



1

SISTEMAS INTEGRADOS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

RANGEL FERNANDES PACHECO
ANA KARINA DIAS SALMAN
NIVALDO KARVATTE JUNIOR
ODILENE DE SOUZA TEIXEIRA

Os modelos de exploração agropecuária adotados desde o período Neolítico têm sido objeto de intensos debates contemporâneos, abrangendo aspectos éticos, ambientais e filosóficos. A relevância deste tema decorre do desafio de equilibrar o aumento da produtividade para atender à crescente demanda global por alimentos com a necessidade de minimizar os impactos ambientais negativos. A agricultura e a pecuária expandiram-se significativamente ao longo dos últimos séculos, mas esse crescimento veio acompanhado de desafios e impactos ambientais expressivos, os quais evidenciam a fragilidade dos modelos produtivos ainda vigentes, sobretudo em regiões próximas a biomas preservados, como a Amazônia.

Nesse cenário, a mitigação dos impactos ambientais decorrentes da agropecuária constitui uma prioridade para o desenvolvimento sustentável do setor agroalimentar. Para tanto, faz-se necessário compreender as causas e consequências das mudanças climáticas e avaliar a resposta dos sistemas produtivos pecuários diante do atual panorama global. Essa discussão demanda compromissos da sociedade em diferentes esferas, abrangendo a comunidade científica, a sociedade civil e os setores privado e governamental. Nesse contexto, este capítulo examina como distintas estratégias de manejo e políticas públicas no setor agropecuário podem contribuir para a implementação de sistemas produtivos que sejam simultaneamente rentáveis, resilientes e sustentáveis, além de alinhados às metas de mitigação das emissões de gases do efeito estufa (GEE), favorecendo a adaptação às mudanças climáticas e impulsionando a transição ecológica.

1.1 Mudanças climáticas: uma preocupação global

As mudanças climáticas referem-se a alterações significativas e duradouras nos padrões meteorológicos e na temperatura do planeta, registradas ao longo de sua história geológica. Entretanto, com a intensificação da atividade antrópica e dos processos industriais desde a década de 1930, esse fenômeno ocorre em um ritmo acelerado, em razão do aumento das concentrações atmosféricas dos principais GEE, especialmente do dióxido de carbono (CO_2), do metano (CH_4) e do óxido nitroso (N_2O). Ao longo dos anos, o acréscimo na concentração desses gases impacta a temperatura média global, resultando em um processo acelerado de aquecimento do planeta, o que tem desencadeado diversas

consequências adversas para os ecossistemas naturais, a agricultura, a saúde humana e a infraestrutura (FAO, 2023).

Dessa forma, as mudanças climáticas podem ser analisadas a partir de dois eixos principais: i) as mudanças climáticas naturais, que ocorreram ao longo de milhões de anos; e ii) as mudanças climáticas induzidas por atividades humanas. Historicamente, as variações no clima terrestre estiveram associadas a fatores como a órbita do planeta, a atividade solar, o vulcanismo e a concentração natural de GEE. Contudo, desde o final do século XIX, as atividades antrópicas, especialmente a queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), têm alterado significativamente esse equilíbrio natural. Dados paleoclimáticos indicam que, durante os últimos 800.000 anos, as concentrações atmosféricas de CO₂ oscilaram entre 170 e 300 partes por milhão (ppm) ao longo dos ciclos glacial e interglacial (Přibyla et al., 2024).

Os registros indicam que a concentração de CO₂ aumentou de 280 ppm, nos níveis pré-industriais, para 421 ppm em 2022. Esse aumento está diretamente relacionado à elevação da temperatura média global. Entre 1880 e 2020, a temperatura média do planeta Terra aumentou em 1,2°C, sendo que, nos últimos quarenta anos, foi registrado um incremento médio de 0,2°C por década (Přibyla et al., 2024).

As flutuações nas concentrações de CO₂ eram reguladas por fatores naturais, como a inclinação do eixo terrestre e as variações na órbita planetária. No entanto, desde o início da Revolução Industrial, essas concentrações aumentaram rapidamente, ultrapassando 400 ppm em 2020, o maior nível registrado em milhões de anos. Esse aumento acelerado coincidiu com o uso intensivo de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, que liberam CO₂ e outros gases durante os processos de combustão. Embora o aquecimento global seja um fenômeno planetário, seus impactos variam entre as regiões, gerando consequências específicas para cada local afetado pelas mudanças climáticas.

As projeções indicam que, caso as emissões de GEE permaneçam no ritmo atual, a temperatura média global poderá aumentar entre 1,5°C e 4,4°C até o final deste século, ultrapassando os limites estabelecidos pelo Acordo de Paris (IPCC, 2021). Embora o CO₂ emitido pela queima de

combustíveis fósseis não renováveis seja o principal responsável pelo efeito estufa, os setores produtivos ligados à agropecuária, sobretudo à produção de bovinos, também desempenham um papel significativo na emissão de GEE, especialmente CO₂ e CH₄. Nesse contexto, esses setores devem ser contemplados em políticas governamentais voltadas à mitigação dos impactos ambientais.

1.1.1 Participação do setor agropecuário no aquecimento global

Entre os temas mais debatidos no contexto da pecuária global destaca-se a contínua expansão das áreas destinadas ao uso agrícola, sobretudo em regiões de florestas preservadas. Esse fenômeno impulsiona a conversão de ecossistemas sensíveis, como as florestas tropicais, resultando na redução da biodiversidade e no comprometimento do equilíbrio ecológico, essencial para a manutenção de serviços ambientais fundamentais, como a regulação do clima e a conservação da água (Tilman et al., 2001; Oliveira et al., 2017). Outro aspecto amplamente discutido refere-se ao impacto do setor agropecuário no aumento das emissões de GEE, na intensificação do aquecimento global e, consequentemente, nas mudanças climáticas. Estudos indicam que a agricultura e a pecuária são responsáveis por uma parcela entre 10% e 29% das emissões globais de GEE, variação que depende da metodologia empregada no cálculo (Vermeulen et al., 2012; FAO, 2016). Essas emissões estão associadas, principalmente, à fermentação entérica dos ruminantes, à decomposição de resíduos orgânicos, ao uso de fertilizantes nitrogenados e à conversão de áreas florestais para a produção de grãos e a formação de pastagens (FAO, 2023).

No Brasil, dados do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2023) e do Atlas of Climate Change (Přibyla et al., 2024) apontam a agropecuária como um dos setores de maior relevância nas emissões. No entanto, esses estudos enfatizam que a agropecuária não é o único fator responsável pelo aquecimento global e que práticas específicas podem contribuir para a redução desses impactos. Nesse sentido, sobretudo na pecuária, há potencial para a adoção de técnicas mais sustentáveis, permitindo que o setor agropecuário seja visto como parte da solução ambiental, em vez de um dos principais agentes das mudanças climáticas. As emissões de GEE estão distribuídas entre diversos setores econômicos, os quais impactam diretamente o meio ambiente e o aquecimento global.



Ademais, cada setor emite gases específicos e contribui de maneira distinta para o total das emissões, afetando tanto a estabilidade climática quanto a saúde dos ecossistemas.

Globalmente, o setor de energia responde por aproximadamente 20,2% das emissões totais do planeta, oriundas da geração de eletricidade e calor, predominantemente pela queima de carvão, gás natural e petróleo, todos emissores de CO₂, um dos GEE de maior longevidade na atmosfera (Přibyla et al., 2024). A mesma publicação também destaca o setor de transporte, responsável por cerca de 23,9% das emissões globais, impulsionado principalmente pelo consumo de combustíveis fósseis, e a indústria, incluindo processos químicos e metalúrgicos, que contribui com aproximadamente 26,7% das emissões globais. Esses setores são grandes emissores de CO₂, intensificando o efeito de aquecimento de longo prazo na atmosfera. A agropecuária, por sua vez, representa entre 10% e 14% das emissões globais, mas, diferentemente dos demais setores, emite predominantemente CH₄ e N₂O (Přibyla et al., 2024), gases com maior potencial de aquecimento global. Embora o CH₄ apresente um elevado potencial de aquecimento, seu ciclo de vida na atmosfera é relativamente curto, enquanto o N₂O é 298 vezes mais potente que o CO₂ em termos de aquecimento global e permanece ativo por um período prolongado (Myhre et al., 2013).

No Brasil, o perfil de emissões é influenciado pela relevância da agropecuária e pela existência de extensas áreas preservadas, como a floresta Amazônica e outros biomas, que têm sido impactados pelo desmatamento e queimadas. Em 2023, as emissões brutas de gases de efeito estufa no país totalizaram 2,3 bilhões de toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO₂e), mensuradas conforme o potencial de aquecimento global em cem anos (GWP), conforme o 5º Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC. Esse valor representa uma redução de 12% em relação a 2022, quando as emissões atingiram 2,6 bilhões de toneladas. O setor agropecuário registrou seu quarto recorde consecutivo de emissões, com um aumento de 2,2%, impulsionado principalmente pela ampliação do rebanho bovino. A maior parte dessas emissões é proveniente da fermentação entérica, que gerou 405 milhões de toneladas em 2023 (SEEG, 2023).

Segundo dados do SEEG (2023), em 2023, as mudanças no uso da terra, sobretudo o desmatamento, foram responsáveis por 46% das emissões,

seguidas pela agropecuária, com 28%; energia e processos industriais, com 18%; resíduos, com 4%; e processos industriais, com 4% (Figura 1.1). Vale destacar que, em diversos relatórios nacionais e internacionais, a mudança no uso da terra tem sido frequentemente associada ao setor agropecuário, especialmente em áreas preservadas, como a Amazônia. Segundo um estudo recente, a agropecuária responde por 90% a 99% do desmatamento tropical (Pendrill et al., 2022).

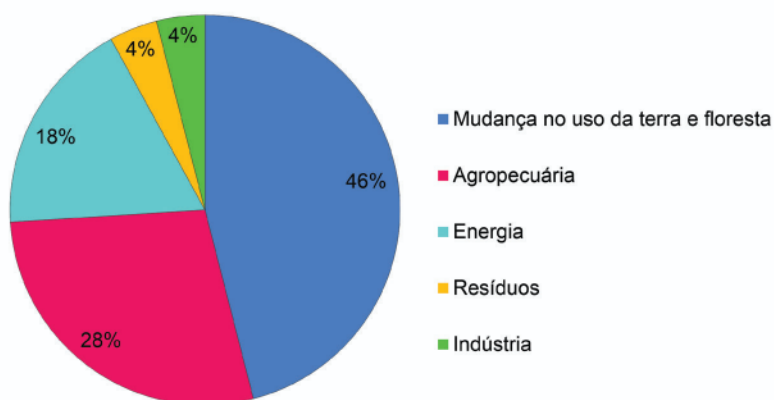


Figura 1.1. Percentual de participação dos setores no perfil das emissões brasileiras em 2023.

Fonte: SEEG (2023).

O elevado percentual de participação do setor agropecuário nas emissões de GEE no Brasil também pode ser atribuído ao fato de o país apresentar um desenvolvimento industrial relativamente limitado, o que amplifica a representatividade do setor agropecuário nas emissões totais. Em países mais desenvolvidos, observa-se um cenário distinto, no qual os setores industrial, de transporte e de serviços possuem maior participação nas emissões de GEE. Nesse contexto, ao comparar as emissões totais nacionais com as de outros países, verifica-se que o impacto do Brasil corresponde a menos de 2% das emissões globais (Figura 1.2).

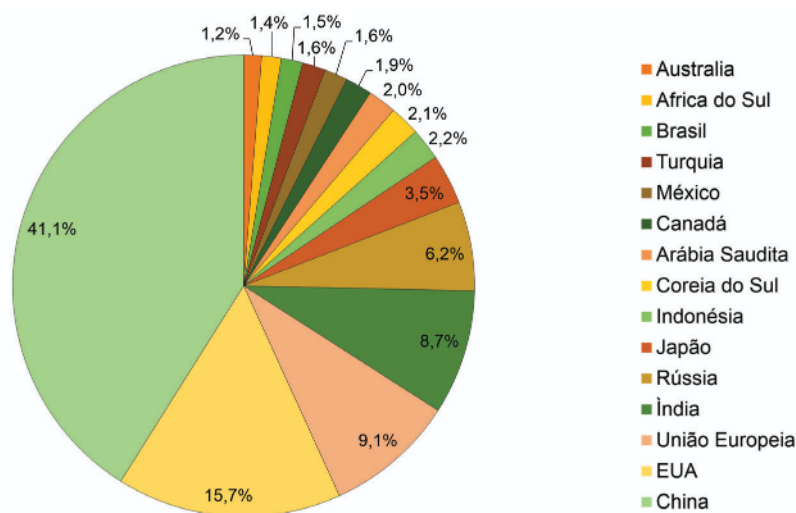


Figura 1.2. Estimativas globais de emissões de CO₂.

Fonte: Přibyla et al. (2024).

1.1.2 Participação do setor pecuário nas emissões de GEE

No Brasil, a pecuária representa aproximadamente 18,5% das emissões de GEE (SEEG, 2023), sendo que o CH₄ produzido pela fermentação entérica dos ruminantes, durante o processo digestivo mediado por microrganismos responsáveis pela decomposição do alimento, responde por cerca de 64,2% das emissões do setor agropecuário brasileiro (SEEG, 2023). No entanto, a intensidade das emissões de CH₄ resultantes da fermentação ruminal depende, principalmente, do consumo e da qualidade dos alimentos, especialmente da digestibilidade da dieta.

De modo geral, a pecuária nacional é predominantemente extensiva, sendo as pastagens a alternativa mais econômica e prática para a produção e oferta de alimentos aos animais, além de desempenharem um papel central na remoção de carbono dos solos (Dias-Filho, 2014). No entanto, um dos principais desafios desse sistema de produção é que aproximadamente 62% da área total destinada à atividade (101,2 milhões de hectares) apresenta algum nível de degradação, seja da pastagem, do solo ou dos demais recursos naturais. O manejo inadequado e a remoção da cobertura vegetal para a

formação de pastagens, além de comprometerem a biodiversidade, afetam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, reduzindo o sequestro de C, que atua como compensação às emissões de CH₄ e N₂O. Nesse contexto, em 2023, as mudanças no uso da terra foram responsáveis por 46% das emissões brutas brasileiras. Segundo dados do consórcio MapBiomass (2024a), 90% da área desmatada na Amazônia brasileira nos últimos 39 anos teve como primeiro uso a pastagem, que, em 2020, correspondia a 77% da área desmatada (SEEG, 2023). Em relação às emissões brutas de GEE em 2022, cerca de 72% (198,8 MtCO₂) tiveram origem em pastagens com vigor médio a baixo, ou seja, áreas em estágio de degradação (SEEG, 2023). Além disso, as gramíneas de clima tropical, sobretudo as degradadas, intensificam ainda mais a produção de CH₄ entérico, pois possuem maior teor de carboidratos estruturais e menor digestibilidade desses açúcares fermentáveis em comparação com espécies temperadas. Por serem a base da alimentação animal, essas emissões geram preocupações em função da relevância estratégica das pastagens para a segurança alimentar global e para a atividade econômica, especialmente em países em desenvolvimento (Souza Filho et al., 2019).

Os sistemas de produção extensivos, em sua maioria estabelecidos em pastagens degradadas, reforçam a concepção tradicional de que a pecuária em regiões da Amazônia e do Cerrado brasileiro está entre as principais responsáveis pelas emissões de GEE, desconsiderando as particularidades das emissões setoriais e as possibilidades de mitigação. O CH₄ também faz parte de um ciclo biogênico natural, passível de compensação por meio de práticas regenerativas e, como mencionado anteriormente, pelo sequestro de carbono em pastagens de alto vigor e adequadamente manejadas.

Do ponto de vista econômico e produtivo, uma questão emergente no contexto das mudanças climáticas refere-se às suas consequências diretas e indiretas, bem como aos impactos do microclima sobre a produtividade pecuária, tais como o aumento do estresse térmico nos animais e as alterações nos ciclos de pragas e surtos de doenças. Essas condições afetam o desenvolvimento das pastagens e a saúde do solo, tornando o manejo adequado essencial para a manutenção da viabilidade econômica e da estabilidade ambiental. Isso ocorre porque temperaturas mais elevadas influenciam diretamente o crescimento de forrageiras, podendo reduzir a disponibilidade de massa seca em determinadas regiões e aumentar a necessidade de suplementação

alimentar para os rebanhos (Thornton et al., 2015). Além da redução da produção forrageira, é amplamente relatado o efeito do estresse térmico na diminuição da produção de leite (em até 25%) e nas taxas de reprodução dos bovinos (Rojas-Downing et al., 2017).

Os impactos do aquecimento climático variam entre países com diferentes níveis de renda e desenvolvimento econômico. Em países de baixa renda, o aumento de 1,0°C na temperatura resulta, em média, em uma perda de 1% no rendimento de carne bovina, enquanto, em países de alta renda, essa redução é de apenas 0,2%, conforme ilustrado na Figura 1.3 A (Liu et al., 2024). Nesse contexto, o efeito marginal do incremento de uma unidade no Índice de Temperatura e Umidade (ITU), amplamente utilizado para mensurar a resistência animal aos efeitos climáticos, sobre o rendimento de carne bovina é, em média, de -0,7% em países de baixa renda, enquanto, em países de alta renda, aproxima-se de zero (Figura 1.3 B). Esse cenário evidencia a necessidade urgente de que países de baixa e média renda, como o Brasil, desenvolvam e implementem tecnologias de adaptação em seus sistemas produtivos para mitigar os impactos de ambientes térmicos mais extremos no futuro próximo (Theusme et al., 2021)

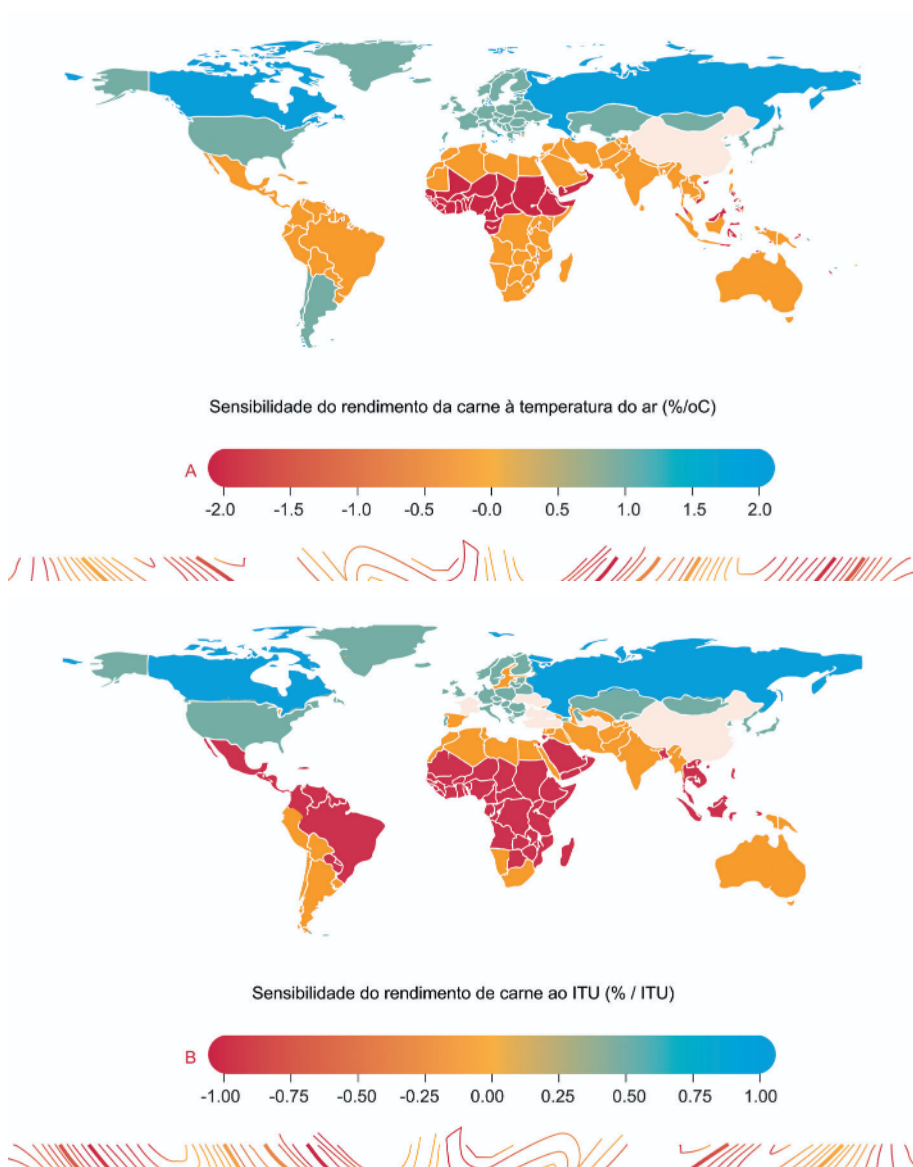


Figura 1.3. A sensibilidade divergente da produção de carne bovina ao aquecimento climático.

Fonte: Liu et al. (2024).

1.1.3 Políticas governamentais de mitigação de GEE

Em resposta aos acordos internacionais para mitigação e adaptação às mudanças climáticas, o Brasil tem buscado consolidar políticas voltadas à promoção de uma agricultura sustentável e de baixa emissão de carbono. Entre essas iniciativas, o Plano ABC+ (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) destaca-se por estabelecer metas que incentivam a adoção de sistemas integrados e o manejo adequado das pastagens. Esse plano define ações estratégicas para o setor agrícola até 2030, com o objetivo de reduzir as emissões de carbono e minimizar os impactos ambientais da produção agropecuária (Brasil, 2021).

Essas metas são respaldadas por iniciativas de assistência técnica e extensão rural, principalmente pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), que oferece suporte e capacitação para que técnicos de campo e produtores adotem as práticas recomendadas. A implementação do Plano ABC+ na Amazônia tem o potencial de transformar a região em um modelo de desenvolvimento sustentável, integrando produção agrícola e pecuária, equilíbrio ecológico e bem-estar socioeconômico dos produtores locais.

1.2 Sistemas integrados em resposta às mudanças climáticas

Com a projeção de um crescimento populacional significativo até 2050, podendo atingir 9 bilhões de pessoas, os sistemas integrados de produção agropecuária têm sido reconhecidos como uma alternativa essencial para a segurança alimentar global (Malafaia et al., 2021). Isso se deve ao fato de que a integração de sistemas agropecuários contribui para o aumento da resiliência ambiental por meio da ampliação da diversidade biológica (Wright et al., 2012), além de promover uma ciclagem mais eficiente de nutrientes no solo (Salton et al., 2014), reduzir os custos de produção (Ryschawy et al., 2012), elevar os níveis de produtividade (Balbinot Junior et al., 2009) e gerar múltiplos serviços ecossistêmicos (Sanderson et al., 2013).

Conforme dados do SEEG (2023), o setor agropecuário não apenas contribui para as emissões de gases de efeito estufa, mas também desempenha um papel relevante na remoção de carbono do solo por meio de práticas sustentáveis, como o sistema de plantio direto (SPD) e a integração lavoura-

pecuária-floresta (ILPF). Essas estratégias são fundamentais para reduzir as emissões líquidas e alinhar o setor às metas climáticas do Acordo de Paris. No entanto, as remoções de carbono ainda não são contabilizadas nos inventários nacionais devido à inexistência de metodologias oficiais. Em 2023, o balanço de carbono no solo indicou uma remoção líquida de 191,1 milhões de toneladas de CO₂, um aumento de 1,1% em relação a 2022. As emissões totalizaram 92,6 MtCO₂, sendo 48% provenientes de pastagens degradadas e 51% de lavouras com cultivo convencional. Já as remoções totalizaram 283,7 MtCO₂, com destaque para as pastagens bem manejadas (47% das remoções) e os sistemas ILPF (41%). Outras contribuições advieram do plantio direto (10%) e das florestas plantadas (3%). A Figura 1.4 apresenta as emissões e remoções de carbono pelo solo estimadas para o setor agropecuário no ano de 2023.

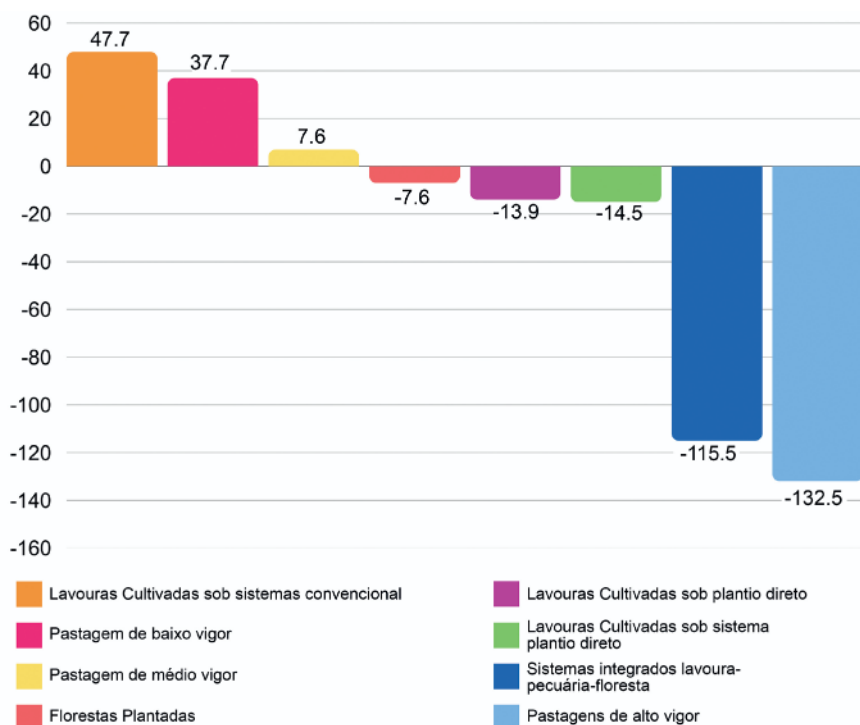


Figura 1.4. Emissões e remoções de carbono pelo solo do setor agropecuário em 2023.

Fonte: SEEG (2023).

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) também reconhece que a integração de sistemas agropecuários promove melhorias nos processos produtivos, otimizando o aproveitamento da mão de obra, aumentando a resiliência a fatores econômicos e reduzindo os riscos inerentes às atividades agrícolas. Sob a perspectiva sociocultural, os sistemas integrados possibilitam que os produtores rurais alcancem aspirações sociais e promovam uma dinâmica social mais equitativa, especialmente para mulheres e jovens, ao mesmo tempo em que contribuem para a segurança alimentar e atendem às demandas atuais dos consumidores quanto à qualidade dos produtos e dos processos produtivos (FAO, 2014). Além de se configurarem como uma solução para a crescente demanda por alimentos, os sistemas integrados apresentam elevado potencial de mitigação das emissões de GEE, consolidando-se como uma resposta eficiente do meio rural aos apelos da comunidade internacional nesse sentido.

1.2.1 Contribuição do componente forrageiro na mitigação de GEE

O manejo adequado das pastagens desempenha um papel essencial no sequestro de carbono no solo, constituindo uma estratégia eficaz para compensar as emissões de GEE da pecuária. Solos cobertos por pastagens bem manejadas favorecem a formação de matéria orgânica, fator determinante para a retenção de carbono (Malafaia et al., 2021). Franzluebbbers (2010) sugere que práticas de manejo que evitam o superpastejo e preservam a estrutura das pastagens promovem o sequestro de carbono, ampliando os benefícios ambientais dos sistemas pastoris. Ao analisar o bioma Pampa, Cezimbra et al. (2020) observaram que o controle da intensidade do pastejo e o manejo adequado do solo contribuem para a estabilização do carbono. Esse sequestro é fundamental para o equilíbrio climático, uma vez que o carbono armazenado no solo pode compensar as emissões de CH_4 provenientes da fermentação entérica dos ruminantes. No bioma Cerrado, caracterizado por solos predominantemente ácidos e de baixa fertilidade, o uso de gramíneas perenes tropicais em rotação com culturas de grãos demonstrou ser eficaz na redução da compactação e no aumento da matéria orgânica do solo (Moraes et al., 2024). Esses sistemas integrados com a agricultura também contribuem para a recuperação de áreas degradadas, elevando a capacidade de suporte animal e aumentando a produtividade das pastagens.

Aspectos qualitativos das pastagens que podem ser aprimorados por meio do manejo adequado, como a maior relação folha:colmo, desempenham um papel significativo na mitigação das emissões de CH₄, uma vez que essa relação melhora a digestibilidade das dietas dos animais e tende a reduzir a emissão de CH₄ por unidade de produto animal (carne ou leite). Conforme constatado por Moraes et al. (2014a), uma dieta composta por pastagens bem manejadas, que proporcionam forragens de alta qualidade, reduz o tempo de retenção do alimento no rúmen e, conseqüentemente, diminui a produção de CH₄, visto que o alimento é decomposto com maior eficiência. Cezimbra et al. (2020) também evidenciam que práticas de manejo que mantêm a pastagem em altura e densidade adequadas favorecem a digestibilidade, otimizando o ganho de peso e reduzindo as emissões por unidade de produto.

Além do manejo das pastagens, diversas estratégias podem ser adotadas para reduzir as emissões de CH₄ na pecuária, incluindo o uso de aditivos alimentares e a seleção genética. No entanto, o manejo sustentável das pastagens se destaca por ser uma abordagem natural e economicamente viável, que minimiza a dependência de insumos externos e preserva a funcionalidade ecológica dos ecossistemas de pastagem. Cezimbra et al. (2020) ressaltam que a adaptação da intensidade do pastejo é uma prática sustentável que contribui para a redução do CH₄ emitido por ruminantes sem provocar mudanças drásticas na dieta dos animais. Eugênio et al. (2016) observaram que uma gestão equilibrada do pastejo em forrageiras tropicais melhora o desempenho animal e reduz as emissões de CH₄ por quilograma de ganho de peso. Além disso, Waghorn e Hegarty (2011) sugerem que o manejo rotacionado, mantendo a altura ideal do pastejo, pode aumentar a eficiência alimentar e reduzir as emissões de CH₄ em sistemas de pastagem. Em termos quantitativos, esses autores destacam que o pastejo rotacionado, utilizado como método para controle da altura das pastagens e da lotação dos animais, pode reduzir as emissões de CH₄ em até 20% por unidade de carne ou leite produzida, em razão da maior eficiência digestiva dos animais e da menor retenção do alimento no rúmen.

Outro fator frequentemente associado à melhoria dos sistemas com a introdução de pastagens é a promoção da diversidade vegetal, que contribui para uma maior retenção de nutrientes no solo, devido à combinação de diferentes tipos de sistemas radiculares que auxiliam na reciclagem e

na manutenção do equilíbrio de nutrientes ao longo do perfil do solo, especialmente quando o consórcio inclui leguminosas (Cardoso et al., 2001). Essas plantas reduzem a necessidade de fertilizantes nitrogenados, que são fontes emissoras de N_2O para a atmosfera, além de manterem a fertilidade do solo e reduzirem os custos com insumos (Carvalho et al., 2021). Esse efeito é potencializado pela inclusão de árvores no sistema de ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta), que contribuem para uma maior ciclagem de nutrientes e promovem a fertilidade do solo a longo prazo (Matos et al., 2020), e pelos resíduos orgânicos dos animais, como o esterco, que podem ser reincorporados ao solo, diminuindo a dependência de fertilizantes químicos e aprimorando a fertilidade natural da terra, criando um ciclo fechado e sustentável de nutrientes (Bonaudo et al., 2014). Nesse modelo de produção integrada, o componente animal também pode desempenhar um papel relevante no controle de pragas e plantas invasoras, reduzindo a necessidade de herbicidas (substituir por Sulc; Tracy, 2007).

As pastagens representam uma das principais fontes de emissão e remoção de carbono pelos solos. Em 2023, de acordo com dados do MapBiomass, pastagens com algum nível de perda de vigor (baixo e médio) totalizavam 105,4 milhões de hectares, o que corresponde a aproximadamente 64,1% da área total de pastagens, enquanto pastagens com alto vigor representavam os 35,9% restantes, com 59,1 milhões de hectares (MapBiomass, 2024b). Esses dados evidenciam o potencial para a adoção de boas práticas agropecuárias, com o incentivo e a implementação de tecnologias de mitigação e adaptação, principalmente em áreas já antropizadas, tornando essencial a promoção de sistemas de produção agropecuários mais eficientes e produtivos, sem a necessidade de desmatamento de novas áreas (SEEG, 2023).

1.2.2 Contribuição do componente florestal na mitigação de GEE

A inclusão de árvores em sistemas integrados intensifica o sequestro de carbono no solo e na biomassa, especialmente em áreas anteriormente degradadas. Um sistema de ILPF bem manejado é capaz de capturar entre 5 e 15 toneladas de CO_2 por hectare ao ano, dependendo das condições climáticas e das espécies arbóreas empregadas (Lal, 2020). Esse efeito é particularmente relevante em solos tropicais, onde o carbono armazenado contribui para a fertilidade e a estrutura do solo, aumentando a capacidade de retenção de água e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos.

Em regiões como a Amazônia e o Cerrado, essa prática não apenas favorece a recuperação do solo, mas também representa uma alternativa viável para mitigar o desmatamento, permitindo que áreas já desmatadas e degradadas sejam restauradas com um uso eficiente e ambientalmente sustentável.

A capacidade de sequestro de carbono nos sistemas ILPF é potencializada pela diversidade de espécies vegetais. A inclusão do componente florestal possibilita o aumento do conteúdo de matéria orgânica no solo, a promoção da ciclagem de nutrientes e a formação de húmus, beneficiando a sustentabilidade e a produtividade agrícola em regiões tropicais (Souza et al., 2012). A presença de húmus também melhora a retenção de nutrientes e o equilíbrio da umidade no solo, tornando o sistema mais resiliente às variações climáticas. Essas vantagens não apenas otimizam a produtividade a longo prazo, mas também fortalecem a resiliência ambiental dos sistemas agrícolas em áreas sensíveis, como o Cerrado brasileiro (Oliveira et al., 2021). Os benefícios dos sistemas agropecuários que integram os componentes florestal e animal, em pastagens bem manejadas, incluem a criação de microclimas mais amenos, que reduzem o estresse térmico nos animais e possibilitam melhorias no desempenho produtivo, aumentando a produção de carne e leite por área (Cerri et al., 2018).

1.2.3 Benefícios ambientais e econômicos dos sistemas integrados de produção

Os sistemas integrados oferecem benefícios ambientais ao integrar atividades agrícolas, pecuárias e florestais, potencializando o uso sustentável do solo e promovendo a conservação ambiental. Além de reduzirem as emissões de GEE, esses sistemas proporcionam vantagens econômicas aos produtores, uma vez que possibilitam a diversificação das fontes de renda e a redução dos custos com insumos. Ademais, com a adoção de sistemas integrados de produção agropecuária, há um aumento na eficiência do uso dos recursos naturais, o que eleva a produtividade e, simultaneamente, permite a produção de carne, leite e grãos em uma mesma área (Moraes et al., 2014b), aspecto que contribui para maior segurança econômica ao produtor rural. Dessa forma, os sistemas integrados promovem um modelo de produção mais autossuficiente e economicamente viável, especialmente em propriedades familiares que buscam otimizar o uso dos recursos locais.

Um dos impactos econômicos mais significativos dos sistemas integrados é a redução da necessidade de fertilizantes nitrogenados, viabilizada pelo uso de leguminosas que aprimoram a ciclagem de nutrientes no solo (Bonaudo et al., 2014). Além disso, a introdução de árvores aumenta a rentabilidade ao possibilitar a exploração de madeira ou frutos, ao mesmo tempo em que proporciona sombra e conforto térmico aos animais, melhorando seu desempenho produtivo e reduzindo perdas associadas ao estresse térmico (Pezzopane et al., 2021). Dessa maneira, os sistemas integrados configuram-se como alternativas promissoras para a mitigação dos impactos ambientais da agricultura e da pecuária, visto que a combinação de múltiplas atividades em uma mesma área não apenas potencializa a produtividade e minimiza a necessidade de desmatamento, mas também contribui para o sequestro de carbono e para a redução das emissões de CH₄ e N₂O (Carvalho et al., 2010; Pezzopane et al., 2021).

Além da implementação de sistemas integrados, práticas complementares de manejo, como o plantio direto, a rotação de culturas e o pastejo rotacionado, constituem estratégias eficazes para a gestão desses sistemas, promovendo a conservação do solo e a redução das emissões por unidade de produto, fator essencial para uma produção agropecuária mais sustentável e eficiente (Bonaudo et al., 2014). Essas práticas não apenas contribuem para a adaptação às mudanças climáticas, mas também fomentam uma agricultura regenerativa, que protege e conserva os recursos naturais para as futuras gerações.

1.3 Resultados experimentais sobre GEE

A mitigação dos impactos ambientais da pecuária e da agricultura é uma necessidade emergente e viável. A adoção de tecnologias, a aplicação de práticas de manejo sustentável e a formulação de políticas voltadas à agricultura de baixo carbono podem contribuir para a redução das emissões de GEE, o aumento da produtividade e o desenvolvimento de uma agropecuária mais sustentável. Esse fator é especialmente relevante na Amazônia, onde os sistemas agropecuários apresentam potencial para compensar parte das emissões associadas ao desmatamento.

Entre as diferentes modalidades de sistemas integrados, o sistema ILPF destaca-se pela capacidade de reduzir ou neutralizar a emissão de CH₄ por

kg de proteína bruta ingerida pelos animais, quando comparado ao sistema ILP (Tabela 1.1). Esse efeito está relacionado ao maior teor de proteína e à elevada degradabilidade da fração proteica da forragem obtida no sistema que inclui o componente florestal. A emissão total diária de CH₄ e a emissão de CH₄ por consumo de matéria seca (MS) e de fibra em detergente neutro (FDN), expressas em gramas ou MJ, não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas ILP e ILPF. Esse resultado pode ser atribuído à similaridade das concentrações de FDN nas pastagens de ambos os sistemas (59.91 x 60.24 % no ILP e ILPF, respectivamente), além do fato de que os consumos de MS e de FDN também foram equivalentes.

Tabela 1.1 Emissão de metano (CH₄) de novilhas Girolando mantidas em capim-Xaraés em sistemas integrados de produção agropecuária.

CH ₄ entérico	ILP	ILPF
MJ/dia	9,99	8,79
g/dia	186,68	164,30
MJ/kg PV	3,23	2,80
g/kg PV	60,32	52,23
MJ/kg PB ingerida	10,94 A	8,4 B
g/kg PB ingerida	204,37 A	157,00 B
MJ/kg NDT ingerido	1,47 B	1,53 A
g/kg NDT ingerido	27,43 B	28,66 A

Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. PB: Proteína Bruta; NDT: Nutrientes Digestíveis Totais. ILP: Integração Lavoura-Pecuária; ILPF: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Fonte: Adaptado de Salman et al. (2023).

Esse fenômeno ocorre porque a produção de CH₄ entérico decorre, sobretudo, da fermentação de carboidratos fibrosos, os quais favorecem a maior produção do ácido graxo volátil acetato, um dos principais precursores da formação de CH₄ (Nussio et al., 2011). No entanto, a maior emissão de CH₄ por kg de energia (NDT) ingerido pelas novilhas no sistema ILPF (Tabela 1.1) pode ser explicada pela menor eficiência de uso da energia

pelos microrganismos no rúmen. Segundo Palhares et al. (2021), o tipo e a qualidade da dieta são fatores determinantes na modulação da emissão de gases, além de influenciarem a pegada hídrica e de carbono.

Embora não tenha sido observada diferença estatística na emissão diária total de CH_4 , tanto em gramas quanto em MJ, entre as novilhas mantidas nos sistemas com e sem árvores (Tabela 1.1), o maior desempenho ponderal das novilhas no ILPF compensou o total de emissão de gases, uma vez que o ganho de peso foi 36% superior nesse sistema. Assim, os sistemas integrados que incluem o componente florestal apresentam eficiência na redução da emissão de GEE por unidade de produto gerado, sendo essa ponderação também considerada na concessão de créditos de carbono na produção agropecuária. Além disso, destaca-se que, no sistema ILP, cada animal emitiu 22,38 g/dia a mais de CH_4 em comparação ao sistema ILPF. Essa diferença pode representar um acréscimo de 8,2 kg/animal ao longo de um ano, configurando uma vantagem ambiental relevante do sistema ILPF, especialmente na produção em larga escala de bovinos.

Outro fator relevante diz respeito ao balanço de carbono, uma vez que o sistema ILPF pode gerar créditos de carbono devido à presença de árvores, conferindo-lhe uma vantagem competitiva. Essa premissa foi apontada por Figueiredo et al. (2017) ao analisarem três sistemas de produção (pastagem degradada, pastagem bem manejada e sistema ILPF). De acordo com esses autores, a conversão de pastagens degradadas em pastagens bem manejadas e a introdução do ILPF podem reduzir as emissões associadas aos GEE, quando expressas em kg CO_2eq emitidos por kg de peso vivo produzido, além de possibilitar um aumento na produção de carne, grãos e madeira. Essa redução ocorre, sobretudo, devido à melhoria da qualidade do pasto, ao aumento da produtividade dos bovinos e ao potencial técnico dos sumidouros de C no solo e na biomassa, contribuindo para a compensação das emissões relacionadas aos animais.

Na Tabela 1.2, são apresentados os valores da taxa de remoção/emissão de C decorrentes da mudança no uso do solo, considerando diferentes cenários de conversão para e a partir de sistemas ILPF. Esses resultados indicam que a adoção de práticas sustentáveis pode promover um incremento significativo nos estoques de C do solo (Estevam et al., 2023).

Tabela 1.2 Valores da taxa de remoção/emissão de carbono a partir da mudança de uso do solo, considerando cenários de conversão de e para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.

Uso anterior do solo	Uso atual do solo	Remoção de ton CO ₂ eq./ha/ano
Pastagem degradada		-6,23
Pastagem/pastagem melhorada	Integração lavoura-pecuária (-floresta)	-3,67
Pastagem melhorada com insumos		-3,67
Cultivo convencional		-6,23
Plantio direto		-1,03
	Cultivo convencional	1,72
Integração lavoura-pecuária	Pastagem/pastagem melhorada	-2,56
	Pastagem melhorada com insumos	-2,56
	Plantio direto	-1,76
Floresta nativa	Integração lavoura-pecuária	-0,71
	Sistemas agroflorestal	-3,08

Fonte: Adaptado de Estevam et al. (2023).

As mudanças climáticas representam um desafio crescente para o Brasil e para o mundo, e o setor pecuário desempenha, simultaneamente, um papel tanto na causa quanto na solução desse problema. A análise evidencia que os sistemas integrados representam uma alternativa viável e sustentável para a redução das emissões de GEE e para o aumento da eficiência no uso dos recursos naturais.

As evidências apresentadas indicam que os sistemas integrados, quando manejados de forma adequada, contribuem para a ciclagem de nutrientes e o sequestro de carbono no solo, reduzindo os impactos ambientais. Esses sistemas promovem uma agropecuária mais eficiente, que conserva a biodiversidade, melhora a qualidade do solo e reduz a dependência de fertilizantes químicos. Além do sequestro de carbono, a mitigação das emissões de metano, por meio da melhoria das pastagens e do manejo do

pastejo, também é um fator essencial para uma pecuária mais sustentável. Práticas como o controle da altura das pastagens, a rotação e o consórcio de diferentes culturas aumentam a digestibilidade da forragem, reduzindo a produção de metano entérico e aprimorando o ganho de peso dos animais.

Considerações finais

Diante disso, a ampliação e o aprimoramento dos sistemas pecuários demandam um compromisso contínuo com a pesquisa, o estabelecimento de políticas de incentivo e a capacitação de técnicos e produtores. O desenvolvimento sustentável no setor agropecuário, conforme demonstrado neste capítulo, mostra-se uma alternativa viável e necessária para o enfrentamento das mudanças climáticas e para a promoção de uma produção agropecuária alinhada à conservação dos recursos naturais.

Referências

- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação do uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, 2009.
- BONAUDO, T.; BENDAHAN, A. B.; SABATIER, R.; RYSCHAWY, J.; BELLON, S.; LEGER, F.; MAGDA, D.; TICHIT, M. Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 43-51, 2014.
- 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, DF, 2021. 25 p.
- CARDOSO, I. M.; GUIJT, I.; FRANCO, F. S.; CARVALHO, A. F.; FERREIRA NETO, P. S. Continual learning for agroforestry system design: University, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 53, p. 105-111, 2001.
- CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; LOPES, M. L. T.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; WESP, C. L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, p. 259-273, 2010.
- CARVALHO, J. L. N.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SANTOS, M. dos. Integrated crop-livestock-forest systems for sustainable intensification in Brazil: A review of effects on soil carbon, greenhouse gas emissions, and crop productivity. **Agricultural Systems**, v. 190, 103093, 2021.
- CERRI, C. E. P.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. Quantifying soil carbon stocks and greenhouse gas fluxes in the Brazilian pasture systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 258, p. 244-256, 2018.
- CEZIMBRA, I. M.; NUNES, P. A. A.; SOUZA FILHO, W.; TISCHLER, M. R.; GENRO, T. C. M.; BAYER, C.; SAVIAN, J. V.; BONNET, O. J. F.; SOUSSANA, J. F.; CARVALHO, P. C. F. Potential of grazing management to improve beef cattle production and mitigate methane emissions in native grasslands of the Pampa biome. **Science of the Total Environment**, v. 780, 146582, 2020.

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

ESTEVAM, C. G.; PAVÃO, E. M.; ASSAD, E. D. **Quantificação das emissões de GEEs no setor agropecuário: fatores de emissão, métricas e metodologias**. Observatório do Conhecimento e Inovação em Bioeconomia. São Paulo, SP: Fundação Getúlio Vargas, 2023. 86 p.

EUGÊNIO, M. A.; FERNANDES, F. D.; MALHEIROS, E. B.; SILVA, S. C. da; PEDREIRA, C. G. S. Effects of grazing management and nitrogen fertilization on animal performance and economic viability in tropical pastures. **Agricultural Systems**, v. 145, p. 1-8, 2016.

FAO. **SAFA - Sustainability Assessment of Food Agriculture Systems: Guidelines Version 3.0**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. 253 p.

FAO. **The State of Food and Agriculture: Climate Change, Agriculture and Food Security**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016. 194 p.

FAO. **Pathways towards lower emissions: A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. 77 p.

FIGUEIREDO, E. B.; JAYASUNDARA, S.; BORDONAL, R. de O.; BERCHIELLI, T.T.; REIS, R. A.; RIDDLE, C. W.; LA SCALA JÚNIOR, N. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, p. 420-431, 2017.

FRANZLUEBBERS, A. J. Achieving soil carbon sequestration and agricultural greenhouse gas mitigation through conservation tillage and pasture management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, p. 1024-1032, 2010.

IPCC. **AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

LAL, R. Integrating conservation agriculture in sustainable intensification of smallholder farming systems in Sub-Saharan Africa. **Agricultural Ecosystems & Environment**, v. 295, 106882, 2020.

LIU, W.; ZHOU, J.; MA, Y.; CHEN, S.; LUO, Y. Unequal impact of climate warming on meat yields of global cattle farming. **Communications Earth & Environment**, v. 65, 2024.

MALAFIA, G. C.; MORAES, G. V.; CASAGRANDE, Y. G.; BARCELLOS, J. O. J.; COSTA, F. P. **The Brazilian beef cattle supply chain in the next decades**. *Livestock Science*, v. 253, 104704, 2021.

MAPBIOMAS. **Mais de 90% do desmatamento da Amazônia é para abertura de pastagem**. 2024a. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/10/03/mais-de-90-do-desmatamento-da-amazonia-e-para-abertura-de-pastagem/>. Acesso em: 14 fev. 2024

MAPBIOMAS, 2024b. **Mapa de Qualidade das Pastagens**. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 14 fev. 2024

MATOS, E. S.; PINTO, H. A.; ANDRADE, L. C. Nutrient cycling and soil fertility in integrated crop-livestock-forestry systems in tropical regions. *Geoderma*, v. 367, 114275, 2020.

MYHRE, G.; SHINDELL, D.; BRÉON, F. M.; COLLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; ZHANG, H. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: **CLIMATE Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 82 p.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; LANG, C. R.; PARIZ, C. M.; DEISS, L.; SULC, R. M. Chapter 16 - Integrated Crop-Livestock Systems as a Solution Facing the Destruction of Pampa and Cerrado Biomes in South America by Intensive Monoculture Systems. *Agroecosystem Diversity. Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality*, v. 2019, p. 257-273, 2024.

MORAES, L. E.; FADEL, J. G.; CASTILLO, A. R.; CASPER, D. P. Methane emissions from dairy cattle: Quantifying the effect of feed intake, rumen fermentation, and dietary starch. *Journal of Animal Science*, v. 92, p. 3223-3234, 2014a.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, J. A. A.; KUNRATH, T. R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, v. 57, p. 4-9, 2014b.

NUSSIO, L. G.; CAMPOS, F. P.; LIMA, M. L. M. Metabolismo de carboidratos estruturais. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. de. **Nutrição de RUMINANTES**. 2 ed. Jaboticabal: Funep 2011. p. 193-234.

OLIVEIRA, G.; OLIVEIRA, S.; SILVA, J. Análise espacial dos fatores condicionantes do desmatamento do Bioma Mata Atlântica/Brasil. *Geografias*, v. 1, p. 1-15, 2017.

OLIVEIRA, P.; RODRIGUES, R. A. R.; SANTOS, G.; NOGUEIRA, E. M. Soil organic matter as affected by integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado. *Journal of Environmental Management*, v. 286, 112231, 2021.

PALHARES, J. C. P.; MORELLI, M.; NOVELLI, T. I. Watter, footprint of a tropical beef cattle production system: The impact of individual-animal and management. **Advances in Water resources**, v. 149, n. 1, 103853, 2021.

PENDRILL, F.; GARDNER, T. A.; MEYFROIDT, P.; PERSSON, U. M.; ADAMS, J.; AZEVEDO, T.; LIMA, M. G. B.; BAUMANN, B.; CURTIS, P. G.; SY, V. D.; GARRET, R.; GODAR, J.; GOLDMAN, E. D.; HANSEN, M. C.; HEILMAYR, R.; HEROLD, M.; KUEMMERLE, T.; LATHUILLIÈRE, M. J.; RIBEIRO, V.; TYUKAVINA, A.; WEISSE, M.; WEST, C. Disentangling the numbers behind agriculture-driven tropical deforestation. **Science**, v. 377, 2022.

PEZZOPANE, J. R. M.; SOUZA, H. A.; SANTOS, P. M.; CORSI, M. Carbon sequestration and greenhouse gas mitigation in integrated livestock-forest systems in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 307, 107204, 2021.

PŘIBYLA, O.; LNĚNIČKA, J.; PECHNÍK, O.; ZÁKOPČANOVÁ, K. P.; KOLOUCHOVÁ, K. **Atlas of Climate Change: Changes in the Atmosphere and Risks of Warming**. Czech Republic: akta o klimatu, 2024. 43 p.

ROJAS-DOWNING, M. M.; NEJADHASHEMI, A. P.; HARRIGAN, T.; WOZNICKI, S. A. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. **Climate Risk Management**, v. 16, 145-163. 2017.

RYSCHAWY, J.; CHOISIS, N.; CHOISIS, J. P.; JOANNON, A.; GIBON, A. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? **Animal**, v. 6, n. 10, p. 1722-1730, 2012.

SALMAN, A. K.; SILVA, F. R. F.; PORTO, M. O.; CAVALI, J. B.; SOUZA, E. C.; CARVALHO, G. A. Prediction of voluntary intake and enteric methane emission by dairy heifers in integrated systems. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente - RAMA**, v. 16, n. 4, e10712, 2023

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M; Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANDERSON, M. A.; ARCHER, D.; HENDRICKSON, J.; KRONBERG, S.; LIEBIG, M.; NICHOLS, K.; SCHMER, M.; TANAKA, D.; AGUILAR, J. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop - livestock systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 28, p. 129-144, 2013.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações**

para as metas climáticas do Brasil 1970-2021. Observatório do Clima, 2023. 54 p. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/SEEG-10-anos-v5.pdf>. Acesso em: 14 de fev. 2025

SOUZA FILHO, W.; NUNES, P. A. A.; BARRO, R. S.; K, T. R.; ALMEIDA, G. M.; GENRO, T.C.M.; BAYER, C.; CARVALHO, P.C.F. Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 968-975, 2019.

SOUZA, H. N.; MONTAGNINI, F.; FERRAZ, S. F. B. Reclaiming productivity and profitability of degraded pastures through agroforestry systems in the Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 86, p. 517-528, 2012.

SULC, R. M.; TRACY, B. F. Integrated crop-livestock systems in the U.S. Corn Belt. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 335-345, 2007.

THEUSME, C.; AVENDAÑO-REYES, L.; MACÍAS-CRUZ, U.; CORREA-CALDERÓN A.; GARCÍA-CUETO, R. O.; MELLADO, M.; VARGAS-VILLAMIL, L.; VICENTE-PÉREZ A. Climate change vulnerability of confined livestock systems predicted using bioclimatic indexes in an arid region of México. **Science of The Total Environment**, v. 751, 141779, 2021.

THORNTON, P. K.; BOONE, R. B.; RAMIREZ-VILLEGAS J. Climate change impacts on livestock. CGIAR Research program on Climate Change. **Agriculture and Food Security (CCAFS), Working Paper**, v. 120, 2015.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SWACKHAMER, D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. **Science**, v. 292, p. 281-284, 2001

VERMEULEN, S. J.; CAMPBELL, B. M.; INGRAM, J. S. Climate change and food systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 195-222, 2012.

WAGHORN, G. C.; HEGARTY, R. S. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 291-301, 2011.

WRIGHT, I. A.; TARAWALI, S.; BLUMMEL, M.; GERARDI, B.; TEUFEL, N.; HERRERO, M. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, p. 1010-1015, 2012