ocupar uma posição importante para assumir tal responsabilidade, pois podem orientar ações coletivas para enfrentar os desafios iniciais de adoção dos mercados de carbono, tarefa na qual têm muita experiência em relação a insumos e disponibilização de crédito, como veremos na seção 4.3.

3. Oportunidades para a adoção dos mercados de carbono por parte do setor agrícola brasileiro

3.1. O lado da oferta; vantagens comparativas

O Brasil se encontra em uma posição chave para se tornar um importante fornecedor de créditos de carbono por meio da conservação da vegetação natural, do reflorestamento, bem como da adoção de modelos de produção mais modernos e intensivos no uso da terra, a baixos custos por tonelada de CO_2 sequestrada. Por meio de iniciativas de REDD+, o Brasil tem mostrado um potencial considerável, às vezes sendo chamado de "A Arábia Saudita de REDD+", embora o desenvolvimento de projetos até agora tenha sido relativamente complexo. Os projetos de reflorestamento também podem desempenhar um papel importante na complementação da produção agrícola por meio da grande variedade de cobenefícios ambientais, como a preservação da biodiversidade e dos recursos hídricos. Esses cobenefícios também significam que a monetização do sequestro de carbono é apenas um entre muitos dos ganhos possíveis. Em 2016, o Brasil anunciou a meta de destinar 12 milhões de hectares para restauração e reflorestamento. Esse potencial pode ser ainda maior, pois o país possui cerca de 90 milhões de hectares de pastagens degradadas, das quais uma parte pode ser utilizada para esse fim.

Empresas dedicadas aos projetos de geração de créditos de carbono a partir da preservação florestal vêm ganhando espaço no Brasil há algum tempo. Ainda assim, o interesse em atividades de reflorestamento para recompor reservas legais em propriedades não regularizadas tem levado ao surgimento de uma segunda onda de empresas, como a Mombak e a Regreen, cujos projetos preveem a recomposição de áreas desmatadas. O manejo madeireiro pode ou não entrar no modelo de negócios. Em ambos os modelos baseados em desmatamento evitado e reflorestamento, a receita da venda de créditos de carbono serve como alternativa de renda para produtores rurais e pecuaristas (Adachi, 2022).

Outra importante vantagem comparativa brasileira diz respeito ao potencial de mitigação por meio da implementação do manejo sustentável de terras agrícolas para aumentar os estoques de carbono no solo. Esse potencial torna-se ainda mais significativo considerando que muitos produtores não adotam ou aplicam apenas parte das diversas práticas sustentáveis existentes, deixando espaço para melhorias por meio da implementação geral. Aumentar a matéria orgânica do solo é crucial nesse sentido, pois serve tanto para aumentar a produtividade quanto para sequestrar carbono. Como sumidouro de carbono, o solo é finito, pois os níveis de CO_2 tendem a se estabilizar após 20–30 anos de manejo adequado.[7]A seguir, enumeramos algumas práticas de manejo de terras agrícolas, delineando, de forma superficial, seu potencial de cobertura em termos de área, mitigação e cobenefícios.

O Brasil é um dos países em que a prática do **plantio direto** foi mais amplamente implementada. Cerca de 35 milhões de hectares – pelo menos 60% das lavouras brasileiras de grãos adotam a prática (Fuentes-Llanillo, 2021), o que também corresponde a cerca de 85%–90% da área plantada de soja (Embrapa, 2018). O plantio direto é benéfico para a qualidade do solo e adaptação da agricultura às mudanças climáticas, mas seu papel na mitigação é menos consensual (Powlson et al., 2014). Descobertas recentes das regiões agrícolas mais importantes do mundo indicam que o plantio direto pode evitar perdas de COS, limitando parcialmente as emissões de CO_2 da agricultura. Além disso, quando associado ao aumento da frequência de cultivo e à inclusão de culturas de cobertura, o plantio direto pode promover o sequestro de carbono no solo, melhorando a qualidade do solo e a adaptação às mudanças climáticas (Nicoloso & Rice, 2021).

O chamado "sistema plantio direto" ou "plantio direto de boa qualidade", quando os três princípios da agricultura conservacionista – plantio direto mais cobertura permanente do solo e diversificação de culturas por meio de rotação e/ou associação de culturas – são aplicados em conjunto, melhora a eficiência do plantio direto em aumentar o volume de matéria orgânica no solo. Em comparação com as práticas convencionais quando o solo é arado, o "sistema de plantio direto" pode reduzir as emissões de CO_2 em 0,5–0,6 ton/CO_2/ano/hectare. Como o sistema de plantio direto completo é adotado por apenas uma pequena parcela dos produtores, a maior disseminação aliada à adoção de outras práticas,

7 Segundo Bossio et al. (2020, p. 392), "A saturação de COS se refere à capacidade máxima do solo de reter carbono orgânico, significando que o COS não aumenta indefinidamente. O tempo que leva para se atingir um estado de saturação varia muito, dependendo do tipo de solo, intervenção de manejo, regime climático e esgotamento do COS pré-existente. Sustentar altos estoques de COS requer alguma forma de manutenção, mesmo depois de se alcançar um estado estacionário, sem a obtenção de nenhum outro benefício de mitigação".

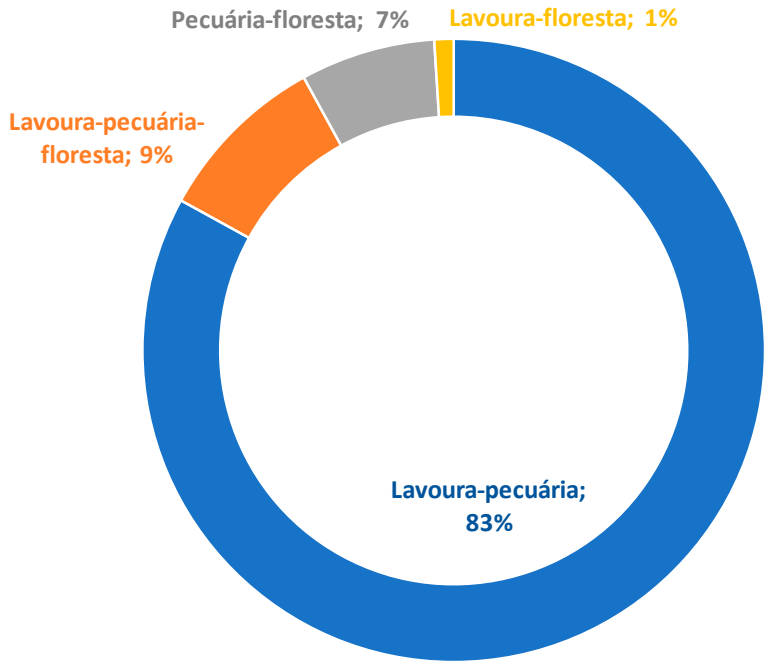
como a integração da lavoura de soja com florestas, pode proporcionar boas reduções de emissões nessa cultura (Possamai et al., 2022; Estevam, 2022; Nepomuceno, 2020).

A **fixação biológica de nitrogênio** (FBN) consiste na utilização de sementes inoculadas em que a planta adquire o nitrogênio através de uma associação com bactérias presentes nas raízes que fixam o N2 presente na atmosfera, transformando-o em formas assimiláveis pelas plantas. A FBN é a principal fonte de nitrogênio para a cultura da soja e pode fornecer todos os nutrientes de que a cultura necessita (Hungria & Mendes, 2015). Essa técnica é mais barata que o fornecimento de fertilizantes nitrogenados, e mitiga as emissões da adubação química. A FBN é amplamente adotada no Brasil, economizando cerca de US$ 14 bilhões/safra com a substituição de fertilizantes e evitando a emissão de 68 Mt CO_2eq/ano (Estevam, 2022; Nepomuceno, 2020).

A **integração lavoura-pecuária-floresta** (ILPF) abrange uma área estimada em torno de 20 milhões de hectares (Polidoro et al. 2020).[8] Essa intervenção beneficia o solo, aumentando os teores de carbono e nitrogênio, retenção e ciclagem de nutrientes, retenção de água e redução das perdas de solo por erosão. As árvores proporcionam conforto térmico aos animais e melhoram a diversificação econômica, trazendo benefícios ambientais, sociais e econômicos. A ILPF é considerada uma alternativa promissora para recuperar pastagens degradadas, podendo produzir carne bovina com pegadas de carbono significativamente menores do que as alternativas existentes. No entanto, requer um profundo conhecimento técnico tanto da lavoura, da pecuária e da silvicultura, quanto da dinâmica de integração desses sistemas. Como 83% dos sistemas integrados atualmente se baseiam apenas na integração lavoura e pecuária, um importante desafio diz respeito à introdução do componente florestal para aumentar o sequestro de carbono (ver Figura 7). A Rede ILPF, uma organização que promove sistemas agroflorestais, estabeleceu uma meta de atingir 35 milhões de hectares de ILPF até 2030 (Rede ILPF, 2021a). O aumento do crédito rural para garantir a capacidade de implementação dos produtores, bem como assistência técnica e de gestão, são fundamentais para difundir sua adoção (Porto, 2021).

8 O termo ILPF engloba as quatro combinações possíveis de sistemas integrados: lavoura-pecuária-floresta, lavoura-pecuária, lavoura-silvicultura e pecuária-silvicultura.

Figura 7 – Proporção estimada de cada modalidade de ILPF no Brasil



Fonte: Rede ILPF (2021b)

A intensificação sustentável da pecuária brasileira engloba diversas ações da pecuária voltadas para a melhoria de sua eficiência produtiva. O Brasil possui 161 milhões de hectares de pastagens, dos quais 90 milhões são áreas degradadas de baixa produtividade. Isso significa que vastos recursos de terra poderiam ser disponibilizados para produção agrícola ou projetos de reflorestamento se a eficiência geral da pecuária fosse aumentada. Transições para pastagens bem manejadas ou sistemas integrados podem aumentar a produtividade em cerca de 400–500% e mitigar a emissão de 4 ton/CO_2/ano/hectare, capturando 6 ton/CO_2/ano/hectare. A redução do tempo de abate por meio do melhoramento genético também faz parte da estratégia de intensificação da pecuária. A suplementação alimentar através do uso de inibidores da produção de metano, como o 3-Nitrooxipropanol (3NOP), taninos e óleos essenciais são outras medidas para reduzir as emissões no setor.

Quadro 1 – Sobre as diferenças entre agricultura temperada e tropical.

A radiação solar impulsiona a fotossíntese que indiretamente é um dos fatores que determinam o rendimento, dada a eficiência pela qual uma cultura capta a luz e a converte em biomassa durante a estação de crescimento. Altos níveis de insolação, portanto, diferenciam a frequência de cultivo em contextos tropicais. Por outro lado, as taxas de fotossíntese, decomposição e respiração são determinadas em parte por fatores climáticos, principalmente a temperatura do solo e os níveis de umidade. Por exemplo, nos climas frios e úmidos das latitudes do norte, as taxas de fotossíntese excedem a decomposição, resultando em altos níveis de COS. As regiões áridas têm baixos níveis de COS, principalmente devido à baixa produção primária, enquanto os trópicos geralmente têm níveis intermediários de COS devido às altas taxas de produtividade primária e decomposição em virtude de temperaturas quentes e grandes precipitações. Os ecossistemas temperados podem ter alta produtividade primária durante o verão, com a elevação da temperatura e da umidade, com baixas temperaturas no resto do ano, desacelerando as taxas de decomposição de tal forma que a matéria orgânica se forma lentamente com o tempo. Embora as condições climáticas definam amplamente os padrões globais de carbono do solo, outros fatores que variam em escalas espaciais menores interagem com o clima para determinar os níveis de COS. Por exemplo, a textura do solo – as proporções relativas de partículas de areia, silte e argila que compõem um determinado solo – ou a mineralogia dessas partículas do solo podem ter impacto significativo nos estoques de carbono. Além disso, os processos de erosão e deposição agem para redistribuir o carbono do solo de acordo com a topografia da paisagem, com áreas baixas, como as planícies alagadas, muitas vezes tendo aumento de COS em relação às encostas. Em suma, os solos temperados têm maior teor de carbono, mas com menor permanência. Nesses contextos, embora a decomposição seja menor, o modelo tecnológico não estimula o aumento de material biológico; portanto, o potencial de acumulação é menor. Em ambientes tropicais com maior umidade, o teor de carbono é menor devido à maior decomposição, mas o modelo tecnológico de cultivo no Brasil (maior rotação de culturas dada a frequência de cultivo) potencializa o aumento da produtividade e o acúmulo mais rápido de carbono no solo. Isso se deve à maior possibilidade de sequestro de carbono do solo dada a frequência de cultivo. A diferença está na alta adição de biomassa ao longo do ano, o que aumenta o teor de carbono no solo.

Fonte: Nicoloso & Rice, 2021; Ontl & Schulte, 2012

Dada a dimensão do setor agropecuário brasileiro, a adoção de todas essas intervenções demanda investimentos volumosos, destacando assim a possível importância dos financiamentos baseados em carbono para estimular a aceleração da difusão dessas práticas.

O Plano ABC+que compreende o período de 2020 a 2030, é uma política pública de apoio à agricultura de emissão de baixo carbono que abrange linhas de crédito dedicadas e metas de mitigação de emissões de GEE por meio de uma série de tecnologias inovadoras.[9]

Tabela 1 – Tecnologias e metas de adoção do Plano ABC+ em termos de área e mitigação de GEE

Tecnologias	Meta de expansão (em milhões de hectares/m³/cabeças)	Metas de mitigação de emissões de GEE (em milhões de toneladas de CO_2/eq.)
Recuperação de pastagens degradadas	30.0 M ha	113.7
Sistema de plantio direto (completo)	12.5 M ha	13.0
Sistemas ILPF e agroflorestais	10.1 M ha	72.0
Florestas plantadas	4.0 M ha	510.0
Sistemas irrigados	3.0 M ha	50.0
Bioinsumos	13.0 M ha	23.4
Tratamento de dejetos animais	208 M m3	277.8
Terminação intensiva	5 M cabeças	16.2

Fonte: Mapa (2021)

3.2. Demanda por créditos de carbono e mercados de carbono brasileiros

A demanda doméstica e internacional por créditos verificados de carbono é uma pré-condição crucial em termos de definição do escopo para o desenvolvimento futuro dos mercados de carbono no Brasil. Em nível global, a demanda parece estar se acelerando. Em 2022, 36 regiões subnacionais e 46 jurisdições nacionais declararam seu objetivo de alcançar emissões *net zero*, e atualmente existem 68 iniciativas de precificação de carbono, cobrindo 23% das emissões globais (Banco Mundial, 2022). A modelagem mostra que a cooperação em torno do Artigo 6 do Acordo de Paris poderia reduzir consideravelmente os custos de implementação de NDCs nacionais (Edmonds, et al. 2019). No entanto, até agora, apenas cerca de 5% das emissões de GEE são cobertas por esquemas de precificação dentro da faixa de preço necessária entre US$ 40–80/tCO_2 (Stiglitz & Stern 2017; Banco Mundial, 2020). Além disso, 46% das emissões reguladas ainda são cobertas por um preço abaixo de US$ 10 (Postic & Fetet, 2021). No que diz respeito especificamente aos mercados voluntários, os preços dos créditos de carbono gerados por meio da florestas e do uso da terra têm estado relativamente baixos, atingindo apenas um nível médio de US$ 5–6 em 2021, embora isso represente um crescimento notável em relação aos anos anteriores (Donofrio, et al. 2022). No entanto, olhando para o futuro, a necessidade de cumprir os compromissos atuais tem estado associada a um necessário crescimento de

9 No Plano Safra 2022/23 os recursos destinados ao Plano ABC+ representam apenas 2% do total (Assis, 2022).

15 vezes nas compensações voluntárias até 2030 (TSVCM, 2020). Outras estimativas sugerem que um mercado de 1–5 giga toneladas de CO_2eq. pode surgir até 2030, com até dois terços direcionados para SBN, o que equivale a dezenas de bilhões de dólares (Steer & Hanson, 2021). O crescimento dos mercados globais de carbono poderia, assim, levar a um aumento significativo na demanda por créditos de carbono do Brasil, desde que estejam reunidas as condições institucionais adequadas para garantir a integridade e a interligação dos mercados de carbono.

Mundialmente, as empresas vêm cada vez mais assumindo diferentes formas de compromissos de emissões para se tornarem net zero com diferentes cronogramas em direção a 2050. Em especial, empresas que atuam em setores que mais produzem emissões, que enfrentam dificuldades para neutralizar completamente sua pegada de carbono, podem buscar compensar as emissões restantes por meio da compra de créditos de carbono em mercados voluntários internacionais, levando a um crescimento da demanda por créditos gerados no Brasil, principalmente no setor agropecuário, onde o potencial de redução de emissões é mais significativo. Assim, atores internacionais já respondem por uma parcela substancial da demanda por créditos de carbono brasileiros, que em alguns casos recebem prêmios de preços por cobenefícios socioambientais comprovados. Mundialmente, até 2022, mecanismos voluntários independentes representavam 74% da emissão de créditos de carbono (Banco Mundial, 2022). No entanto, apesar de sua trajetória ascendente, as receitas internacionais da precificação do carbono gerado por créditos de carbono voluntários ainda são significativamente limitadas. Tal constatação pode ser exemplificado pelo fato de que, em 2022, o tamanho do mercado voluntário representou pouco mais de US$ 1 bilhão, do total de receitas globais de precificação de carbono de US$ 84 bilhões (Banco Mundial, 2022).

Além disso, os problemas de integridade também se tornaram evidentes como consequência dos diversos esquemas privados de compensação que surgiram nos últimos anos. Isso chama a atenção para a importância de uma estrutura institucional coerente e forte para garantir a verificação dos créditos de carbono, caso se queira garantir a confiança no mercado voluntário. Além disso, os agentes públicos e privados brasileiros não têm feito muitos esforços conjuntos para aproveitar as oportunidades de atração de projetos de mitigação para o país, o que significa que muitas oportunidades existentes foram negligenciadas. Os mercados regulados internacionais podem eventualmente se tornar uma grande fonte de demanda por créditos de carbono brasileiros. No entanto, isso dependeria da criação de um mercado internacional regulado para créditos de carbono. A COP26 representou um passo significativo nessa direção, pois avançou na regulamentação do Artigo 6º

do Acordo de Paris. No entanto, se um número significativo de mercados domésticos regulados permitir o uso de créditos de carbono, tal fato poderá estimular a demanda por créditos emitidos no exterior. As polêmicas relacionadas à questão da compensação de carbono e as considerações relacionadas à justiça ambiental provavelmente diminuirão a possibilidade de as compras internacionais de créditos de carbono substituírem as reduções domésticas efetivas.

Os compradores domésticos representam outra possível fonte de demanda por créditos de carbono gerados no setor agropecuário brasileiro. Promessas feitas por empresas para reduzir suas emissões poderiam alimentar essa demanda, já que parte de seus esforços de mitigação para se tornar *net zero* poderia ser atendida por compras de crédito. Mais recentemente, um número crescente de empresas assumiu tais compromissos eos agentes do setor agrícola ocupam posição-chave para ajudar a cumprir. O mercado brasileiro de compensações voluntárias passou por um crescimento notável desde o final da década de 2010, e novos participantes do mercado atraíram um volume cada vez maior de capital para projetos. No entanto, como um país de renda média enfrentando dificuldades econômicas significativas nos últimos anos, a demanda voluntária dos agentes brasileiros provavelmente permanecerá limitada no futuro mais próximo.

As perspectivas de materialização do mercado regulado brasileiro podem estar associadas ao crescimento da demanda doméstica por créditos de carbono. No entanto, dada a intensidade relativamente baixa de carbono da matriz energética brasileira e a pequena participação do setor industrial, essa demanda também deve ser limitada. Na ausência de diretrizes claras sobre como as metas serão acompanhadas, as estimativas de demanda doméstica tornam-se extremamente vagas. Até o momento, grande parte da demanda brasileira por créditos de carbono tem caráter especulativo, já que agentes oportunistas compram créditos de carbono baratos na expectativa de vendê-los e obter lucro no futuro. Outra possível fonte de demanda poderia se tornar evidente de maneira mais indireta por meio da venda de produtos com características de baixa emissão de carbono.

Esse fator é altamente relevante no setor agrícola, onde esforços de conservação acima da lei em propriedades ou produção em sistemas agroflorestais podem ser recursos importantes para apoiar a comercialização internacional desses produtos. Por fim, relacionada à baixa demanda interna por créditos de carbono, a "oferta" de projetos com potencial para gerar grandes volumes de créditos também tem sido relativamente limitada, impedindo que a demanda seja efetivamente atendida, quando materializada. Reduzir os riscos de projetos é importante nesse sentido, pois a vontade de empreender esses esforços é fundamental

para a capacidade de atrair projetos, assim como a presença de uma estrutura jurídica e regulatória estável.

3.3. Cobenefícios[10] para melhorar a inclusão social

O Acordo de Paris reconhece o papel central da proteção florestal para conter o aumento da temperatura global. Essa proteção também deve abranger as pessoas que habitam essas áreas. Mais de 1,6 bilhão de pessoas dependem das florestas para sua subsistência, de uma forma ou de outra. Em relação ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 da ONU sobre ação climática, a precificação do carbono pode ser o elo que aborda essas questões simultaneamente. Tendo em vista que os possíveis benefícios dos projetos de carbono vão além da redução e remoção de GEEs, muitos implicam uma variedade dos chamados "cobenefícios". Tais políticas e medidas podem contribuir para o desenvolvimento de economias sustentáveis, principalmente em comunidades locais de países em desenvolvimento.

A questão da existência de cobenefícios socioambientais dos projetos de carbono e as implicações da crescente comoditização dos créditos de carbono são centrais para uma avaliação mais ampla dos impactos sociais dessas iniciativas. Um estudo revela que cada tonelada de compensação de CO_2 não apenas financia a redução das emissões de carbono, mas também pode gerar até US$ 664 em benefícios econômicos, sociais e ambientais adicionais (ICROA, 2014). Desenvolvedores de projetos e compradores de créditos de carbono florestal geralmente afirmam que os impactos positivos além dos fluxos de GEE são a principal razão pela qual eles atuam no mercado de carbono. Embora os compradores de créditos de carbono florestal possam ser motivados por cobenefícios, o valor desses impactos "além do carbono" raramente é monetizado. Esforços contínuos para melhorar a medição e a comunicação sobre os benefícios dos projetos de carbono florestal – e para aumentar a demanda pelas reduções de emissões resultantes – podem permitir que os desenvolvedores de projetos criem mais oportunidades para as comunidades locais e protejam com mais eficácia os serviços ecossistêmicos associados às florestas. Por outro lado, uma série de experiências negativas de iniciativas de compensação com baixíssimos graus de integridade tem gerado questionamentos sobre o potencial de mitigação desse mecanismo, bem como de suas repercussões socioambientais. Esses projetos devem,

10 Os cobenefícios são quaisquer impactos positivos, além da mitigação direta das emissões de GEE, resultantes de projetos de compensação de carbono.

portanto, ser mantidos nos mais altos padrões de integridade na geração de créditos de carbono (ver seção 2.2) para ganhar confiança como um mecanismo confiável para reduções efetivas de emissões.

Do ponto de vista da demanda, os cobenefícios vêm se tornando cada vez mais o fator decisivo para as empresas selecionarem projetos de compensação. Para certificar os cobenefícios, diversas certificações "complementares" focam em impactos sociais e ambientais de projetos de compensação de carbono, como a Climate, Community and Biodiversity Alliance (CCBA). Os cobenefícios podem ser enquadrados em três categorias (TSVCM, 2021):

1. Cobenefícios ambientais: relacionados à biodiversidade e focados na proteção da vida na Terra, na melhoria da qualidade do ar e na proteção da água e do solo. Conservar os habitats de espécies ameaçadas, reduzir a extração ilegal de madeira e outros recursos florestais, e proteger a biodiversidade de espécies criticamente ameaçadas e vulneráveis.
2. Cobenefícios sociais: incluem a melhoria das oportunidades de emprego na comunidade, acesso à energia, igualdade de gênero e acesso a serviços comunitários de saúde e educação. Também incluem orientação para as comunidades locais sobre meios de subsistência alternativos que respeitem e protejam o ambiente natural, e reformas que deem às mulheres direitos iguais aos recursos econômicos, participação efetiva e oportunidades iguais de liderança.
3. Cobenefícios econômicos: incluem maior geração de empregos, educação e oportunidades de transferência de tecnologia, além de inclusão e crescimento econômico sustentável.

As oportunidades de emprego criadas por projetos de carbono podem incluir a proteção de áreas reflorestadas, o manejo de fazendas agroflorestais e o envolvimento em oportunidades como a agricultura sustentável. Essas funções ampliam o fluxo de renda das comunidades locais e contribuem para o crescimento de uma economia sustentável que, por sua vez, promove cobenefícios sociais, como oportunidades educacionais.

Quadro 2 – Associação dos Produtores de Crédito Social de Carbono do Bioma Caatinga

Associação dos Produtores de Crédito Social de Carbono do Bioma Caatinga é uma iniciativa pioneira no Brasil, que visa oferecer uma opção de desenvolvimento na região do São Francisco, buscando a regeneração do meio ambiente e a redução da desigualdade. A ideia é integrar em uma rede pequenos proprietários que preservam de dois a três hectares do bioma, mas não conseguem entrar em um processo burocrático e caro de geração e venda de créditos de carbono certificados. A associação conta com produtores com áreas preservadas de Caatinga na Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe.

Fonte: Chiaretti (2022)

Crescente demanda corporativa por cobenefícios

Os créditos de carbono podem servir como um veículo para precificar serviços com valor mais abstrato, como serviços ecossistêmicos. Em comparação com outros tipos de projetos de mitigação, como renováveis, os projetos de SBN têm sido defendidos como sendo de maior qualidade devido aos seus diversos cobenefícios e, consequentemente, dignos de prêmios de preço. Cada vez mais, as estratégias de responsabilidade social corporativa e as metas ESG destacam essas necessidades por meio de compensações de carbono, priorizando créditos de carbono com cobenefícios bem documentados.

A tendência mais ampla nos mercados de carbono de avançar para uma maior comoditização dos créditos de carbono tem sido destacada como um passo necessário para que o mercado ganhe volume e escala. Isso também implica que os cobenefícios seriam mais prováveis de serem encontrados em nichos de mercado, enquanto a certificação do peso dos créditos de carbono dependeria de uma série de critérios básicos mais comuns que determinam sua comercialização. A Força-Tarefa do Escalonamento dos Mercados de Carbono Voluntário vem desenvolvendo um conjunto de Princípios Básicos de Carbono (*Core Carbon Principles – CCPs*) para estabelecer parâmetros de qualidade comuns para créditos de carbono, o que provavelmente impulsionará um movimento em direção a uma maior comoditização.

Vale ressaltar que, segundo pesquisa da American Forest Foundation, 29% dos compradores de créditos de carbono avaliam projetos com base em cobenefícios e 26% com base em seu compromisso com a diversidade, equidade e inclusão (Goodman, 2022). Os créditos de carbono que incluem diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável geralmente são negociados a prêmios de preço, pois cada vez mais empresas preferem esse tipo de crédito em seu portfólio para comprovar o impacto positivo mais amplo da empresa para

consumidores e investidores. No geral, no entanto, o conceito de cobenefícios incorporados em um padrão de compensação de carbono está associado a complexidades perceptíveis. Embora a unidade de troca para compensações de carbono seja simples – uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e) – o mesmo não pode ser dito em relação aos cobenefícios. Devido à alta variabilidade nas métricas usadas e às diversas maneiras pelas quais os projetos relatam os impactos, os cobenefícios não são facilmente quantificados. Por causa disso, certos princípios de verificação de compensação de carbono são menos aplicados a impactos de cobenefícios.

As compensações de carbono são numeradas e não podem ser depositadas por mais de um comprador para evitar a dupla contagem. No entanto, em alguns casos, é difícil atribuir esses cobenefícios a um projeto específico. Nesse sentido, os compradores sofisticam cada vez mais seus argumentos para que seus recursos produzam os impactos pretendidos, melhorando os padrões de monitoramento dos cobenefícios. Ao contrário da compensação de carbono, que é contabilizada na colheita ou no ano em que ocorreram as reduções de emissões, acompanhar os impactos ano a ano às vezes é um desafio. Embora a certificação de cobenefícios abranja períodos contábeis definidos e, portanto, seja limitada no tempo, nem os desenvolvedores de projetos nem os compradores tendem a pensar nos impactos dos cobenefícios em termos de períodos, mas sim em resultados sociais. Aprimorar as métricas de cobenefícios relacionados a projetos voltados aos ODS, bem como acordos governamentais para conter o desmatamento tropical, é fundamental, pois esses esforços globais necessariamente se expandem para escalas geográficas maiores. Financiar os cobenefícios também motivaria os desenvolvedores de projetos a acompanhar e informar com mais precisão os impactos, garantindo assim que eles ocorram e permitindo que os investidores destinem seus recursos para onde for mais necessário.

4. Ajuste de incentivos para promover esforços de mitigação por meio da precificação do carbono

O mercado de carbono não é uma invenção nova; sua fase de pré-desenvolvimento e exploração já foi concluída em ritmo acelerado, devido à urgência imposta pelas mudanças climáticas. No entanto, a fase de aceleração e incorporação requer o desenvolvimento de uma série de mecanismos regulatórios que ofereçam suporte técnico e jurídico para a expansão do mercado. Uma regulamentação abrangente é fundamental para garantir alta integridade em toda a cadeia de valor do mercado de carbono. A "Força-Tarefa do Escalonamento dos Mercados Voluntários de Carbono" ("T*askforce on scaling voluntary carbon markets*"- TSVCM) detalha uma série de estruturas de governança em toda a cadeia de valor, que são importantes não apenas para o mercado voluntário de carbono, mas também para o mercado regulado. Nas mais diversas etapas da cadeia de carbono, a governança exige a definição de papéis e responsabilidades e a arquitetura de governança necessária para minimizar conflitos de interesses. Novos órgãos precisarão de experiência e recursos consideráveis, devendo-se tomar muito cuidado no sentido de considerar a diversidade e a representação equilibrada, especialmente em relação aos países do sul e/ou tropicais, nos quais muitos projetos estão inseridos. Finalmente, dada a natureza global do mercado de carbono, é importante que reguladores internacionais e órgãos de governança se comuniquem e articulem para promover mercados seguros e transparentes em todas as jurisdições.

4.1. Os desafios dos esquemas de preços no Brasil

Calibrar os projetos institucionais para a precificação do carbono de forma que eles destinem os incentivos econômicos em favor de esforços de mitigação em larga escala é crucial para estimular a descarbonização profunda. Os governos, portanto, precisarão criar estruturas regulatórias para a precificação obrigatória do carbono dos setores econômicos que mais produzem emissões. No caso do Brasil, a produção agropecuária representa uma das maiores fontes de emissão (ver Figura 4). Qualquer participação em possíveis mercados de *compliance* dependerá fortemente da existência de um limite de

emissões brasileiras convergente com as NDC do país, a fim de estabelecer cenários de referência em relação aos quais quaisquer reduções adicionais possam ser comercializadas. No entanto, como a compensação como meio de atender às NDCs é uma questão altamente controversa no Brasil e no mundo, a negociação de créditos de carbono por meio de mercados voluntários – sem os ajustes correspondentes – pode inicialmente parecer a opção de comércio internacional mais viável para os agentes brasileiros.

Criar os pilares institucionais necessários para um mercado regulado interno é uma tarefa importante, o que também contribuiria para o crescimento dos mercados voluntários. O Brasil possui diversas vantagens comparativas, que precisam de um arcabouço institucional de apoio para se tornarem vantagens competitivas. As metodologias existentes dos principais certificadores globais com os mais altos padrões experiência em certificação de crédito de carbono podem fornecer um apoio importante. No entanto, existem diversos desafios para a criação de uma estrutura econômica abrangente para a precificação do carbono no Brasil. Entre esses fatores, destaca-se a variável política e, mais especificamente, os obstáculos devido à resistência no Congresso e no governo federal.

Com a criação da PNMC em 2009, houve um período de "vazio" legislativo, marcado pela ausência de esforços para estruturar um marco regulatório nacional; reflexo dos desdobramentos mundiais, com o fracasso do Protocolo de Kyoto, e uma consequente falta de impulso, ilustrada pelos tímidos resultados da COP15 em Copenhague. Isso só mudou com a aprovação do Acordo de Paris em 2015. Um mercado de permissões (cotas) de emissões com imposição de metas vinculativas de mitigação ainda não parece ser consensual na sociedade brasileira. Isso se reflete no Decreto 11.075, que propõe a criação de planos setoriais. Conforme já discutido na seção 2.1, o escopo do decreto é altamente limitado, o que significa que ele precisa ser complementado por outros institutos regulatórios. Nesse sentido, um aspecto crucial diz respeito ao fato de que o modelo *cap-and-trade* como concebido nos países desenvolvidos não é ideal para a valorização de diversos ativos ecossistêmicos.

O Projeto de Lei 528, em tramitação no Congresso Nacional, dispõe sobre o estabelecimento de um mercado doméstico de carbono regulado. No momento da redação deste relatório, a proposta aguardava os desdobramentos da COP27. Ao longo de sua elaboração, o documento recebeu diversas contribuições da sociedade civil, contando, por exemplo, com o Centro Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável (CEBDS). Às vésperas da COP 26 de 2021, alguns consensos foram alcançados em torno do texto, resultando no apoio de alguns setores antes avessos à regulamentação, como o setor industrial e o agronegócio.

Em sua versão mais recente, o PL apresenta muitas alterações que dificultam a previsão de como será formulada sua versão final. A proposta original foi alterada pelo relator e, na forma atual, não impõe custos financeiros às empresas com altas taxas de emissão, tratando a compensação de carbono como uma "ação voluntária". Da forma como está, a proposta sugere que os agentes que emitem acima da meta comprem créditos no mercado voluntário, e aqueles que emitem abaixo da meta não obtenham nenhum benefício. No entanto, prevalece o entendimento de que essa formalização do mercado voluntário não cria uma demanda uniforme por créditos de carbono e, portanto, não tem solidez para garantir uma mitigação climática profunda. A maioria dos setores econômicos está alinhada em torno da necessidade de um mercado regulado de carbono no Brasil, em grande parte devido à possibilidade de parceiros comerciais globais taxarem importações de países que não conseguem reduzir suas emissões.

As crescentes pressões globais para que os agentes econômicos responsáveis tomem medidas concretas de mitigação fazem com que, invariavelmente, os agroexportadores brasileiros sejam obrigados a internalizar de alguma forma os custos das emissões. Com a fiscalização ambiental e a precificação do carbono, isso pode ocorrer por meio de um processo administrado voltado ao aumento das demandas domésticas por *compliance* ou como consequência de pressões internacionais por meio de medidas como ajustes nas fronteiras de carbono e exclusão do mercado por causa de legislações ambientais de *due diligence*.

A implementação da precificação do carbono no setor agropecuário brasileiro é, no entanto, uma tarefa altamente complexa, até pelo grande número de produtores, bem como cadastros fundiários incompletos e sistemas de monitoramento e rastreamento de animais e modos informais de produção e comercialização, etc. Grandes áreas do setor, portanto, terão necessariamente de ser excluídas das tentativas iniciais de implantar estruturas de precificação do carbono e dos esforços de mitigação buscados por meio de outras medidas regulatórias e assistência técnica. No entanto, certos "pontos de estrangulamento", como frigoríficos ou instalações de processamento de grãos, são facilmente monitorados e podem funcionar como um ponto em que taxas sejam cobradas sobre os produtos com base no volume de transações. No entanto, dado o grau extremo em que principalmente os produtos de carne bovina, mas também a soja, podem variar, dependendo do desmatamento associado relativo e dos diferentes modos de produção adotados em fazendas e propriedades rurais, a taxação do carbono com base em volumes afetaria igualmente os produtos conformes e não conformes. Assim, apenas incentivaria reduções no consumo e não proporcionaria incentivos específicos para a adoção de

práticas de produção mais sustentáveis. Portanto, o foco precisa ser direcionado para as fazendas/propriedades rurais, a fim de recompensar o cumprimento de requerimentos neste ponto.

Atualmente, os impostos fundiários no Brasil são extremamente baixos, o que incentiva a continuação da produção pecuária de baixa produtividade, já que o custo reduzido do fator terra faz com que o limiar de rentabilidade dessas operações seja facilmente alcançado. A produção pecuária extensiva também está associada a alguns dos maiores custos ambientais e menores ganhos econômicos. Além disso, historicamente, os produtores rurais tiveram incentivos para desmatar e deixar as áreas como pastagens para poderem fazer reivindicações agrárias de acordo com o princípio da apropriação original. Assim, aumentar os impostos fundiários até o ponto em que a pecuária extensiva de baixa produtividade se torne menos atraente economicamente incentivaria transições para operações mais produtivas. As estruturas de incentivos fiscais também podem ser adaptadas de forma que o cumprimento dos requisitos de reservas legais implicasse em menores cargas tributárias, com uma contrapartida contrária no caso dos produtores não conformes. Isso pode ser importante para estimular o cumprimento das leis, mas também para incentivar os esforços de conservação que podem ser monetizados com reservas legais maiores que o exigido por lei. Políticas de crédito e assistência técnica fornecem ferramentas que podem ajudar a regularizar a produção por meio do uso desses incentivos positivos. Finalmente, acordos setoriais, por meio dos quais há um amplo compromisso de reduzir a intensidade de carbono da produção por parte de organizações produtoras, também poderiam ajudar a trazer mudanças.

Os caminhos mencionados para reduzir as emissões do setor agropecuário brasileiro por meio de uma nova estrutura de incentivos econômicos não implicam necessariamente na geração inicial de créditos de carbono. No entanto, mudam fundamentalmente a lógica da produção, incorporando os custos ambientais entre os produtores. Este é um ponto de partida importante para estimular a implementação de práticas de baixo carbono, que por sua vez também têm o potencial de geração de créditos de carbono pelos pioneiros, cujos esforços de mitigação vão além das exigências legais. No entanto, como mencionado anteriormente, o estabelecimento de um marco regulatório abrangente para estimular intensos esforços setoriais para adotar práticas de produção de baixo carbono e reduzir os níveis atuais de emissões de GEE torna-se fundamental para proteger as agroexportações brasileiras contra a reação internacional e a imposição indireta de impostos sobre exportações brasileiras intensivas em emissões.

4.2. Articulação e governança

Uma visão abrangente dos incentivos necessários para envolver o setor agrícola em um mercado de precificação de carbono deve considerar três barreiras principais a serem superadas: (i) medir a eficácia das intervenções por meio de um sistema robusto de MRV (ver 5.2), (ii) mobilizar investimentos, e (iii) superar desafios de governança.

Enquanto os projetos florestais são, em geral, facilitados pelo pequeno número de agentes envolvidos, o oposto ocorre com as iniciativas na agricultura que exigem um esforço significativo de articulação para o desenvolvimento de projetos de grande escala, bem como a vontade de realizar uma profunda redução de riscos. A maioria dos agricultores não possui o *know-how* nem os recursos necessários para adotar práticas avançadas de manejo da terra. O mesmo vale para o processo individual de certificação de reduções de emissões. Assim, há a necessidade de um agregador ou "intermediários" com conhecimento de mercado, função que pode ser assumida por cooperativas ou empresas de insumos. Notadamente, cooperativas agrícolas e de crédito podem desempenhar um papel importante na facilitação de vínculos com o mercado de carbono e realizar atividades fundamentais de articulação. Isso poderia ajudar a reduzir os custos de certificação e também evitar que possíveis benefícios da geração de créditos de carbono sejam colhidos apenas pelos precursores de empresas multinacionais e grandes entidades do agronegócio. O Brasil conta com 1,2 mil cooperativas nos setores agropecuário que representam mais de 1 milhão de cooperados (OCB, 2022). Algumas delas possuem ampla estrutura de assistência técnica na área e prestação de serviços com grande capilaridade. Em geral, contam com um cadastro detalhado dos cooperados, podendo incluir georreferenciamento de propriedades, imagens de satélite, entre outras informações. Tal estrutura facilita a construção de um inventário de carbono estocado no solo, reservas legais e áreas de proteção permanente dentro das fazendas. Assim, as cooperativas têm plenas condições de atuar como agregadoras e articuladoras de iniciativas no mercado de carbono. Muitas, inclusive, estão se posicionando para agir dessa forma quando as barreiras institucionais forem superadas.

Outra função que precisa ser desempenhada diz respeito ao desenvolvimento e calibração de modelos de dinâmica do carbono. Atualmente, diversas iniciativas em diferentes estágios de desenvolvimento estão sendo implementadas no Brasil: Embrapa, Regrow, Instituto

Brasileiro de Análises (IBRA), entre outros.11 Algumas trabalham desenvolvendo seus próprios modelos, enquanto outras buscam adaptar modelos pré-concebidos às condições regionais do Brasil. A adaptação do modelo requer o suporte de bancos de dados com informações de campo, bem como melhor digitalização para coletar, organizar e transmitir os dados adequadamente. Num contexto amplo de cumprimento dos compromissos de descarbonização, sistemas de informação sólidos tendem a adquirir cada vez mais valor como produto/serviço, sendo importante não só para apoiar um mercado de créditos de carbono, mas também para o mercado de certificação e rotulagem, garantindo a credibilidade das práticas sustentáveis por parte dos produtores.

A organização e articulação desses diferentes agentes ainda está em andamento no Brasil, portanto, ainda é cedo para dizer qual ou como deve ser a conformação dominante. No entanto, é evidente a necessidade de alocar recursos suficientes para pesquisas, bem como o engajamento coordenado de representantes brasileiros em fóruns internacionais para informar e disseminar conhecimentos sobre concepções de SCN adaptadas às condições climáticas tropicais.

11 Para mais informações consultar: https://www.agtechgarage.news/regrow-obtem-aprovacao-de-modelo-para-quantificar-sequestro-de-carbono-no-solo-nos-eua/

5. A dimensão técnica dos mercados de carbono

O estabelecimento de mercados de carbono funcionais, bem como as possibilidades de os produtores agrícolas brasileiros adotarem esses mercados, depende da administração de uma série de desafios técnicos. O mercado de carbono, assim como as SBN, envolve novas tecnologias, regras e legislações, novas organizações ou mesmo novos projetos, conceitos ou ideias, tornando-se altamente relevante em projetos com cobenefícios, que podem estar envolvidos em mudanças inter-relacionadas a novas práticas, configurações de grupos de agentes, crenças e valores, redes e políticas.

Na dimensão tecnológica, a capacitação e o apoio técnico viabilizam projetos, mudam a visão dos produtores para a valorização do sistema agroecológico e apreensão de seus valores culturais e potencial econômico. Ajudar a sistematizar experiências e investimentos, estabelecer conexões e redes e maximizar o impacto é a base dessa transição. Em outras palavras, a dimensão tecnológica é diretamente sustentada por colaborações entre agentes, troca de conhecimento e aprendizado, tornando-se fundamental para garantir produtos de qualidade, com maior eficiência ecológica e potencial de inserção no mercado global, o que acaba elevando a renda dos produtores.

5.1. Assistência técnica

A assistência técnica é um importante fator de incentivo à disseminação de práticas de baixa emissão carbono no Brasil. A agricultura é um setor altamente heterogêneo, no qual coexistem dois extremos; enquanto algumas propriedades adotam práticas de ponta, muitas ainda usam práticas extensivas e de baixa produtividade. Por exemplo, embora o plantio direto tenha sido amplamente difundido no Brasil, colher todos os benefícios de sustentabilidade dessa prática requer um grau de conhecimento que ainda falta a muitos agricultores. A assistência técnica torna-se central nesse sentido, pois pode auxiliar os agricultores na adoção de uma rotação baseada em uma maior variedade de culturas. Outro exemplo é a pecuária, onde há uma grande disparidade entre os pecuaristas, desde aqueles que ainda contam com o desmatamento para aumentar as áreas de produção com baixa produtividade, até outros que adotam o manejo eficiente de pastagens.

O estudo de Bragança et al. (2022) apresenta evidências de que oferecer aos pecuaristas brasileiros treinamento personalizado sobre a recuperação sustentável de pastagens gera benefícios econômicos e ambientais de longo prazo. O estudo constatou que os produtores do Cerrado que receberam treinamento em grupo e assistência técnica personalizada conseguiram aumentar a produtividade do gado e elevar sua renda em 39% – um modelo que os pesquisadores dizem que pode ser replicado na região amazônica. Os pecuaristas treinados ao longo de dois anos observaram um aumento na produtividade e renda da pecuária e uma redução nas emissões de CO_2 durante o período do programa. Estima-se que houve uma redução de 1,19 milhão de toneladas de emissões de CO_2 por meio da combinação de sequestro de carbono e emissões evitadas.

Bragança et al. (2022) também analisaram o impacto do treinamento de recuperação de pastagens do programa ABC para cerca de 1,4 mil pecuaristas. Um grupo não recebeu treinamento, o outro recebeu 56 horas de treinamento e o último recebeu o curso de treinamento mais assistência técnica personalizada adicional, com visitas mensais de técnicos de campo. De acordo com os dados, apenas os pecuaristas que receberam treinamento e assistência técnica apresentaram melhorias significativas em produtividade, receita e mitigação de carbono. O curso, isolado, não gerou impacto. Isso destaca a importância da assistência técnica para ajudar os produtores a irem além das monoculturas, melhorando a produtividade e o desempenho ambiental.

Sistemas de produção como o ILPF são complexos, mas possuem um imenso potencial ambiental. Um importante desafio diz respeito à introdução do componente florestal para aumentar o sequestro de carbono (ver Figura 7). No entanto, esta etapa requer assistência técnica, pois aumenta a complexidade de gerenciar os três componentes interligados dentro deste sistema de produção. Embora a mão de obra e a dedicação necessários para se adotar o sistema ILPF exijam importantes transições de manejo, a adoção do sistema ILPF está associada a retornos financeiros significativos. Um exemplo é a Fazenda Santa Brígida, em Goiás, que antes da implantação do sistema ILPF operava com prejuízo de R$ 200/ha ao ano, mas após 14 anos de transição passou a gerar um lucro de R$ 7.000/ha ao ano (Porto, 2021). A geração de créditos de carbono poderia, assim, servir como um fator de atração adicional, aumentando ainda mais os lucros dessas empresas. O capital internacional gerado por meio de créditos de carbono pode desempenhar um papel importante no estímulo a essa transição, compensando a falta de crédito para cobrir os custos iniciais da adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis e modernos, bem como a falta de engajamento público suficiente nesse processo.

5.2. Mensuração, Relato e Verificação (MRV)

Diferentes metodologias de certificação de carbono foram desenvolvidas para o manejo sustentável de terras agrícolas. Exemplos notáveis incluem quantificação de carbono estocado no solo, quantificação de reduções de emissão de N2O por meio da redução de fertilizantes, manejo sustentável de pastagens e redução de emissões de metano entérico proveniente de ruminantes por meio do uso de ingredientes adicionados à ração (Verra, 2022). No entanto, no mundo inteiro, apenas 1% dos créditos de carbono emitidos no mercado voluntário são provenientes da agricultura (So et al., 2022). No Brasil, o volume de créditos gerados no setor não é muito alto, limitando-se principalmente ao uso de biodigestores para tratamento de dejetos suínos. Para verificar se as reduções de emissões planejadas dentro dos projetos de mitigação de carbono ocorrem efetivamente, os sistemas de MRV tornam-se ferramentas essenciais. No entanto, existe uma série de desafios inerentes à implementação de sistemas MRV, para garantir reduções efetivas de GEE no setor agropecuário brasileiro.

Projetos com foco na dinâmica dos fluxos de carbono estocado no solo têm grande potencial de mitigação no Brasil. Adaptar as metodologias MRV para mensurar o carbono nos solos tropicais é, no entanto, uma tarefa complexa. Por exemplo, pesquisas já mostraram que, no contexto brasileiro, faz sentido medir o carbono a pelo menos um metro de profundidade (Barioni et al., comunicação pessoal, 30 de junho de 2022; Martin-Neto, 2022). No entanto, cavar valas no solo para obter amostras de solo de diferentes camadas consome muito tempo e exige muitos recursos. As imagens de satélite podem representar uma alternativa mais econômica, e essas tecnologias tiveram avanços marcantes nos últimos anos. No entanto, as imagens de satélite ainda não são capazes de registrar os fluxos de carbono em camadas mais profundas do que o solo superficial, onde as raízes das árvores têm um potencial significativo de sequestro. No Brasil, ainda falta o desenvolvimento de algoritmos que interpretem as imagens adequadamente e avanços na automação do processamento de imagens. Outro exemplo diz respeito a projetos baseados na criação de sistemas integrados. Aqui, a complexa variedade de fluxos de GEEs com tempos de vida atmosféricos variados, provenientes dos diferentes componentes vegetais e animais do sistema, torna uma tarefa altamente complexa – e controversa – avaliar o saldo total de carbono do projeto. O complicado processo de implementação de um sistema de MRV sólido significa que poucos agricultores conseguiriam ou se qualificariam para realizar essa tarefa individualmente, principalmente devido aos elevados custos iniciais associados ao tratamento dos sistemas de informação.

Outro ponto chave relacionado à implementação de sistemas MRV diz respeito à adesão aos princípios de integridade do carbono, nomeadamente a permanência. Na agricultura, os estoques de carbono tendem a ser altamente temporários, pois as práticas de produção ou as condições climáticas podem liberar grandes quantidades de GEE. Nesse sentido, os esforços visando a implementação em larga escala de sistemas MRV precisarão encontrar um equilíbrio entre serem suficientemente democráticos para permitir a ampla adoção horizontal, mas simultaneamente suficientemente sólidos para que os compradores tenham confiança na permanência dos estoques de carbono sequestrados. Para enfrentar este dilema, tem sido defendida a noção de créditos temporários, com uma vida útil mais curta, de 15 a 20 anos. No entanto, é altamente incerto se esse conceito será aceito como convergente com as noções predominantes do princípio da permanência entre os certificadores globais de carbono.

Há mais consenso científico em torno da dinâmica do carbono e sua permanência no solo em ambientes temperados. Embora os resultados para as condições brasileiras ainda não tenham sido amplamente divulgados em veículos científicos, como muitas pesquisas estão em andamento, as evidências encontradas pela Embrapa apontam para chances de maior permanência do carbono em condições tropicais. Isso se deve principalmente às diferenças nos modelos tecnológicos e práticas agrícolas, bem como nos tipos de solos, sua estrutura e atividade microbiana. Em climas temperados, as perturbações podem facilmente afetar a permanência. No Brasil, além da menor demanda por aração, as evidências sugerem que mais da metade do carbono armazenado se acumula em camadas mais profundas, abaixo dos 30 cm de camada superficial do solo. Pesquisadores brasileiros da Embrapa comprovaram que a estabilidade do carbono é maior nas camadas mais profundas, embora ainda seja incerto quanto (Barioni et al., comunicação pessoal, 30 de junho de 2022).

Alguns exemplos ilustram a necessidade de avançar nas metodologias de MRV adaptadas às condições brasileiras. Por exemplo, estudos realizados pela Embrapa Florestas mostram que a conversão de pastagens naturais em florestas plantadas pode aumentar o estoque de carbono no solo dependendo da espécie, seu ciclo de produção, tipo de solo e clima. O estudo também atualizou o índice de alteração de carbono do solo usado pelo Brasil para qualificar a conversão do uso da terra para plantações florestais. Enquanto o índice que vinha sendo utilizado – segundo o IPCC 2006 – penalizava o estoque de carbono no solo em 33%, o novo índice calculado pela Embrapa Florestas sugere uma penalidade de 5%, ou seja, a perda de carbono nos solos convertidos em florestas seria da ordem de 5% e não de 33%, como sugere o índice anteriormente utilizado (IPCC, 2006; Zanatta

et al., 2020). Outro exemplo são as evidências coletadas pela Embrapa em parceria com a Bayer em uma iniciativa piloto de carbono no solo. Os pesquisadores identificaram uma pegada de carbono média de 783 kg CO_2 eq por tonelada de soja entre um grupo de produtores que adotaram práticas agrícolas de baixa emissão de carbono. O número representa uma redução de até 80% em relação à média das principais bases de dados internacionais (Embrapa, 2022a).

Quadro 3 – O Bayer Pro Carbono

O Bayer Pro Carbono faz parte de uma estratégia coordenada pela empresa, englobando iniciativas em outros dez países. No Brasil, foi formulado como uma parceria público-privada com a Embrapa que selecionou aproximadamente 1.800 produtores de soja e milho – em 16 estados brasileiros que atenderam aos requisitos de conformidade ambiental e social. Os produtores participantes receberam um plano de manejo de boas práticas agrícolas, como rotação de culturas e plantio direto, para os três anos do programa. Até julho de 2022, mais de 300.000 amostras de solo foram coletadas e analisadas. O objetivo é monitorar os resultados de produtividade e o acúmulo de carbono no solo por um período de três anos, com o intuito de remunerar os produtores que reduzirem as emissões de GEE por meio do uso de incentivos positivos em uma etapa posterior. Tais incentivos incluem acesso a crédito diferenciado, seguro agrícola mais atrativo e facilitação na compra de insumos e no processo de adoção de práticas mais sustentáveis. O objetivo é incluí-los em esquema de precificação do carbono, como parte da solução climática, quando for que possível. Mais estrategicamente, o programa pretende impulsionar a adoção de práticas agronômicas sustentáveis e desenvolver soluções baseadas na ciência.

Fonte: Bayer (2022); Anselmi (2022)

As complexidades da implementação de sistemas sólidos de MRV na agricultura brasileira significam que muitos produtores rurais hoje enfrentariam custos maiores para medir o sequestro de carbono do que ganhariam com a venda de créditos de carbono. Os custos de transação das certificações decorrentes da implementação de sistemas MRV são, portanto, um fator chave na definição do escopo de implementação de projetos de carbono no Brasil. Como discutido na seção 2.4, coletivos de agricultores podem desempenhar um papel importante em termos de agrupamento dos custos de sistemas de MRV. Nesse sentido, a Rede ILPF tem se engajado em diferentes esquemas de compartilhamento de custos combinados com assistência técnica para a implementação de sistemas MRV.

Enfrentar os desafios relacionados à implementação de sistemas MRV é uma tarefa importante para os produtores brasileiros se engajarem nos mercados de carbono. A elaboração de procedimentos padronizados e a disseminação do conhecimento das melhores práticas setoriais se apresentam como um desafio importante nesse sentido. Alguns diálogos técnicos estão em andamento no setor. Até o presente momento, essas discussões não produziram resultados significativos, mas houve algum avanço. É importante frisar que a digitalização tem sido defendida como essencial para diminuir os custos com sistemas de MRV, pois os ganhos tecnológicos e os avanços nas inovações associadas à quarta revolução industrial, como IA, aprendizado de máquina, robótica, drones e internet das coisas podem reduzir os custos marginais por crédito de carbono. No entanto, essas inovações estão disponíveis apenas para operações mais capitalizadas, o que pode ser parcialmente remediado pela criação de arquivos de dados públicos de código aberto de fluxos e estoques de carbono no cenário brasileiro, o que poderia resultar em informações importantes que não precisariam ser geradas nas propriedades de maneira individual. Os avanços mais recentes nas metodologias de MRV de crédito de carbono adaptadas à agricultura também adotaram uma abordagem incremental, que funciona "adicionando" etapas individuais de mitigação, o que poderia facilitar o processo de implementação de sistemas MRV e a transição para práticas agrícolas de baixo carbono, tornando-se assim um processo gradual, gerando retornos cada vez maiores em termos de geração de créditos de carbono à medida que as práticas agrícolas forem melhorando.

É crucial que as SBN sejam fundamentadas em boa compreensão da distribuição geográfica dos biomas no mundo, no valor de sua biodiversidade e resiliência ecológica (Seddon et al., 2020). Intervenções específicas de SCN têm suas próprias estimativas de mitigação, compensações e cobenefícios. Plantio direto, cultivo de cobertura, rotação aprimorada de culturas e manejo de pastagens são, na verdade, conjuntos amplos de atividades, cada uma com impactos possivelmente muito diferentes em COS, diferentes emissões de N2O e diferentes viabilidades. Uma atividade que acumula carbono orgânico em um tipo de solo pode ser ineficaz em outro tipo (Bossio, et al. 2020). A adaptação das metodologias de MRV às condições locais também é essencial, principalmente considerando como características importantes diferenciam a agricultura tropical brasileira dos modelos temperados. O potencial de sequestro de carbono da agricultura brasileira vem da possibilidade, nos trópicos e subtrópicos, de cultivar a terra o ano todo, podendo colher até três safras anuais, gerando maior produção de biomassa que aumenta a entrada de carbono no solo. Juntamente com o uso de diferentes culturas entre uma safra e outra, essas são características a serem incorporadas e consideradas nas adaptações dos modelos

de MRV (Novaes et al. 2022). Os desafios a serem superados tornam-se ainda maiores quando se considera a heterogeneidade de solos e climas encontrados no país.

O desafio metodológico diz respeito à estimativa do carbono estocado no solo em um cenário com quantidade limitada de dados para fornecer modelos de dinâmica do carbono. A agregação do modelo com os dados coletados em campo proporciona maior confiabilidade nas estimativas. O acúmulo de dados permitirá a correção gradual do modelo. O objetivo é chegar a protocolos com credibilidade e precisão suficientes para a tomada de decisões que sejam escaláveis a um custo viável. Houve avanços na medição do teor de carbono – que é dispendioso, demorado e requer agilidade analítica pelo método tradicional de combustão a seco. Um método alternativo baseado no uso de laser (LIBS), cuja tecnologia, adaptada pela Embrapa, já foi transferida para o setor privado (Agrorobótica), recebeu recentemente a aprovação da Verra como certificável para medição de carbono no solo. A técnica permite maior velocidade de análise a um custo pelo menos 50% menor (Embrapa, 2022b; Martin-Neto, 2022; Villas- Boas et al., 2020ab). Outro método que está alcançando escala comercial no Brasil é a espectroscopia de infravermelho próximo. Uma solução tecnológica chamada Specsolo, desenvolvida em parceria entre a Embrapa Solos e o IBRA, associa o método a uma biblioteca com mais de 1 milhão de amostras de solo analisadas e inteligência artificial, aumentando a eficiência da análise e reduzindo custos (Specsolo, 2022; de Santana et al., 2019). O principal desafio é conferir escala as técnicas existentes para que diferentes áreas possam ser medidas, o que envolve simplificar sem perder o rigor e a precisão e sem aumentar demais a incerteza. Isso é, portanto, fundamental para fornecer um padrão cientificamente sólido, reconhecido pelo mercado e viável para os agricultores.

No Brasil, questiona-se a possibilidade de "tropicalizar" as concepções técnicas predominantes que sustentam o mercado global de carbono, que até agora tem sido enviesado principalmente de acordo com o contexto encontrado no Hemisfério Norte. A descarbonização pode ser uma fonte de vantagem competitiva, e a competitividade brasileira está em jogo na definição dos padrões que nortearão a era da descarbonização global. A mensuração e a contabilidade estão intimamente relacionadas com a provisão de financiamento. Desenvolver métricas confiáveis e específicas para a agricultura é, portanto, muito relevante. Caso contrário, é possível que parte da demanda continue preferindo créditos gerados por SCN que utilizem apenas metodologias mais consolidadas, como projetos no setor florestal. Na ausência de projetos na agricultura, outro caminho será a certificação e rotulagem com vistas a agregar valor e diferenciação ao mercado

consumidor. Independentemente de como os diferentes mecanismos de mercado serão consolidados, é fundamental que haja integridade. Nesse sentido, a desvinculação radical do setor agropecuário ao desmatamento, principal fonte de emissões brasileiras de GEE, torna-se condição indispensável para dar credibilidade aos projetos de mitigação do setor. Só assim os possíveis créditos de carbono gerados por um balanço de carbono positivo em solo brasileiro serão fungíveis no mercado mundial.

6. Considerações Finais

A precificação do carbono pode desempenhar um papel importante na promoção de incentivos para a adoção do manejo agrícola responsável, tanto para agricultores quanto para pecuaristas que ainda dependem de práticas insustentáveis. É concebido como um instrumento de descarbonização profunda, que através de um mix de incentivos positivos e negativos impulsiona a transição para uma economia de baixa emissão de carbono. Para promover esforços consistentes de mitigação, torna-se crucial que todos os principais setores econômicos responsáveis pelas emissões brasileiras de GEE sejam cobertos por algum tipo de esquema obrigatório de precificação de carbono. Os instrumentos específicos aplicados devem, no entanto, ser adequados a cada contexto, o que significa que um modelo "tamanho único" é difícil de conceber. O caráter extremamente heterogêneo do setor agropecuário brasileiro, abrangendo desde pequenos proprietários até operações de megafazendas, significa que diversas ferramentas são necessárias para estimular os esforços de descarbonização. Nesse contexto, os mercados de carbono poderiam fornecer um modelo para atrair financiamento e capital para uma agricultura mais sustentável. Se adotar princípios de integridade adequados e metodologias robustas de MRV, o mercado de carbono poderá, por um período limitado, ajudar a apoiar os esforços para viabilizar a bioeconomia no contexto brasileiro. Idealmente, o comércio de carbono até 2050 não deveria mais ser necessário, pois as economias deveriam ter chegado perto de emissões *net zero*.

A agricultura brasileira encontra-se em posição estratégica para desempenhar importante papel na descarbonização global, desde que o arcabouço operacional seja baseado na solidez científica para a observância dos princípios da integridade. Assim, torna-se importante conceber estruturas de incentivos econômicos que estimulem a adoção de práticas mais sustentáveis. Preferencialmente, tais iniciativas devem ser acompanhadas de outras medidas que incorporem o tema da manutenção da biodiversidade, uso da água e meios de subsistência locais na valorização desses ativos em nível global. Neste raciocínio, faz sentido que os produtores se preocupem em aumentar/manter a matéria orgânica do solo, podendo render uma ampla gama de benefícios, incluindo maior estoque de carbono, independentemente da uma eventual monetização via mercado de carbono, permitindo que o país transformasse suas vantagens comparativas em SCN em vantagens competitivas, para promover a transição para uma economia de baixa emissão de carbono. No entanto, é importante que o entusiasmo em mitigar o aquecimento global

a partir de SCN não diminua a necessidade urgente de reduzir rapidamente o consumo de combustíveis fósseis pelos grandes emissores. O mercado de carbono para SCN deve servir para financiar a adoção de inovações tecnológicas para mitigação climática e possíveis cobenefícios nos países fornecedores, e não para fins de compensação da manutenção de sistemas energéticos obsoletos por grandes emissores.

Referências

Adachi, V. (2022). Mombak quer gerar créditos de carbono de reflorestamento (e está levantando um fundo para isso). Capital Reset, Aug, 24.

Disponível em: https://www.capitalreset.com/mombak-quer-gerar-creditos-de-carbono-de-reflorestamento-e-esta-levantando-um-fundo-para-isso/. Acesso em: 29/08/2022

Albuquerque, L.; Gavioli, L.; Margulis, S.; Barreto, C. Clemente, F.; Goulart, J.; Esposito, S. Oportunidades para o Brasil em mercados de carbono. International Chamber of Commerce (ICC) Brasil and Way Carbon. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/5818/1634247006RELATORIO_ICCBR_FINAL.pdf. Acesso em: 28/08/2022

Amundson, R..; Biardeau, L. (2018) Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 115(46), 11652-11656.

Anselmi, A. (2022). A construção da bioeconomia brasileira [Webinar]. Fundação Getúlio Vargas - EESP. https://www.youtube.com/watch?v=LYEh1k7hsxI. Acesso em: 10/9/2022

Assad, E. D. (2022). Só 2% do Plano Safra vão para agricultura de baixo carbono, critica pesquisador Eduardo Assad. [Interview to] Cristiane Fontes & Marcelo Leite. Jornal Folha de São Paulo, São Paulo, 28, Jun. Disponível em: https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2022/06/so-2-do-plano-safra-vao-para-agricultura-de-baixo-carbono-critica-pesquisador-eduardo-assad.shtml. Acesso em: 28/06/2022.

Bayer (2022). AgroBayer Brasil. Carbono Bayer. Disponível em: https://www.agro.bayer.com.br/pro-carbono. Acesso em: 22/07/2022.

Bittencourt, S. R. M.; Busch, S. E.; Cruz, M. R. (2018). O mecanismo de desenvolvimento limpo no Brasil. In Frangetto, F. W. O., Veiga, A. P. B. O., & Luedemann, G. O. (Ed.). *Legado do MDL: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil como subsídios para novos mecanismos* (pp. 43-58). Brasília-DF: Ipea.

Bossio, D. A., Cook-Patton, S. C., Ellis, P. W., Fargione, J., Sanderman, J., Smith, P., ... & Griscom, B. W. (2020). The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nature Sustainability*, 3(5), 391-398.

Bradford, M.A., Carey, C.J., Atwood, L. , Bossio,D. , Fenichel, E.P. , Gennet, S., ... & Wood, S. A. (2019). Soil carbon science for policy and practice. Nature Sustainability, 2 (12), 1070-1072.

Bragança, A., Newton, P., Cohn, A., Assunção, J., Camboim, C., de Faveri, D., ... & Searchinger, T. D. (2022). Extension services can promote pasture restoration: Evidence from Brazil's low carbon agriculture plan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(12), e2114913119.

Bungenstab, D. J. (2012). Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável., 2. ed. – Brasília, DF: Embrapa. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/938814/sistemas-de-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-a-producao-sustentavel. Acesso em: 24/08/2022.

Chiaretti, D. (2022). Caatinga tem primeira cooperativa de crédito de carbono do Brasil. Jornal Valor Econômico, 8, Jul. Disponível em: https://valor.globo.com/brasil/noticia/2022/07/08/caatinga-tem-primeira-cooperativa-de-credito-de-carbono-do-brasil.ghtml. Acesso em: 08/09/2022.

Climate Watch. Historical GHG Emissions. 2022. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions. Acesso em: 29/08/2022.

de Santana, F. B., de Souza, A. M., & Poppi, R. J. (2019). *Green methodology for soil organic matter analysis using a national near infrared spectral library in tandem with learning machine. Science of the Total Environment*, 658, 895-900.

Donofrio, S.; Maguire, P.; Daley, C; Calderon, C.; Lin, K. (2022). The Art of Integrity. State of the Voluntary Carbon Markets 2022 Q3. Ecosystems Marketplace.

Edmonds, J.; Dirk, F.; Clarke, L.; de Clara, S.; Munnings, C. (2019) The Economic Potential of Article 6 of the Paris Agreement and Implementation Challenges. Carbon Pricing Leadership Coalition. IETA.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018). Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. – Brasília, DF: Embrapa.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2022a). Agricultores do programa PRO Carbono apresentaram pegada de carbono até 80% menor do que padrões internacionais. News - Portal Embrapa. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/noticias/-/asset_publisher/d5zeAgqx3Tw9/content/id/70501284. Acesso em: 05/09/2022.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2022b). Tecnologia LIBS para medir carbono no solo recebe certificação internacional. 08, Sep. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/73554602/tecnologia-libs-para-medir-carbono-no-solo-recebe-certificacao-internacional. Acesso em: 09/09/2022.

Ervine, K. (2018): How low can it go? Analysing the political economy of carbon market design and low carbon prices, *New Political Economy*, 23(6), 690-710.

Estevam, C. G.; Lima, C. Z.; Pavão, E. M.; Assad, E. D.; Pinto, T. P. (2022). Potencial de mitigação de gases de efeito estufa das ações de descarbonização da produção de soja até 2030. Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia. FGV/EESP. Disponível em: https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/2022.02.16_-_potencial_de_mitigacao_de_gases_de_efeito_estufa_das_acoes_de_descarbonizacao_da_soja_ate_2030.pdf. Acesso em: 30/05/2022.

European Parliament (2022). Legislative Train. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/carriage/carbon-removal-certification/report?sid=6001. Acesso em: 05/10/2022.

Ferreira, N.; Djanian, M. & Mokodsi, A. L. (2022). A mente do agricultor brasileiro 2022. McKinsey. Disponível em: https://mente-do-agricultor.mckinsey.com/#links. Acesso em: 13/09/2022.

Florentino, J. (2022) Indigo conclui emissão recorde de créditos de carbono na agricultura. Valor Econômico, Jul. 01 São Paulo. Disponível em: https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2022/07/01/indigo-conclui-emissao-recorde-de-creditos-de-carbono-na-agricultura.ghtml. Acesso em: 19/07/2022.

Garrett, R. D., Grabs, J., Cammelli, F., Gollnow, F., Levy, S. A. (2022). Should payments for environmental services be used to implement zero-deforestation supply chain policies? The case of soy in the Brazilian Cerrado. *World Development*, Vol. 152, p. 105814.

Goodmann, N. (2022). A Snapshot of Trends Among Carbon Buyers. AFF - American Forestry Foundation. 28, Feb. Disponível em: https://www.forestfoundation.org/why-we-do-it/family-forest-blog/a-snapshot-of-trends-among-carbon-buyers/?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_term&utm_content=See%20the%20Full%20Results.&utm_campaign=FFCP. Acesso em: 02/09/2022.

Green, J. F. (2017). Don´t link carbon markets. *Nature*, Vol. 543 (7646), 484-486.

Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., ... & Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645-11650.

Griscom, B. W., Busch, J., Cook-Patton, S. C., Ellis, P. W., Funk, J., Leavitt, S. M., ... & Worthington, T. (2020). National mitigation potential from natural climate solutions in the tropics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190126.

Henders, S; Persson, U.M; Kastner, T. (2015). Trading forests: land-use change and carbon emissions embodied in production and exports of forest-risk commodities. *Environmental Research Letters*, Vol.10/Issue12, 125012.

Hingne, A. (2019) Unlocking the potential of carbon market mechanisms in the Paris Agreement. World Resources Institute. December 5th, 2019. Disponível em: https://wri-india.org/blog/unlocking-potential-carbon-market-mechanisms-paris-agreement. Acesso em: 02/09/2022.

Hungria, M.; Mendes, I. C. (2015). Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: de Bruijn, F. J. (Ed.). Biological nitrogen fixation. v.2. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015. p. 1009-1023.

ICROA (2014), "Unlocking the hidden value of carbon offsetting", Available at:http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ncp-cdn/downloads/ICROA_Unlocking_the_Hidden_Value_of_Carbon_Offsetting.pdf. Acesso em: 02/09/2022.

IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_00_Cover.pdf. Acesso em: 05/10/2022.

So, I.; Haya, B.; Elias, M. (2022). Voluntary Registry Offsets Database, Berkeley Carbon Trading Project, University of California, Berkeley. Disponível em: https://gspp.berkeley.edu/faculty-and-impact/centers/cepp/projects/berkeley-carbon-trading-project/offsets-database. Acesso em: 15/09/2022.

Lewis, J. T.; Trevisani, P. (2021). Storing Carbon Holds Growing Appeal for Brazil's Farmers. The Wall Street Journal, 6, Jul. Disponível em: https://www.wsj.com/articles/storing-carbon-holds-growing-appeal-for-brazils-farmers-11625565600. Acesso em: 07/09/2022.

Lewis S. L; Wheeler, C. E.; Mitchard, E. T. A.; Kock A. (2019). Restoring natural forest is the best way to remove atmospheric carbon. Comment, *Nature* 568.

Lovejoy, T. E.; Nobre, C.(2019) Amazon tipping point: Last chance for action. *Science Advances*, Vol.5, N.12, eaba2949.

Lovejoy, T. E.; Nobre, C.(2018) Amazon Tipping Point. *Science Advances*, Vol.4, n.2, eaat2340.

Ma Y., An X. (2018) Exchange rate changes, income gap and economic growth: an empirical study based on different stages of economic development. Economist, 9, 78–87.

Mapa - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2021). Plano Setorial para adaptação e mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária: 2020 a 2030. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/plano-setorial-para-adaptacao-a-mudanca-do-clima-e-baixa-emissao-de-carbono-na-agropecuaria-2020-2030.pdf. Acesso em: 20/04/2022.

Martin-Neto, L. (2022). A construção da bioeconomia brasileira [Webinar]. Fundação Getúlio Vargas - EESP. https://www.youtube.com/watch?v=LYEh1k7hsxI. Acesso em: 10/09/2022.

Mattila, T. J., Hagelberg, E., Söderlund, S., & Joona, J. (2022). How farmers approach soil carbon sequestration? Lessons learned from 105 carbon-farming plans. *Soil and Tillage Research*, 215, 105204.

McKinsey Nature Analytics (2021). Nature and Net Zero. McKinsey & Company & World Economic Forum, May 2021. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Consultation_Nature_and_Net_Zero_2021.pdf. Acesso em: 12/09/2022.

Mozzer, G. B. & Pellegrino, G. Q (2018). MDL e a construção do conhecimento em quantificações de redução de emissões de GEEs: da proposta inicial ao programa de atividades. In Frangetto, F. W. O., Veiga, A. P. B. O., & Luedemann, G. O. (Ed.). *Legado do MDL: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil como subsídios para novos mecanismos* (pp. 61-81). Brasília-DF: Ipea.

Nepomuceno, A. (2020). Soja carbono neutro [Webinar]. Confederação da Agricultura - CNA. Disponível em: https://cnabrasil.org.br/noticias/live-promovida-pela-cna-debate-soja-carbono-neutro. Acesso em: 08/09/2022.

Newell, R. G.; Pizer, W. A.; Raimi, D. (2013) Carbon Markets 15 years after Kyoto: Lessons learned, new challenges. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 27, n.1, 123–146

Nicoloso, R. S.; Rice, C. W. (2021). Intensification of no-till agricultural systems: An opportunity for carbon sequestration. *Soil Science Society of America Journal*, 85(5), 1395-1409.

Nobre, M. M.; Oliveira, I. R. (2018) Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação. Embrapa, Brasília, DF. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1101744/agricultura-de-baixo-carbono-tecnologias-e-estrategias-de-implantacao. Acesso em: 08/09/2022.

Novaes, R. M. L., Tubiello, F. N., Garofalo, D. F. T., de Santis, G., Pazianotto, R., & Matsuura, M. D. S. (2022). Brazil's agricultural land, cropping frequency and second crop area: FAOSTAT statistics and new estimates. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1140492/brazils-agricultural-land-cropping-frequency-and-second-crop-area-faostat-statistics-and-new-estimates. Acesso em: 05/09/2022.

Ontl, T. A., & Schulte, L. A. (2012). Soil carbon storage. *Nature Education Knowledge*, 3(10).

Organização das Cooperativas Brasileiras (2022). Anuário Coop 2022. Disponível em: https://anuario.coop.br/ramos/agropecuario. Acesso em: 19/06/2022.

Pendrill, F; Persson, U.M; Godar, J; Kastner, T. (2019). Deforestation displaced: trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest transition. *Environmental Research Letters*. Vol.14, Issue.5.

Pinto, E.; Guimarães, A.; Moutinho, P. (2022). Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil. Agropolítica em debate. Diálogo Agropolítico Brasil - Alemanha. Disponível em: https://apdbrasil.de/wp-content/uploads/2022/08/Pagamento_por_servicos_ambientais_no-Brasil_PTBR.pdf. Acesso em: 07/09/2022.

Polidoro, J. C., de Freitas, P. L., Hernani, L. C., dos Anjos, L. H. C., Rodrigues, R. D. A. R., Cesário, F. V., ... & Ribeiro, J. L. (2020). The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture in the control of soil erosion in Brazil. Authorea Preprints. Disponível em: https://www.authorea.com/doi/full/10.22541/au.158750264.42640167. Acesso em: 21/07/2022.

Porto, M. (2021). O futuro das pastagens brasileiras: a revolução da integração lavoura-pecuária-floresta [Webinar]. Insper Agro Global - Insper. https://www.youtube.com/watch?v=7b8Gfm6XzqY. Acesso em: 14/09/2022.

Possamai, E. J., Conceição, P. C., Amadori, C., Bartz, M. L. C., Ralisch, R., Vicensi, M., & Marx, E. F. (2022). Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re) view. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 46.

Postic, S.; Fetet, M. (2021) Global Carbon Accounts 2021. Institute for Climate Economics.

Potenza, R. F.; Quintana, G. O.; Cardoso, A. M.; Tsai, D. S.; Cremer, M. S.; e Silva, F. B.; … &.Azevedo, T. (2021). Análise das emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970 – 2020. SEEG/Observatório do Clima. Disponível em: OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf (seeg-br.s3.amazonaws.com). Acesso em: 20/07/2022

Rede ILPF (2021a). Rede projeta 35 milhões de hectares com sistemas de ILPF até 2030 | Embrapa. Disponível em: https://redeilpf.org.br/rede-projeta-35-milhoes-de-hectares-com-sistemas-de-ilpf-ate-2030-embrapa/ Acesso em: 28/10/2021.

Rede ILPF (2021b). ILPF em números. Rede ILPF. Disponível em: https://www.redeilpf.org.br/images/ILPF-em-Numeros-Rede-ILPF-2021.pdf. Acesso em: 28/10/2021.

Ritter, T.; Treakle, J. (2020) Why Carbon Markets Won't Work for Agriculture. Institute for Agriculture and Trade Policy. Available online at https://www.iatp.org/documents/why-carbon-markets-wont-work-agriculture. Acesso em: 07/09/2021.

Rockstrom, J.; Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Foley, J. A (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, Vol. 461 (7263). pp.472-475.

Schneider, L., Duan, M., Stavins, R., Kizzier, K., Broekhoff, D., Jotzo, F., ... & Hood, C. (2019). Double counting and the Paris Agreement rulebook. *Science*, 366(6462), 180-183.

Schneider, L., & La Hoz Theuer, S. (2019). Environmental integrity of international carbon market mechanisms under the Paris Agreement. *Climate Policy*, 19(3), 386–400.

Seddon N.; Chausson A.; Berry P.; Girardin C. A. J.; Smith A.; Turner B. (2020) Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190120.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito. (2021) Emissões Totais. SEEG/Observatório do Clima. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission. Acesso em: 10/12/2021.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito. (2021a) Emissões por setor/Agropecuária. SEEG/Observatório do Clima. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/agropecuaria. Acesso em: 10/12/2021

Specsolo (2022). Tecnologia Specsolo. Disponível em: http://www.specsolo.com.br/antiga_pg_specsolo_scan/. Acesso em: 05/10/2022.

Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D. Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., ... & Willett, W (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562 (7728), 519–525.

Steer, A.; Hanson, C. (2021) Corporate Financing of Nature Based Solutions: What Next? World Resource Institute. Disponível em: https://www.wri.org/insights/corporate-financing-nature-based-solutions-what-next. Acesso em: 22/08/2022.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M.,... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, Vol. 347, Issue 6223, 1259855.

Stiglitz, J; Stern, N.; Duan, M., Edenhofer, O., Giraud, G., Heal, G. M., ... & Winkler, H. (2017) Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. Carbon Pricing Leadership Coalition. World Bank.

Thamo, T.; Pannell, D.J. (2016) Challenges in developing effective policy for soil carbon sequestration: perspectives on additionality, leakage, and permanence. Climate Policy, 16 (80), 973-992.

Thamo, T.; Pannell, D.J.; Pardey, P.G.; Hurley, T. M. (2020) Private incentives for sustainable agriculture: soil carbon sequestration. Working Paper 2004, UWA Agricultural and Resource Economics.

Thompson, N. M., Hughes, M. N., Nuworsu, E. K., Reeling, C. J., Armstrong, S. D., Mintert, J. R., ... & Foster, K. A. (2022). Opportunities and challenges associated with" Carbon farming" for US row-crop producers. Center for Commercial Agriculture. Available at: https://ag.purdue.edu/commercialag/home/wp-content/uploads/2021/06/202106_Thompson_CarbonMarkets.pdf. Acesso em: 13/09/2022.

TSVCM (2020) Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets. Consultation Document. November, 2020. 98p.

TSVCM (2021) Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets. Final Report. January, 2021. 148p.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (2018). Koronivia Joint Work on Agriculture. Decision 4/COP.23. Disponível em: https://unfccc.int/decisions. Acesso em: 26/08/2022.

Valdiones, A. P. et al. *Desmatamento Ilegal na Amazônia e no Matopiba: falta transparência e acesso à informação*. ICV (Instituto Centro de Vida), Imaflora, Lagesa (Laboratório de Gestão de Serviços Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais). Disponível em: https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/desmatamento_ilegal_na_amazonia_e_no_matopiba___estudo_completo.pdf. Acesso em: 19/01/2022.

van den Bergh, J.; Botzen, W. (2020) Low-carbon transition is improbable without carbon pricing. Van Den Bergh, J., & Botzen, W. (2020). Low-carbon transition is improbable without carbon pricing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(38), 23219-23220.

Verra (2022). Verified Carbon Standard. Methodologies. Disponível em: https://verra.org/methodologies/

Verra (2020). Verified Carbon Standard. Methodologies. VM0042 Methodology for Improved Agricultural Land Management, v1.0. Disponível em: https://verra.org/methodology/vm0042-methodology-for-improved-agricultural-land-management-v1-0/. Acesso em: 05/10/2022.

Villas-Boas, P. R., Franco, M. A., Martin-Neto, L., Gollany, H. T., & Milori, D. M. (2020a). Applications of laser-induced breakdown spectroscopy for soil analysis, part I: Review of fundamentals and chemical and physical properties. *European Journal of Soil Science*, 71(5), 789-804.

Villas-Boas, P. R., Franco, M. A., Martin-Neto, L., Gollany, H. T., & Milori, D. M. (2020b). Applications of laser-induced breakdown spectroscopy for soil characterization, part II: Review of elemental analysis and soil classification. *European Journal of Soil Science*, 71(5), 805-818.

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S.,… Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, Vol. 393, Issue 10170, 447–492.

World Bank (2022). Carbon Pricing Leadership Report 2021/22. World Bank, Washington, DC. Disponível em: https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53decccfb4c/t/6290ddafb9a58932868f4797/1653661106052/Carbon+Pricing+Leadership+Report+2021-22.pdf. Acesso em: 02/09/2022.

World Bank (2022) State and Trends of Carbon Pricing 2022. Disponível em: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37455 Acesso em: 02/09/2022.

World Bank (2021) State and Trends of Carbon Pricing 2021. Disponível em: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620. Acesso em: 04/04/2022.

Wunder, S. (2008). How do we deal with leakage. In Moving ahead with REDD: *issues, options and implications* (Vol. 1, pp. 65-75). Disponível em: https://projects.ncsu.edu/project/amazonia/Wunder_CH7.pdf. Acesso em: 05/10/2022.

Zanatta, J. A.; Bordon, B.; Holler, B.W. A.; Rachwal, M. F. G; Rossi, L. M. B.; Higa, R. C. V. (2020). Índice de alteração do carbono no solo, em conversões de uso do solo envolvendo plantações florestais no Brasil. Documentos 342. Embrapa Florestas, Embrapa. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217027/1/Livro-Doc-342-1804-final-2.pdf. Acesso em: 05/09/2022.

Expediente

Autores
Camila Dias de Sá, Claudia Cheron König e Niels Søndergaard

Projeto gráfico, capa, paginação e gráficos
Contexto Gráfico e Jamil Ghani

Foto da capa
por vários @AdobeStock e Wenderson Araujo, Sistema CNA/Senar

Montagem fotográfica
Jamil Ghani

Publicação
Diálogo Agropolítico Brasil - Alemanha | APD

Coordenação editorial
Gleice Mere, Ingo Melchers e Carlos Alberto dos Santos

Tradução
Thalia Cerqueira

C
Mg
CO
Mn
P
Fe
Si
$