

Dinâmica do carbono e mitigação de gases de efeito estufa em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: uma revisão narrativa

Carbon dynamics and greenhouse gas mitigation in integrated crop-livestock-forestry systems: a narrative review

Felipe Jorge Viana¹, Igor Costa de Freitas², Jaqueline de Cássia de Oliveira³, Marcos Fernando Lessa Gonçalves⁴, Aline Araújo Reis⁵, Alex José Silva Couto⁶, Fernanda Ferreira da Hora⁷, Leidivan Almeida Frazão⁸

Resumo

Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) têm sido reconhecidos como uma estratégia promissora para conciliar produção agropecuária e sustentabilidade ambiental em regiões tropicais. Esses sistemas integram componentes agrícola, pecuário e florestal em uma mesma área, promovendo maior eficiência no uso de recursos, diversificação produtiva e provisão de serviços ecossistêmicos. Este estudo teve como objetivo analisar criticamente o papel dos sistemas ILPF na intensificação sustentável e na mitigação das mudanças climáticas, com ênfase na produtividade, nos estoques de carbono do solo, nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e no balanço de carbono. A revisão narrativa foi conduzida com base em estudos realizados em condições tropicais, com destaque para o Cerrado. De modo geral, os resultados indicam que sistemas ILPF melhoram atributos físicos, químicos e biológicos do solo, aumentam os estoques de carbono orgânico e elevam a resiliência dos sistemas produtivos em comparação a sistemas convencionais ou áreas degradadas. Esses efeitos estão associados ao maior aporte de resíduos orgânicos, à diversidade funcional das espécies e à melhoria da estrutura do solo. Entretanto, a magnitude desses benefícios varia conforme o arranjo dos sistemas, o manejo adotado e as condições edafoclimáticas. Além disso, podem ocorrer tradeoffs relacionados ao aumento das emissões de N₂O e CH₄ em sistemas mais intensificados. Conclui-se que os sistemas ILPF apresentam elevado potencial para a agricultura de baixo carbono, embora seus benefícios dependam de estratégias de manejo adequadas e das condições locais de implantação.

Palavras-chave: ILPF; carbono do solo; gases de efeito estufa; intensificação sustentável; agroecossistemas tropicais.

Abstract

Integrated crop-livestock-forestry (ICLF) systems have been recognized as a promising strategy to reconcile agricultural production and environmental sustainability in tropical regions. These systems integrate crop, livestock, and forestry components within the same area, promoting greater resource-use efficiency, production diversification, and the provision of ecosystem services. This study aimed to critically analyze the role of ICLF systems in sustainable intensification and climate change mitigation, with emphasis on productivity, soil carbon stocks, greenhouse gas (GHG) emissions, and carbon balance. The narrative review was conducted based on studies carried out under tropical conditions, with particular emphasis on the Brazilian Cerrado. Overall, the results indicate that ICLF systems improve soil physical, chemical, and biological attributes, increase soil organic carbon stocks, and enhance the resilience of production systems compared with conventional systems or degraded areas. These effects are associated with greater organic residue inputs, functional diversity of species, and improvements in soil structure. However, the magnitude of these benefits varies according to system design, management practices, and edaphoclimatic conditions. In addition, trade-offs related to increased N₂O and CH₄ emissions may occur in more intensified systems. It is concluded that ICLF systems have considerable potential for low-carbon agriculture, although their benefits depend on appropriate management strategies and local implementation conditions.

Keywords: ICLF; soil carbon; greenhouse gas emissions; sustainable intensification; tropical agroecosystems.

¹ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Brasil.


E-mail: felipe.jorgeviana@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-0848-4025>

 <http://lattes.cnpq.br/1762833539602571>

² Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Brasil.

E-mail: freitasicde@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2014-7726>

 <http://lattes.cnpq.br/4360886970618103>

³ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Brasil.

E-mail: oliveirajaqueline.c@gmail.com


 <https://orcid.org/0000-0002-7180-7915>

 <http://lattes.cnpq.br/3820047662127284>

⁴ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Brasil.

E-mail: lessamarcos2016@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0003-3706-6521>

 <http://lattes.cnpq.br/3859471239491805>

⁵ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Brasil.


E-mail: reis.araujo.a@hotmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-0869-6398>

 <http://lattes.cnpq.br/7673075118607662>

⁶ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Brasil.

E-mail: alexcouthagro@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-8612-4414>

⁷ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Brasil.

E-mail: fernandaferreraoote@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5016-8272>

 <http://lattes.cnpq.br/8135136962196251>

⁸ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Brasil.

E-mail: lafrazao@ica.ufmg.br

 <https://orcid.org/0000-0001-6848-9007>

 <http://lattes.cnpq.br/9544258230755043>

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos, fibras e energia, aliada à necessidade de conservação dos recursos naturais e mitigação das mudanças climáticas, tem intensificado a busca por sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis. No contexto brasileiro, esse desafio é ainda mais relevante, uma vez que o país ocupa posição de destaque na produção agropecuária mundial e apresenta grande extensão de áreas com potencial produtivo, muitas delas sob algum nível de degradação (Marin *et al.*, 2016; Massruhá *et al.*, 2020)

Nesse cenário, a intensificação sustentável da produção tem sido apontada como uma estratégia fundamental para aumentar a produtividade sem a necessidade de expansão de novas áreas agrícolas, reduzindo, assim, a pressão sobre ecossistemas naturais (Licker *et al.*, 2010; Ferraz; Skorupa, 2017).

Entre as estratégias disponíveis, os sistemas integrados de produção, especialmente a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), têm se destacado como alternativa promissora para promover maior eficiência no uso da terra e dos recursos naturais. Esses sistemas baseiam-se na integração espacial e/ou temporal dos componentes agrícola, pecuário e florestal, possibilitando o aproveitamento de interações sinérgicas entre os diferentes estratos produtivos (Balbino *et al.*, 2011; Neto *et al.*, 2018). Como consequência, observa-se aumento da biodiversidade funcional, melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, além da diversificação da produção e redução dos riscos econômicos associados a sistemas monoculturais (Assis *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2018; Sanderson *et al.*, 2013).

Do ponto de vista ambiental, a ILPF tem sido amplamente associada ao aumento dos estoques de carbono no solo e à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Estudos conduzidos em diferentes regiões do Brasil indicam que a adoção de sistemas integrados pode promover maior aporte de resíduos orgânicos, incremento da matéria orgânica do solo e melhoria na estabilidade de agregados, contribuindo para o sequestro de carbono e para a redução das emissões de CO₂ (Lal, 2018; Assunção *et al.*, 2019; Frazão *et al.*, 2021; Freitas *et al.*, 2020).

Além disso, a melhoria da qualidade das pastagens em sistemas integrados pode reduzir emissões de metano associadas à fermentação entérica, reforçando o potencial desses sistemas como estratégia de mitigação climática no setor agropecuário (Reis *et al.*, 2021; Siatkowski *et al.*, 2022). No bioma Cerrado, onde uma parcela significativa das áreas de pastagens apresenta algum grau de degradação, a conversão para sistemas integrados tem sido apontada como uma alternativa eficiente para recuperação produtiva e ambiental.

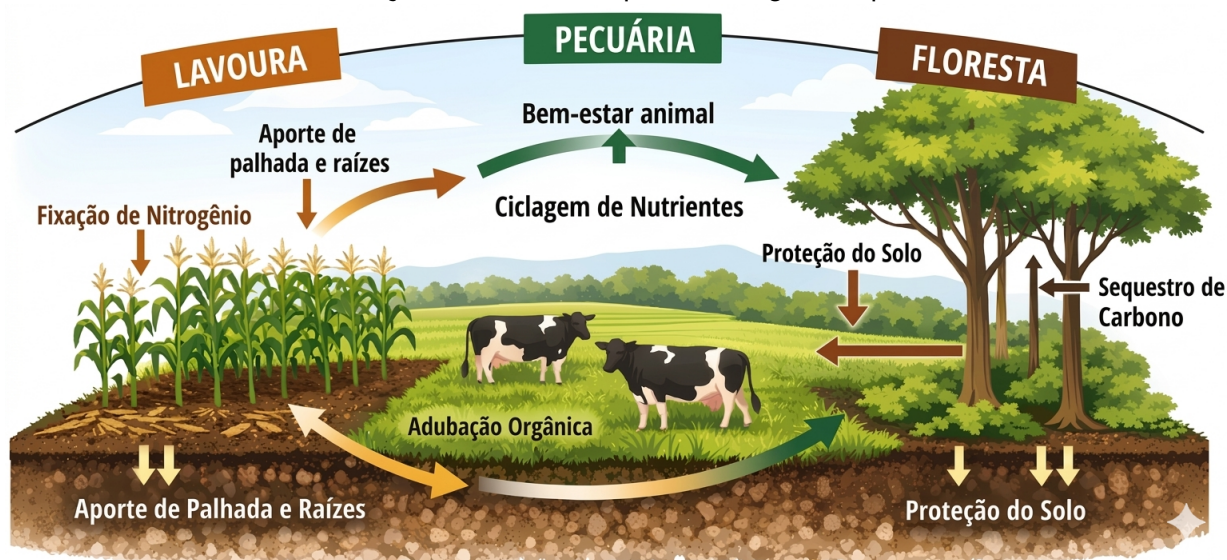
A introdução de sistemas como a ILPF pode elevar os estoques de carbono e nitrogênio no solo, melhorar a qualidade da matéria orgânica e aumentar a resiliência dos sistemas produtivos frente às variações climáticas (Ribeiro *et al.*, 2019; Almeida *et al.*, 2021; Sant-anna *et al.*, 2017; Freitas *et al.*, 2022). Esses benefícios reforçam o potencial dos sistemas integrados como ferramenta estratégica para conciliar produção agropecuária e sustentabilidade ambiental em regiões tropicais.

Apesar dos avanços observados, os resultados reportados na literatura ainda apresentam elevada variabilidade, especialmente em função de fatores como arranjo dos sistemas, tempo de implantação, intensidade de manejo, condições edafoclimáticas e histórico de uso da terra. Além disso, ainda são limitadas as abordagens que integrem, de forma sistemática e crítica, os efeitos dos sistemas LPF sobre produtividade, estoques de carbono, emissões de GEE e balanço de carbono, sobretudo em regiões semiáridas, áreas de transição climática e outros ambientes tropicais ainda pouco representados na literatura. Essa lacuna evidencia a necessidade de sínteses que permitam compreender não apenas os benefícios desses sistemas, mas também suas limitações e condicionantes de desempenho.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar criticamente o papel dos sistemas integrados de produção, com ênfase na Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, como estratégia de intensificação sustentável e mitigação dos impactos ambientais. Especificamente, busca-se discutir os efeitos desses sistemas sobre a produtividade dos componentes agrícolas, os estoques de carbono no solo, a dinâmica das emissões de gases de efeito estufa e o balanço de carbono, destacando os principais avanços, limitações e lacunas de pesquisa para diferentes condições de manejo no Brasil.

Os principais componentes e interações inerentes aos sistemas ILPF são sintetizados na Figura 1, evidenciando o caráter multifuncional desses arranjos produtivos e suas potenciais sinergias entre os componentes agrícola, pecuário e florestal.

Figura 1 – Representação conceitual dos sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), destacando as interações entre os componentes agrícola, pecuário e florestal.



Fonte: Elaboração própria, com suporte de inteligência artificial generativa (OpenAI, 2026).

2 METODOLOGIA

A presente revisão de literatura foi conduzida com o objetivo de reunir, sintetizar e analisar criticamente estudos relacionados aos sistemas integrados de produção, com ênfase na Integração Lavoura-Pecuária-

Floresta (ILPF), e seus efeitos sobre a produtividade agropecuária, os estoques de carbono no solo, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o balanço de carbono em agroecossistemas tropicais.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados científicas amplamente reconhecidas, incluindo Web of Science e Scopus, considerando publicações disponíveis até o ano de 2024. Foram utilizadas combinações de palavras-chave em inglês e português, tais como: “integrated crop-livestock-forestry”, “ICLF”, “ILPF”, “soil carbon”, “carbon sequestration”, “greenhouse gas emissions”, “sustainable intensification”, “Cerrado” e “soil organic matter”.

Os critérios de inclusão adotados contemplaram: (i) artigos científicos publicados em periódicos revisados por pares; (ii) estudos conduzidos em condições tropicais e subtropicais, com especial atenção às evidências produzidas no bioma Cerrado; (iii) trabalhos que abordassem diretamente sistemas integrados de produção e seus impactos sobre atributos do solo, produtividade vegetal ou emissões de GEE; e (iv) estudos publicados preferencialmente nos últimos 10 a 15 anos, de modo a garantir a atualização das informações. Trabalhos clássicos e de referência também foram incluídos quando considerados relevantes para a contextualização conceitual do tema.

Na seleção do material bibliográfico, priorizaram-se estudos alinhados aos objetivos desta revisão, sendo desconsideradas publicações sem relação direta com os sistemas integrados de produção, com informações insuficientes para subsidiar a análise proposta ou que representassem duplicidade entre as fontes consultadas.

Após a seleção, os estudos foram organizados de acordo com os principais eixos temáticos abordados nesta revisão: (i) intensificação sustentável da produção agrícola; (ii) funcionamento e arranjos dos sistemas ILPF; (iii) produtividade de culturas e forrageiras em sistemas integrados; (iv) estoques e dinâmica do carbono no solo; (v) emissões de gases de efeito estufa; e (vi) balanço de carbono em agroecossistemas integrados.

A análise dos trabalhos selecionados foi realizada de forma qualitativa e interpretativa, buscando identificar padrões de resposta, convergências e divergências entre os resultados, bem como lacunas de conhecimento relacionadas ao desempenho dos sistemas integrados em diferentes condições de manejo e ambiente. Embora tenham sido adotados critérios explícitos para orientar a busca e a seleção dos estudos, o objetivo deste trabalho não foi realizar uma síntese quantitativa ou exaustiva da literatura, característica de revisões sistemáticas com protocolo estruturado.

As Figuras 1, 2 e 3 foram elaboradas pelos autores com suporte de inteligência artificial generativa, sendo posteriormente revisadas, adaptadas e validadas quanto à consistência científica e à adequação ao conteúdo discutido no manuscrito. O uso dessa ferramenta teve caráter exclusivamente ilustrativo, não substituindo a interpretação, análise crítica e responsabilidade intelectual dos autores sobre as informações apresentadas.

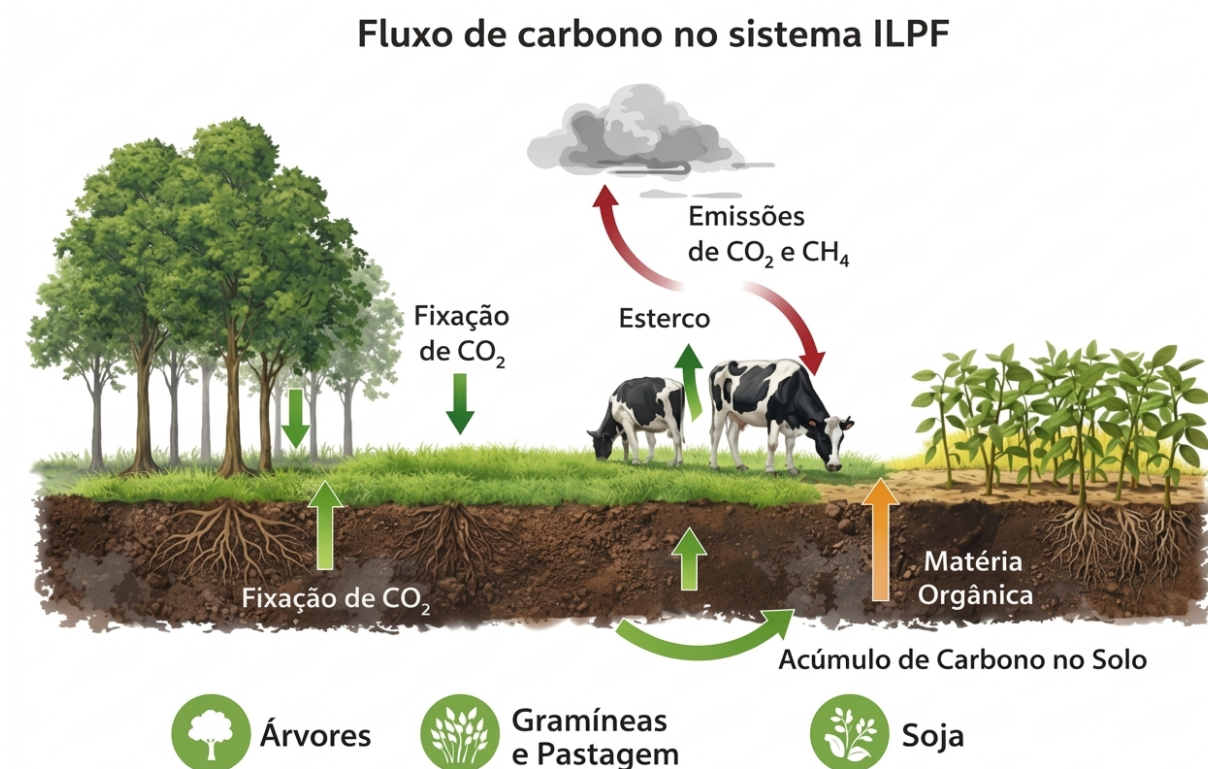
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estoques de carbono e qualidade do solo em sistemas integrados

Os resultados apresentados na literatura indicam de forma consistente que a adoção de sistemas integrados de produção, especialmente a ILPF, promove incrementos nos estoques de carbono do solo em comparação a sistemas convencionais ou pastagens degradadas (Almeida *et al.*, 2021; Freitas *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2019). Esse comportamento é geralmente atribuído ao aumento do aporte de resíduos orgânicos, tanto na forma de biomassa aérea quanto radicular, além da maior diversidade funcional de espécies vegetais presentes no sistema.

Os principais processos envolvidos na dinâmica do carbono em sistemas ILPF são apresentados na Figura 2. Observa-se que o balanço de carbono resulta da interação entre entradas provenientes dos resíduos vegetais e raízes, mecanismos de estabilização da matéria orgânica e diferentes vias de emissão para a atmosfera.

Figura 2 – Esquema conceitual do fluxo de carbono em sistemas ILPF, evidenciando os principais processos de entrada, armazenamento e emissão.



Fonte: Elaboração própria, com suporte de inteligência artificial generativa (OpenAI, 2026).

Entretanto, a magnitude desses incrementos varia significativamente entre os estudos, sugerindo forte dependência de fatores como o tempo de adoção do sistema, o arranjo espacial dos componentes e as condições edafoclimáticas. Essa heterogeneidade evidencia que os benefícios associados ao sequestro

de carbono em sistemas ILPF não devem ser interpretados como resultados automáticos da integração dos componentes produtivos. Em muitos casos, respostas menos expressivas podem refletir períodos insuficientes para a estabilização da matéria orgânica ou limitações relacionadas ao manejo adotado (Almeida *et al.*, 2021; Sant-anna *et al.*, 2017). Portanto, extrapolações generalizadas sobre o potencial mitigador desses sistemas devem ser realizadas com cautela, considerando as especificidades locais e o estágio de desenvolvimento do sistema integrado.

Além disso, a dinâmica do carbono nesses sistemas não depende apenas do volume de resíduos adicionados ao solo, mas também da sua qualidade e da interação com a fração mineral. A presença de gramíneas forrageiras com sistemas radiculares densos e profundos favorece a incorporação de carbono em camadas subsuperficiais, contribuindo para sua maior estabilização (Loss *et al.*, 2013; Salton *et al.*, 2011).

Esse aspecto evidencia que a multifuncionalidade dos sistemas ILPF envolve inevitáveis compromissos entre seus componentes. Embora o componente arbóreo contribua significativamente para o aumento dos estoques de carbono acima e abaixo do solo, seu manejo inadequado pode comprometer a produtividade agrícola e forrageira. Assim, o desafio não consiste apenas em incorporar árvores ao sistema, mas em definir arranjos espaciais e densidades que maximizem as sinergias e minimizem os efeitos competitivos (Pezzopane *et al.*, 2020; Pezzopane *et al.*, 2021).

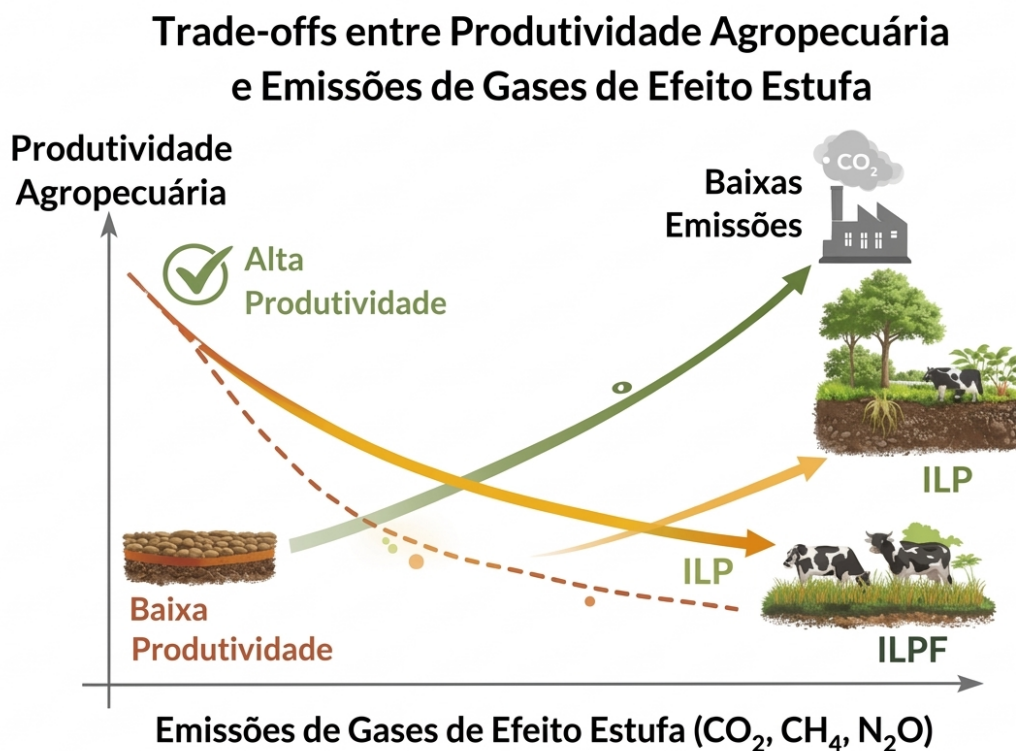
Do ponto de vista da qualidade do solo, os sistemas integrados também têm sido associados à melhoria da estrutura, agregação e atividade biológica, fatores diretamente relacionados à proteção física e bioquímica da matéria orgânica (Assis *et al.*, 2015; Lal, 2018). No entanto, ainda são limitados os estudos que avaliam simultaneamente diferentes frações da matéria orgânica e seus mecanismos de estabilização, o que dificulta uma compreensão mais aprofundada dos processos envolvidos no sequestro de carbono em sistemas ILPF.

3.2 Emissões de gases de efeito estufa e trade-offs do sistema

A mitigação das emissões de gases de efeito estufa é frequentemente apontada como um dos principais benefícios dos sistemas integrados de produção. De fato, diversos estudos indicam que a adoção de práticas conservacionistas associadas à ILPF pode reduzir as emissões líquidas de CO₂, especialmente em função do aumento do sequestro de carbono no solo (Assunção *et al.*, 2019; Rosset *et al.*, 2019). Além disso, a melhoria da qualidade das pastagens pode resultar em menor emissão de metano por unidade de produto animal, devido ao aumento da eficiência alimentar (Reis *et al.*, 2021).

A complexidade dessas interações é sintetizada na Figura 3, que evidencia que ganhos produtivos nem sempre são acompanhados por reduções proporcionais das emissões de GEE. Dependendo do nível de intensificação e do manejo adotado, podem ocorrer trade-offs entre produtividade, sequestro de carbono e emissões associadas ao uso de insumos e à produção animal.

Figura 3 – Representação conceitual dos trade-offs entre produtividade agropecuária e emissões de gases de efeito estufa (GEE) em diferentes sistemas de uso da terra.



Fonte: Elaboração própria, com suporte de inteligência artificial generativa (OpenAI, 2026).

Os resultados analisados reforçam que a intensificação sustentável não deve ser confundida com ausência de impactos ambientais. Embora os sistemas ILPF apresentem potencial para reduzir emissões líquidas por unidade de produto, a intensificação baseada em maiores aportes de fertilizantes e aumento da taxa de lotação pode deslocar parte das emissões para outras fontes, especialmente N₂O. Dessa forma, o desempenho climático desses sistemas depende menos da simples adoção da ILPF e mais da eficiência com que seus componentes são manejados (Cunha *et al.*, 2025; Pereira *et al.*, 2025).

A ausência de avaliações integradas em CO₂ equivalente representa uma limitação importante da literatura atual, uma vez que reduções expressivas em um determinado compartimento podem ser anuladas por aumentos em outras fontes emissoras. Conseqüentemente, estudos que consideram apenas estoques de carbono do solo ou emissões isoladas tendem a superestimar ou subestimar o real potencial mitigador dos sistemas integrados, dificultando comparações entre estratégias de manejo e subsidiando decisões baseadas em evidências incompletas.

3.3 Integração entre produtividade, carbono e sustentabilidade

Um dos principais diferenciais dos sistemas ILPF é a possibilidade de conciliar aumento de produtividade com melhoria dos atributos ambientais. A diversificação de componentes permite maior eficiência no uso de recursos, redução de riscos produtivos e incremento da resiliência frente a eventos climáticos extremos

(Costa *et al.*, 2018; Sanderson *et al.*, 2013).

Entretanto, a relação entre produtividade e acúmulo de carbono nem sempre é diretamente proporcional. Em alguns casos, práticas que maximizam a produção de biomassa podem não resultar em maior estabilização de carbono no solo, especialmente quando associadas a maior decomposição ou menor proteção da matéria orgânica. Além disso, o componente arbóreo, embora contribua significativamente para o estoque de carbono acima do solo, pode reduzir a produtividade de forrageiras em função do sombreamento, evidenciando a necessidade de manejo adequado do arranjo espacial (Pezzopane *et al.*, 2020).

Esses resultados sugerem que o sucesso dos sistemas ILPF não deve ser avaliado exclusivamente por indicadores produtivos ou ambientais isolados. A sustentabilidade desses arranjos emerge justamente da capacidade de equilibrar múltiplas funções do agroecossistema, conciliando rentabilidade econômica, conservação dos recursos naturais e mitigação climática. Nesse contexto, abordagens multicritério tornam-se essenciais para orientar políticas públicas e recomendações técnicas mais aderentes à realidade dos produtores.

Além dos benefícios ambientais, a diversificação produtiva característica dos sistemas ILPF pode contribuir para maior estabilidade econômica das propriedades rurais, reduzindo a vulnerabilidade associada à dependência de uma única atividade produtiva. Essa característica é particularmente relevante em cenários de crescente variabilidade climática e volatilidade dos mercados agropecuários, nos quais a capacidade adaptativa dos sistemas de produção assume papel estratégico para a sustentabilidade no longo prazo (Paul *et al.*, 2020; Gil *et al.*, 2018).

3.4 Lacunas de pesquisa e perspectivas futuras

Apesar do avanço significativo no número de estudos sobre sistemas ILPF, ainda existem lacunas importantes que limitam a consolidação de inferências mais robustas. Entre as principais, destacam-se: escassez de estudos de longo prazo, capazes de capturar a dinâmica temporal do carbono no solo; baixa padronização metodológica entre experimentos, dificultando comparações diretas; limitada integração entre os componentes solo-planta-animal-atmosfera; carência de estudos em regiões semiáridas e de transição climática; poucos trabalhos que avaliem o balanço completo de carbono em termos de CO₂ equivalente.

O avanço do conhecimento sobre sistemas ILPF depende da transição de estudos predominantemente descritivos para abordagens integradas e de longo prazo, capazes de capturar a complexidade das interações solo-planta-animal-atmosfera. Além disso, a validação dos resultados obtidos em condições experimentais sob cenários reais de produção constitui etapa indispensável para reduzir incertezas e ampliar a adoção dessas tecnologias em diferentes contextos produtivos.

4 Considerações Finais

Os sistemas integrados de produção, com destaque para a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), configuram-se como uma das estratégias mais promissoras para promover a intensificação sustentável da agropecuária em regiões tropicais. A literatura evidencia que esses sistemas são capazes de aumentar a eficiência do uso da terra, recuperar áreas degradadas e melhorar atributos físicos, químicos e biológicos do solo, ao mesmo tempo em que contribuem para o aumento dos estoques de carbono e para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Entretanto, os benefícios associados à ILPF não são universais nem homogêneos, sendo fortemente condicionados por fatores como o arranjo dos componentes, o tempo de adoção, as práticas de manejo e as condições edafoclimáticas. A variabilidade observada entre os estudos reforça que os efeitos positivos desses sistemas dependem de planejamento técnico adequado e manejo integrado, não podendo ser generalizados de forma indiscriminada.

Além disso, embora haja evidências consistentes de incremento nos estoques de carbono do solo, ainda persistem incertezas quanto ao balanço total de carbono e ao real potencial de mitigação climática desses sistemas, especialmente quando considerados os possíveis trade-offs associados ao aumento da intensificação produtiva, como as emissões de N_2O e CH_4 . Nesse sentido, a avaliação integrada dos fluxos de carbono e das emissões de GEE em termos de CO_2 equivalente representa um dos principais desafios para pesquisas futuras.

Outro aspecto crítico refere-se à necessidade de maior padronização metodológica e ampliação de estudos de longo prazo, capazes de capturar a dinâmica temporal dos sistemas integrados e suas respostas a diferentes condições ambientais. Adicionalmente, há uma lacuna significativa de informações em regiões semiáridas e de transição climática, onde a variabilidade ambiental pode influenciar de forma decisiva o desempenho desses sistemas.

Dessa forma, embora os sistemas ILPF apresentem elevado potencial para conciliar produção e sustentabilidade, sua efetividade como estratégia de mitigação das mudanças climáticas depende de abordagens integradas que considerem simultaneamente produtividade, qualidade do solo, balanço de carbono e viabilidade econômica.

Por fim, o avanço do conhecimento nessa área requer maior integração entre os componentes do sistema solo-planta-animal-atmosfera, bem como a ampliação de estudos em escala real de produção e o uso de ferramentas de modelagem capazes de subsidiar recomendações técnicas e políticas públicas mais aderentes às diferentes realidades produtivas.

Referências

ALMEIDA, Luana Larrisa de Souza *et al.* Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian cerrado. **Soil and Tillage Research**, Elsevier, v. 205, p.

104785, 2021.

ASSIS, Paula CR *et al.* Physical attributes of soil in integrated crop-livestock-forest systems/atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, ATECEL–Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior, v. 19, n. 4, p. 309–317, 2015.

ASSIS, Paula Camylla Ramos *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57–70, 2019.

ASSUNÇÃO, Shirlei Almeida *et al.* Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 658, p. 901–911, 2019.

BALBINO, Luiz Carlos *et al.* Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, SciELO Brasil, v. 46, n. 10, 2011.

COSTA, Marcela P *et al.* A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian cerrado based on ICA. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 171, p. 1460–1471, 2018.

CUNHA, Laís Ernesto *et al.* Unlocking sustainable profitability: Economic feasibility of integrated crop–livestock–forest systems for pasture recovery in the Brazilian cerrado. **Forests**, MDPI, v. 16, n. 6, p. 978, 2025.

FERRAZ, Rodrigo; SKORUPA, Ladislau. Intensificação sustentável: desafios e oportunidades para a agricultura brasileira. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 43, n. 2, p. 37–42, maio/ago. 2017. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1080531/1/2017042.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

FRAZÃO, Leidivan Almeida *et al.* Carbon and nitrogen stocks and organic matter fractions in the topsoil of traditional and agrosilvicultural systems in the southeast of Brazil. **Soil Research**, CSIRO Publishing, v. 59, n. 8, p. 794–805, 2021.

FREITAS, Igor Costa de *et al.* Soil carbon and nitrogen stocks under agrosilvopastoral systems with different arrangements in a transition area between cerrado and caatinga biomes in Brazil. **Agronomy**, MDPI, v. 12, n. 12, p. 2926, 2022.

FREITAS, Igor Costa de *et al.* Agrosilvopastoral systems and well-managed pastures increase soil carbon stocks in the Brazilian cerrado. **Rangeland Ecology & Management**, Elsevier, v. 73, n. 6, p. 776–785, 2020.

GIL, Juliana DB *et al.* Tradeoffs in the quest for climate smart agricultural intensification in Mato Grosso, Brazil. **Environmental Research Letters**, IOP Publishing, v. 13, n. 6, p. 064025, 2018.

LAL, Rattan. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, Wiley Online Library, v. 24, n. 8, p. 3285–3301, 2018.

LICKER, Rachel *et al.* Mind the gap: how do climate and agricultural management explain the ‘yield gap’ of croplands around the world? **Global Ecology and Biogeography**, Wiley Online Library, v. 19, n. 6, p. 769–782, 2010.

LOSS, Arcangelo *et al.* Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian cerrado. **Soil Research**, CSIRO Publishing, v. 50, n. 8, p. 685–693, 2013.

MARIN, Fábio R *et al.* Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 108–124, 2016.

MASSRUHÁ, Silvia Maria Fonseca Silveira *et al.* A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: **Agricultura Digital**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. cap. 1, p. 20–45. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1126214/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

NETO, Miguel Marques Gontijo *et al.* Mitigação de gases de efeito estufa em sistema de integração pecuária-floresta e potencial de produção de carne carbono neutro: Fazenda lagoa dos currais – curvelo-mg. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, n. 230, p. 1–19, 2018. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1103214/1/doc2301.pdf>>.

PAUL, Birthe K *et al.* Reducing agro-environmental trade-offs through sustainable livestock intensification across smallholder systems in northern tanzania. **International Journal of Agricultural Sustainability**, Taylor & Francis, v. 18, n. 1, p. 35–54, 2020.

PEREIRA, Paulo Rodrigo Ramos Xavier *et al.* Crop-livestock integration: a risk management approach for economic sustainability. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 3, p. e9206, 2025. Disponível em: <<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/9206>>. Acesso em: 23 jun. 2026.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo *et al.* Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. **Scientia Agricola**, SciELO Brasil, v. 77, p. e20180150, 2020.

PEZZOPANE, José Ricardo Macedo *et al.* Managing eucalyptus trees in agroforestry systems: Productivity parameters and par transmittance. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Elsevier, v. 312, p. 107350, 2021.

REIS, Júlio César Dos *et al.* Integrated crop-livestock systems: A sustainable land-use alternative for food production in the brazilian cerrado and amazon. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 283, p. 124580, 2021.

RIBEIRO, Juliana Martins *et al.* Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no cerrado mineiro. **Ciência Florestal**, SciELO Brasil, v. 29, n. 2, p. 913–923, 2019.

ROSSET, Jean Sérgio *et al.* Organic matter and soil aggregation in agricultural systems with different adoption times. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6Supl3, p. 3443–3460, 2019.

SALTON, Júlio Cesar *et al.* Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, SciELO Brasil, v. 46, n. 10, p. 1349–1356, 2011.

SANDERSON, Matt A *et al.* Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop–livestock systems. **Renewable agriculture and food systems**, Cambridge University Press, v. 28, n. 2, p. 129–144, 2013.

SANT-ANNA, Selenobaldo AC de *et al.* Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the brazilian cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Springer, v. 108, n. 1, p. 101–120, 2017.

SIATKOWSKI, Aldo *et al.* Uso de biodigestores em propriedades rurais para sustentabilidade e como ferramenta mitigadora de gases de efeito estufa (gee). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 51–71, 2022.

Histórico de submissão:

Submetido em: 26 de março de 2026 | Revisado em: 7 de maio de 2026 | Aceito em: 23 de junho de 2026 | Publicado em: 02 de julho de 2026

**Acesso Aberto**

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da **Licença Creative Commons**, que permite o uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

**Direitos Autorais**

Os autores retêm os direitos autorais e concedem à revista o direito de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a **Licença Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)**.

Como citar este artigo (ABNT NBR 6023:2025):

VIANA, Felipe Jorge *et al.* Dinâmica do carbono e mitigação de gases de efeito estufa em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: uma revisão narrativa das implicações para a intensificação sustentável em regiões tropicais. **Revista Vozes**, Teófilo Otoni/MG, v. 14, n. 29, p. 15-26, 2026. Disponível em: <https://revistas.ufvjm.edu.br/vozes/article/view/1445/1322>. DOI: <http://doi.org/10.70597/vozes.v14i29.1445>.