

**ACÚMULO DE CARBONO E FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE ILP**

por

LORENA MARTINS OLIVEIRA MENDES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Iporá-GO

Fevereiro – 2025

**ACÚMULO DE CARBONO E FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE ILP**

por

LORENA MARTINS OLIVEIRA MENDES

Comitê de Orientação:

Romano Roberto Valicheski, Prof. Dr. – IF Goiano

Sihélio Júlio Silva Cruz – Prof. Dr. – IF Goiano

M538a Mendes, Lorena Martins de Oliveira

Acúmulo de carbono e fracionamento químico da matéria orgânica do solo em sistema de ILP / Lorena Martins de Oliveira Mendes ; orientador Romano Roberto Valichesk/Sihélio Júlio Silva Cruz. – Rio Verde, 2025.

53 f.

Dissertação (Mestrado Profissional em Bionergia e Grãos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, campus Rio Verde.

1. Sequestro de carbono. 2. Produção conservacionista. 3. Substâncias húmicas. I. Valichesk, Romano R. (Orientador). II. Cruz, Sihélio J. S. III. IFGoiano. IV. Título.

CDU 631.4

Responsável: Ítala Moreira Alves (Bibliotecário-documentalista CRB-1 nº 2772)
Sistema Integrado de Bibliotecas – Instituto Federal Goiano



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 8/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ACÚMULO DE CARBONO E FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE ILP.

Autora: Lorena Martins Oliveira Mendes

Orientador: Romano Roberto Valichski

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADA em 28 de fevereiro de 2025.

Assinado eletronicamente
Dr. Patrick Bezerra Fernandes
Avaliador externo - IF Goiano Campus Rio Verde
Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Sihelio Julio Silva Cruz
Avaliador interno - IF Goiano Campus Iporá

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Gustavo Castoldi
Avaliador interno - IF Goiano Polo de Inovação
Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Romano Roberto Valichski
Presidente da Banca - IF Goiano Iporá

Documento assinado eletronicamente por:

- Romano Roberto Valichski, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 28/02/2025 11:13:16.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 28/02/2025 12:01:54.
- Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 28/02/2025 12:09:12.
- Patrick Bezerra Fernandes, 2024202344060004 - Discente, em 28/02/2025 13:34:51.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 682187
Código de Autenticação: e83e4a37cb



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 21/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº 104 (CENTO E QUATRO)
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e oito dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e cinco, às 09h (nove horas) reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada na Sala de Videoconferência no Pavilhão da Pesquisa e Pós-Graduação, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **LORENA MARTINS OLIVEIRA MENDES**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Romano Roberto Valichski, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida à autora da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Romano Roberto Valichski	IF Goiano – Campus Iporá	Presidente
Sihelio Julio Silva Cruz	IF Goiano – Campus Iporá	Membro interno
Gustavo Castoldi	IF Goiano – Polo de Inovação	Membro interno
Patrick Bezerra Fernandes	IF Goiano – Campus Rio Verde	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Romano Roberto Valichski, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2025 11:10:44.
- Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2025 12:09:47.
- Patrick Bezerra Fernandes, 2024202344060004 - Discente, em 28/02/2025 13:34:34.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2025 13:57:34.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 682173
Código de Autenticação: 0031fee7ee



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☒ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo: _____

Nome completo do autor:

LORENA MARTINS OLIVEIRA MENDES

Matrícula:

20231023315-40007

Título do trabalho:

ACÚMULO DE CARBONO E FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE ILP

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 22 / 04 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br
LORENA MARTINS OLIVEIRA MENDES
Data: 22/04/2025 08:35:29-0300
Verifique em <https://validar.ifgoiano.br>

Iporá

Local

22 / 04 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Cliente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br
ROMANO ROBERTO VALCHERES
Data: 22/04/2025 08:09:31-0300
Verifique em <https://validar.ifgoiano.br>

DEDICATÓRIA

A meu avô – Alcino Bernado de Lorena (*in memoriam*), que foi e sempre será meu exemplo de homem, pai e avô. E que tanto me ensinou e cuidou, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar a Deus, que por meio da sua graça permitiu vida e saúde todos os dias, e sem Ele nada poderia acontecer.

A coordenação do Programa de Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos do IFGoiano a qual permitiu o meu aperfeiçoamento acadêmico e profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski – IFGoiano Campus Iporá, por compartilhar seu conhecimento, pela disponibilidade e paciência de orientação ao longo do mestrado, obrigada.

Agradeço a minha família por todo o apoio, em especial meu marido, minha mãe, minha avó e meu padrinho, que foram fonte de sustentação para chegar até aqui, meu muito obrigada.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 <i>Sistemas de Produção de Grãos e Pecuária</i>	<i>3</i>
2.2 <i>Suplementação alimentar versus taxa de lotação</i>	<i>4</i>
2.3 <i>Incorporação de C Atmosférico no Solo</i>	<i>7</i>
2.4 <i>Frações da Matéria Orgânica do Solo</i>	<i>9</i>
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	12
CAPÍTULO 2 – Acúmulo de carbono e fracionamento químico da matéria orgânica do solo em sistema de ILP	1
INTRODUÇÃO	3
MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO

O revolvimento contínuo e intenso do solo, com a adoção de sistemas agrícolas baseados em monocultura ou em sucessões contínuas de culturas têm resultado na diminuição, ao longo dos anos, da produtividade, aumento da degradação do solo e dos recursos naturais. Essas práticas promovem a formação de camadas compactadas na subsuperfície dos solos, o que agrava os problemas de erosão, restringe o desenvolvimento radicular das plantas, reduz a disponibilidade de nutrientes e a quantidade de água disponível, impactando negativamente a produtividade das culturas (Loss *et al.* 2011, Hickman & Costa 2012, Loss *et al.* 2013).

As oscilações na produtividade das culturas causadas pelo cultivo convencional também estão relacionadas à interferência significativa desse sistema no ciclo global de carbono (C). Essa interferência ocorre pelo declínio do teor de carbono orgânico no solo (COS) e pelo aumento da decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), resultando na desagregação e dispersão das partículas. Esses processos levam à redução da infiltração de água e ao aumento do escoamento superficial, o que, por sua vez, provoca a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (EMBRAPA 2020, Guerra *et al.* 2022).

O solo é o maior reservatório de C, no ecossistema terrestre. Assim, quando o C não é adequadamente retido nos agregados do solo e na MOS, devido ao baixo aporte de palha e a rápida degradação da MOS, ele retorna para a atmosfera, aumentando a concentração e intensificando o efeito estufa, mantendo a terra mais quente do que estaria se o calor escapasse completamente para o espaço.

Diante do cenário de redução na produtividade e, conseqüentemente, na rentabilidade das culturas, juntamente com a necessidade do Brasil de diminuir as emissões de carbono, ao assumir o compromisso de, até 2030, reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em

43% em relação aos níveis de 2005, conforme estabelecido pelo Acordo de Paris (Leão *et al.* 2021), os sistemas de plantio direto (SPD), que envolvem o preparo mínimo do solo e a prática de rotação de culturas, além dos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e dos sistemas que incorporam o componente florestal (ILPF), têm se destacado no cenário produtivo brasileiro (Moreti *et al.* 2007, Loss *et al.* 2013).

Nestes sistemas, é preconizado a produção de forragem para a alimentação animal e o fornecimento de palhada para as culturas de verão, utilizando gramíneas e leguminosas com esse propósito (Soares *et al.* 2021). Além de propiciar ganhos na produtividade das culturas, também promove sequestro de CO₂ atmosférico no solo, configurando como uma alternativa promissora para melhorar a sustentabilidade do sistema produtivo (Bonetti *et al.* 2018, Laroca *et al.* 2018, Viaud *et al.* 2018, Nascimento *et al.* 2019, Tavanti *et al.* 2019, Reis *et al.* 2020, Zolin *et al.* 2021)

Durante o período de pastejo, visando otimizar o rendimento dos animais, via aumento da taxa de lotação, os produtores frequentemente oferecem alimentação suplementar proteica e/ou energética, o que ao longo do tempo pode alterar a quantidade de dejetos depositados na área, e conseqüentemente, os atributos químicos do solo, incluindo o aporte de carbono e os teores de ácidos húmicos, fúlvicos e huminas.

Essas frações químicas da matéria orgânica (MO) podem influenciar o desenvolvimento de espécies comerciais, como a soja. Por isso, é essencial compreender qual a contribuição da suplementação alimentar dos animais, associado a maior taxa de lotação, para esses compartimentos da MOS. Entretanto, até o momento, poucos estudos foram conduzidos com essa abordagem. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da suplementação alimentar proteica animal no aporte de carbono atmosférico ao solo, bem como nas frações químicas que compõem a matéria orgânica do solo; a fim de identificar qual manejo alimentar é mais promissor, visando maior sustentabilidade do sistema produtivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas de Produção de Grãos e Pecuária

O manejo convencional do solo, associado a adoção de sistemas agrícolas baseados em monocultura ou em sucessões contínuas de culturas, tem resultado na diminuição, ao longo dos anos, da produtividade, aumento da degradação do solo e dos recursos naturais. Essas práticas promovem a formação de camadas compactadas na subsuperfície dos solos, agravando os problemas de erosão, restringindo o desenvolvimento radicular das plantas, reduzindo a disponibilidade de nutrientes e a quantidade de água disponível, impactando negativamente a produtividade das culturas.

No Cerrado, devido ao manejo inadequado das áreas utilizadas para pastagem, dados estimados por Dias-Filho (2014), apontam que mais de 50% podem ser consideradas como fortemente degradadas, 25% moderadamente degradadas e apenas 20% não degradadas ou com sinais leves de degradação. A degradação de parte das áreas agricultáveis, aliada as exigências do mercado quanto a produtos oriundos de sistemas sustentáveis de produção, e ao elevado custo dos insumos, levou a agricultura moderna dos últimos tempos a focar na adoção de sistemas de manejo que proporcionem melhoria da qualidade do solo.

Considerado como uma alternativa para reverter a degradação da agropecuária tradicional, principalmente a perda de carbono no solo, e para incrementar a produtividade, contribuindo para o enfrentando das mudanças do clima, Salton *et al.* 2014, destacam o uso de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs), que permitem o desenvolvimento da agricultura, pecuária e silvicultura em uma mesma área (Balbino *et al.* 2011, Rachwal *et al.* 2022).

Este sistema, afeta diretamente a ciclagem de nutrientes no solo modificando os atributos químicos, físicos e biológicos, podendo ocorrer o sequestro de CO₂ atmosférico para o solo. No

mesmo, preconiza-se a produção de forragem para alimentação animal e o fornecimento de palhada para as culturas de verão, utilizando gramíneas e leguminosas, em virtude do desenvolvimento vigoroso do sistema radicular destas espécies, o que torna os SIPAs uma alternativa promissora para melhorar a sustentabilidade do sistema produtivo (Bonetti *et al.* 2018, Laroça *et al.* 2018, Viaud *et al.* 2018, Nascimento *et al.* 2019, Tavanti *et al.* 2019, Reis *et al.* 2020, Soares *et al.* 2021, Zolin *et al.* 2021, Valicheski *et al.* 2024).

Além da ausência de revolvimento do solo, Salton *et al.* 2011, ressaltam que a escolha das culturas para exploração do solo também pode contribuir para o aumento do estoque de C no solo, associado a adoção de sistemas de rotação que incluam culturas com grande formação de fitomassa (aérea e radicular) de elevada relação C:N; fundamental para preservação da MOS.

Silva *et al.* 2004, em um Latossolo argiloso da região do Cerrado, verificaram que pastagens cultivadas afetaram o teor de C no solo até 1,0m de profundidade, que variou entre 97,1 a 113,0 Mg ha⁻¹, sendo que as espécies que proporcionaram maior acúmulo foram o *Panicum maximum*, *B. brizantha* e *Paspalum atratum*, ficando mais de 50% deste total na camada de até 40cm de profundidade. Já Isernhagen *et al.* 2017, para diferentes sistemas de ILPF em região de transição Cerrado/Amazônia, observou que a conversão da vegetação nativa para em cultivo agrícola e florestal contribuiu para a redução dos estoques de COT no solo em 20% na camada de 0-30 cm, representando perda de 17,4 Mg ha⁻¹.

2.2 Suplementação alimentar versus taxa de lotação

A taxa de lotação (TL) mede a relação entre o número de unidades animais (UA) e a área ocupada em um período (Pedreira, 2002). Esse indicador é fundamental para o manejo adequado das pastagens e a oferta de alimentos aos ruminantes. Segundo Reis *et al.* 2009, quando a disponibilidade de forragem e nutrientes limita o consumo, suplementos concentrados podem ser utilizados para suprir essa deficiência. Essa tecnologia contribui para a intensificação

do sistema de produção, garantindo nutrientes extras aos animais e resultando em maiores ganhos por indivíduo e por área (Aguilar *et al.* 2006).

Quando o sistema de produção busca maximizar o ganho de peso dos animais, aumentar a produtividade por área e reduzir a idade de abate, a estratégia frequentemente adotada é a oferta de maiores quantidades de suplementos. Embora essa abordagem possa resultar na diminuição do consumo de forragem, o principal benefício é a elevação da taxa de lotação da área utilizada, favorecendo a intensificação do sistema.

Em um sistema intensivo, caracterizado por manejo contínuo e altamente rigoroso, buscando o ponto ótimo da pressão de pastejo, sem comprometer a qualidade da pastagem explorada, Reis *et al* 2017, ao realizarem a avaliação da suplementação na dose de 0,3% PC (peso corporal) durante o período das águas, na recria de tourinhos nelore em lotação contínua com taxa de lotação variável, evidenciaram impacto positivo na intensificação do sistema produtivo, constatando que, em um ambiente com adubação de 180 kg N/ha/ano, o uso de suplementos proporciona aumento significativo na taxa de lotação, uma vez que todos os tratamentos que incluíram suplementação, apresentaram maiores taxas de lotação em comparação ao uso exclusivo de sal mineral. A relação entre adubação, eficiência do uso do nitrogênio (N) e suplementação indica que, apesar de eficiência menor no aproveitamento do N, a adubação na dose de 180 kg N/ha/ano, quando combinada à suplementação, contribui para a intensificação do sistema, alcançando taxas de lotação próximas a 6,0 UA/ha no período chuvoso.

De acordo com EMBRAPA (2022), a avaliação do desempenho de bubalinos (*Bubalus bubalis*) em sistemas de recria e terminação com *Urochloa brizantha* (SYN *Brachiaria*) ‘Xaraés’, em áreas não sujeitas a inundação (terras firmes/cerrado) na Bacia do Rio Araguari, estado do Amapá, revelou importantes diferenças na produção. Embora o maior ganho médio diário (GMD) tenha sido registrado em pastagens de *B. brizantha* ‘Xaraés’ suplementadas com

proteína, o maior ganho por área, ao final do experimento, ocorreu naquelas que receberam apenas suplementação mineral. Esse resultado está diretamente associado a maior taxa de lotação animal utilizada no tratamento com suplementação mineral aos animais em área com *Urochloa brizantha* (SYN *Brachiaria*) ‘Xaraés’ em terra firme (2,8 UA/ha) durante o período. Assim, o cultivo de pastagens em terra firme no cerrado amapaense demonstrou otimizar o uso da área (0,25 e 0,32 ha/UA) em comparação às pastagens nativas inundáveis (3,33 ha/UA).

Casagrande (2010) relatou o impacto positivo da suplementação no desempenho animal e na taxa de lotação (TL) ao conduzir um experimento com novilhas de corte em pastagens de capim-Marandu, com o objetivo de reduzir a idade de abate. Os animais receberam suplementação com sal mineral ou com 0,3% do peso vivo (PV) de suplemento proteico-energético, em pastejo contínuo, com dosséis mantidos em três alturas: 15, 25 e 35 cm. O estudo revelou que os animais mantidos em pastagens mais altas apresentaram melhor desempenho individual, embora a taxa de lotação tenha sido inferior. Por outro lado, os pastos manejados a 15 cm de altura, pela maior taxa de lotação, possibilitaram desempenho superior por área. Além disso, o suplemento proteico-energético contribuiu para o aumento do desempenho dos animais, da taxa de lotação e, conseqüentemente, do ganho por área.

Assim, a suplementação alimentar de animais em pastejo, aliada a manejo adequado das pastagens, não apenas favorece o aumento da produtividade do sistema, mas também desempenha papel importante na absorção de carbono. Funcionando como mecanismo de retenção dentro do sistema global, captando o carbono gerado por outras fontes produtivas e transformando-o em biomassa útil. Esse processo contribui para a conversão do carbono em forragem, que posteriormente torna-se proteína de origem animal, tornando o sistema mais eficiente e sustentável.

2.3 Incorporação de C Atmosférico no Solo

No âmbito das mudanças climáticas globais, o solo agrícola e as formas de uso estão em foco, sobretudo por poderem atuar como dreno ou fonte de gases de efeito estufa (GEE), dependendo do sistema de manejo a que são submetidos (Costa *et al.* 2008). Uma vez que a entrada de C no solo está relacionada, principalmente, com o aporte de resíduos da biomassa aérea e radicular das plantas, liberação de exsudados radiculares, lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e transformação desses materiais carbonados pelos macros e microrganismos do solo.

Os teores de C em formas orgânicas (C orgânico) do solo estão diretamente ligados à interação com a biosfera. Por meio dos produtos da fotossíntese ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energia} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$), grande parte do C entra no solo. A fotossíntese, realizada pelos organismos autotróficos, é um processo muito importante para manter o equilíbrio de CO, na atmosfera e o ciclo do C na terra. Estima-se que a produção primária total (PPT) global de C pelo processo de fotossíntese seja de 120 Gt ano^{-1} de C. Em razão das perdas por meio do processo de respiração das plantas, tem-se a produção primária líquida (PPL), que, em termos globais, é estimada em 60 Gt ano^{-1} de C, metade da PPT (Silva & Mendonça, 2007). A PPL corresponde à produção líquida de material orgânico pelas plantas, fonte primária de energia para os demais organismos heterotróficos até tornar-se parte integrante da MOS.

Assim, sistemas de manejo de SPD, ILP são exemplos de cultivos que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo, constituindo em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de C-CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento global, uma vez que o balanço de C no solo é dependente da relação entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e as perdas de C para a atmosfera resultantes da oxidação microbiana do C orgânico a CO₂.

A MOS é mais um atributo que pode indicar a qualidade, visto que contribui de modo positivo para a formação e estabelecimento do vegetal, incidindo nas características físicas, químicas e biológicas do solo (Calil *et al.* 2016). Por sua vez, o carbono orgânico total (COT) e as frações advindas da MOS determinam o reflexo dos sistemas de manejos na qualidade e quantidade da matéria orgânica, cooperando para o estabelecimento da qualidade do solo (Nanzer *et al.* 2019).

Grande quantidade do carbono orgânico encontra-se nas camadas superficiais do solo, estando diretamente relacionado a maior deposição de resíduos sobre o solo e a maior concentração de raízes na camada superficial. Mascarenhas *et al.* (2017), afirmam que os maiores níveis de carbono orgânico no solo são observados na camada superficial, uma vez que os resíduos culturais em decomposição resultam em maior acúmulo de matéria orgânica nessas camadas. Para Bonneti *et al.* (2018), a quantidade de matéria orgânica do solo na camada superficial pode ser medida por meio das mudanças nos estoques de carbono do solo e as frações químicas e físicas, ou a combinação de ambas.

Deste modo, os resíduos vegetais presentes na superfície do solo beneficiam as culturas semeadas em sucessão, uma vez que proporcionam melhorias nas propriedades físicas (agregação das partículas e diminuição da compactação do solo), químicas (aumento nos teores de MOS na decomposição e mineralização dos resíduos vegetais) e biológicas (aumento da atividade de microrganismos) do solo (Costa *et al.* 2015).

O carbono acumula-se no solo em frações ativas (lábeis) ou mais estáveis. Essa estabilidade do C no solo tem implicações quanto ao efeito mitigador da elevação do CO₂ atmosférico, uma vez que, a fração lábil da MOS inclui resíduos de plantas em decomposição, formas solúveis em água, macrofauna edáfica e biomassa microbiana, podendo ocorrer a mineralização dos constituintes lábeis em poucas semanas ou meses (Silva & Mendonça, 2007).

Em contrapartida, os componentes mais estáveis da MOS, representados pelas substâncias húmicas (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas), são resistentes ao ataque microbiano e podem persistir no solo por centenas de anos, seja pela estrutura molecular recalcitrante ou por estarem fisicamente protegidos em complexos organominerais no interior dos agregados (Passos *et al.* 2007, Silva & Mendonça, 2007).

Desta forma, a taxa de decomposição do material orgânico e a consequente liberação de C-CO₂ são determinadas principalmente pelas características intrínsecas da própria matéria orgânica, tais como: relação C/N; teores de carboidrato; lignina; grau de agregação; características do solo (pH, teores de nutrientes e umidade) e características do ambiente (temperatura e precipitação), os quais serão determinantes na atividade microbiana de um solo (Davidson *et al.* 2013).

2.4 Frações da Matéria Orgânica do Solo

Sistemas de preparo ou cultivo que associam o plantio direto ao uso de forrageiras, para formação da palhada, apresentam grande potencial para mitigar a emissão de CO₂ atmosférico em regiões tropicais e subtropicais (Nicoloso *et al.* 2008). Nestes sistemas que contemplam o não revolvimento do solo, a manutenção dos resíduos culturais na superfície proporciona decomposição gradual, resultando no acúmulo do material orgânico no perfil do solo (Gazola *et al.* 2017).

A associação desse material com a fração mineral do solo favorece o aumento dos estoques de C no solo. No entanto, a retenção deste carbono depende das condições climáticas, do tipo e da mineralogia do solo, da quantidade e manejo dos resíduos culturais depositados, do manejo da fertilidade (adubação e calagem) e das culturas envolvidas no sistema de rotação (Salton *et al.* 2011, Bonneti *et al.* 2018).

Segundo Cunha *et al.* 2015, a relação carbono/nitrogênio (C:N) desempenha papel crucial na decomposição da MOS, afetando tanto os microrganismos, quanto a MO presente; sendo esta, a principal fonte de C para os microrganismos do solo. Mas nem todo o carbono presente na MO é transformado em biomassa microbiana, grande parte perde-se como CO₂ durante a mineralização, e o coeficiente por assimilação do COT é de aproximadamente 35% na prática.

A decomposição da matéria orgânica e a mineralização do húmus estão diretamente relacionadas a liberação de gás carbônico ou respiração edáfica. Quando se adiciona ao solo fonte de carbono, estimula-se a respiração microbiana. Este padrão é observado pela adição de carboidrato simples, por exemplo, glicose, que é uma molécula pequena e com ligações simples, facilmente decomponível e que pode ser submetida a rápida metabolização pela população microbiana do solo, consequentemente induz a liberação de C-CO₂ para a atmosfera (Loss *et al.* 2013).

O húmus é o compartimento que inclui as substâncias húmicas (SH), que contribuem com cerca de 85 a 90% do COT dos solos, e substâncias não húmicas, correspondente de 10 a 15% do COT, e constituída por grupos de compostos orgânicos bem definidos, como carboidratos, lignina, ácidos orgânicos, polifenóis, proteínas entre outros que são provenientes da ação e transformação da MO viva sobre o material orgânico que é aportado ao solo, ou, ainda, adicionados via exsudação das raízes (Silva & Mendonça 2007).

Loss *et al.* (2011), Silva *et al.* (2011) e Rossi *et al.* (2012), ao avaliarem as SH sob ILP, pastagem, SPD e vegetação nativa em um Latossolo Vermelho, constataram que no sistema ILP, a adição de C às SH e alterações nas frações químicas, via introdução da braquiária, foram maiores em comparação aos demais sistemas de manejo avaliados.

Assis *et al.* (2006), ao compararem o C orgânico entre macro e microagregados, inferiram que a fração húmica da matéria orgânica do solo seria responsável pelo aumento do COT nos macroagregados, enquanto os microagregados podem ser estabilizados pela matéria orgânica

mais persistente, resistente à degradação microbiana. Entretanto, a liberação da matéria orgânica particulada (MO - fração livre) durante a desagregação, que é responsável pela união dos agregados menores, também deve ser considerada.

As SH, são constituídas de macromoléculas humificadas amorfas, formadas por reações secundárias de síntese e têm propriedades distintas dos biopolímeros de organismos vivos, incluindo a lignina das plantas superiores. São consideradas indicativas dos processos e do grau de humificação da MOS, sendo subdivididas em ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HM) (Nascimento *et al.* 2019).

Os AF são compostos de maior solubilidade, menor tamanho molecular, de maior reatividade e maior polaridade, solúvel em meio alcalino; são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. Os AH são os compostos mais estudados e apresentam pouca solubilidade na acidez, normalmente encontrados em solos tropicais responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais. A HM, apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos tropicais, representa boa parte do C humificado do solo (Benites *et al.* 2003).

Ferreira *et al.* (2007), objetivando elucidar a contribuição do C orgânico na gênese dos agregados de um Argissolo e de um Neossolo, concluíram que a fração livre da MO (HM) é a principal componente da agregação e, como ela predomina nos microagregados, atuaria como agente cimentante com óxidos de ferro, formando agregados maiores.

Assim, variações na distribuição das formas das SH podem indicar o impacto do sistema de manejo na qualidade do solo. Alguns estudos demonstram que a HM é a mais abundante em solos de Cerrado ou em solos manejados, enquanto as frações AF e AH variam de acordo com o manejo adotado e a profundidade do solo (Fontana *et al.* 2006; Passos *et al.* 2007).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assis, P.R., L.F. Stone, J.M. Oliveira, F.J. Wruck, B.E. Madari & A.B. Heinemann. 2019.** Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. v. 12, n. 43, p. 57-70, Dourados-MS. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201942/1/CNPAF-2019-ra.pdf> Ago. 2024.
- Aguiar, A De-S. P.M. Santos & M.A.A. Balsalobre. 2006.** Avaliação da influência da suplementação alimentar sobre a estimativa da taxa de lotação animal em pastagens. Comunicado técnico 64. Embrapa. São Carlos-SP. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15434318.pdf> Abr 2025.
- Balbino, L.C., A.O. Barcellos & L.F. Stone. 2011.** Marco referencial: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). Brasília, DF: Embrapa. 130 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/923530/1/balbino01.pdf> Ago. 2024.
- Benites, V.M., B. Madari & P.L.O.A. Machado. 2003.** Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 7 p. (Embrapa solos. Comunicado técnico, 16). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/337076> Ago. 2024.
- Bonetti, J.A., H.B. Paulino, E.D. Souza, M.A.C. Carneiro & J.O. Caetano. 2018.** Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 53 p. 1239-1247. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001100006>.
- Calil, N.F., L.L. Nauara, T.S. Raissa, D.A.D.M. Mariana, V.G.B. Pedro, A.F.L. Pedro & D.R.N. Abadia. 2016.** Biomass and nutrition stock of grassland and accumulated litter in a silvopastoral system with Cerrado species. African Journal of Agricultural Research, v. 11, n. 38, p. 3701-3709. 10.5897/AJAR2016.11369
- CASAGRANDE, D.C. 2010.** Suplementação de novilhas de corte em pastagem de capim-marandu submetidas a intensidade de pastejo sob lotação contínua. 127p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/6c2e31ed-3386-47c5-a263-a9a1878844c8/content>. Abr 2025.
- Costa, F.S., C. Bayer, J.A Zanatta & J. Mielniczuk. 2008.** Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do

brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 1, p. 323-332.
<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000100030>.

Costa, N.R., M. Andreotti, K.S.M. Lopes, K.L. Yokobatake, J.P. Ferreira, C.M. Pariz, C.S.S. Bonini & V.Z. Longhini. 2015. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, p.852-863. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>

Cunha, T.J.F., A.M.S Mendes & V. Giongo. 2015. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R., REZENDE, M. O. O. (Org.). Recurso solo: propriedades e usos. São Carlos: Cubo. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1034986>. Out 2024.

Davidson, E.A., E. Belk & R.D. Boone. 2013. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. Global Change Biology, **In:** Loss, A., M.G.Pereira, S.J. Beutler, A. Perin & L.H.C. dos Anjos. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. Semina: Ciências Agrárias, v. 34, n. 5, p. 2153. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2153>.

Dias-Filho, M.B. 2014. Diagnósticos das pastagens no Brasil. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 36 p. (Série Documentos. 402). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>. Set 2024.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. 2020. Integração Lavoura-Pecuária em Solos Arenosos: estudo de caso da Fazenda Campina no Oeste Paulista. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 127 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216499/1/Doc-357-Luiz-Adriano.pdf> . Ago. 2024.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 2022. Efeito de sistemas de manejo alimentar no desempenho de bubalinos na Bacia do rio Araguari no estado do Amapá. – Macapá, AP: Embrapa Amapá, 21 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1145107/1/CPAF-AP-2020-Efeito-sistema-manejo-alimentar.pdf>. Abr 2025..

Ferreira, F.P., A.C. Azevedo, R.S.D. Dalmolin & D. Girelli. 2007. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. Ciência Rural, v.37, p.381-388. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000200013>.

- Fontana, A., M.G., Pereira, A. Loss, T.J.F. Cunha & J.C. Salton. 2006.** Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 5, p. 847-853.
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/158052>. Set 2024.
- Gazola, R.N., L.M.M. Melo, R.P. Dinalli, M.C.M. Teixeira & T.S. Celestrino. 2017.** Cultura da soja em sucessão ao cultivo de milho em consórcio com braquiárias. Cultura Agrônômica. v. 26, p. 225-236. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2017v26n3p225-236>
- Guerra, J.V.S., A.J.D. Carvalho, A.F. Portugal, I. Aspiazú, M.K. Kondo & S.R.D. Santos. 2022.** Agronomic performance of irrigated crop rotations under conventional and no-tillage systems in the semiarid region of Minas Gerais, Brazil. Revista Caatinga, v. 35, p. 33–43. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n104rc>. Ago. 2024.
- Hickmann, C. & L.M. da Costa. 2012.** Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração, Campina Grande-PB, v. 16, n. 10, p. 1055-1061,. Disponível em [http:// D:\Diagramacoes\RBEAA\v16n10\v1](http://D:\Diagramacoes\RBEAA\v16n10\v1). Out. de 2024.
- Isernhagen, E.C.C., R.A.R. Rodrigues, D. Diel, E.S. Matos & M.C.G. Conceição. 2017.** Estoques de carbono lábil e total em solo sob integração lavoura-pecuária-floresta na região de transição Cerrado/ Amazônia. Nativa, v. 5, p. 515-521.
<https://doi.org/10.31413/nativa.v5i7.4581>. Out 2024
- Laroca, J.V.S., J.M.A Souza, G.C. Pires, G.J.C. Pires, L.P. Pacheco, F.D. Silva, F.J. Wruck, M.A.C. Carneiro, L.S. Silva & E.D. Souza. 2018.** Qualidade do solo e produtividade da soja em sistema integrado lavoura-pecuária em plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 53:1248-1258. Disponível em:
<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/26419/14333>. Set 2024.
- Leão, A., A. Fortes, C.A. Zolin, J. Manguiera, M.A.A. Colmanetti & S.V. Cuadra. 2021.** Recuperação de solos degradados no Cerrado - alternativas para produção sustentável. 59p. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1137292>. Out 2024.
- Loss, A., M.G. Pereira, S.M. Giácomo, A. Perin & L.H.C. dos Anjos. 2011.** Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 10, p. 1269-1276.
<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2011001000022>.
- Loss, A., M.G. Pereira, S.J. Beutler, A. Perin & L.H.C. dos Anjos. 2013.** Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. Semina: Ciências Agrárias,

[S.L.], v. 34, n. 5, p. 2153, 17 out. 2013. Universidade Estadual de Londrina.
<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2153>.

- Mascarenhas, A.R.P., M.S.V. Scoti, R.R. Melo, F.L. de Oliveira Corrêa, E.F.M. de Souza, R.A. Andrade & M.W. Müller. 2017.** Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. Pesquisa florestal brasileira, v. 37, n. 89, p. 19-27. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.89.1295>.
- Moreti, D., M.C. Alves, W.V. Valério Filho & M. De P.E Carvalho. 2007.** Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 167-175. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000100017>.
- Nanzer, M.C., S.C. Ensinas, G.F. Barbosa, P.G.V. Barreta, T.P. de Oliveira, J.R.M. da Silva & Paulino, L. A. 2019.** Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 18, n. 1, p. 136-145. DOI:10.5965/223811711812019136.
- Nascimento, D.M., K.M.V. Cavalieri-Polizeli, A.H. Silva, N. Favaretto & L.M. Parron. 2019.** Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. Soil & Tillage Research, v. 186, n. 1, p. 292–299.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.016>
- Nicoloso, R. Da S., T. Lovato, T.J. Carneiro, C. Bayer & M.C. Lanza Nova. 2008.** Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.2425-2433. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600020> .
- Passos, R.R., Ruiz, H.A., Mendonça, E.S., Cantarutti, R.B. & A.P. Souza, 2007.** Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. Revista Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 1119-1129. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500027>.
- Rachwal, M.F.G., J.A. Zanatta, V.P. da Silva & L. Franciscon. 2022.** Impacto de sistemas produtivos nos estoques de carbono e nitrogênio do solo na Região Noroeste do Paraná. PFB- Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, PR, v.42, ed20200172, p. 1-13.
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1148886>. Set 24
- Reis, R.A., E.P. Romanzini & R.P. Barbero. 2017.** A suplementação como ferramenta no ajuste da taxa de lotação. Technical Report. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/320935545_A_suplementacao_como_ferramenta_no_ajuste_da_taxa_de_lotacao. Abr 25.

- Reis, J.C., G.S. Rodrigues, I. Barros, R.A.R. Rodrigues, R.D. Garrett, J.F. Valentim, M.Y.T. Kamol, M. Michetti, F.J. Wruck, S. Rodrigues Filho, P.E.O Pimentel & S. Smukler. 2020.** Integrated crop-livestock systems: A sustainable land-use alternative for food production in the Brazilian Cerrado and Amazon. *Journal of Cleaner Production*. 283, e124580. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124580>.
- Rossi, C.Q., M.G. Pereira, S.G. Giácomo, M. Betta & J.C. Polidoro. 2012.** Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100005>.
- Salton, J.C., M. João, C. Bayer, A.C. Fabricio, M.C.M. Macedo & D.L. Broch. 2011.** Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas integração lavoura-pecuária. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.46, n.10, p.1349-1356. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>.
- Salton, J.C., F.M. Mercante, M. Tomazi, J.A. Zanatta, G. Concenco, W.M. Silva & M. Retore. 2014.** Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>.
- Silva, E.F., E.P.R. Lourente, M.E. Marchetti, F.M. Mercante, A.K.T. Ferreira & G.C. Fujii. 2011.** Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321 1331. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000028>.
- Silva, I.R. & E.S. Mendonça. 2007.** Matéria orgânica do solo. In: Novais, R. F., V. V. H. Alvarez, N. F. Barros, R. L. F. Fontes, R. B. Cantarutti & J. C. L. Neves. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 275-374.
- Silva, J.E., D.V.S. Resck, E.J. Corazza & L. Vivaldi. 2004.** Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 103, p. 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.007>.
- Soares, M.B., R.F.R. Tavanti, A.R. Rigotti, J.P. De Lima, O.S. Freddi & F.A. Petter. 2021.** Use of cover crops in the southern Amazon region: What is the impact on soil physical quality? *Geoderma*, v. 384, 114796. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114796>.

- Tavanti, R.F.R., O.S. Freddi, V. Marchioro, T.R. Tavanti, F.S. Galindo, F.J. Wruck, L. Shiratsuchi & C.C. Breda. 2019.** Least limiting water as a soil indicator in an integrated crop-livestock systems of the Cerrado, Brazil. *Geoderma Regional*, n. 19, e00232. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00232>
- Valicheski, R.R., J.G. de Siqueira, T. do P. Paim, F.L. Claudio, E.M. Alves & R.L. de Assis. 2024.** Atributos químicos no solo em integração lavoura-pecuária com e sem pastejo em gramíneas forrageiras. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 11546, 12 jul. 2024. Centro Universitario de Maringa. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n2e11546>.
- Viaud, V., P. Santillán-Carvantes, N. Akkal-Corfini, C. Guillou, N.C. Prévost-Bouré, L. Ranjard & S. Menasseri-Aubry. 2018.** Landscape-scale analysis of cropping system effects on soil quality in a context of crop-livestock farming. *griculture. Ecosystems e Environment*. v. 265, p. 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.018>.
- Zolin, C.A., E.S. Matos, C.A.S. Magalhães, J. Paulino, R. Lal, S.T. Spera & M. Behling. 2021.** Short-term effect of a crop-livestock-forestry system on soil, water and nutrient loss in the Cerrado-Amazon ecotone. *Acta Amazonica*. v. 51, p. 102-112. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392202000391>

CAPÍTULO 2 – Acúmulo de carbono e fracionamento químico da matéria orgânica do solo em sistema de ILP

CAPÍTULO 2 – Carbon accumulation and chemical fractionation of soil organic matter in ICL system

RESUMO: As oscilações na produtividade das culturas, nos últimos anos, estão relacionadas à interferência significativa dos sistemas de cultivo no ciclo global de C, promovendo declínio do teor de COS, pelo baixo aporte de palha, tornando necessário a constante busca por sistemas de produção mais sustentáveis. Neste contexto, implantou-se um sistema de ILP (2021 – 2023), objetivando identificar o impacto da suplementação alimentar proteica (0,5%, 1,5%) do peso vivo dos animais (PV) e sal mineral, no aporte de C e nas substâncias húmicas presentes do solo. No período avaliado, a adoção do ILP proporcionou incremento de 0,45 g.kg⁻¹ nos teores de ácidos fúlvicos e de 1,55 g.kg⁻¹ nos teores de ácidos húmicos, ocorrendo alterações mais expressivas nos piquetes com a suplementação alimentar proteinada. Independente do manejo alimentar, houve incremento de 14,6 t.ha⁻¹ no estoque de C na camada de 0,0 – 0,40m de profundidade, que equivale a 53,7 t.ha⁻¹ de CO₂ atmosférico estabilizado no solo. Todos os manejos alimentares foram eficazes em aumentar a deposição de carbono no solo, no entanto, a suplementação com concentrado proteico-energético, teve efeito mais intenso, tornando-a uma estratégia de manejo promissora quando se busca a sustentabilidade e manutenção da qualidade do solo num curto período.

Palavras-Chave: ILP. Substâncias húmicas. Sequestro de C. Alimentação proteico-energética. Bovinos.

ABSTRACT: The oscillations in crop productivity in recent years are related to the significant interference of cropping systems in the global C cycle, promoting a decline in SOC content, due to the low straw input, which makes it necessary to constantly search for more sustainable production systems. In this context, an ICL system (2021 – 2023) was implemented, to identify the impact of protein feed supplementation (0.5%, 1.5%) of animal body weight (BW) and mineral salt, on the contribution of C and humic substances present in the soil. In the period evaluated, the ICL adoption provided an increase of 0.45 g.kg⁻¹ in fulvic acid content and 1.55 g.kg⁻¹ in humic acid content, with more significant changes occurring in paddocks with protein food supplementation. Regardless of feeding management, there was an increase of 14.6 t.ha⁻¹ in the C stock in the 0.0 – 0.40m depth layer, which is equivalent to 53.7 t.ha⁻¹ of atmospheric CO₂ stabilized in the soil. All food management was effective in increasing soil carbon deposition, however, supplementation with protein-energy concentrate had a more intense effect, making it a promising management strategy when seeking sustainability and maintenance of soil quality in a short period of time.

Key words: ICL. Humic substances. C sequestration Protein-energy feed. Cattle.

INTRODUÇÃO

As oscilações na produtividade das culturas, nos últimos anos, estão relacionadas à interferência significativa dos sistemas de cultivo (monoculturas e sucessões contínuas) no ciclo global de carbono (C), promovendo declínio do teor de carbono orgânico no solo (COS), pelo baixo aporte de palha, e aumento da decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), levando a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (EMBRAPA, 2020; Guerra *et al.*, 2022). O que torna o solo compactado, agrava os processos erosivos e limita o crescimento das raízes, consequentemente restringe a disponibilidade de nutrientes e água as culturas.

Neste contexto de redução da produtividade, aumento de custos e a necessidade do Brasil diminuir a emissão de gases do efeito estufa (GEE), como estabelecido pelo Acordo de Paris (Leão *et al.*, 2021), os sistemas de plantio direto (SPD), que envolvem o preparo mínimo do solo e a prática de rotação de culturas, além dos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e dos sistemas que incorporam o componente florestal (ILPF), têm se destacado no cenário produtivo ao melhorarem a qualidade do solo, estabilidade produtiva, reduzir custos, alinhando-se às exigências de sustentabilidade mundial (Loss *et al.*, 2013; Moreti *et al.*, 2007).

Nos sistemas de SPD, ILP e ILP a produção de forragem para a alimentação animal e o fornecimento de palhada para as culturas de verão, utilizando gramíneas e leguminosas (Soares *et al.*, 2021), promovem desenvolvimento vigoroso do sistema radicular dessas espécies, impactando a ciclagem de nutrientes no solo (Fernandes *et al.*, 2025), além de promover modificação nos atributos químicos (Valicheski *et al.*, 2024). Tais modificações, que incluem, o aumento no sequestro de CO₂ atmosférico no solo (Idrissou *et al.* 2024; Mori *et al.*, 2025), e os teores das substâncias húmicas (SH) presentes na MOS (Vogado *et al.*, 2024), ocorrem ao longo do tempo dado aumento da taxa de lotação (TL), quantidade de dejetos depositadas na

66 área ambos em função da dieta suplementar dos animais durante o período de pastejo no
67 sistema, para otimizar o ganho de peso durante o pastoreio.

68 Laroca *et al.* (2018), testando consórcio entre gramíneas e leguminosas em sistemas
69 de ILP, observaram que os consórcios com leguminosas proporcionaram incrementos dos
70 estoques de C, N total, aumento de C e N da biomassa microbiana, melhorando a qualidade do
71 solo com efeitos positivos sobre a produtividade de grãos de soja, enquanto os cultivos solteiros
72 contribuíram para o estresse da microbiota do solo. Já Silva *et al.* (2004), verificaram que
73 pastagens cultivadas afetaram o teor de C no solo até 1,0m de profundidade, variando entre 97,1
74 a 113,0 Mg.ha⁻¹, sendo que as espécies que proporcionaram maior acúmulo foram o *Panicum*
75 *maximum*, *B. brizantha* e *Paspalum atratum*. Por outro lado, Isernhagen *et al.* (2017), em
76 diferentes sistemas de ILPF na região de transição Cerrado/Amazônia, observaram que a
77 conversão da vegetação nativa para em cultivo agrícola e florestal contribuiu para a redução
78 dos estoques de COT no solo em 20% na camada de 0-0,30 m, representando perda de 17,4
79 Mg.ha⁻¹.

80 As substâncias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos e huminas), afetam na planta o
81 transporte de íons, a atividade respiratória, o conteúdo de clorofila, a síntese de ácidos nucleicos
82 e a atividade de várias enzimas (Canellas e Olivares, 2014), com efeitos estimulantes na parte
83 aérea, proporcionando incrementos do acúmulo de nutrientes foliares, da biossíntese de
84 clorofilas, da biossíntese de carotenoides, da presença de cloroplastos e do processo
85 fotossintético (Baldotto *et al.*, 2009; Mora *et al.*, 2012; Jannin *et al.*, 2012; Ameri e Tehranifar,
86 2012; Ahmad *et al.*, 2013). Também no solo, favorecem para complexação de metais, aumento
87 da capacidade de troca catiônica, fornecimento de nutrientes e retenção de umidade,
88 interferindo diretamente no metabolismo vegetal (Baldotto e Baldotto, 2015).

89 Assim, é essencial compreender qual a contribuição da suplementação alimentar dos
90 animais (que possibilita aumento na taxa de lotação), para esses compartimentos da MOS, nos

sistemas de produção. Entretanto, até o momento, poucos estudos foram conduzidos com essa abordagem.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da suplementação alimentar proteica animal no aporte de carbono atmosférico ao solo, bem como nos atributos químicos e nas substâncias húmicas; a fim de identificar qual manejo alimentar é mais promissor em termos de melhorias na fertilidade do solo e na sustentabilidade do sistema produtivo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado, na fazenda Encanto, no município de Montes Claros de Goiás/GO (-15.730465, -51.620913), cuja produção foi realizada sob sistema de integração Lavoura-Pecuária, implantado desde fevereiro de 2020, com taxas diferenciadas de suplementação alimentar em função do peso vivo dos animais (PV) durante o período de pastejo (Figura 1), sendo: suplementação mineral aditivada (0,1% do PV), suplementação proteico-energética (0,5% do PV) e suplementação de alto consumo (1,5 % do PV). A área total do experimento consistiu em 15 hectares, divididos em 9 piquetes de 1,67 ha cada, sendo os tratamentos dispostos em um delineamento em blocos ao acaso com três repetições.

BLOCO 1			BLOCO 2			BLOCO 3			CERRADO NATIVO
Proteinado 0,5% do peso vivo	Sal mineral 0,1% do peso vivo	Proteinado 1,5% do peso vivo	Sal mineral 0,1% do peso vivo	Proteinado 0,5% do peso vivo	Proteinado 1,5% do peso vivo	Proteinado 1,5% do peso vivo	Proteinado 0,5% do peso vivo	Sal mineral 0,1% do peso vivo	

Figura 1. Esquema da distribuição dos tratamentos avaliados nas parcelas experimentais.
Fonte: arquivo próprio.

A suplementação proteico-energética (0,5%) visou maior ganho em peso e acabamento dos animais com maior produção por área. Já a suplementação de alto consumo visou fornecer grande aporte de nutrientes aos animais, melhorando o desempenho de produção de carcaça, diminuindo o consumo de forragem e aumentando a taxa de lotação (Figura 2), mantendo por piquete, a quantidade de massa seca (MS) da forragem independente da suplementação.

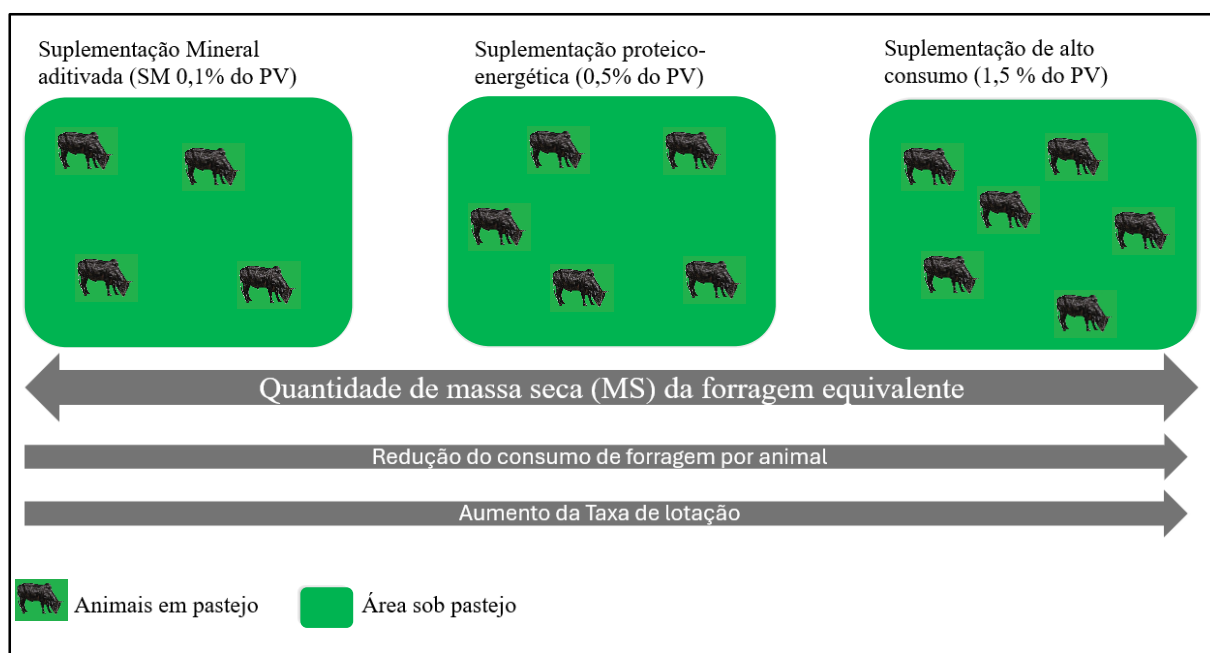


Figura 2. Suplementação alimentar complementar, e a influência no consumo de forragem pelos animais e na Taxa de lotação (quantidade de animais em determinada área). Fonte: arquivo próprio.

Apesar do experimento ter duração de quatro anos (Figura 3), para este trabalho, considerou-se as avaliações efetuadas no primeiro ano após implantação e correção de solo (2021) e as avaliações realizadas pós-período de pastejo da safra 2022/2023, especificamente em outubro de 2023.

Desde a implantação, nas mesmas parcelas experimentais estes tratamentos foram repetidos anualmente, exceto na safra 2021, que devido a restrição hídrica após a semeadura da espécie forrageira, não foi possível a formação da pastagem. Deste modo, considerando os

baixos valores de bases no solo e a elevada saturação por alumínio (m.%), principalmente nas camadas mais profundas, realizou-se em outubro de 2020 a aplicação de 2,0 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT de 78.0% + 1,0 t.ha⁻¹ de gesso agrícola, sendo a distribuição realizada a lanço, seguido de uma subsolagem até 0,40m de profundidade.

Independente do ano safra, na área experimental a soja foi cultivada no período de novembro a março e a forrageira (*Panicum maximum* cv. Zuri), implantada em sucessão após a colheita, sendo o pastoreio dos animais realizado no período de maio a agosto. Para escolha dos animais, efetuou-se padronização, sendo utilizado fêmeas com aproximadamente 20 meses de idade e peso médio de 270 kg no início do período experimental. Assim os animais iniciaram o pastejo no momento que a espécie forrageira atingiu altura de 0,80 a 1,00m, permanecendo em pastejo por aproximadamente 112 dias.

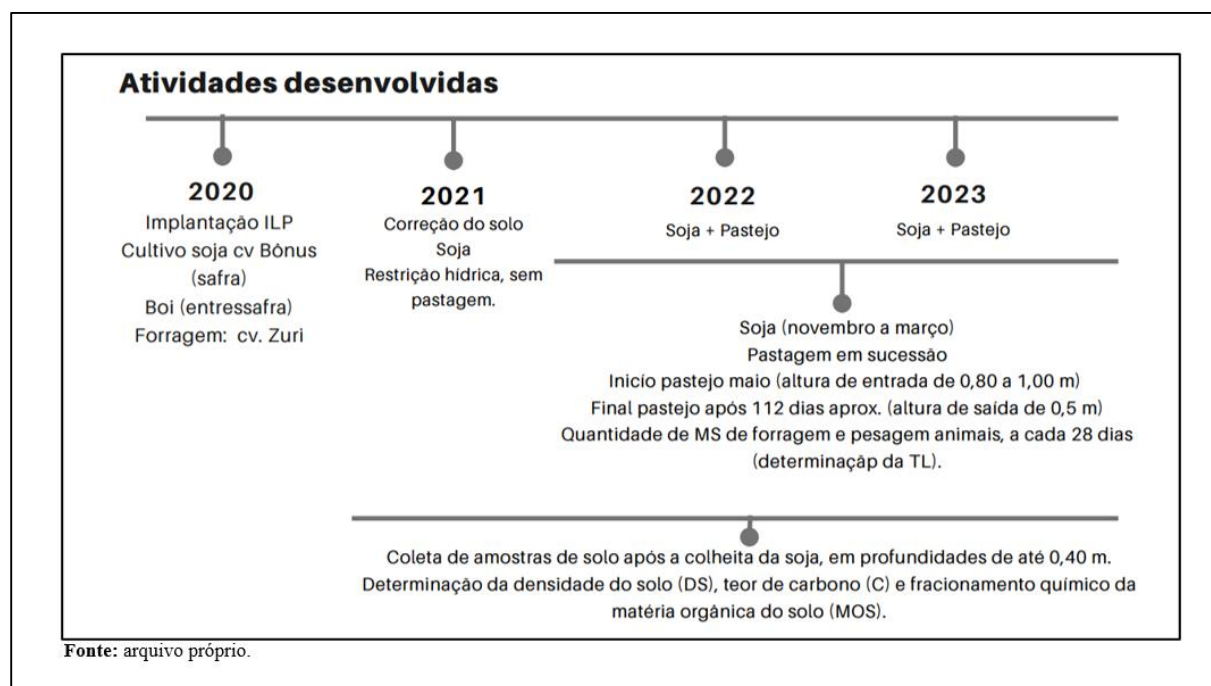


Figura 3. Resumo das atividades desenvolvidas em área de integração Lavoura-Pecuária com diferentes níveis de suplementação alimentar complementar durante o período de pastejo em Montes Claros de Goiás- GO.

Antes da entrada dos animais nos piquetes, realizou-se a quantificação da massa seca (MS) de forragem existente em cada piquete para ajuste da taxa de lotação, conforme a

quantidade de forragem. Este procedimento também foi realizado a cada 28 dias após o início do pastejo, a partir do corte das plantas a 10 cm do solo, acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar (65°C) durante 72 horas e pesadas novamente, para determinação da MS da forragem. A pesagem dos animais para ajustes da taxa de lotação e da quantidade de suplementação alimentar proteica a ser fornecida em cada tratamento avaliado, também foi realizada no mesmo intervalo de 28 dias.

O plantio da soja (cultivar Bônus), independente do ano/safra foi realizado na segunda quinzena de novembro, utilizando-se o espaçamento de 0,50m entrelinhas e distribuído 230.000 sementes por hectare. Como adubação de base, em todos os anos foi aplicado no sulco de semeadura 350 kg.ha⁻¹ de Superfosfato Simples (SFS). Já a adubação potássica (170 kg.ha⁻¹ de Cloreto de Potássio), foi efetuada a lanço antecedendo a semeadura da soja. Simultaneamente ao plantio, realizou-se a inoculação seguindo o protocolo padrão da fazenda Encanto, que consistiu, na aplicação de inoculantes à base de *Bradyrhizobium japonicum* - cepas SEMIA 5079 e 5080 (1,0 L.ha⁻¹) + *Azospirillum brasilense* – cepa AbV5 (0,2 L.ha⁻¹) + Quimifol-cálcio (1,0 L.ha⁻¹).

Quanto aos tratos culturais para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas realizados durante o ciclo da cultura, em toda a área experimental e em todos os cultivos realizados deste a implantação do experimento, foram seguidas as recomendações para o cultivo da soja na região.

Após a colheita da soja, em todos os anos coletaram amostras de solo nas camadas de 0,0-0,10m; 0,10-0,20m e 0,20-0,40m de profundidade, sendo em cada piquete, escolhidos 5 pontos de amostragem, sendo estes georreferenciados. Deste modo, para cada piquete, a amostra composta de cada profundidade foi formada pela coleta de 5 amostras simples.

Anualmente, em cada unidade experimental, determinou-se a densidade do solo (DS) pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2017), bem como o teor de C total do solo e o

174 fracionamento químico da matéria orgânica do solo (Mendonça e Matos, 2017). O teor de
175 matéria orgânica foi obtido através do teor carbono orgânico, determinado via úmida e oxidado
176 por dicromato de potássio. Os teores de ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina
177 (HUM) no solo, foram obtidos via metodologia baseada em Benites *et al.* (2003), que separa as
178 frações, operacionalmente em relação à solubilidade em função do pH da solução extratora
179 (base ou ácido) e os resíduos: fração AF (apresenta cor amarelo-parda e é solúvel em qualquer
180 valor de pH da solução), fração AH (cor castanho-escuro, está solúvel em meio alcalino e
181 insolúvel em meio ácido diluído) e HUM (o resíduo insolúvel que permanece como
182 precipitado).

183 Utilizando o método proposto por Freixo *et al.* (2002), e considerando os valores de
184 densidade do solo (D_s), quantificou-se o Estoque de Carbono Orgânico (ECO) no solo
185 aplicando a equação $ECO (Mg\ ha^{-1}) = (C \times D_s \times e)/10$, em que: C = Teor de COT na camada
186 ($g\ kg^{-1}$); D_s = densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$); e = espessura da camada em análise (cm). Também
187 determinou-se o Estoque de Matéria Orgânica no solo (EMOS) aplicando-se a equação
188 $EMOS(Mg\ ha^{-1}) = D_s \times e \times MOS$, em que: D_s = densidade do solo ($g\ cm^{-3}$); e = espessura da
189 camada do solo (cm); MOS = teor de matéria orgânica do solo ($dag\ kg^{-1}$), bem como o Crédito
190 de C equivalente ($CO_2\ eq$), utilizado a equação $Eq.CO_2 = EMOS \times 0,58 \times 0,044/0,012$, em
191 que: $CO_2\ eq$ = créditos de carbono equivalente ($Mg.ha^{-1}$); EMOS = quantidade de matéria
192 orgânica do solo ($Mg.ha^{-1}$); 0,58 = fator de ajuste, considerando que em 100 g de MOS tem 58
193 g de C (adimensional); 0,044 = peso molar de CO_2 (Kg); 0,012 = massa atômica do C (Kg).

194 Após tabulação, todos os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação
195 do Teste F a 5%, e quando detectado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram
196 comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa SASM-
197 Agri. (Canteri *et al.*, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando comparado os dados iniciais de 2021, com os obtidos 3 anos após a implementação do sistema ILP (Tabela 1), houve incremento de 21,6% nos teores de AF e de 201,8% de AH, indicando que a adoção do sistema de ILP foi eficiente aumentando as substâncias húmicas, consequentemente resultando no incremento de 9,88 t.ha⁻¹ no ECO, que equivale a 17,89 t.ha⁻¹ de CO₂ atmosférico estabilizado no solo (Eq.CO₂) em 3 anos após adoção do sistema. Este incremento de C estabilizado no solo via substâncias húmicas também proporcionou em 2023, maiores valores para a relação AH/AF, EA/HUM e índice de humificação (IH).

Tabela 1. Efeito isolado do ano de coleta em área de integração Lavoura-Pecuária com diferentes níveis de suplementação alimentar complementar, durante o período de pastejo para as frações das substâncias húmicas que compõem a matéria orgânica do solo e estoques de carbono, matéria orgânica e equivalente a CO₂. Montes Claros de Goiás- GO.

	AF	AH	HUM.	CO.	COT.	EA.
	-----g.kg ⁻¹ -----					
2021	2,069 b	0,767 b	7,203	10,039 b	16,143	2,836 a
2023	2,517 a	2,315 a	6,898	11,821 a	16,773	4,832 a
	ECO	EMOS	Eq. CO ₂	AH/AF	EA/HUM	IH.
	-----Mg.ha ⁻¹ -----			-----relação-----		
2021	21,42 b	45,55 b	96,88 b	0,361 b	0,397 b	64,34 b
2023	31,30 a	53,97 a	114,77 a	0,918 a	0,737 a	71,23 a

AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM. – huminas; CO. – carbono orgânico; COT. – carbono total, EA. – extrato alcalino, ECO – Estoque de Carbono Orgânico; EMOS – Estoque de matéria orgânica, Eq. CO₂ – equivalente a CO₂; IH. – índice de humificação.

Desta forma percebe-se que a adoção da ILP, mesmo em curto período (3 anos), proporcionou efeitos positivos nas substâncias húmicas existentes no solo, bem como no estoque de carbono orgânico (ECO), estoque de matéria orgânica (EMOS) e equivalente de CO₂ atmosférico (Eq.CO₂), o que o torna promissor quando se visa incremento de C no solo.

Para Nicoloso *et al.* (2008), nestes sistemas de produção agropecuária, os efeitos positivo nos atributos químicos do solo, teor de matéria orgânica e substâncias húmicas, estão associados

ao mínimo revolvimento do solo e ao uso de espécies forrageiras para formação de palhada, que além de propiciarem a ciclagem de nutrientes (Fernandes *et al.*, 2025), contribuem ativamente para o incremento de C no solo, uma vez que prioriza a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, resultando no acúmulo C orgânico no perfil do solo no decorrer do tempo.

Além disso, nos sistemas de ILP os dejetos dos animais (fezes e urina) contribuem para o aporte de matéria orgânica no solo, fornecendo nutrientes e favorecendo a formação de matéria orgânica estável, que pode aumentar o estoque de carbono no solo (Mori *et al.*, 2025; Valicheski *et al.*, 2024;). Tem também o pastejo dos animais, que ao consumirem a parte aérea das plantas, estimula a renovação do sistema radicular, aumentando a deposição de raízes no solo e melhorando a atividade microbiana, fato que possivelmente contribuiu no decorrer das safras, para o maior aporte de C estabilizado no solo.

Quanto ao efeito isolado da profundidade, houve gradiente decrescente nos teores de AF, AH e HUM, ao longo das camadas avaliadas (Tabela 2), obtendo-se maiores valores na camada de 0,0 – 0,10m (2,45; 2,08 e 9,40 g.kg⁻¹), seguida da camada de 0,10 – 0,20m (2,37; 1,58 e 6,30 g.kg⁻¹) e 0,20 – 0,40m (2,1; 0,97 e 5,59 g.kg⁻¹), respectivamente. Comportamento semelhante foi observado para os teores de carbono orgânico (CO), carbono total (COT), extrato alcalino (EA) e relação AH/AF. Já para a camada mais profunda (0,20-0,40m), por ser mais espessa, observou-se maior ECO, EMOS e Eq. CO₂. Esta camada também teve maior IH, indicando a presença de frações mais estáveis da matéria orgânica.

A concentração de substâncias húmicas nas camadas mais superficiais do solo em sistemas de ILP pode ser justificada pela rotação entre lavouras e pastagens, gerando deposição constante de resíduos vegetais e dejetos animais (Idrissou *et al.*, 2024), que são fontes de carbono para a formação de substâncias húmicas (Bonetti *et al.*, 2018), bem como pela alternância entre culturas e pastagem, que contribui para maior ciclagem de nutrientes

(Fernandes *et al.* 2025), promovendo maior atividade e biodiversidade microbiana, e consequentemente, a retenção de carbono e o acúmulo de compostos húmicos na superfície do solo (Mascarenhas *et al.* 2017; Soares *et al.*, 2021; Vogado *et al.*, 2024).

Tabela 2. Efeito isolado da profundidade das camadas de solo em área de integração Lavoura-Pecuária, com diferentes níveis de suplementação alimentar complementar, durante o período de pastejo para as frações das substâncias húmicas que compõem a matéria orgânica do solo e estoques de carbono, matéria orgânica e equivalente a CO₂. Montes Claros de Goiás- GO.

	AF	AH	HUM.	CO.	COT.	EA.
	-----g.kg ⁻¹ -----					
0,0 – 0,10m	2,45 a	2,08 a	9,40 a	13,93 a	21,91 a	4,52 a
0,10 – 0,20m	2,37 a	1,58 b	6,30 b	10,24 b	15,60 b	3,94 b
0,20 – 0,40m	2,1 b	0,97 c	5,59 c	8,63 c	11,86 c	3,04 c
	ECO	EMOS	Eq. CO ²	AH/AF	EA/HUM	IH.
	-----Mg.ha ⁻¹ -----			-----relação-----		
0,0 – 0,10m	28,38 b	48,93 b	104,05 b	0,84 a	0,48 b	64,47 b
0,10 – 0,20m	22,64 c	39,03 c	83,00 c	0,65 b	0,64 a	65,74 b
0,20 – 0,40m	35,57 a	61,33 a	130,43 a	0,43 c	0,58 ab	73,15 a

AF – ácido fúlvico; AH – ácido húmico; HUM. – huminas; CO. – carbono orgânico; COT. – carbono total, EA. – extrato alcalino, ECO – Estoque de Carbono Orgânico; EMOS – Estoque de matéria orgânica, Eq. CO₂ – equivalente a CO₂; IH. – índice de humificação.

Quanto ao efeito da interação dos níveis de suplementação alimentar em função do ano de coleta (Figura 4A), para os teores de AH, independente do manejo alimentar, houve incremento do teor no solo, sendo menos expressivo quando os animais foram suplementados somente com sal mineral (SM). Verifica-se que no ano inicial (2021), os teores de AH eram semelhantes, mas em 2023, observou-se maior concentração nos piquetes com suplementações proteico-energética de 0,5% do PV e 1,5% do PV, demonstrado a maior capacidade que a adoção de estratégia alimentar com concentrado tem de incorporar carbono no solo, fato este que pode estar associado a maior deposição resíduo orgânico ao solo, principalmente fezes e urina. Idrissou *et al.* (2024), ao estudarem 360 unidades de criação de gado na Nigéria, concluíram que o esterco produzindo pelos animais contribui a cerca de 85% a mais que os resíduos de culturas para o sequestro de carbono, em todos os tipos de criação avaliados, sendo

pecuária com o cultivo de cereais e leguminosas (integrados); pecuária com cereais e leguminosas e culturas forrageiras ou pecuária com pastejo rotacionado.

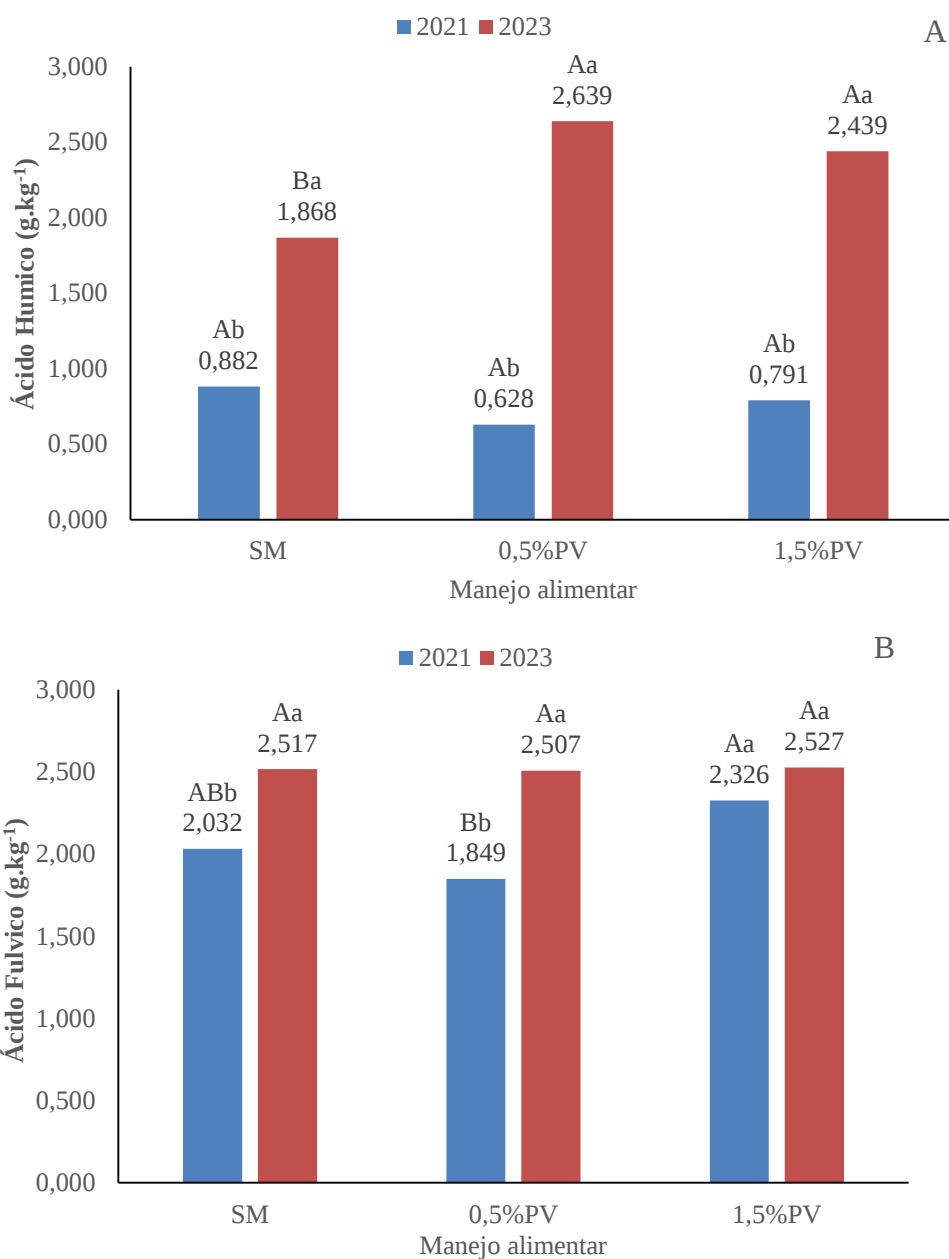


Figura 4. Teor de ácido húmico (A) e fúlvico (B) em área de integração Lavoura-Pecuária, em função da interação dos níveis de suplementação alimentar e do ano de coleta. Montes Claros de Goiás, GO. Letras maiúsculas comparam o efeito do ano entre os manejos alimentares e letras minúsculas comparam o efeito do ano em cada manejo alimentar.

Já Mori *et al.* (2025), observaram aumento no estoque de carbono em sistemas de soja com culturas de cobertura de inverno no período de 2001 a 2023, passando de 47,8 para 52,0 Mg ha⁻¹

¹. Esse incremento ocorreu independentemente da presença ou ausência de pastejo. Os autores relacionam esse resultado à eficiência do uso de recursos, impulsionada inicialmente pelos altos inputs de carbono, principalmente nas frações de AH e AF, pela maior quantidade de massa foliar depositada e raízes no solo, provenientes da adubação inicial com nitrogênio. Contudo, nos anos subsequentes, o estoque de carbono tendeu a estabilização, mostrando que a contínua manutenção do sistema integrado de produção é capaz de manter a qualidade dos solos ao longo dos anos, mas com incorporação de C de forma menos exponencial como nos anos iniciais.

Para os teores de AF (Figura 4B), ao longo dos anos, independentemente da estratégia de suplementação utilizada, também houve incremento desta fração da matéria orgânica no solo, no entanto, este incremento foi menos expressivo que para o AH (Figura 4A). Ao comparar os teores de AF o ano de 2023, não houve diferença estatística em função do manejo alimentar, contudo, observa-se que a suplementação com 0,5% do PV, foi a estratégia que mais teve incremento nos teores AF (0,66 g.kg⁻¹), como também para AH (2,01 g.kg⁻¹), indicando que a estratégia alimentar dos animais é capaz de alterar significativamente o ritmo da decomposição e o aporte de C no solo, principalmente com a adição de ração proteinada.

Gazolla *et al.* (2015), ao avaliarem no sudoeste de Goiás o carbono orgânico total e as frações químicas (AH, AF e HUM) da matéria orgânica do solo (MOS) em um Latossolo Vermelho sob SPD com ILP, em comparação com uma área em SPD sem ILP e áreas de Cerrado natural (CE) e pastagem (PA), observaram que, dentre as frações da MOS, a HUM foi a que apresentou maiores teores, em relação as demais, independente da área estudada e profundidade analisada, estando relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade desta fração.

Assim, a menor variação dos teores AF de um ano para outro, dentro do manejo alimentar, dar-se-á principalmente por ser uma fração da MOS de menor estabilidade (Fontana *et al.*, 2006), que pode ser translocada para camadas mais profundas, polimerizadas ou mineralizadas,

e diminuir, assim, o teor residual no solo, além de exigir maior nível de decomposição dos resíduos, também requer maior período para alterações mais acentuadas nos níveis.

Os incrementos dos teores isolados de AH, AF e EA, ao longo do experimento, promoveu alteração crescente nas relações AH/AF e EA/HUM, independente do manejo alimentar (Figura 5A, 5B e 5C). No entanto, maiores aumentos foram verificados quando os animais foram submetidos a suplementação alimentar com 0,5% ou 1,5% do PV com concentrado proteico-energético durante o período de pastejo, diferindo do manejo somente com SM.

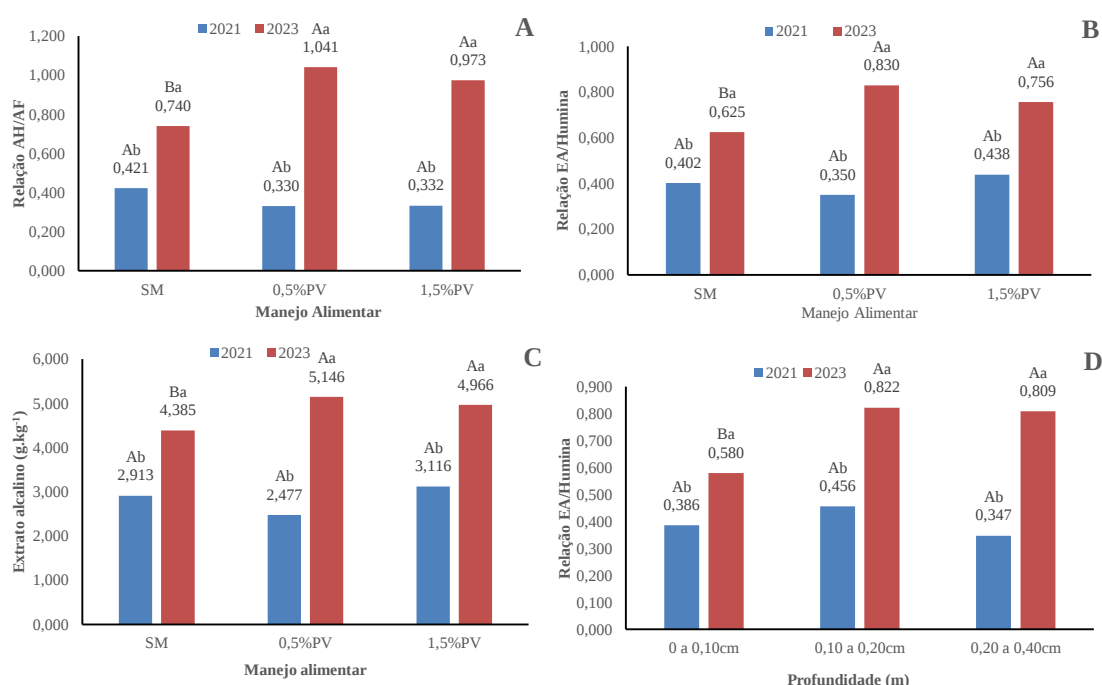


Figura 5. Relações AH/AF (A), EA/Humina (B) e extrato alcalino (C) em função da interação dos níveis de suplementação alimentar e do ano de coleta, e relação EA/Humina (D) em função do ano e da profundidade em área de integração Lavoura-Pecuária, Montes Claros de Goiás, GO. Letras maiúsculas comparam o efeito do ano entre os manejos alimentares e/ou profundidades e letras minúsculas comparam o efeito do ano em cada manejo alimentar e/ou profundidade.

No ano de 2023, a relação AH/AF ficaram mais próximas de 1 em todos os manejos alimentares, indicando de acordo Gazolla *et al.* (2015), um solo de qualidade, que permite o estabelecimento de atributos físicos e químicos favoráveis ao desenvolvimento de plantas, podendo este resultado ser decorrente dos maiores conteúdos de MOS depositados nas áreas ao longo do período de manejo, com tendência a maior equilíbrio das frações da MOS no solo. Além disso, a maior relação AH/AF dos manejos com concentrado proteico-energético deve-se ao maior teor de CO e AH.

Compreendido como a fração da MOS solúvel em soluções alcalinas, o EA é composto principalmente por AH e AF, que atua como indicador do grau de humificação e mobilidade da MOS, além da disponibilidade de nutrientes para as plantas, observar-se que de 2021 a 2023, os manejos alimentares aumentaram a quantidade de EA no solo (Figura 5C), em função da maior deposição de matéria orgânica no solo, e conseqüentemente, incremento das frações AH e AF nesse período, sendo resultados maiores, observados com suplementação proteica (0,5 e 1,5% do PV).

A maior capacidade das suplementações com concentrado em aumentar os teores de AH, AF (Figura 5A e 4B), CO (Tabela 1) e EA (Figura 5C) em relação a manejo alimentar somente com SM, pode estar atrelada, a redução do consumo de pastagem, aumento da taxa de lotação, aumento no volume de dejetos, principalmente urina, e redução da relação C:N presente nos dejetos a serem decompostos. Fontana *et al.* (2006), Gazolla *et al.* (2015), Isernhagen *et al.* (2017), entre outros autores, destacam que a elevada relação C:N auxiliam na incorporação de MOS, pois o tempo de meia-vida é maior, resultando em menor velocidade de decomposição e mantendo os resíduos vegetais sobre o solo por maior tempo.

Ao avaliar a relação EA/Hum, em função a interação ano x profundidade (Figura 5D), assim como para interação ano x manejo alimentar (Figura 5B), tem-se o aumento independente da profundidade e da estratégia de suplementação alimentar. Em 2023, os maiores valores

observados para as camadas de 0,10 – 0,20m e 0,20 – 0,40m, sugerem maior mobilidade da matéria orgânica no perfil do solo, indicando menor estabilidade do carbono orgânico no solo, pois a matéria orgânica solúvel é mais suscetível à decomposição microbiana.

Estes resultados corroboram com os obtidos por Benittes *et al.* (2001), que ao realizar caracterização da MO e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro-MG, observaram nos horizontes espódicos (mais profundos), maiores relações EA/HUM, enquanto em horizontes superficiais as relações EA/HUM apresentaram-se de maneira geral menores que 1.

As maiores relações EA/HUM sob suplementações com concentrado proteico-energético indicam maior proporção de AF e AH em relação à HUM, sugerindo que os manejos estão conseguindo aportar mais MO no solo, nas frações mais reativas do solo, contribuindo para melhoria dos atributos químicos, e criando condições mais favoráveis para melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas em profundidade.

Em relação aos teores médios de AH na camada de 0,0 -0,40m de profundidade (Figura 6), houve efeito significativo da interação dos fatores manejo alimentar x ano de coleta. Deste modo, ao analisar o efeito do manejo alimentar, de 2021 para 2023, houve aumento para todos os manejos testados. No entanto, observou-se menor incremento (22,72%) na dieta com SM, enquanto nos piquetes em que houve o fornecimento de 0,5% PV e 1,5% PV, este incremento foi de respectivamente, 319,2% e aumentou 308,3%, indicando que o fornecimento da alimentação proteinada afetou o teor desta fração da matéria orgânica do solo.

De acordo com Hoffmann *et al.* (2014), o menor incremento de AH na suplementação somente com SM, pode estar relacionada a diminuição da digestibilidade ruminal da fração fibrosa da forragem, podendo ocasionar maior tempo de retenção de resíduos fibrosos no rúmen e usualmente reduzir o consumo de forragem, o que interfere diretamente no crescimento individual, taxas de aparecimento e mortalidade de perfilhos, determinação do acúmulo de

forragem e a estrutura do dossel, levando a menor renovação da pastagem e consequentemente na deposição de MO na superfície do solo.

Por outro lado, nos tratamentos com suplementação, o aumento expressivo na concentração de AH na camada de 0,0-0,40m, pode estar relacionado ao maior consumo de matéria seca provinda da forragem, ocasionado maior renovação do dossel, deposição de dejetos e MO no solo. Visto que a suplementação proteico-energética, segundo Moore (1999), pode apresentar três efeitos interativos entre o consumo de forragem e o consumo de suplemento, sendo eles efeito associativo combinado (aumenta o consumo de matéria seca total - CMST, mas diminui o CMS de forragem); aditivo (CMS de forragem sem alteração, aumentando o CMS total); e substitutivo (CMST inalterado, e reduz o CMS da forragem, na mesma proporção do aumento do CMS do suplemento).

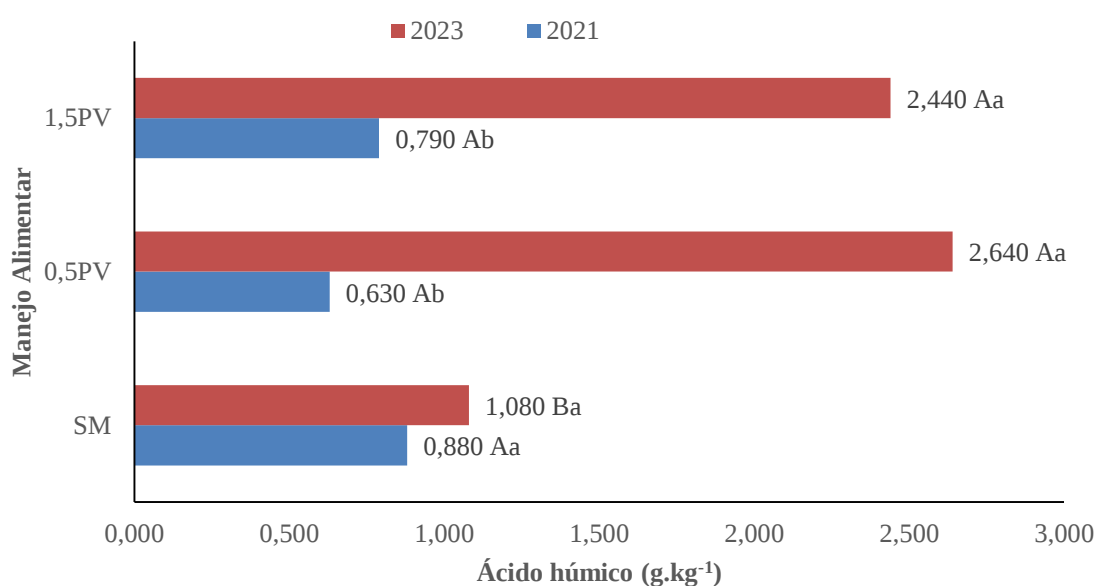


Figura 6. Teor médio de ácido húmico na camada de 0,0 -0,40m de profundidade em função da interação do manejo alimentar e do ano de coleta em área de integração Lavoura-Pecuária, Montes Claros de Goiás, GO. Letras maiúsculas comparam o efeito do ano entre os manejos alimentares e letras minúsculas comparam o efeito do ano em cada manejo alimentar.

Esta relação entre suplementação proteica-energética e o CMST, e usualmente deposição de MO no solo, e consequentemente, maior concentração de AH ao longo do perfil, foi constatado por Dias *et al.* (2015), pois ao avaliarem o CMST de novilhos em pastagem com e sem suplementação proteico-energética, verificaram que os animais que receberam a suplementação alimentar apresentaram maior consumo ($7,07 \text{ kg.dia}^{-1}$) de MS total, enquanto que para os animais suplementados somente com sal mineral, este consumo foi de $6,03 \text{ kg.dia}^{-1}$ de MS total.

Na produção a pasto ou em sistemas integrados, quando as gramíneas são bem manejadas e os animais possuem maior eficiência produtiva, o sistema funciona também como agente mitigador de GEE e não somente como agente poluidor (Wang, 2015). Sob boas condições, as pastagens poderão promover maior sequestro de carbono, podendo conter e reverter o aquecimento resultante do efeito estufa, por meio da captura e estocagem de CO_2 da atmosfera (Cardoso, 2012). No entanto, esta capacidade de o solo atuar como sumidouros de carbono depende do equilíbrio entre entradas e saídas deste elemento durante o processo de produção (Vogado *et al.*, 2024).

No ILP conduzido neste trabalho, considerando a camada de 0,0 – 0,40m de profundidade, mesmo que num curto período de implantação dos sistemas produtivos (2021 a 2023), verificou-se que, independentemente das estratégias utilizadas na alimentação dos bovinos, o sistema foi eficiente em aportar C ao solo (Figura 7), com incremento significativo no estoque de carbono do solo (ECO), e consequentemente, no estoque de matéria orgânica (EMOS) e equivalente a CO_2 (Eq. CO_2). Neste período houve aporte de $14,64 \text{ t.ha}^{-1}$ no estoque de C do solo (ECO), equivalente a $25,25 \text{ t.ha}^{-1}$ de MOS, que representa o total adicional de $53,68 \text{ t.ha}^{-1}$ de CO_2 retido no solo.

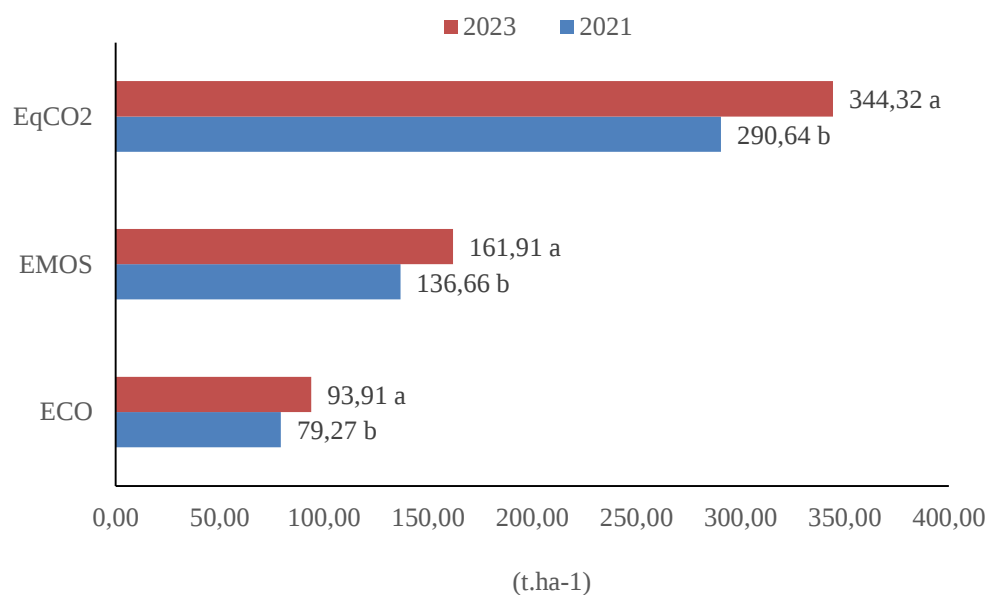


Figura 7. Teor médio do estoque de carbono orgânico (ECO), matéria orgânica do solo (EMOS) e equivalente a CO₂ (Eq. CO₂) na camada de 0,0-0,40m de profundidade em área de integração Lavoura-Pecuária, Montes Claros de Goiás, GO. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5,0% de probabilidade.

Considerando que a área total do experimento foi de 15 hectares, durante o período experimental, a adoção do sistema de ILP, proporcionou incremento total 210 toneladas de C ao solo na camada de até 0,40m de profundidade, indicando que o sistema foi eficiente em aportar carbono ao solo, sendo uma estratégia promissora quando visa o sequestro de C atmosférico no solo e participação em programas de créditos de C.

Este incremento de C no solo, considerando a adoção do sistema de ILP em uma escala regional ou nacional, além de gerar crédito de C para os produtores e contribuir para mitigação das mudanças climáticas pelo sequestro de CO₂ (Idrissou *et al.* 2024; Mori *et al.*, 2025), melhora a estrutura do solo, a capacidade de retenção de água, fertilidade, atividade biológica (Almeida *et al.*, 2021), refletindo no aumento da produtividade, redução de custos de produção (Guerra *et al.*, 2022).

Wang *et al.* (2015), observaram que a utilização de manejo e gestão adequada das áreas de pastagens, associados a técnicas de pastejo rotacionado elevam a capacidade de sequestro de

440 carbono pelas pastagens. O mesmo benefício é relatado por Chang *et al.* (2014), que ao
441 avaliarem áreas de pastagens degradadas e recuperadas, observaram taxas de sequestro de
442 carbono 0,04 a 2,00 Mg/ha/ano. Assim, além de reduzir a emissão de CH₄ e trazer incremento
443 no desempenho animal, a melhoria nas condições das pastagens pode aumentar o sequestro de
444 carbono mitigando a emissão de GEE.

445

CONCLUSÃO

A suplementação proteinada na alimentação dos animais afetou a composição química da matéria orgânica do solo de forma mais acentuada, proporcionando, de maneira mais intensa incremento de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e do extrato alcalino do solo até 0,40m de profundidade, o que torna promissora a adoção quando se visa agilidade no aporte de C ao solo e sustentabilidade do sistema produtivo.

Independente do manejo alimentar, a adoção do sistema de ILP associado ao adequado manejo da pastagem, demonstrou ser eficiente no aporte de C ao solo, aumentado o estoque de carbono, matéria orgânica e equivalente a CO₂ até 0,40m de profundidade, tornando-o promissor quando se visa a o sequestro de C atmosférico e mitigação da emissão de gases de efeito estufa no processo produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, I., SAQUIB, R.U., QASIM, M., SALEEM, M., KHAN, A.S., YASEEN, M. Humic acid and cultivar effects on growth, yield, vase life, and corm characteristics of gladiolus. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 73, p. 339-344. 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392013000400002>.
- AMERI, A., TEHRANIFAR, A. Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristic *Fragaria ananassa* var: camarosa. **Journal of Biological Environmental Science**, v. 6, p. 77-79. 2014. Disponível em: <https://uludag.edu.tr/dosyalar/jbes/16/mak10.pdf>. Jan 25.
- ALMEIDA, L.L.S., FRAZÃO, L.A., LESSA, T.A.M., FERNANDES, L.A., VELOSO, A.L.C., LANA, A.M. Q., SOUZA, I.A., PEGORARO, R.F., FERREIRA, E.A., Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. *Soil & till. Res.* 205, 104785, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104785>.
- BALDOTTO, L.E.B., BALDOTTO, M.A., GIRO, V.B., CANELLAS, L.P., OLIVARES, F.L., BRESSAN-SMITH, R. Desempenho do abacaxizeiro ‘Vitória em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante aclimação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 979-990. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400022>.
- BALDOTTO, L.E.B., BALDOTTO, M.A. Growth and production of ornamental sunflower grown in the field in response to application of humic acids. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1000-1005. 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140050>.
- BENITES, V. M., B. MADARI & P.L.O.A. MACHADO. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 7 p. (**Embrapa solos. Comunicado técnico, 16**). 2003. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/337076>. Jan 25.
- BONETTI, J.A., H.B. PAULINO, E.D. SOUZA, M.A.C. CARNEIRO & J.O. CAETANO. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 53 p. 1239-1247. 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001100006>.
- CANELLAS, L.P., OLIVARES, F.L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 1, p. 1-11. 2014. Disponível em: <https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/2196-5641-1-3>. Jan 25.
- CANTERI, M.G., ALTHAUS, R.A., VIRGENS FILHO, J.S., GIGLIOTI, E.A., GODOY, C.V. SASM - Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação** v.1, p.18-24. 2001. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/512901>. Jan 25.

CHANG, X.F., X.X. ZHU, X.X.; WANG, S.P.; CUI, S.J.; LUO, C.Y.; ZHANG, Z.H. AND WILKES, A. 2014. Impacts of management practices on soil organic carbon in degraded alpine meadows on the Tibetan Plateau. **Biogeosciences**, 11: 3495-3503.

DIAS, L.S.D., R.R. SILVA, F.F. da SILVA, G.G.P. de CARVALHO, R.K.C. BRANDÃO, A.L.N da SILVA, D.S. BARROSO, T.O.J. D' ALMEIDA LINS & F.B.L. MENDES. Recria de novilhos em pastagem com e sem suplementação proteico/ energética nas águas: consumo, digestibilidade dos nutrientes e desempenho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 985-998. 2015. 10.5433/1679-0359.2015v36n2p985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3º Ed. 574p. .2017. ISBN 978-85-7035-771-7. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Jan 25.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Integração Lavoura-Pecuária em Solos Arenosos: estudo de caso da Fazenda Campina no Oeste Paulista. – Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 127 p. 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1125366/1/Doc-357-Luiz-Adriano.pdf>. Jan 25.

FERNANDES, P.B., T. do P. PAIM, B.L. CABRAL, L.F. GONÇALVES, E.M. ALVES, F.L. CLÁUDIO, L.J. dos SANTOS & R.R. VALICHESKI. Crop-livestock integrated system and grass-legume intercropping on soil chemical composition and plant production in Brazilian savannah. **New Zealand Journal of Agricultural Research**. 1–19. <https://doi.org/10.1080/00288233.2025.2454605>.

FONTANA, A., M.G., PEREIRA, A. LOSS, T.J.F. CUNHA & J.C. SALTON. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 5, p.847-853. 2006. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/158052>. Set 2024.

FREIXO, A.A., MACHADO, P.L.O.A., GUIMARÃES, C. M., SILVA, C.A., FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 425-434, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200016>.

GAZOLA, P.R., R.F. GUARESCHI, A.P.M.G. PEREIRA & C.Q. ROSSI. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704. 2015. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p693>.

GUERRA, J.V.S., A.J.D. CARVALHO, A.F. PORTUGAL, I. ASPIAZÚ, M.K. KONDO & S.R.D. SANTOS. Agronomic performance of irrigated crop rotations under conventional and no-tillage systems in the semiarid region of Minas Gerais, Brazil. **Revista Caatinga**, 35, 33–43. 2022. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n104rc>.

HOFFMANN, A.; MORAES, E.H.B.K.; MOUSQUER, C.J. Produção de bovinos de corte no sistema de pasto-suplemento no período seco. **Nativa**, v.2, n.2, p.119-130, 2014. <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa>.

IDRISSOU, Y., E. VALL, V. BLANFORT, M. BLANCHARD, I. A. TRAORÉ & P. LECOMTE. Integrated crop-livestock effects on soil carbon sequestration in Benin, West Africa. **Heliyon**. v.10. 2024. e28748. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28748>.

ISERNHAGEN, E.C.C., RODRIGUES, R.A.R., DIEHL, D., MATOS, E.S., CONCEIÇÃO, M.C.G. Estoques de carbono lábil e total em solo sob integração lavoura-pecuária-floresta na região de transição Cerrado/ Amazônia. **Nativa**, v. 5, p. 515-521, 2017. <https://doi.org/10.31413/nativa.v5i7.4581>.

JANNIN, L., ARKOUN, M., OURRY, A., LAÎNÉ, P., GOUX, D., GARNICA, M., FUENTES, M., FRANCISCO, S. S., BAIGORRI, R., CRUZ, F., HOUDUSSE, F., GARCIA-MINA, J. M., YVIN, J. C., ETIENNE, P. Microarray analysis of humic acid effects on *Brassica napus* growth: Involvement of N, C and S metabolisms. **Plant Soil**, v. 359, p. 297-319. 2012. DOI:[10.1007/s11104-012-1191-x](https://doi.org/10.1007/s11104-012-1191-x).

LAROCA, J.V.S., J.M.A SOUZA, G.C. PIRES, G.J.C. PIRES, L.P. PACHECO, F.D. SILVA, F.J. WRUCK, M.A.C. CARNEIRO, L.S. SILVA & E.D. SOUZA. Qualidade do solo e produtividade da soja em sistema integrado lavoura-pecuária em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 53:1248-1258. 2018. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/26419/14333>. Set 2024.

LEÃO, A., A. FORTES, C.A. ZOLIN, J. MANGUEIRA, M.A.A. COLMANETTI & S.V. CUADRA. **Recuperação de solos degradados no Cerrado - alternativas para produção sustentável**. 59p. 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1137292>. Out 2024.

LOSS, A., M.G. PEREIRA, S.J. BEUTLER, A. PERIN & L.H.C. DOS ANJOS. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 34, n. 5, p. 2153, 17 out. 2013. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2153>.

MASCARENHAS, A.R.P., M.S.V. SCCOTI, R.R. MELO, F.L. DE OLIVEIRA CORRÊA, E.F.M. DE SOUZA, R.A. ANDRADE & M.W. MÜLLER. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 37, n. 89, p. 19-27. 2017. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.89.1295>.

MENDONÇA, E.S., MATOS, E.S. Matéria orgânica do solo – métodos de análises. 2017. 2º Edição, 221 p.

MOORE, J.E.; BRANT, M.H.; KUNKLE, W.E.; HOPKINS, D.I. Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, and animal performance. **Journal of Animal Science**. Savoy, v.77. suppl. 2, p.122-135. 1999. https://doi.org/10.2527/1999.77suppl_2122x.

MORA, V., BAIGORRI, R., BACAICOA, E., ZAMARREÑO, A.M., GARCÍA-MINA, J.M. The humic acid-induced changes in the root concentration of nitric oxide, IAA and ethylene do not explain the changes in root architecture caused by humic acid in cucumber.

Environmental and Experimental Botany, v. 76, p. 24-32. 2012.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.10.001>.

MORETI, D., ALVES, M. C., VALÉRIO FILHO, W. V., CARVALHO, M. DE P. E. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000100017>.

MORI, L.D., V.J.L.P. SIMÕES, C. dos S. CARGNELUTTI, L.P. DUARTE, G.L. LEAL, A.P.S. DOBERSTEIN, T.R. KUNRATH, P.A. de A. NUNES, E.D. de SOUZA, C. BAYER & P.C de F. CARVALHO. Grazing intensity for enhanced resource use efficiency in integrated crop-livestock systems: Balancing soil carbon storage and food security. **Journal of Environmental Management**.v. 373. 2025. 123541.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123541>.

NICOLOSO, R. DA S., T. LOVATO, T.J. CARNEIRO, C. BAYER & M.C. LANZANOVA. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2425-2433. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600020> .

SILVA, J.E., RESCK, D.V.S., CORAZZA, E.J., VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 357–363, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.007>.

SOARES, M.B., TAVANTI, R.F.R., RIGOTTI, A.R., DE LIMA, J.P., FREDDI, O.S., PETTER, F.A. Use of cover crops in the southern Amazon region: What is the impact on soil physical quality? **Geoderma**, v. 384, 114796, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114796>.

VALICHESKI, R.R., J.G. DE SIQUEIRA, T. DO P. PAIM, F.L. CLAUDIO, E.M. ALVES & R.L. DE ASSIS. Atributos químicos no solo em integração lavoura-pecuária com e sem pastejo em gramíneas forrageiras. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 11546, 12 jul. 2024. Centro Universitario de Maringa.
<http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2024v17n2e11546>.

VOGADO, R.F., H.A. de SOUZA, E. SAGRILO, L.de C.R de BRITO, S.R. MATIAS, M.L.T NETO, J.O.L. de O. JUNIOR, H.A.F.de ANDRADE & L.F.C. LEITE. Soil organic carbon stocks and fractions under integrated systems and pasture in the Cerrado of Northeast Brazil. **Catena**. v. 243. 108196. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108196>.

WANG, T.; TEAGUE, W.R.; PARK, S.C. AND BEVERS, S. 2015. GHG Mitigation potential of different grazing strategies in the United States Southern great plains. **Sustainability**, 7: 13500-13521.