

Publicação da Secretaria de Política Agrícola
do Ministério da Agricultura e Pecuária,
editada pela Embrapa

e-ISSN 2317-224X
ISSN 1413-4969
Página da revista: www.embrapa.br/rpa

Artigo

Por uma agropecuária familiar resiliente e de baixa emissão de carbono

Resumo – O avanço dos efeitos das mudanças climáticas tem contribuído para intensificar o debate sobre o papel do setor agropecuário na redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e as medidas adaptativas necessárias. O Brasil tem mobilizado esforços para responder a esse desafio, como o Plano ABC+. Apesar dos avanços, a agropecuária familiar, que representava 76,8% dos estabelecimentos agropecuários em 2017, tem sido marginalizada. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é refletir sobre o significado de uma agropecuária familiar de baixo carbono. Os resultados indicam que a agropecuária de baixa emissão de carbono deve ser entendida como aquela que incorpora na tomada de decisão e na gestão dos sistemas de produção critérios ecológicos, associados à mitigação, captura e estocagem de carbono e a adaptação às mudanças do clima, juntamente aos critérios agrônômicos e econômicos. Para a agropecuária familiar de baixa emissão de carbono, este trabalho conclui que é preciso somente incluir os critérios definidores da agricultura familiar no Brasil, estabelecidos pela Lei nº 11.326/2006.

Palavras-chave: agricultura familiar, agroecologia, mudanças climáticas, Plano ABC.

For resilient family farming and low carbon emissions

Abstract – The increasing impact of climate change on society has contributed to intensifying the debate on the role of the agricultural sector in reducing greenhouse gas (GHG) emissions and the necessary adaptive measures in the sector. Brazil has mobilized efforts to respond to this challenge, such as the ABC+ Plan. Despite the advances, family farming, which represented 76.8% of agricultural establishments in 2017, has been marginalized. In this context, the objective of this study is to reflect on the

Junior Ruiz Garcia 
Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Autor correspondente jrgarcia1989@gmail.com

Vahid Shaikhzadeh Vahdat 
Universidade Federal do ABC

Pedro Gilberto Cavalcante Filho 
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM)

Leila Harfuch 
Agroicone

Laura Barcellos Antoniazzi
Agroicone

Antônio Márcio Buainain 
Universidade Estadual de Campinas

Recebido
27/8/2024

Aceito
15/10/2024

Como citar
GARCIA, J.R.; VAHDAT, V.S.; CAVALCANTE FILHO, P.G.; HARFUCH, L.; ANTONIAZZI, L.B.; BUAINAIN, A.M. Por uma agropecuária familiar resiliente e de baixa emissão de carbono. **Revista de Política Agrícola**, v.33, e01984, 2024. DOI: <https://doi.org/10.35977/2317-224X.rpa2024.v33.01984>.

meaning of low-carbon family farming. The results indicate that low-carbon farming should be understood as that which incorporates ecological criteria associated with mitigation, capture and storage of carbon and adaptation to climate change, together with agronomic and economic criteria, into decision-making and management of production systems. For low-carbon family farming, this work concludes that it is only necessary to include the defining criteria for family farming in Brazil, established by Law No. 11,326/2006.

Keywords: family farming, agroecology, climate change, ABC Plan.

Introdução

O avanço dos potenciais efeitos das mudanças climáticas tem colaborado para o avanço do debate sobre o papel do setor agropecuário na redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e sobre as medidas adaptativas. A agropecuária é responsável, em média, por mais de 20% das emissões globais, além de ser uma atividade afetada mais diretamente pelos potenciais efeitos negativos das mudanças climáticas (FAO, 2022; IPCC, 2022; Usepa, 2022). No Brasil, o setor agropecuário respondeu, em média, por 34% das emissões, e as mudanças de uso da terra, por 22% em 2016 (Brasil, 2022). Os principais gases emitidos pelo setor agropecuário são: metano (CH_4), resultante particularmente da fermentação entérica dos bovinos, dos rejeitos da criação animal e do cultivo irrigado de arroz; óxido nitroso (N_2O) e dióxido de carbono (CO_2), liberados dos solos por fertilizantes sintéticos e práticas não conservacionistas e das emissões de resíduos (Observatório ABC, 2013; Moran & Knook, 2017; IPCC, 2022; Observatório do Clima, 2024).

Diante da fragilidade do setor agropecuário à mudança climática, o Brasil tem mobilizado esforços para enfrentar o desafio. No governo federal, a principal iniciativa é o Plano ABC (2010–2020) e sua continuidade, o ABC+ (2021–2030). Em última análise, os planos buscam ampliar a adoção de sistemas sustentáveis de produção, por meio de linhas de crédito vinculadas ao uso de tecnologias/sistemas/práticas consistentes com a redução das emissões (Garcia et al., 2021).

Tais esforços do governo federal têm gerado avanços, mas uma lacuna comum é a falta de um olhar mais substantivo para a agropecuária familiar e suas especificidades. Mesmo a agropecuária familiar sendo mencionada no Plano ABC, não houve adesão (Chechi & Jesus, 2021; Garcia et al., 2021) nem esforço efetivo para incorporá-la. Conforme destacado por Garcia et al. (2021), apesar de o Plano ABC incentivar a adoção de tecnologias e práticas de manejo que podem ser adaptadas à realidade da

agropecuária familiar, não foram definidas estratégias nem metas específicas para esse grupo de produtores. O ABC+ prevê a inclusão mais explícita da agropecuária familiar em algumas ações, incluindo novas tecnologias que poderiam potencialmente facilitar o acesso dos produtores familiares, como o plantio direto na horticultura. Contudo, os desafios permanecem para a sua inserção (Garcia et al., 2021), uma vez que, do mesmo modo que no Plano ABC, não foram definidas estratégias, metas para a agropecuária familiar e muito menos instrumentos apropriados para promover as transformações nesse público específico.

Nesse contexto, é preciso explicitar o significado e importância da agropecuária familiar resiliente e de baixa emissão de carbono. Para não repetir as dificuldades e fragilidades do Plano ABC, como um primeiro passo é preciso deixar claro o que significa uma agropecuária familiar de baixo carbono, o que constitui o objetivo deste trabalho. Para tanto, foi conduzida uma revisão da literatura cujos resultados foram organizados em seis seções, seguindo em grande medida as duas dimensões que têm sido utilizadas para definir a agropecuária de baixa emissão de carbono de maneira mais ampla: mitigação e adaptação e a adoção de sistemas de produção e tecnologias.

Os objetivos que guiam a agropecuária de baixo carbono

A transição para uma agropecuária de baixa emissão de carbono está inserida na proposta de uma economia de baixa emissão de carbono, introduzida na RIO-92, mas ganhou espaço no debate político e na agenda acadêmica e do setor privado apenas com a iniciativa de economia verde das Nações Unidas (ONU), apresentada na década de 2000 e reforçada na COP15, realizada em Copenhague em 2009, e com a Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC) (OCDE, 2010; Xiaowei & Xing, 2011; Loiseau et al., 2016). A economia de

baixo de carbono tem por objetivo promover a redução das emissões de GEE vinculadas ao crescimento econômico – leia-se crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) –, com base na adoção de políticas que promovam uma reestruturação dos sistemas econômicos, tecnológicos e sociais de produção e consumo (OCDE, 2010; Xiaowei & Xing, 2011; Norse, 2012; Loiseau et al., 2016). Desse modo, espera-se que a economia de baixa emissão de carbono contribua para reduzir as emissões de GEE, desacelerar as mudanças climáticas, aumentar a eficiência no uso dos recursos naturais e promover a adaptação aos efeitos das mudanças climáticas e a melhoria da proteção ambiental. Segundo Norse (2012), a economia de baixa emissão de carbono deve ser considerada um componente central focado na operacionalização do desenvolvimento sustentável, em vez de um caminho alternativo ou concorrente.

Na discussão sobre a agropecuária de baixa emissão de carbono, os objetivos têm sido a) a mitigação das emissões de GEE e b) a adaptação às mudanças climáticas. Tais objetivos são apresentados de forma indissociável na literatura e servem como guia para as intervenções empreendidas. Vale ressaltar que, no setor agropecuário, grande parte das ações de mitigação também aumentam a capacidade de adaptação, o que é positivo e distinto de outros setores.

Mitigação das emissões de gases de efeito estufa

Conjuntamente, a atividade agropecuária e as mudanças no uso da terra são responsáveis por mais da metade das emissões brasileiras. De acordo com o último relatório do Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, publicado em 2016, 34% das emissões são da agropecuária, e 22%, da mudança de uso da terra (associada ao desmatamento); o setor de energia responde por 32%; os processos industriais, por 7%; e o tratamento de resíduos, por 5% (Brasil, 2022). As emissões agropecuárias compreendem gás metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), divididas entre: fermentação entérica (56,5%), solos agrícolas (36%), manejo de dejetos de animais (4,1%), cultivo de arroz (2,2%) e queima de resíduos (1,1%) (Brasil, 2022).

Em paralelo às estimativas oficiais, o Observatório do Clima tem realizado anualmente as estimativas de emissões de GEE, disponibilizadas

no Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (Seeg). A última divulgação do Seeg, para 2022, indica que 27% das emissões resultaram da agropecuária e 48% decorreram da mudança de uso da terra associada ao desmatamento. O setor de energia contribuiu com 18%; os processos industriais, com 3%; e o tratamento de resíduos, com 4% (Observatório do Clima, 2024). Para o setor agropecuário, as emissões compreendem metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), divididas em fermentação entérica (65%), solos agrícolas (29%), manejo de dejetos de animais (5%), cultivo de arroz (2%) e queima de resíduos (0,1%) (Observatório do Clima, 2024). Apesar das diferenças, as estimativas do Observatório do Clima são importantes para acompanhar as trajetórias anuais.

A fermentação entérica, associada à pecuária, é parte do processo digestivo dos animais. Esse processo anaeróbio efetuado pela microbiota ruminal ocorre especialmente em animais ruminantes – bovinos, ovinos, caprinos, bubalinos e búfalos – e, em menor escala, nos não ruminantes – equinos, asininos, muare – e nos monogástricos (suínos). No Brasil, 86% das emissões são provenientes de bovinos de corte, e 11%, de vacas leiteiras. Por essa razão, admite-se que as emissões, nesse caso, são moduladas principalmente pela quantidade de cabeças de bovinos (Brasil, 2019). Há uma relação direta, porém complexa, entre a quantidade de metano expelido pelo animal com a quantidade e a qualidade do alimento, o qual influenciará seu peso, sua produtividade e sua digestibilidade, entre outros fatores (Brasil, 2020a).

Com relação aos solos agrícolas, as emissões são da nitrificação e desnitrificação pelo aumento da quantidade de nitrogênio (N) no solo. Esse processo resulta do uso de insumos e do manejo das plantas e do solo, o que acarreta emissões diretas e indiretas de N_2O . A intensificação da agropecuária, com o uso crescente de fertilizantes sintéticos e adubos orgânicos, tem impulsionado essas emissões. As fontes diretas e indiretas são sintetizadas a seguir:

As emissões diretas de N_2O são resultantes da aplicação de fertilizantes sintéticos e adubos orgânicos; da deposição e incorporação de resíduos de colheita de cultivos e da renovação de pastagens; da deposição de dejetos não manejados de espécies do rebanho nacional (p.e. em pastagens); da mineralização de N resultante da perda de matéria orgânica do solo; e do manejo

de solos orgânicos. As emissões indiretas de N_2O também ocorrem pelas mesmas fontes de N das emissões diretas (excluindo o manejo de solos orgânicos) e são causadas quando as moléculas de nitrogênio “se movem” do local onde foram depositadas ou mineralizadas e são convertidas em N_2O em um novo local, resultando em uma “perda de nitrogênio”. A perda de nitrogênio ocorre através da volatilização (o N se transforma em vapor e se move pelo ar) e da lixiviação (o N na água é drenado pelos solos e cursos de água). (Brasil, 2020b, p.23).

No setor agropecuário, o manejo dos solos agrícolas é o principal responsável pelas emissões de N_2O , particularmente na deposição de excretas de animais em pastagens e uso de fertilizantes nitrogenados. De acordo com o relatório de emissões do País, contribuíram para as emissões: animais em pastagens (34%), aplicação de adubo (30%), fertilizantes sintéticos (24%), resíduos agrícolas (9%) e solos orgânicos (3%). Conforme mencionado anteriormente, os bovinos são especialmente presentes no caso do Brasil, e a maior parte do dejetos gerado por eles não é manejada, mas depositada diretamente em pastagens. Apenas no caso de bovinos de corte confinados e bovinos leiteiros, parte dos dejetos é destinada a algum tipo de tratamento, para posterior uso como fertilizante orgânico (Brasil, 2020a).

Nesse contexto, o desafio que se apresenta para a agropecuária é a redução das emissões. Na pecuária bovina e na criação de aves e suínos, a redução pode ocorrer com base na adoção de sistemas de tratamento de resíduos; terminação intensiva na pecuária de corte; melhorias na alimentação (dieta) dos animais; e recuperação das pastagens degradadas; entre outras. Já a agropecuária pode contribuir para a captura e estocagem de carbono pela adoção, por exemplo, de sistema de plantio direto (SPD); sistemas integrados de produção; uso mais eficiente dos fertilizantes sintéticos e, quando possível, sua substituição por fertilizantes orgânicos. Cabe destacar que a contribuição do setor agropecuário para mitigar as emissões e aumentar a captura e estocagem de carbono envolve a incorporação da análise do fluxo de carbono nos sistemas produtivos.

Adaptação às mudanças climáticas

A mudança climática impõe riscos para a atividade agropecuária e a sociedade. Entre os efeitos

gerados, estão o aumento das temperaturas médias e seus extremos, as precipitações mais variáveis e intensas e os eventos climáticos extremos, incluindo ondas de calor, inundações e secas (Amaru & Chhetri, 2013). Os recentes eventos de precipitação no Rio Grande do Sul e as ondas de calor em várias regiões do País são exemplos desses efeitos. Estudos apontam que os pequenos produtores são os mais vulneráveis diante das mudanças climáticas (Altieri & Nicholls, 2013; IICA, 2014; IPCC, 2014; AECID, 2018), reforçando a importância da adoção de tecnologias adaptadas a sua menor escala de produção e especificidades (Azadi et al., 2021).

As projeções para o Brasil indicam grandes desafios para todas as regiões. De acordo com o *Projeto Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima*, para o setor agropecuário, as simulações indicam que, sem os efeitos das mudanças climáticas, haveria aumento da produção de grãos e oleaginosas da ordem de 132%; substituição de 14 milhões de hectares de pastagens por lavouras e florestas plantadas; e incorporação de 7,7 milhões de hectares até 2040 em relação a 2010, em sua maioria no bioma Cerrado (Brasil, 2015). A incorporação das mudanças climáticas nas simulações, no entanto, indica aumento do risco climático para quase todas as culturas, redução do potencial produtivo e impactos relevantes na soja, incluindo a possibilidade de que regiões não possam realizar seu cultivo. As simulações regionais indicam queda na produção de soja nas regiões Sul (até 61,7%), Sudeste (até 66,3%) e Centro-Oeste (até 14,5%). Para milho segunda safra, quedas de 13,4% no Nordeste e de até 69,8% no Sudeste. Em resumo, as simulações indicam a possibilidade de queda nas áreas de cultivo em todas as regiões e para quase todas as culturas, com aumento do risco climático (Brasil, 2015).

Diante dessas perspectivas, tem sido discutida a importância de a agropecuária se tornar mais resiliente, isto é, desenvolver capacidades adaptativas. A resiliência, nesse contexto, pode ser entendida como a capacidade de os sistemas agropecuários suportarem e se recuperarem de eventos climáticos. A adaptação à mudança climática está relacionada a modificações em processos, práticas e estruturas que permitam amenizar os danos causados pelas mudanças ou aproveitar as oportunidades que surjam. A adaptação na agricultura, portanto, é fundamental para garantir a produção agrícola e a segurança alimentar, que poderiam ser colocadas em risco. Essas modificações podem

estar associadas aos sistemas naturais e de produção agropecuária, mas também estão relacionadas a aspectos socioeconômicos e institucionais que são mobilizados em resposta à mudança do clima (Brasil, 2021a).

Por fim, cabe mencionar que, na discussão de uma agropecuária de baixa emissão de carbono, os objetivos de mitigar as emissões e se adaptar à mudança climática vêm associados ao aumento da produtividade. A possibilidade e necessidade de aumentar a produtividade é uma das principais justificativas para a adoção de tecnologias que permitam avançar nos objetivos de mitigação e adaptação. Nesse contexto, a produtividade tem sido tratada em termos do uso mais racional (eficiente) dos recursos naturais – como solo, água e biodiversidade –, atuando como vetor de redução de custos e aumento da produção e da renda agropecuárias. Assim, as tecnologias e sistemas produtivos adotados buscam intensificar a produção, avançando nos objetivos ambientais e “[...] sem prejuízos à produtividade e à renda do produtor” (Brasil, 2021c, p.34). Vale observar que essa perspectiva exclui as soluções que poderiam ser benéficas em termos ambientais com prejuízos para a produtividade e renda dos produtores (Zhang et al., 2007; Parron et al., 2019).

Por que uma agropecuária familiar de baixa emissão de carbono?

Mitigação e adaptação são (ou deveriam ser) objetivos para todos os produtores rurais. A mitigação de emissões e a adaptação são desafios tanto para produtores familiares quanto para não familiares, segundo a Lei 11.326/2006 (Brasil, 2006), mas os últimos têm recebido atenção, e os familiares, negligenciados. A experiência do Plano ABC sugere que há fatores que contribuem para isso: os estabelecimentos não familiares são de maior tamanho, o que permite alcançar mais resultados com menos estabelecimentos; esses estabelecimentos contam com participação mais relevante na criação bovina (70%) e destinam parte de sua produção à exportação e, para atender às demandas internacionais, precisam do uso de práticas e sistemas de produção mais sustentáveis. Por fim, esses estabelecimentos têm acesso à informação e rede de serviços de assistência técnica, inclusive no setor privado, e podem comprar serviços e insumos que facilitam a mudança tecnológica. Já as emissões da agropecuária fa-

miliar tendem a ser menores, pois ela é responsável por um rebanho bovino menor, possui menor área, usa menos fertilizantes e faz manejo menos intenso dos solos. Além disso, as emissões estão pulverizadas em 3,90 milhões de estabelecimentos familiares contra 1,18 milhão não familiares, em 2017 (IBGE, 2019). Nesse contexto, é importante identificar os fatores que justificam a inclusão da agropecuária familiar na agenda climática.

Apesar do cenário desfavorável para a agricultura familiar, a sua inclusão numa economia de baixo carbono e a adoção de sistemas produtivos alinhados a esse objetivo são também uma questão de sobrevivência para o segmento. Dispor de um sistema produtivo mais resiliente e produtivo é crucial para os pequenos produtores, que muitas vezes contam com poucos recursos. Além disso, a segurança alimentar da família, pelo autoconsumo ou pela renda agropecuária, é diretamente impactada por problemas associados aos sistemas e às práticas agrícolas que aos poucos vão perdendo sustentabilidade ecológica e econômica. Finalmente, em um contexto de esvaziamento do campo, em 2017 a agropecuária familiar foi responsável pela ocupação de mais de dez milhões de pessoas no País (67% da ocupação no setor agrícola) (IBGE, 2019).

Diante das mudanças climáticas, a inclusão da agropecuária familiar está fortemente atrelada à segurança alimentar. A agropecuária familiar contribuiu com grande variedade de produtos e por percentual expressivo da produção de diversos alimentos consumidos no País (Tabela 1), cuja oferta está ameaçada pelas mudanças climáticas.

Observa-se que a agropecuária familiar tem participação elevada em itens da cesta de alimentos da dieta brasileira, como arroz, feijão, milho e mandioca, bem como em matérias-primas que sustentam setores e comunidades específicas, de norte a sul.

A mandioca, mesmo tolerante a altas temperaturas, pode ser afetada pela redução da umidade do solo; o feijão pode sofrer com o abortamento das flores em razão do aumento da temperatura, além da irregularidade das precipitações; o desempenho da pecuária de corte e leiteira pode ser afetado pelo aumento da temperatura e pela redução das precipitações, que podem gerar desconforto térmico aos animais, além da redução na produtividade das pastagens e do aumento na ocorrência de doenças e pragas (Angelotti & Giongo, 2019).

Tabela 1. Produção total e familiar das lavouras temporárias e permanentes em 2017.

Produto vegetal	Quantidade total (A)	Agropecuária familiar	
		Quantidade (B)	B/A (%)
Malva (fibra) (t)	3.466	3.345	97
Fumo em folha seca (t)	10.405	571.275	94
Amora (folha) (t)	27.141	118.062	93
Fava em grão (t)	21.109	17.745	84
Uva (vinho ou suco) (t)	31.187	659.480	79
Açaí (fruto) (t)	80.332	220.603	79
Maracujá (t)	61.694	191.798	73
Erva-mate (t)	50.112	171.965	69
Pêssego (t)	36.924	93.437	68
Abacaxi (mil frutos)	11.220	477.121	67
Cupuaçu (t)	21.240	14.101	66
Caju (fruto) (t)	45.005	29.869	66
Pimenta-do-reino (t)	46.899	30.578	65
Caju (castanha) (t)	51.278	32.094	63
Graviola (mil frutos)	7.569	4.609	61
Pupunha (cacho frutos) (t)	8.873	5.225	59
Acerola (t)	60.966	35.296	58
Cacau (amêndoa) (t)	59.856	90.481	57
Cebola (t)	802.394	467.468	58
Abóbora, moranga, jerimum (t)	17.839	241.074	58
Milho forrageiro (t)	39.284.175	22.165.581	56
Feijão verde (t)	70.542	39.199	56
Sorgo vassoura (t)	4.106	2.251	55
Melancia (t)	826.924	395.371	48
Forrageiras para corte (t)	1.939.864	828.023	43
Feijão-preto em grão (t)	393.710	164.708	42
Feijão-fradinho em grão (t)	458.069	157.550	34
Trigo em grão (t)	4.681.069	861.984	18
Milho em grão (t)	88.099.622	10.972.012	12
Arroz em casca (t)	11.056.719	1.207.535	11
Soja em grão (t)	103.156.255	9.558.657	9

Fonte: elaborado com dados de IBGE (2019).

Na literatura sobre agropecuária de baixa emissão de carbono, a segurança alimentar tem sido abordada como uma preocupação secundária ou como consequência automática da adoção das práticas e tecnologias adotadas (Observatório ABC, 2013; Tavares et al., 2020; Mangabeira et al., 2021;

Brasil, 2021c). De toda forma, a construção de um sistema alimentar resiliente envolve incluir a agropecuária familiar na visão mais geral de uma agropecuária de baixa emissão de carbono.

A agropecuária de baixa emissão de carbono transcende as porteiras e envolve a paisagem.

Assim, incluir a agropecuária familiar é um imperativo à medida que a discussão sobre uma agropecuária de baixa emissão de carbono reconhece a necessidade de avançar de um olhar centrado nos estabelecimentos para outro que abarca a paisagem. Enquanto há desafios para a construção de uma agropecuária mais sustentável, que estão relacionados à gestão das propriedades, há outros que passam por um olhar mais abrangente. Conforme o Plano ABC+ indica, a adoção da abordagem integrada de paisagem (AIP) implica o entendimento multifuncional dos espaços rurais, o que pode potencializar o uso eficiente e responsável dos recursos naturais sem prejudicar a renda e a produtividade dos produtores. Quando se condidera uma microbacia ou zona definida, por exemplo, é preciso abranger questões como a regularização ambiental, a valorização da paisagem, a recuperação e conservação da qualidade do solo, da água e da biodiversidade e a valorização das especificidades locais e culturas regionais (Brasil, 2021b). Tal olhar abrangente é inviável se apenas uma parcela dos produtores rurais é incorporada.

Sistemas produtivos para uma agropecuária de baixa emissão de carbono

As práticas, tecnologias e sistemas produtivos eficazes são essenciais para reduzir as emissões, aumentar a resiliência e promover a adaptação. A segunda dimensão utilizada na definição de uma agropecuária de baixa emissão de carbono é a adoção de um conjunto de práticas, tecnologias e sistemas de produção com eficácia comprovada. De acordo com a revisão de literatura, a mudança dos sistemas produtivos é o principal vetor para alcançar os objetivos de uma agropecuária de baixa emissão de carbono. Essas mudanças podem ocorrer pela adoção de práticas, técnicas e tecnologias. Uma forma possível de definir esses três termos e diferenciar o seu significado é:

As **práticas** agropecuárias são um conjunto de ações que partem de conhecimentos empíricos e/ou científicos, resultantes de tentativa e erro sendo melhorados ao longo do tempo. Já as **técnicas** agropecuárias são organizadas em métodos que podem estruturar uma prática para que ela seja melhorada ou adaptada a novos lugares e realidades. A técnica é elaborada a partir do conhecimento científico formal, com base em

estudos e experiências controladas. Finalmente, as **tecnologias** abarcam um conjunto de técnicas ou práticas específicas que buscam o melhoramento dos sistemas produtivos. Vale ressaltar que esses termos têm uma sobreposição semântica, de acordo com o contexto aplicado [...]. (Tavares et al., 2020, p.17, grifo do autor).

As práticas e técnicas abordam aspectos da produção agropecuária e do manejo de recursos naturais, as quais podem levar a diferentes tipos de impacto no meio ambiente. As principais técnicas são: adubação, plantio, controle de doenças e pragas e conservação do solo e da água. Essas técnicas são importantes para o desenvolvimento das culturas, mas podem gerar impactos ao meio ambiente caso não haja controle do uso de produtos químicos, dos processos de revolvimento do solo e da irrigação, entre outros (Tavares et al., 2020). Dessa forma, uma preocupação importante é a definição de sistemas de produção que cumpram com os objetivos definidos.

Segundo Sandroni (1999), um sistema produtivo pode ser entendido como a interação de pessoas (trabalhadores), máquinas, equipamentos e ferramentas (capital físico produzido pela sociedade), insumos, recursos naturais e conhecimento, cujo objetivo é produzir bens e serviços. No caso do setor agropecuário, o objetivo é produzir bens agropecuários, como alimentos, insumos, fibras e energia, além de poder gerar serviços ambientais. O uso de práticas, técnicas e tecnologias perpassa o funcionamento desses sistemas. Elas podem estar presentes nos insumos que se utilizam, no manejo e gestão realizado por pessoas ocupadas e no capital físico empregado.

Sistemas produtivos recomendados nos planos ABC e ABC+

No Brasil, os sistemas produtivos são identificados com base na trajetória de pesquisa e naqueles sistematizados no Plano ABC. Os sistemas do plano estão fundamentados em uma base científica, resultado de mais de 40 anos de investimentos em pesquisa, incorporando propostas de inovações e tecnologias para a agropecuária tropical (Brasil, 2020a). Os sistemas propostos possuem eficácia científica comprovada na redução das emissões de GEE e na adaptação às mudanças do clima. Na sua versão mais recente (ABC+), os sistemas propostos estão sob a denominação de Sistemas, Práticas,

Produtos e Processos de Produção Sustentáveis (SPSABC) (Brasil, 2021b):

- Práticas para Recuperação de Pastagens Degradadas (PRPD) – Inclui tanto a recuperação quanto a renovação de pastagens degradadas. A recuperação corresponde à adoção de práticas para o “restabelecimento da produção de forragem, mantendo-se a espécie ou cultivar forrageira”; a renovação corresponde ao “restabelecimento da produção da forragem com a introdução de uma nova espécie ou cultivar forrageira, em substituição àquela degradada” (Brasil, 2021c, p.48). A recuperação ou renovação de pastagens degradadas pode ser feita em estabelecimentos de criação pecuária para corte ou leiteira.
- Sistema de Plantio Direto (SPD) – Representa a adoção de práticas de manejo que requerem o mínimo revolvimento do solo, restrito às linhas de semeadura; cobertura vegetal permanente do solo; e rotação de cultivo com culturas diferentes (Brasil, 2021a). Cabe destacar que o SPD contribui para uma abordagem mais sistêmica da produção agropecuária (Brasil, 2021a). O ABC+, além do SPD Grãos, incluiu o SPD Hortaliças, sistema produtivo caracterizado pela importante participação da agropecuária familiar. O SPD é uma tecnologia que pode ser adotada em diversas culturas agrícolas anuais, como soja, milho, trigo, aveia, sorgo, nabo forrageiro e algodão.
- Sistemas Integrados e Agroflorestais – Caracterizados pela combinação de atividades agropecuárias e florestais numa mesma área produtiva (Brasil, 2021a). Esses sistemas não são sinônimos de sistemas consorciados, os quais são definidos de maneira mais restrita, porque envolvem apenas o cultivo combinado de culturas agrícolas. Existem possibilidades para a composição das atividades agropecuárias e florestais: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); Integração Lavoura-Pecuária (iLP); Integração Lavoura-Floresta (iLF); Integração Pecuária-Floresta (iPF); Sistemas Agroflorestais (SAFs). Esses sistemas integrados podem combinar culturas agrícolas, criação de animais e espécies florestais e, portanto, possuem maior diversidade e complexidade, em especial os SAFs.
- Florestas Plantadas – Correspondem ao plantio de espécies florestais exóticas ou nativas para fins comerciais de produtos madeireiros (madeiras, fibras, alimentos e bioenergia) e não madeireiros (látex, taninos, resinas e bioprodutos) (Brasil, 2021c). Cabe destacar que os plantios florestais podem ser usados para fins de recuperação de áreas degradadas e de proteção ambiental sujeitas a uso sustentável conforme o Código Florestal de 2012 (Brasil, 2012).
- Insumos Biológicos e Bioinsumos – Definidos como o uso de microrganismos em sistemas agropecuários, que contemplam a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), os promotores do crescimento vegetal, a fixação de nutrientes, e o controle biológico de pragas e doenças, entre outros (Brasil, 2021c). A sua adoção pode reduzir o uso de agroquímicos sintéticos e, no caso brasileiro, a dependência de importações.
- Sistemas Irrigados – Entendidos como a adoção de técnicas, equipamentos e infraestruturas para fornecer, de maneira artificial, água para os sistemas agropecuários (Braga & Calgaro, 2010; Testezlaf, 2017). Os métodos de irrigação podem ser classificados em aspersão; microirrigação ou localizada; por superfície; e subterrânea (Andrade & Brito, 2006; Frizzzone, 2017). A irrigação por aspersão compreende a aplicação sob pressão da água por jatos ao solo. A microirrigação é o uso da água sob pressão com o auxílio de emissores de acordo com o volume necessário. A irrigação por superfície usa a topografia do terreno para direcionar a água. A irrigação subterrânea é o uso da água armazenada de maneira artificial no subsolo (Andrade & Brito, 2006; Frizzzone, 2017).
- Manejo de Resíduos da Produção Animal (MRPA) – Adoção de sistemas de tratamento dos resíduos originados da avicultura e suinocultura, mas também da criação bovina de corte e leiteira quando a geração de resíduos (como a mistura de água de limpeza das áreas de criação, urina, fezes

e alimentos) é concentrada (Brasil, 2021a). Além dos benefícios em termos da mitigação das emissões de GEE, o adequado tratamento de resíduos da produção animal, via biodigestão (efluentes líquidos) e compostagem (resíduos sólidos), oferece importantes ganhos econômicos, como a redução dos gastos com fertilizantes e energia elétrica, quando os sistemas são acoplados a unidades termogeradoras movidas a gás metano.

- **Terminação Intensiva na Pecuária de Corte** – Adoção de práticas intensivas no manejo alimentar na fase final de engorda, que inclui o uso de grãos, farelos, aditivos e coprodutos. Essa prática de manejo pode ser aplicada em sistemas de confinamento, semi-confinamento e de suplementação à criação em pastagem (Brasil, 2021a). O resultado de sua aplicação tem sido a redução do ciclo de produção e, portanto, isso permite o abate de animais mais jovens, o que reduziria as emissões pela fermentação entérica.

A contribuição dessas práticas de manejo e tecnologias para uma agropecuária de baixa emissão não é direta ou explícita. Esse é o caso da adoção dos sistemas irrigados, da recuperação e renovação de pastagens degradadas e do uso de bioinsumos. Os sistemas irrigados podem contribuir para o aumento da produtividade, reduzindo assim o requerimento de novas áreas e o uso de insumos sintéticos e de combustível fóssil – e são importante alternativa de adaptação climática. A recuperação e renovação de pastagens degradadas pode contribuir para o aumento da produtividade da pecuária leiteira e de corte, além da captura e estocagem de carbono no solo e da mitigação das emissões. Os bioinsumos podem contribuir para a redução do uso de fertilizantes sintéticos derivados do petróleo, além do consumo de agroquímicos.

As práticas de manejo e tecnologias propostas podem ser aplicadas de maneira combinada, para potencializar os resultados, e devem ser vistas sob a perspectiva da complementaridade. As tecnologias relacionadas à produção animal, por exemplo, não têm capacidade de captura e estocagem de carbono, mas a redução do tempo de abate dos animais diminui as emissões de metano. O restante dos sistemas propostos possui capacidade de captura de carbono, particularmente a partir

da melhoria da qualidade do solo e do aumento da biomassa vegetal.

Os sistemas propostos no ABC+ poderão incluir novas soluções a cada dois anos. Essa definição parte do reconhecimento de que é necessário que haja um processo contínuo de inovação tecnológica no âmbito da agropecuária de baixa emissão de carbono. Nesse contexto, o Brasil tem adotado a validação dos sistemas produtivos propostos, e apenas aqueles que com evidências científicas de redução de emissões e/ou adaptação ao clima são recomendados no âmbito dos planos governamentais. O esforço do Mapa de sistematizar as iniciativas de pesquisa no País oferece um panorama dos tipos de iniciativas em curso.

Com relação à mitigação, há duas coletâneas preparadas que analisam fatores de emissão e remoção de GEE – uma voltada para a pecuária e outra para a agropecuária. Ambas as coletâneas buscam criar referências para um país tropical, como o Brasil. Quanto à pecuária, foram sistematizados dados de emissões e remoções de GEE para os processos de fermentação entérica de a) pequenos ruminantes (ovinos e caprinos); b) grandes ruminantes (bovinos e bubalinos); e c) não ruminantes (aves, suínos, peixes e moluscos bivalves), além da determinação dos fluxos de GEE em áreas de cultivo de peixes, ostras e mexilhões (Brasil, 2020a). Para a agropecuária, os estudos foram sistematizados em três conjuntos: a) cana-de-açúcar; b) grãos; e c) sistemas integrados de produção e florestas plantadas (Brasil, 2021b).

O Mapa oferece também um agrupamento de iniciativas e aponta a falta de um marco conceitual claro. Muitas vezes as intervenções de adaptação são apresentadas como uma lista de opções. São práticas, políticas e tecnologias alternativas que podem ser utilizadas em diferentes lugares. No entanto, não há uma consideração mais profunda do seu resultado amplo ou sistêmico. No levantamento realizado pelo Mapa, as iniciativas de pesquisa foram agrupadas em quatro categorias: a) Uso de recursos genéticos, que visa ao melhoramento genético de cultivares para que sejam mais resistentes e tolerantes aos estresses climáticos, particularmente ao hídrico e ao térmico; b) Infraestrutura, tecnologias de produção e equipamentos, que tem abordado questões de degradação e manejo intensivo do solo e, por isso, tem fomentado o desenvolvimento de tecnologias de diagnóstico, planejamento e intervenção no manejo de sistemas agropecuários; c) Uso e conservação da bio-

diversidade, que, tendo em vista a degradação de ecossistemas naturais e a perda da biodiversidade, tem explorado o desenvolvimento de cultivares nativas; e d) Planejamento e manejo integrado da paisagem, que tem analisado problemas mais amplos – como a degradação de recursos naturais, o avanço da urbanização, a exclusão econômica, a falta de recursos financeiros e políticas básicas de desenvolvimento – e proposto soluções participativas de sustentabilidade, buscando a inclusão social, a conservação de recursos naturais e o bem-estar das pessoas. Essas categorias podem ser entendidas como parte de um espectro que se estende da atenção a cultivares específicas até o olhar para sistemas amplos e complexos (Brasil, 2020b).

Agropecuárias alternativas mais resilientes às mudanças climáticas

Ao considerar as possibilidades de promoção de uma agropecuária de baixa emissão de carbono, é importante manter em vista que a abordagem proposta pelo ABC+ não é a única que tem buscado fomentar uma agropecuária mais sustentável. Existe uma literatura importante de áreas como geografia econômica, economia agrícola, planejamento de desenvolvimento rural e agronomia, entre outras, que busca definir, classificar, categorizar e nomear a diversidade de tipos, sistemas e formas de agropecuária (Sumberg & Giller, 2022). Essa busca por agropecuárias alternativas tem sido motivada por diferentes objetivos e adotado metodologias e escalas espaciais – global (geral), tropical ou temperada, por região ou país, como a africana, a asiática, a europeia, a brasileira e assim por diante (Sumberg & Giller, 2022).

Abordagens surgem como resposta para fazer frente à denominada agropecuária convencional, que pode ser definida como aquela que não incorpora critérios ambientais e sociais em seus sistemas produtivos. Ehlers (1994) sistematizou de forma histórica as principais vertentes das agropecuárias (biodinâmica, orgânica, biológica e natural) e os elementos que caracterizam cada uma. A Tabela 2 lista discussões, abordagens ou propostas apresentadas no debate público, além de apontamentos das interfaces com a agropecuária de baixa emissão de carbono, entendida em razão tanto dos objetivos/resultados que busca/alcança quanto de tecnologias/práticas/sistemas produtivos (TPSP) que teoricamente contribuem para reduzir as emis-

sões, aumentar a resiliência e promover a adaptação climática.

A proposta de uma agropecuária de baixa emissão não deve ser vista como concorrente das propostas em curso no setor agropecuário (Tabela 2), já que compartilham, de forma explícita ou implícita, atributos comuns, como objetivos, tecnologias e práticas de manejo. Em muitos casos, as diferenças são mais de estratégias de comunicação, que enfatizam aspectos específicos e de implementação. A preocupação ou filosofia geral que as embasam é a sustentabilidade – incorporação de critérios ambientais, harmonia de processos produtivos com a natureza, uso mais racional e produtiva de recursos escassos, em particular os próprios recursos naturais, que pelo menos em tese são consistentes com a *rationale* da ABC.

A maioria das propostas agropecuárias (Tabela 2) surgiu em contextos nos quais a questão das emissões não havia assumido a centralidade social, econômica e política a partir do início do século 21. A preocupação com as mudanças climáticas era tratada, no âmbito da agropecuária, sob o manto geral da “sustentabilidade”, com ênfase na preservação/conservação dos recursos naturais e da natureza, e uso sustentável e racional dos recursos naturais, em reação a práticas insustentáveis que produziam erosão e compactação dos solos, desertificação e contaminação das águas, entre outros. Nesse contexto, as propostas enfatizam aspectos que viriam a ser incorporados à definição de uma agropecuária de baixa emissão de carbono, sem, no entanto, mencionar as emissões. A essência das propostas de agropecuária mais resiliente, sustentável, *climate-smart* e regenerativa, por exemplo, é inteiramente consistente com a ABC na medida em que propõe e apoia TPSP voltadas para a adaptação dos sistemas produtivos, a recuperação das áreas degradadas e a mitigação de GEE (Rhodes, 2017; AECID, 2018; Meuwissen et al., 2019; Newton et al., 2020; Azadi et al., 2021).

Algumas abordagens têm o caráter instrumental de adoção de tecnologias e não se referem a objetivos específicos de adaptar ou mitigar as emissões. A agropecuária orgânica e a agroecologia, por exemplo, apresentam práticas de manejo e tecnologias que podem reduzir (ou até eliminar) o uso de agroquímicos sintéticos e aumentar a diversificação dos sistemas produtivos, que, por sua vez, se conectam com os objetivos da agropecuária de baixa emissão. Mas, ainda que enfatizem o

Tabela 2. Tipos de agropecuária e suas características.

Abordagem	Definição	Interface com a agropecuária de baixa emissão de carbono ⁽¹⁾
Agropecuária resiliente	Envolve a adoção de estratégias de adaptação, diversificação, prevenção, gestão de riscos e uso da biodiversidade para lidar com a variabilidade climática e eventos climáticos extremos	Compartilha a busca pela resiliência climática dos sistemas agropecuários. Propõe a adoção de TPSP consistentes com o Plano ABC+
<i>Climate-smart agriculture</i>	Aborda a segurança alimentar e os desafios climáticos, e se baseia em três pilares: aumentar de forma sustentável a produtividade e a renda; adaptar e construir resiliência às mudanças climáticas; reduzir e/ou eliminar as emissões de gases de efeito estufa sempre que possível	Compartilha objetivos comuns, como a mitigação das emissões e adaptação às mudanças do clima e pacotes tecnológicos consistentes com o Plano ABC+
Agropecuária sustentável	Garante a segurança alimentar, mas promove a manutenção de ecossistemas saudáveis e gestão sustentável, garantindo a rentabilidade e a equidade social, além de atender às necessidades das gerações presentes e futuras	A adoção de práticas sustentáveis inclusivas é o eixo central. Não menciona as emissões, mas as TPSP recomendadas em projetos de agropecuária sustentável são consistentes com a redução de emissões, resiliência e adaptabilidade
Agroecologia	Abordagem ecológica da agropecuária quanto ao estudo, desenho e gestão de agroecossistemas sustentáveis. Incluiu a adoção de práticas agrícolas sob bases ecológicas, que "imitam" processos naturais, criando sinergias e interações biológicas favoráveis entre os componentes do agroecossistema	Incentiva a adoção de práticas de manejo e tecnologias que contribuem para a redução de emissão, como a redução e eliminação de agroquímicos, o aumento da diversidade dos sistemas produtivos e o reaproveitamento de resíduos; portanto, apresenta interface com o Plano ABC+
Agropecuária regenerativa	Seu núcleo contém a intenção de melhorar a saúde do solo ou restaurar o solo altamente degradado, com impactos positivos sobre a qualidade da água, da vegetação e da produtividade da terra	Compartilham objetivos comuns quanto ao incentivo à recuperação e renovação de áreas agropecuárias degradadas. As TPSP utilizadas reduzem o uso de fertilizantes e agroquímicos e aumentam a resiliência (por causa da qualidade do solo), com provável impacto positivo sobre as emissões
Agropecuária de precisão	Conjunto de ferramentas e tecnologias para o gerenciamento localizado das lavouras. Permite a otimização do sistema produtivo, originalmente voltado para a rentabilidade e eficiência; tem sido utilizada para reduzir o impacto ao meio ambiente	A busca pela maior eficiência dos sistemas produtivos tem contribuição direta para a mitigação das emissões e para a resiliência dos sistemas produtivos
Agropecuária 4.0	Emprega métodos computacionais de alto desempenho, rede de sensores, comunicação entre máquinas, conectividade entre dispositivos móveis, computação em nuvem e métodos e soluções analíticas para processar grandes volumes de dados e construir sistemas de suporte à gestão da produção agrícola	A adoção de tecnologias da informação e comunicação (TICs) pode contribuir para a mitigação das emissões pelo aumento da eficiência dos sistemas produtivos. Também pode ser utilizada para monitorar as emissões
Agropecuária alternativa	Conjunto de agropecuárias que surgem como resposta aos métodos tradicionais	As TPSP propostas buscam, em geral, a redução do uso de insumos químicos, a maior diversidade do uso do solo e a preservação e recuperação de áreas degradadas, que, em linhas gerais, são consistentes com o Plano ABC+
Agropecuária biodinâmica	Movimento biodinâmico e a difusão da ideia de que a propriedade agropecuária deve ser entendida como um organismo	Propõe a eliminação do uso de químicos, antibióticos, sementes transgênicas e algumas técnicas de manejo que violentem a natureza, que podem contribuir para a redução das emissões
Agropecuária orgânica	Sistema de produção que evita ou exclui o uso de agroquímicos sintéticos, adotando práticas como a rotação de culturas, esterco animal, leguminosas, adubação verde, resíduos orgânicos, cultivo mecânico, minerais naturais e controle biológico de pragas e doenças	A adoção de práticas de manejo e tecnologias que minimizem ou eliminem o uso de agroquímicos sintéticos, além do incentivo à diversificação dos sistemas produtivos, pode contribuir para a mitigação das emissões e para a adaptação climática

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Abordagem	Definição	Interface com a agropecuária de baixa emissão de carbono ⁽¹⁾
Agropecuária biológica	A essência é a saúde das plantas e, portanto, dos alimentos, alcançada com base na manutenção da “saúde” dos solos, cujas bases são o manejo dos solos, a fertilização e a rotação de culturas	Propõe o uso de TPSP que em tese contribuiriam para a redução das emissões
Agropecuária natural	Adoção de práticas agrícolas que respeitem as leis da natureza	
Permacultura	Junção de permanência e cultura, conhecimento que propõe princípios e técnicas para planejar a relação sustentável entre os seres humanos e os recursos naturais, com o intuito de, basicamente, viabilizar a moradia, produzir alimentos saudáveis, conviver harmoniosamente e conservar o meio ambiente	A filosofia da permacultura é consistente com a prática de uma agropecuária de baixa emissão de carbono
Agropecuária ecológica	Tem como meta a redução dos agroquímicos na agropecuária, a defesa da agropecuária em pequenas propriedades, a comercialização direta com os consumidores, a conservação dos recursos naturais e o respeito à natureza	Em relação às TPSP propostas, a agropecuária ecológica é 100% compatível com o Plano ABC+, já que ela se baseia na redução dos agroquímicos, conservação de recursos naturais e respeito às leis da natureza
Agropecuária verde	Uso de práticas e tecnologias que mantêm e aumentam a produtividade e a rentabilidade agrícola, ao mesmo tempo que garantem provisão de comida e serviços ambientais de forma sustentável; reduzem externalidades negativas e promovem as positivas; e reconstroem recursos ecológicos ao reduzirem a poluição e usarem insumos mais eficientemente	Label de forte apelo de comunicação, propõe o uso de TPSP potencialmente convergentes com o Plano ABC+
Agropecuária inteligente	Sistema de coleta de dados, transmissão, armazenamento, análise e soluções adequadas. A IoT é um dos pilares essenciais em sistemas inteligentes, pois conecta sensores para realizar diversas tarefas básicas	A inteligência pode ser utilizada – e tem sido – para aumentar a eficiência produtiva no contexto das restrições institucionais que incorporam a sustentabilidade <i>lato sensu</i>

⁽¹⁾ A Agropecuária de baixa emissão é entendida como uma proposta de sistema agropecuário, não como o Plano ABC ou o Plano ABC+. Apesar disso, o quadro apresenta

aumento da produtividade e os ganhos econômicos, a agropecuária de precisão, a agropecuária 4.0 (digital) e a agropecuária inteligente disponibilizam tecnologias específicas que podem contribuir com a redução e mitigação pelo uso racional de agroquímicos, solo e água, monitoramento e controle (Bernardi et al., 2014; Massruhá & Leite, 2017; CEBDS, 2019; Albiero et al., 2020; UNDP, 2021). O relatório da CEBDS (2019) indica que o uso de tecnologias da agropecuária 4.0 pode contribuir com o aumento da resiliência dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas e para a redução das emissões de GEE.

É importante reconhecer o papel dessas abordagens para promover a transição para uma agropecuária de baixo carbono. Esta se refere a um amplo e diversificado leque de opções de TPSP que resultem em redução da emissão de carbono, em

aumento da resiliência diante das variações do clima e dos mercados e em adaptação climática, sem comprometer a sustentabilidade econômico-financeira. A esses atributos se acrescentam a preocupação com a segurança alimentar e a inclusão de pequenos produtores/agricultores familiares. Nessa acepção, não é possível falar em uma agropecuária de baixo carbono, mas em agropecuárias de baixo carbono, e a maioria das agropecuárias listadas contém elementos explícitos e consistentes com a ABC. A prática de muitas dessas agropecuárias contribui, inegavelmente, para a transição para a ABC, que deverá prevalecer no futuro.

Não se pode confundir a agropecuária de baixa emissão de carbono com os Planos ABC e ABC+, que são políticas públicas desenhadas para promover a agropecuária de baixa emissão de car-

bono e, como tal, necessitam definir o público-alvo, a cobertura, as metas, os instrumentos, a estratégia de implementação e o monitoramento. Não se enquadrar nos critérios definidos pelo ABC não significa que agropecuárias praticadas sob orientações distintas, que antecederam o próprio desenho da política pública, não sejam consistentes com e conducentes à agropecuária de baixa emissão de carbono. Nesse sentido, as propostas listadas podem contribuir na construção de uma agropecuária mais sustentável e, assim, ampliar as possibilidades da transição rumo a uma agropecuária de baixa emissão de carbono. O setor agropecuario brasileiro já adota, por exemplo, as agropecuárias orgânica, agroecológica e de precisão, além de elementos tecnológicos vinculados às agriculturas 4.0 e inteligente. Desse modo, a execução do Plano ABC+ deveria identificar as interfaces entre a agropecuária de baixa emissão formalmente incorporada ao plano e as propostas alternativas de agropecuária. Essa abordagem pode ser estratégica para ampliar o alcance do Plano ABC+, especialmente entre os pequenos produtores e agricultores familiares.

O desafio da adoção de tecnologias pela agropecuária familiar

O Plano ABC+ avança ao incluir entre os sistemas propostos o sistema de plantio direto para hortaliças, sistemas agroflorestais, sistemas irrigados e o manejo de resíduos de produção animal. No entanto, a definição de estratégias para viabilizar a adoção desses sistemas é pouco clara e ausente em alguns aspectos. Da mesma forma, a abordagem da agropecuária sustentável incorpora o atributo da equidade social, que remete, em alguma medida, à preocupação com a inclusão produtiva, mas não de forma clara. Azadi et al. (2021) trazem elementos para repensar a agropecuária resiliente a partir da aplicação de tecnologias da agropecuária *climate-smart* adaptadas para o grupo vulnerável de agricultores e, assim, apresentam o conceito de agropecuária inteligente vulnerável (*vulnerable-smart*).

A seguir são listados desafios identificados na literatura: i) adequação das práticas de manejo e tecnologias à escala de produção e às especificidades socioeconômicas da agropecuária familiar; ii) avaliação da capacidade técnico-financeira da agropecuária familiar para a adoção das práticas de manejo e tecnologias; iii) adequação das estra-

tégias de comunicação e difusão do conhecimento às especificidades da agropecuária familiar, com atenção especial para produtores com baixo grau de escolaridade formal; iv) articulação dos sistemas produtivos adotados pela agropecuária familiar, como o orgânico, o agroecológico e o biodinâmico, das práticas de manejo e das tecnologias de baixa emissão; v) oferecimento de assessoria técnica e jurídica para apoiar a regularização ambiental dos estabelecimentos familiares; vi) criação de um sistema de comunicação e de acesso a informações técnicas que seja dinâmico e de fácil acesso pela agropecuária familiar; vii) articulação para a preparação de projetos técnicos coletivos e, quando necessário, integrados – por exemplo, suinocultura, avicultura e pecuária leiteira quanto à gestão de resíduos da produção; viii) fortalecimento e expansão das associações de agricultores familiares; e ix) construção de um sistema de monitoramento da dinâmica e do estoque de carbono e das medidas de adaptação climática dos sistemas produtivos adequados às características da agropecuária familiar.

Promover a transição da agropecuária familiar para a prática de agropecuária de baixa emissão de carbono exige um entendimento mais aprofundado dos fatores que condicionam a adoção tecnológica desse grupo. Buainain (2007, p.97) aborda os fatores determinantes do processo de adoção e difusão de tecnologia segundo a natureza das variáveis envolvidas, indicando os seguintes grupos:

- (i) características socioeconômicas do produtor e sua família; (ii) grau de organização dos produtores; (iii) disponibilidade de informação; (iv) características da produção e dos sistemas produtivos; (v) características da propriedade e dos produtores; (vi) fatores aleatórios e condições de mercado; (vii) fatores sistêmicos; (viii) fatores macroeconômicos; e (ix) políticas para o desenvolvimento da agropecuária familiar.

Brasil (2021a) sugere a necessidade de incorporar outros critérios no contexto da agropecuária familiar, entre os quais se destacam os seguintes: i) promover a variabilidade (diversidade) genética das lavouras e das áreas de proteção ambiental; ii) priorizar o plantio de espécies melíferas e frutíferas em áreas de recuperação ambiental, beneficiando polinizadores e dispersores de sementes; iii) apoiar o manejo integrado de pragas e doenças a partir da adoção de boas práticas no uso de agrotóxicos (agrotóxicos e fertilizantes), priorizando o uso de bioinsumos (controle biológico e biofer-

tilizantes); e iv) monitorar o capital natural e os serviços ecossistêmicos em sistemas agropecuários, como a biodiversidade no solo, flora e fauna, o teor de carbono no solo e a disponibilidade de recursos hídricos, incluindo as áreas de proteção ambiental.

Considerações finais

No contexto das mudanças climáticas, um grande desafio que se coloca para o setor agropecuário mundial é produzir alimentos, fibras e energia com o mínimo de emissões de GEE, particularmente na forma de CH_4 , N_2O e CO_2 , além da necessidade de adotar medidas que ajudem na captura e estocagem de carbono e para sua adaptação aos potenciais efeitos das mudanças climáticas. Para isso, é essencial a adoção de tecnologias, práticas de manejo e sistemas de produção agropecuários que contribuam para o alcance desses objetivos. Em outras palavras, o setor agropecuário deve transitar para uma agropecuária de baixa emissão de carbono.

A produção agropecuária qualificada como *business as usual* ou convencional, segundo Sumberg & Giller (2022), incorpora critérios agronômicos e econômicos, em especial a expectativa de rentabilidade monetária ou lucro monetário para auxiliar na tomada de decisão e na gestão dos sistemas produtivos. As propostas de sistemas agropecuários alternativos incorporam critérios ecológicos e sociais, além dos critérios econômicos e agronômicos. Nessa perspectiva, a proposta de uma agropecuária de baixa emissão incorpora critérios associados à dinâmica e ao estoque de carbono, para avaliar a mitigação, a captura e a estocagem de carbono e a adaptação à mudança do clima dos sistemas produtivos, por exemplo. Observa-se, portanto, que a agropecuária de baixa emissão incorpora um critério adicional, o ecológico, associado ao fluxo e ao estoque de carbono e à adaptação à mudança climática, diferentemente da produção agropecuária *business as usual* ou convencional, que adota critérios agronômicos e econômicos.

Este trabalho sugere que a agropecuária de baixa emissão de carbono possa ser entendida como aquela que incorpora na tomada de decisão e na gestão dos sistemas de produção critérios ecológicos, associados à mitigação, captura e estocagem de carbono e à adaptação às mudanças do clima, juntamente aos critérios agronômicos e econômi-

cos. Para a agropecuária familiar de baixa emissão de carbono, este trabalho conclui que é preciso incluir os critérios definidores da agricultura familiar no Brasil, estabelecidos pela Lei nº 11.326/2006:

I - não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais; II - utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; III - tenha percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento, na forma definida pelo Poder Executivo; (Redação dada pela Lei nº 12.512, de 2011); IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família (Brasil, 2006, art.3º).

Não haveria, portanto, uma definição exclusiva para a agropecuária familiar de baixa emissão, mas existem múltiplas opções para auxiliar na transição para sistemas mais sustentáveis no contexto das mudanças climáticas.

Referências

- AECID. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. **Lecciones Aprendidas sobre Agricultura Resiliente al Cambio Climático para Contribuir a la Seguridad Alimentaria y al Derecho a la Alimentación en América Latina y el Caribe**. Madrid, 2018. (Colección Experiencias de la Cooperación Española, 4). Disponível em: <https://intercoonec.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/Agricultura_resiliente.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.
- ALBIERO, D.; PAULO, R.L. de.; FÉLIX JULIOR, J.C.; SANTOS, J. da S.G.; MELO, R.P. Agriculture 4.0: a terminological introduction. **Revista Ciência Agronômica**, v.51, e20207737, 2020. Special Agriculture 4.0. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200083>.
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I. Agroecologia y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. **Agroecología**, v.8, p.7-20, 2013. Disponível em: <<https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>>. Acesso em: 27 maio 2022.
- AMARU, S.; CHHETRI, N.B. Climate adaptation: institutional response to environmental constraints, and the need for increased flexibility, participation, and integration of approaches. **Applied Geography**, v.39, p.128-139, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.12.006>.
- ANDRADE, C. de L.T. de; BRITO, R.A.L. **Métodos de irrigação e quimigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 86). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19630/1/Circ_86.pdf>. Acesso em: 13 maio 2022.
- ANGELOTTI, F.; GIONGO, V. Ações de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. In: MELO, R.F. de; VOLTOLINI, T.V. (Ed.). **Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido**. Brasília: Embrapa, 2019. p.445-467.

AZADI, H.; MOGHADDAM, S.M.; BURKART, S.; MAHMOUDI, H.; VAN PASSEL, S.; KURBAN, A.; LOPEZZ-CAR, D. Rethinking resilient agriculture: from climate-smart agriculture to vulnerable-smart agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v.319, art.128602, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128602>.

BERNARDI, A.C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, Á.V. de; BASSOI, L.H.; INAMASU, R.Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. 596p.

BRAGA, M.B.; CALGARO, M. Irrigação. In: DIAS, R. de C.S.; RESENDE, G.M. de; COSTA, N.D. (Ed.). **Sistema de Produção de Melancia**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 6). Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/irrigacao.htm>>. Acesso em: 13 maio 2022.

BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial da União**, 25 jul. 2006. Seção1, p.1.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm>. Acesso em: 27 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Coletânea de fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da pecuária brasileira**. Brasília, 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/fatores-nacionais-para-emissao-e-remocao-de-gases-de-efeito-estufa-na-agropecuaria-estao-em-coletanea-inedita-do-mapa/coletanea_PECUARIA.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Coletânea dos fatores de emissão e remoção de gases de efeito estufa da agricultura brasileira**. Brasília, 2020b. Disponível em: <<https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/handle/1/215?mode=full>>. Acesso em: 15 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estratégias de adaptação às mudanças do clima dos sistemas agropecuários brasileiros**. Brasília, 2021a. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/estrategias-de-adaptacao-as-mudancas-do-clima-dos-sistemas-agropecuarios-brasileiros.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária com Vistas ao Desenvolvimento Sustentável (2020-2030)**: visão estratégica para um novo ciclo. Brasília, 2021b. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/abc-portugues.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030**: Plano Operacional. Brasília, 2021c. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/abc-portugues.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2024.

[br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/final-isbn-plano-setorial-para-adaptacao-a-mudanca-do-clima-e-baixa-emissao-de-carbono-na-agropecuaria-compactado.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/final-isbn-plano-setorial-para-adaptacao-a-mudanca-do-clima-e-baixa-emissao-de-carbono-na-agropecuaria-compactado.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **SIRENE – Sistema de Registro Nacional de Emissões**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>>. Acesso em: 15 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 5.ed. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee>>. Acesso em: 20 maio 2022.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Brasil 2040**: resumo executivo. Brasília, 2015. Disponível em: <[https://www.agroicone.com.br/\\$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf](https://www.agroicone.com.br/$res/arquivos/pdf/160727143013_BRASIL-2040-Resumo-Executivo.pdf)>. Acesso em: 27 dez. 2024.

BUAINAIN, A.M. (Coord.). **Agricultura familiar e inovação tecnológica no Brasil**: características, desafios e obstáculos. Campinas: Unicamp, 2007. (Agricultura, instituições e desenvolvimento sustentável).

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Agricultura 4.0**: contribuição para redução de emissões de GEE e resiliência às mudanças climáticas. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://biblioteca.cebds.org/agricultura-4-0>>. Acesso em: 15 out. 2024.

CHECHI, L.A.; JESUS, L.M.K. de. A agricultura familiar no processo de construção do Plano ABC. **Revista IDEAS: Interfaces em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade**, v.15, p.1-20, 2021.

EHLERS, E. A agricultura alternativa: uma visão histórica. **Revista de Estudos Econômicos**, v.24, p.231-262, 1994. Número especial.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**: food and agriculture data. 2022. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 15 out. 2024.

FRIZZONE, J.A. **Os métodos de irrigação**. Piracicaba: Esalq/USP, 2017. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Frizzone/LEB_1571/TEXTO_COMPLEMENTAR_1_-_METODOS_DE_IRRIGACAO.pdf>. Acesso em: 13 maio 2022.

GARCIA, J.R.; VAHDAT, V.S.; HARFUCH, L.; ANTONIAZZI, L.B.; BUAINAIN, A.M. **Desafios para a inserção da agricultura familiar no ABC+**. São Paulo: Agroicone, 2021. Disponível em: <https://www.agroicone.com.br/wp-content/uploads/2022/02/Agroicone_Desafios-para-a-insercao-da-agricultura-familiar-no-ABC_2021.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 maio 2021.

IICA. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. **La Agricultura y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**. San José, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6600/BVE18039791e.pdf;jsessionid=8C2237A9F762B456AE1C24F554A99241?sequence=1>>. Acesso em: 27 maio 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambio climático 2014**: impactos, adaptación y vulnerabilidad:

resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos: contribución del grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf>. Acesso em: 27 maio 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Publications and Data**. 2022. Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.shtml>. Acesso em: 13 maio 2022.

LOISEAU, E.; SAIKKU, L.; ANTIKAINEN, R.; DROSTE, N.; HANSJÜRGENS, B.; PITKÄNEN, K.; LESKINEN, P.; KUIKMAN, P.; THOMSEN, M. Green economy and related concepts: an overview. **Journal of Cleaner Production**, v.139, p.361-371, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.024>.

MANGABEIRA, J.A. de C.; PINTO, D.M.; SCARAZATTI, B. **Guia Metodológico**: geração de indicadores de desempenho e índice multicritério de sustentabilidade para agricultura familiar no bioma Amazônia. Campinas: Embrapa Territorial, 2021. (Embrapa Territorial. Documentos, 138).

MASSRUHÁ, S.M.F.S.; LEITE, M.A. de A. Agro 4.0 – Rumo à agricultura digital. In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D.; SILVA, W.T.L. da; VALE, J.M.F. do; PURINI, S.R. de M.; MAGNONI, M. da G.M.; SEBASTIÃO, E.; BRANCO JÚNIOR, G.; ADORNO FILHO, E.F.; FIGUEIREDO, W. dos S.; SEBASTIÃO, I. (Org.). **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade**: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil. 2.ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. p.28-35. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1073150/agro-40---rumo-a-agricultura-digital>>. Acesso em: 13 maio 2022.

MEUWISSEN, M.P.M.; FEINDT, P.H.; SPIEGEL, A.; TERMEER, C.J.A.M.; MATHIJS, E.; MEY, Y. de; FINGER, R.; BALMANN, A.; WAUTERS, E.; URQUHART, J.; VIGANI, M.; ZAWALIŃSKA, K.; HERRERA, H.; NICHOLAS-DAVIES, P.; HANSSON, H.; PAAS, W.; SLIJPER, T.; COOPMANS, I.; VROEGE, W.; CIECHOMSKA, A.; ACCATINO, F.; KOPAINSKY, B.; POORTVLIET, P.M.; CANDEL, J.J.L.; MAYE, D.; SEVERINI, S.; SENNI, S.; SORIANO, B.; LAGERKVIST, C.-J.; PENEVA, M.; GAVRILESCU, C.; REIDSMA, P. A framework to assess the resilience of farming systems. **Agricultural Systems**, v.176, art.102656, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>.

MORAN, D.; KNOOK, J. Economics of Low Carbon Agriculture. In: OXFORD Research Encyclopedia of Environmental Science. Oxford: Oxford University Press, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.517>.

NEWTON, P.; CIVITA, N.; FRANKEL-GOLDWATER, L.; BARTEL, K.; JOHNS, C. What is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.4, art.577723, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.577723>.

NORSE, D. Low carbon agriculture: objectives and policy pathways. **Environmental Development**, v.1, p.25-39, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2011.12.004>.

OBSERVATÓRIO ABC. **Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**: a evolução de um novo paradigma. São Paulo, 2013.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**. 2024. Disponível em: <<https://seeg.eco.br/>>. Acesso em: 13 maio 2024.

OCDE. Organisation for Economic Co-Operation and Development. **Transition to a Low-Carbon Economy**: Public Goals and Corporate Practices. Paris, 2010. 116p. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264090231-en>.

PARRON, L.M.; GARCIA, J.R.; MOREIRA, J.M.M.Á.P.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Avaliação de serviços ecossistêmicos em sistemas agrossilvipastoris. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v.30, p.81-100, 2019. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1137691>>. Acesso em: 15 out. 2024.

PECHE FILHO, A. **Conceitos sobre o solo, uso e manejo**. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=29975&secao=Artigos Especiais>>. Acesso em: 13 maio 2022.

RHODES, C.J. The Imperative for Regenerative Agriculture. **Science Progress**, v.100, p.80-129, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3184/003685017X14876775256>.

SANDRONI, P. (Org.). **Novíssimo dicionário de Economia**. São Paulo: Best Seller, 1999.

SUMBERG, J.; GILLER, K.E. What is 'conventional' agriculture? **Global Food Security**, v.32, art.100617, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100617>.

TAVARES, B.G.; GUIMARÃES, G.P.; MATTOS, V.Z.A. de. **Tecnologias agrícolas de baixa emissão de carbono no Brasil e no Bioma Caatinga**: relatório técnico. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2020. (Cadernos PRS Caatinga). Disponível em: <https://www.prscatinga.org.br/IMG/pdf/cadernos-prs-caatinga-tec-abc-na-caatinga-25-jan_v2.pdf>. Acesso em: 13 maio 2022.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Campinas: Unicamp, 2017. Disponível em: <https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/testezlaf_irrigacao_metodos_sistemas_aplicacoes_2017.pdf>. Acesso em: 13 maio 2022.

UNDP. United Nations Development Programme. **Precision Agriculture for Smallholder Farmers**. Singapore, 2021. Disponível em: <<https://www.undp.org/publications/precision-agriculture-smallholder-farmers>>. Acesso em: 15 out. 2024.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Global Greenhouse Gas Emissions Data**. Washington, 2022.

XIAOWEI, Y.; XING, J. Low-carbon economy and low-carbon food. **Energy Procedia**, v.5, p.1099-1103, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.193>.

ZHANG, W.; RICKETTS, T.H.; KREMEN, C.; CARNEY, K.; SWINTON, S.M. Ecosystem services and dis-services to agriculture. **Ecological Economics**, v.64, p.253-260, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024>.