



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

FERNANDO FREITAS PINTO JÚNIOR

**Produção, decomposição de palhada e liberação de nutrientes por plantas de
cobertura em sistemas integrados na região Meio-Norte**

Chapadinha - MA

2025

FERNANDO FREITAS PINTO JÚNIOR

**Produção, decomposição de palhada e liberação de nutrientes por plantas de
cobertura em sistemas integrados na região Meio-Norte**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Meio ambiente e recursos naturais

Linha de Pesquisa: Produção agrícola e desenvolvimento sustentável

Orientador: Dr. Jordânio Inácio Marques

Coorientador: Dr. Edvaldo Sagrilo

Chapadinha - MA

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Pinto Júnior, Fernando Freitas.

Produção, decomposição de palhada e liberação de nutrientes por plantas de cobertura em sistemas integrados na região Meio-Norte / Fernando Freitas Pinto Júnior. - 2025.

66 f.

Coorientador(a) 1: Edvaldo Sagrilo.

Orientador(a): Jordânio Inácio Marques.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais/ccch, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-ma, 2025.

1. Resíduos Vegetais. 2. Gramínea Forrageira. 3. Ciclagem de Nutrientes. 4. Bioma Cerrado. 5. Glycine Max. I. Marques, Jordânio Inácio. II. Sagrilo, Edvaldo. III. Título.

FERNANDO FREITAS PINTO JÚNIOR

**Produção, decomposição de palhada e liberação de nutrientes por plantas de
cobertura em sistemas integrados na região Meio-Norte**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovado em: 23/09/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques
Universidade Federal do Maranhão

Profa. Dra. Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos
Universidade Federal do Maranhão

Profa. Dra. Maryzélia Furtado de Farias
Universidade Federal do Maranhão

Dedico esta dissertação aos meus pais Fernando e Losangela, que são e sempre serão meus maiores exemplos de vida, por apoiar e acreditar no meu sonho.

Às minhas avós Dolores e Graça pelo por ser meu refúgio, pelo amor e carinho.

Aos meus irmãos Julia, Taila e Felipe, assim como todos meus sobrinhos, por serem motivos de alegria em minha vida, por acreditar em mim e nos momentos mais difíceis estavam me alegrando e motivando a seguir firme nos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, por me guardar, proteger e guiar durante toda minha jornada, sendo minha base para que nenhuma tribulação fizesse com que eu desistisse dos meus propósitos.

Aos meus pais pelos ensinamentos, conselhos, acolhimento e por me apoiarem em todo meu projeto de vida. Aos meus irmãos Júlia, Taila e Felipe e sobrinhos, Valetin e Eduarda. Eu amo vocês infinitamente.

À minha segunda família: Tia Telma, Tio Artur, Alisson, Adamo e Ayala e todos meus sobrinhos, Ana Beatriz, Lorena, Rodrigo, Enrico, Gabriel e Laurinha obrigado por estarem sempre ao meu lado me apoiando, vocês são incríveis e estarão comigo por onde for, sempre.

Às minhas avós por serem meu orgulho e serem essenciais em minha vida. As minhas tias Vera e Luísa, por serem fundamentais em todas as etapas da minha jornada, essa conquista também é de vocês.

À minha companheira Maria Eduarda, pela paciência, incentivo e motivação, seu companheirismo foi calmaria em dias turbulentos.

Ao meu orientador do programa Dr. Jordânio Inácio Marques, pela parceria firmada e por acreditar no meu potencial. Aos meus orientadores e coorientadores na EMBRAPA Meio-Norte, Dr. Sagrilo, Dr. Oscar e Dr. Henrique. Agradeço a confiança depositada em mim e aos valiosos conhecimentos repassados.

À minha mãe científica Profa. Dra. Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos e a profa. Dra. Maryzélia Furtado de Farias pelas orientações, conselhos e apoio, obrigado pelo acolhimento. Obrigado por todos os momentos e ensinamentos que compartilhamos.

À Dra. Hosana Andrade por estar disponível sempre que possível para me orientar e auxiliar na vida acadêmica (desde a graduação) e ser um espelho para mim como pessoa e profissional. Serei eternamente grato pela ajuda, consideração e incentivo.

As pessoas que foram essenciais durante essa jornada: Gabrielle Melo, Vanilza Chaves, Mayara Raposo, Luiz Alberto, Karolline Rosa, Igor Silva, Miguel Sérgio, Izakiel Reis, Ana Beatriz, Rita de Kássia, Amanda Miranda, Maria Laiane, Thais Santiago, José Henrique, Daiane Sousa, Samuel Pontes, etc. A colaboração de vocês foi fundamental para a realização deste trabalho, além de possibilitarem momentos ímpares na minha vida e descontração durante a caminhada acadêmica. Quem tem bons amigos nunca se sentirá desamparado!

A minha turma do PPGCAM em especial meus amigos Vinicius Sampaio, Janaiane, Luciana Camilo, Gilcyvan Costa, Karolline Rosa, Daniel Andrade, Janine Quadros e Shyrley Viana. Foi um prazer desfrutar esses dois anos de pós com vocês.

À Fazenda Barbosa e Fazenda Vô Desidério pela oportunidade e experiências que me foram proporcionadas, por acreditar e apoiar a pesquisa científica, por todo conhecimento repassado e credibilidade depositadas a mim.

À Universidade Federal do Maranhão - UFMA, pela oportunidade de cursar uma pós-graduação.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa de Pesquisa Brasileira Agropecuária – EMBRAPA Meio-Norte, por disponibilizar laboratórios para execução de todas as análises, pelo suporte técnico e financeiro (SEG: 20.22.03.036.00.00), fundamentais para realização deste projeto. Aos funcionários e servidores, em especial aos meus amigos Moreira, Duarte, Francisco e Daniel por facilitar com bom atendimento as demandas, sem comprometer os trâmites.

À todos meus fãs e *haters*, essa conquista também é pra vocês, tamo junto!

“Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois, o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1:9

RESUMO

O Piauí e Maranhão compõem a porção Norte do MATOPIBA, com importante contribuição para o aumento de produção dessa região, devido à existência de áreas agricultáveis ainda disponíveis para expansão. Nas áreas de cultivo agrícola são encontradas alta variabilidade em seus diferentes tipos de solo, clima e vegetação, refletindo diretamente na fertilidade e nos teores e estoques de matéria orgânica do solo. Além disso, as diferentes possibilidades de uso e ocupação da terra tornam o manejo do solo e da matéria orgânica um fator complexo e relevante para a sustentabilidade da agricultura nesta porção do Nordeste. Os sistemas integrados constituem uma importante alternativa para otimizar o uso dos recursos naturais com sinergias entre produção agrícola, no âmbito econômico e ambiental. Embora os sistemas integrados sejam reconhecidamente relevantes na sustentabilidade dos agroecossistemas, ainda são necessárias pesquisas que busquem identificar plantas de cobertura promissoras diante das condições edafoclimáticas desafiadoras da região Meio-Norte. Objetivou-se avaliar a produção de biomassa, a dinâmica da decomposição e a liberação de nutrientes de espécies de gramíneas forrageiras em consórcio com o milho, utilizadas como culturas de cobertura do solo em sistemas integrados de produção no Cerrado do Meio-Norte do Brasil. Os experimentos foram conduzidos em sistema Integração Lavoura Floresta (ILF) na Fazenda Vó Desidério, em Bom Jesus-PI, no Cerrado do Sudoeste do Piauí e sistema Integração Lavoura Pecuária (ILP) na Fazenda Barbosa, em Brejo-MA, no Leste do Maranhão. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 5 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: gramíneas forrageiras do gênero *Megathyrsus* e *Urochloa* em consórcio com milho e milho solteiro, como testemunha. Foram avaliados a decomposição dos resíduos vegetais, avaliação da produtividade de grãos e massa seca de forragem e avaliação da fertilidade do solo. Os dados foram submetidos e verificados quanto à normalidade e homogeneidade das variâncias e submetidos à análise de variância. Quando significativos, os dados de produtividade (biomassa de gramíneas e grãos de milho e soja) e teores de nutrientes foram comparados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Não houve efeito significativo para produção de biomassa residual em Brejo-MA. Em Bom Jesus-PI, M+Massai diferiu dos demais tratamentos. Para fertilidade do solo após consórcio, apenas os atributos químicos K, Fe e Mn em Bom Jesus e Zn em Brejo, apresentaram diferença. Houve efeito significativo na produtividade da soja em Bom Jesus. Os consórcios M+Ruziziensis em Bom Jesus proporcionam maior disponibilidade de K^+ , Fe^{3+} e Mn no solo. Em Brejo M+Marandu, proporciona incremento de Zn. O consórcio de gramíneas forrageiras do gênero *Megathyrsus* e *Urochloa* não reduzem a produtividade do milho quando consorciado. O cultivo de M+Ruziziensis em Bom Jesus e M+Tamani em Brejo, embora não tenha resultado em aumento da produtividade da soja, apresentam potencial como plantas de cobertura no Cerrado da região Meio-Norte do Brasil. Novos estudos são necessários para avaliar os efeitos de longo prazo da interação entre o consórcio do milho e gramíneas forrageiras sobre a fertilidade do solo, ciclagem dos nutrientes e produtividade do consórcio das culturas em outras condições experimentais ou sazonal.

Palavras-chave: Resíduos vegetais, Ciclagem de nutrientes, Bioma Cerrado, Gramínea forrageira, *Glycine max*.

ABSTRACT

Piauí and Maranhão make up the northern portion of MATOPIBA, contributing significantly to increased production in this region due to the existence of arable land still available for expansion. Agricultural areas exhibit high variability in soil types, climate, and vegetation, which directly affects soil fertility and organic matter content and stocks. In addition, the different possibilities for land use and occupation make soil and organic matter management a complex and relevant factor for the sustainability of agriculture in this part of the Northeast. Integrated systems are an important alternative for optimizing the use of natural resources with synergies between agricultural production, in the economic and environmental spheres. Although integrated systems are recognized as relevant to the sustainability of agroecosystems, research is still needed to identify promising cover crops in the challenging soil and climate conditions of the Mid-North region. The objective was to evaluate biomass production, decomposition dynamics, and nutrient release of forage grass species in consortium with corn, used as ground cover crops in integrated production systems in the Mid-North Cerrado of Brazil. The experiments were conducted in an Agroforestry System (ILF) at Fazenda Vó Desidério, in Bom Jesus-PI, in the Cerrado of Southwest Piauí, and in an Agro-Livestock System (ILP) at Fazenda Barbosa, in Brejo-MA, in Eastern Maranhão. The experimental design was randomized blocks with five treatments and four replicates. The treatments were: forage grasses of the genus *Megathyrsus* and *Urochloa* in consortium with corn and corn alone, as a control. Plant residue decomposition, grain yield and dry forage mass, and soil fertility were evaluated. The data were submitted and verified for normality and homogeneity of variances and subjected to analysis of variance. When significant, productivity data (grass biomass and corn and soybean grains) and nutrient contents were compared using Tukey's test ($P < 0.05$). There was no significant effect on residual biomass production in Brejo-MA. In Bom Jesus-PI, M+Massai differed from the other treatments. For soil fertility after intercropping, only the chemical attributes K^+ , Fe^{3+} and Mn in Bom Jesus and Zn in Brejo showed a difference. There was a significant effect on soybean productivity in Bom Jesus. The M+Ruziziensis intercrops in Bom Jesus provide greater availability of K^+ , Fe^{3+} and Mn in the soil. In Brejo M+Marandu, it provides an increase in Zn. The intercropping of forage grasses of the genus *Megathyrsus* and *Urochloa* does not reduce corn productivity when intercropped. The cultivation of M+Ruziziensis in Bom Jesus and M+Tamani in Brejo, although not resulting in increased soybean productivity, shows potential as cover crops in the Cerrado of the Mid-North region of Brazil. Further studies are needed to assess the long-term effects of the interaction between the corn and forage grass intercropping system on soil fertility, nutrient cycling, and intercropping system productivity under other experimental or seasonal conditions.

Keywords: Plant residues, Nutrient cycling, Cerrado biome, Forage grass, *Glycine max*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Mapa de localização da Fazenda Vô Desidério em Bom Jesus - PI e Fazenda Barbosa em Brejo - MA. 38
- Figura 2.** Precipitação e temperatura do ar obtidos durante condução experimental na Fazenda Vô Desidério em Bom Jesus-PI e Fazenda Barbosa em Brejo-MA. 40
- Figura 3.** Produtividade da matéria seca do resíduo da palhada (kg ha^{-1}) de diferentes consórcios de plantas de cobertura com milho e milho solteiro, nos municípios de Bom Jesus-PI (A) e Brejo-MA (B). Médias seguidas pela mesma na coluna letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 46
- Figura 4.** Curvas de decomposição da palhada nas diferentes áreas de estudo. 46
- Figura 5.** Produtividade de grãos de milho (kg ha^{-1}) em sucessão a diferentes espécies de plantas de cobertura nos municípios de Bom Jesus-PI (A) e Brejo-MA (B). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 49
- Figura 6.** Produtividade de grãos de soja (kg ha^{-1}) em sucessão a diferentes espécies de plantas de cobertura nos ambientes de Bom Jesus-PI (A) e Brejo-MA (B). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 50

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Atributos químicos e caracterização da granulometria do solo no momento da instalação dos experimentos. 39
- Tabela 2.** Valores de constante de decomposição (k) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) da serapilheira nos diferentes ambientes de estudo. 47
- Tabela 3.** Médias ($n = 4$) da massa seca remanescente (MSR) e dos teores de carbono (C), nitrogênio (N), Lignina (LIG) e Celulose (CEL) de resíduos vegetais de espécies de plantas de cobertura aos 0 e 120 dias de decomposição, avaliadas em dois ambientes (Brejo-MA e Bom Jesus-PI). 48
- Tabela 4.** Características química da fertilidade do solo após colheita do milho em resposta ao efeito das plantas de cobertura consorciada com milho em sistemas integrados avaliados em dois ambientes (Brejo-MA e Bom Jesus-PI). 49
- Tabela 5.** Características química da fertilidade do solo em resposta ao efeito residual de plantas de cobertura consorciada com milho, após cultivo de soja em sistemas integrados, avaliados em dois ambientes (Brejo-MA e Bom Jesus-PI). 51

LISTA DE SIGLAS

pH em CaCl_2 : potencial hidrogeniônico;

COT: carbono orgânico total;

P: fósforo

K^+ : potássio

Ca^{2+} : cálcio

Mg^{2+} : magnésio

S- SO_4^{2-} : enxofre

Fe: ferro

Mn: manganês

Cu: cobre

Zn: zinco

B: boro.

M+Marandu: Marandu + palhada de milho

M+Ruziziensis: Ruziziensis + palhada de milho

M+Massai: Massai + palhada de milho

M+Zuri: Zuri + palhada de milho

M+Tamani: Tamani + palhada de milho

Testemunha: palhada de milho

MSR: massa seca remanescente

MSRP: massa seca remanescente da palhada

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	14
1	15
2	16
2.1	16
2.2	17
2.3	19
2.4	21
3	22
3.1	22
3.2	23
4	23
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO II	35
1	37
2	39
2.1	39
2.2	41
2.2.1	41
2.2.2	42
2.3	42
2.4	43
2.5	45
2.6	45
2.7	46
3	46
4	52
5	55
REFERÊNCIAS	55

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

A região Meio-Norte localiza-se na porção oeste nordestina e abrange os estados do Maranhão e do Piauí, com área total de 480 mil km² (Rangel *et al.*, 2019). Esta região possui amplas áreas com elevado potencial agrícola e desempenho produtivo similar a outros polos produtores (Oliveira *et al.*, 2017). O Piauí e Maranhão compõem a porção Norte do MATOPIBA, com importante contribuição para o aumento de produção dessa região, devido à existência de áreas agricultáveis ainda disponíveis para expansão. Juntos, os dois estados respondem por 39,7% da produção de soja e 47,7% da produção de milho na região, com tendência de crescimento na participação a cada ano (IBGE, 2024). Nas áreas de cultivo agrícola são encontradas alta variabilidade em seus diferentes tipos de solo, clima e vegetação, refletindo diretamente na fertilidade e nos teores e estoques de matéria orgânica do solo (Giongo *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2021). Além disso, as diferentes possibilidades de uso e ocupação da terra tornam o manejo do solo e da matéria orgânica um fator complexo e relevante para a sustentabilidade da agricultura nesta porção do Nordeste (Navarro *et al.*, 2021; Prata; Lima, 2021).

Pesquisas direcionadas à determinação do impacto da mudança do uso da terra e das mudanças climáticas sobre estoques de matéria orgânica do solo são realizadas no Cerrado brasileiro, onde os invernos são caracterizados por eventos de seca e baixa umidade, enquanto os verões apresentam altas temperaturas e precipitações, que dificultam a longevidade da biomassa da cobertura morta no solo, pois a alta temperatura e umidade aceleram a taxa de decomposição dos materiais vegetais (Ferreira *et al.*, 2020; Dantas *et al.*, 2023). Diante deste contexto, os sistemas integrados estão sendo expandidos aceleradamente em áreas de cultivo agrícola, uma vez que consistem de técnicas que otimizam o uso de recursos naturais (Silva *et al.*, 2020; Freitas; Silva, 2022) e proporcionam sinergias entre diferentes culturas agrícolas (Guimarães *et al.*, 2023), com efeitos benéficos no âmbito econômico, mas sobretudo, ambiental (Freitas; Silva, 2022; Guimarães *et al.*, 2023).

Embora os sistemas integrados sejam reconhecidamente relevantes na sustentabilidade dos agroecossistemas, ainda são necessárias pesquisas que busquem identificar plantas de cobertura promissoras diante das condições edafoclimáticas desafiadoras da região Meio-Norte. Isto ocorre porque, o uso de plantas de cobertura aumentam a taxa de entrada de biomassa e ciclagem de nutrientes (Canalli *et al.* 2020; Costa *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022), sendo portanto, indispensáveis na otimização e

eficiência do uso de nutrientes em sistemas agrícolas. A biomassa atua como reservatório de nutrientes por meio do processo de decomposição, os quais são disponibilizados para as próximas safras (Costa *et al.* 2021). Os benefícios do uso de plantas de cobertura variam de acordo com as características biológicas da espécie vegetal. Gramíneas como *Urochloa ruziziensis* e *Urochloa brizantha* são espécies com rápido estabelecimento, elevada produção de biomassa, baixa velocidade de decomposição e ciclagem eficiente de nutrientes (Pereira *et al.*, 2016). Esses fatores as tornam culturas potenciais para serem usadas para produção de biomassa (Baptistella *et al.*, 2020), proteção da superfície do solo contra erosão, regulação da temperatura do solo (Machiwal *et al.* 2021) e ciclagem de nutrientes (Tanaka *et al.* 2019).

Entretanto, para a utilização dos consórcios em regiões tropicais, são necessárias adaptações tecnológicas, por meio da seleção de espécies adequadas, além do entendimento da dinâmica de decomposição do material e da imobilização/mineralização de nutrientes no solo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cultivo em área de fronteira agrícola no Brasil

No Brasil, nas últimas décadas, as atividades agropecuárias vêm passando por diversas modificações (Oliveira e Aquino, 2020), especialmente quando se fala em expansão da fronteira agrícola no Cerrado.

A fronteira agrícola denominada MATOPIBA, compreende os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, com 73.173.485 hectares. Esta região, localizada no bioma Cerrado, é o atual cenário da expansão no agronegócio brasileiro (Silva *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2021a), em virtude do clima e topografia da região favoráveis para a produção de *commodities* (Garcia *et al.*, 2024), sendo a soja a principal cultura produzida.

O bioma Cerrado abrange aproximadamente 24% da área territorial do Brasil (EMBRAPA, 2021), é considerado uma região biogeográfica com riqueza cultural, social e ecológica incalculável. O ecossistema apresenta elevada biodiversidade e um mosaico de fitofisionomias, cuja configuração é moldada pela interação sinérgica e interdependente entre características edáficas, climáticas, topográficas e florísticas (Souza *et al.*, 2023).

O Cerrado apresenta ainda importante contribuição na recarga hidrológica devido à sua localização centralizada no mapa do país, abrangendo três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul e contribuindo com 43% das águas superficiais do Brasil

(Strassburg *et al.*, 2017), impactando diretamente na prestação de serviços ecossistêmicos até mesmo para outros biomas. O potencial hídrico do Cerrado, associado à característica de clima tropical sazonal, com estações bem definidas (inverno seco e verão chuvoso) e solos bem desenvolvidos e profundos, possibilita o uso destes recursos para o desenvolvimento agrícola (Souza *et al.*, 2023).

Entretanto, devido à exploração exacerbada, o bioma sofre há décadas com impactos causados pelos processos de ocupação e utilização de seus recursos naturais durante o decorrer dos anos, associados principalmente, à expansão da fronteira agrícola. Logo, os desequilíbrios ambientais causados por práticas insustentáveis de exploração agropecuária, provocam declínio da fertilidade natural dos solos e afeta diretamente sua qualidade física, química e biológica (Silva *et al.*, 2021), alteram a abundância e diversidade da comunidade faunística (Lima *et al.*, 2020), levando à perdas de produtividade.

Os solos predominantes no Cerrado brasileiro pertencem à classe dos Latossolos (James *et al.*, 2019; Bolfe *et al.*, 2020). Se caracterizam por serem profundamente intemperizados e com capacidade de troca de cátions baixa (Alexandrino *et al.*, 2021), sendo solos considerados ácidos, com pH variando entre 4,0 a 5,3 (Reatto *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2021), com baixo teor de matéria orgânica (Giongo *et al.*, 2021) e baixa fertilidade natural (IBGE, 2019; Leite, 2022). Estes solos apresentam baixa disponibilidade de fósforo em condições naturais, sendo esse nutriente um importante protagonista para os cultivos agrícolas (Silva *et al.*, 2021a).

Muito se relata sobre os avanços da agricultura brasileira, no qual uma grande parte tem sido realizada em áreas do Cerrado, principalmente pelo fato dos solos deste bioma possuírem topografia relativamente plana, o que favorece a agricultura (Sousa e Lobato, 2002), além da mecanização (Ferreira *et al.*, 2009). Portanto, a expansão agrícola e a diversificação sustentável da produção no Cerrado se baseia no reconhecimento das potencialidades deste bioma.

Como consequência da aptidão dos solos deste bioma, nas últimas quatro décadas, a produção agrícola do Brasil cresceu cerca de 600%, enquanto a área plantada aumentou aproximadamente 100% (Bolfe *et al.*, 2020). O país tem atualmente 33% do território ocupado por atividades agropecuárias e 58% com cobertura vegetal nativa (MapBiomas, 2022).

2.2 Importância de práticas de manejo sustentável ou conservacionista

O bioma Cerrado tem despertado o interesse nacional e internacional no aumento das pesquisas sobre sua conservação. Embora seja necessário para o avanço da expansão agrícola, o uso demasiado do solo e indevido na agricultura (Oliveira *et al.*, 2021), pode causar mudanças significativas na diversidade da fauna e flora e diminuição da qualidade física, química e biológica do solo (Yardam *et al.*, 2017).

O solo de modo geral, é um sistema naturalmente complexo devido aos seus inúmeros horizontes e camadas decorrentes de diversos processos naturais (Lepsch, 2021). Um solo com boa fertilidade, disponibiliza para as plantas nutrientes essenciais para o seu pleno desenvolvimento, refletindo em maiores produções (Navarro *et al.*, 2021). Entretanto, solos que apresentam déficit na sua fertilidade, limitam o potencial produtivo das culturas (Souza *et al.*, 2021).

Práticas conservacionistas, como o plantio direto e o uso de plantas de cobertura, são essenciais para potencializar os benefícios ambientais do sistema, propiciando resiliência entre agroecossistemas e a sustentabilidade do Cerrado (Xavier *et al.*, 2023). Dentre as práticas agrícolas, as plantas de cobertura requerem melhor compreensão sobre suas potencialidades (Ruis *et al.*, 2019), visando identificar suas melhores combinações (Vincent-Caboud *et al.*, 2019; Qin *et al.*, 2021).

O uso de gramíneas forrageiras é um dos pilares da adoção de sistemas de produção integrados. Além de possibilitar a diversificação produtiva, com aumentos da produtividade, a integração lavoura-pecuária também apresenta benefícios ambientais significativos, especialmente na mitigação das mudanças climáticas. A rotação de culturas e a presença de gramíneas forrageiras melhoram a capacidade do solo em sequestrar carbono, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. (Teles *et al.*, 2023).

Os sistemas de integração no Cerrado apresentam potencial como uma estratégia sustentável, proporcionando benefícios significativos, como a melhoria da qualidade do solo, proteção da superfície contra erosão, regulação da temperatura do solo (Machiwal *et al.* 2021; Ramalho; Cavichioli, 2023), ciclagem de nutrientes (Zechmeister-Boltenstern *et al.*, 2015; Tanaka *et al.*, 2019), redução de pragas e doenças (Navarro *et al.*, 2021), promovendo um ambiente mais produtivo.

A sua eficácia está ligada à quantidade e qualidade da biomassa vegetal produzida pelas plantas de cobertura (Pacheco *et al.*, 2016), as quais são caracterizadas por possuírem sistemas radiculares mais profundos e vigorosos, resultando em uma aeração do solo, disponibilização de nutrientes e água para as culturas instaladas (Monteiro *et al.*,

2019).

A intensificação produtiva sustentável possibilitada pela adoção dos sistemas integrados, permite aumentar a produção sem ampliar áreas cultivadas, contribuindo para preservar do bioma Cerrado, gerando benefícios econômicos e ambientais. Dessa forma, a inclusão de plantas de cobertura nesses sistemas se destaca como uma importante aliada na promoção da sustentabilidade, conservando recursos, elevando a produtividade e melhorando a qualidade de vida no campo (Teles *et al.* 2024).

2.3 Uso de gramíneas forrageiras em sistemas integrados ou rotação de culturas

Os sistemas de integração compreendem tecnologias que emergem como uma alternativa crucial para impulsionar as atividades produtivas na agropecuária brasileira, especialmente diante da crescente demanda por práticas sustentáveis, inclusive em âmbito internacional (Conceição, 2023).

Adaptados às suas diversas variações regionais, os sistemas integrados de produção agrícola, têm se mostrado eficazes na promoção da intensificação produtiva sustentável de alimentos (Sene; Bacha, 2023). Estes sistemas têm contribuído para a melhoria da ciclagem de nutrientes, otimizando o uso dos recursos naturais, mantendo ou melhorando a produtividade, além de reduzir custos (Guimarães *et al.*, 2023).

A prática de cultivo misto (consórcios e rotação) é uma abordagem que visa ampliar a variedade de produtos e suas respectivas colheitas, visando reduzir os efeitos negativos no meio ambiente, os quais podem resultar em riscos econômicos e ambientais para os agricultores (Silva; Silva, 2020). Essa inovação promove um aumento na produtividade agrícola enquanto contribui para a conservação do meio ambiente, trazendo uma variedade de vantagens para as comunidades rurais e urbanas (Skorupa *et al.*, 2019).

A cada ano, a produção agrícola enfrenta desafios decorrentes do aumento das perdas de solo causadas pelo escoamento superficial de sedimentos induzido pelas chuvas intensas nas áreas cultivadas (Costa *et al.*, 2023). Esse fenômeno resulta na desagregação de porções do perfil do solo, levando à perda de nutrientes e matéria orgânica nele contidos (Salomão *et al.*, 2020).

Arelado a esses desafios, as plantas desempenham um papel significativo quando se fala de proteção ao solo, pois estabilizam esses ambientes, resultando em menor variação de temperatura, redução das perdas por erosão, aumento na retenção de água, diminuição da evaporação e escoamento superficial, prevenção de processos erosivos e

aumento da produtividade das culturas agrícolas (Nogueira *et al.*, 2012).

Atualmente, as gramíneas forrageiras estão entre as principais plantas utilizadas para promover uma melhor cobertura de solo, destacando-se pela elevada produção de fitomassa, beneficiando o solo com uma palhada de maior durabilidade (Tavares *et al.*, 2020). Devido à sua alta relação carbono/nitrogênio (C/N), permanecem por mais tempo no solo em comparação com as leguminosas, resultando em maiores taxas de matéria orgânica incorporada, tendo como vantagem uma maior proteção do solo (Silveira *et al.*, 2020).

As raízes da gramíneas podem penetrar até três metros de profundidade, demonstrando uma capacidade significativa de penetração e uma eficaz estabilização natural do solo (Campos *et al.*, 2022). Isso resulta em uma melhor percolação da água através dos poros do solo, o que faz do plantio de gramíneas uma estratégia importante para a melhoria na estruturação do solo (Oliveira *et al.*, 2020). As gramíneas forrageiras atuam como suporte básico à formação e à manutenção da cobertura permanente do solo, à viabilização de sistemas de rotação de culturas e à promoção do preparo biológico do solo sem revolvimento da camada arável (Ambrosano *et al.*, 2014).

O milheto e as braquiárias são exemplos de alguns cultivos que têm a capacidade de reciclar os nutrientes vitais necessários para o desenvolvimento dos cultivos subsequentes (Ferreira *et al.*, 2023). As plantas de cobertura têm o potencial de reduzir os gastos no processo produtivo, otimizando a utilização de fertilizantes químicos (Oliveira *et al.*, 2022). De acordo com Vieira Júnior *et al.* (2021), fertilizantes não apenas aumentam os custos de produção de culturas como grãos, fibras e energia, mas também consomem recursos naturais finitos.

Portanto, as espécies vegetais empregadas como plantas de cobertura não apenas melhoram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Wolschick *et al.*, 2016; Frasca *et al.*, 2023; Nery; Franco Junior, 2023), mas também desempenham um papel importante no controle de plantas daninhas, doenças, nematoides e pragas (Sausen *et al.*, 2020; Frasca *et al.*, 2021), resultando em benefícios diretos para as culturas subsequentes.

Segundo Pedreira *et al.* (2020), as gramíneas mais comumente empregadas na produção de palhada incluem o milheto (*Pennisetum glaucum*), o sorgo (*Sorghum* spp.) e diversas espécies de capins do gênero *Urochloa*. A adoção de sistemas integrados envolvendo gramíneas forrageiras apresenta impactos positivos sobre os atributos do solo e do ambiente, devido à diversidade de cobertura vegetal proporcionada, que engloba sistemas radiculares distintos dos componentes arbóreos, culturas anuais e pastagens,

além da possibilidade de incluir o componente animal (Amaral *et al.*, 2021).

As plantas capturam carbono durante a fotossíntese, resultando na formação de biomassa vegetal. Durante o ciclo de crescimento das plantas, uma porção da biomassa produzida é devolvida ao solo na forma de folhas, galhos/colmos e estruturas reprodutivas, constituindo o que é conhecido como serapilheira (Holanda *et al.*, 2017). A decomposição da palhada pelo processo natural proporciona a ciclagem de nutrientes, desempenhando um papel fundamental na restauração de áreas degradadas, e consequentemente, aumentando a fertilidade do solo (Nogueira *et al.*, 2012).

2.4 Decomposição da palhada e ciclagem de nutrientes

Nos sistemas agrícolas, a dinâmica de liberação dos nutrientes e o tempo de permanência dos resíduos vegetais sobre o solo, estão diretamente relacionados à capacidade da planta de cobertura em gerar matéria seca para cobrir o solo, principalmente durante a entressafra (Kliemann; Braz, 2006).

As condições edafoclimáticas predominantes no Cerrado, como baixa fertilidade e pH (Crusciol *et al.*, 2015; Almeida *et al.*, 2016), inverno seco, verão quente e elevadas precipitações na estação chuvosa (Alvares *et al.*, 2013; Mendonça *et al.*, 2015; Castro *et al.*, 2017) restritas a um período do ano, dificultam o estabelecimento das plantas de cobertura como segunda safra (Nunes *et al.*, 2021). Atrelado a essas condições, a rápida decomposição da palhada promove também a redução da matéria orgânica do solo, resultando em declínio da sua qualidade (Carvalho *et al.*, 2010; Pariz *et al.*, 2017; Jensen *et al.*, 2020).

Portanto, o aporte de biomassa atua como reservatório de nutrientes, ao passo que o processo de decomposição disponibiliza nutrientes para as culturas sucessoras (Costa *et al.*, 2021). Porém, a velocidade da decomposição e a liberação de nutrientes é diferente conforme a origem da biomassa, oriunda do material vegetal implantado (Santos *et al.*, 2021b; Rebêlo *et al.*, 2022).

As plantas de cobertura proporcionam aumento da diversidade de espécies, permitindo aumento nas safras comerciais, melhoria na eficiência e uso de nutrientes e água (Liebig *et al.*, 2014), melhorias na fertilidade do solo e na produtividade da soja como cultura sucessora (Crusciol *et al.*, 2015; Andrade *et al.*, 2017), supressão de plantas daninhas (Timossi *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023) e maior infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial (Hörbe *et al.*, 2021; Ponciano *et al.*, 2022). Além disso, as plantas de cobertura atuam como uma camada protetora do solo contra intemperes

climáticas, contribuindo no aumento dos teores da matéria orgânica do solo e no sequestro de carbono atmosférico, inferindo diretamente na mobilização e reciclagem de nutrientes (Silva *et al.*, 2011; Cerri *et al.*, 2024).

A ciclagem de nutrientes decorre das interações entre atmosfera, plantas, solo e animais nos sistemas de produção agropecuários, sendo seu entendimento, fundamental para otimizar a eficiência do aproveitamento dos nutrientes disponibilizados por resíduos vegetais e fertilizantes (Hentz *et al.*, 2014). Em geral, a composição de palhadas e resíduos vegetais é variável quanto ao teor das principais macromoléculas, como celulose, hemicelulose, lignina, proteínas, açúcares, compostos hidrossolúveis, e outros (Silva *et al.*, 2023).

A compreensão das características das espécies utilizadas nos sistemas, bem como da meia-vida dos resíduos provenientes da massa seca residual e sua taxa de decomposição, constitui requisito fundamental para a elucidação dos processos da transformação da biomassa vegetal no solo (Oliveira; Borszowski, 2012; Costa *et al.*, 2022; Torres *et al.*, 2024).

A taxa decomposição da matéria seca residual é influenciada pelas características estruturais, química e bromatológica das plantas, temperatura, regime hídrico, afetando os organismos decompositores (Acosta, *et al.*, 2014; Tavares *et al.*, 2020). As gramíneas, destacam-se pelo elevado acúmulo de fitomassa devido à maior relação C/N, conteúdo de lignina e em função da abrangência e proliferação do sistema radicular, produção de cobertura morta e incremento do teor de matéria orgânica do solo (Dubeux Jr *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021b; Pessoa *et al.*, 2024),

Vale ressaltar, que a inclusão de gramíneas forrageiras na consorciação com milho, torna-se um dos pilares da adoção dos sistemas integrados. Esta prática permite a obtenção de elevada produção de biomassa para o sistema de plantio direto e ciclagem de nutrientes (Dias *et al.*, 2020; Muniz *et al.*, 2021), melhoria da saúde do solo (Laroca *et al.*, 2018), melhorando o desenvolvimento das culturas subsequentes (Mendonça *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2024).

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a produção de biomassa, dinâmica da decomposição e liberação de nutrientes de gramíneas forrageiras consorciadas com milho, em sistemas integrados de produção de grãos no Cerrado do Meio-Norte.

3.2 Específicos

- Determinar a curva de decomposição dos resíduos de diferentes espécies de gramíneas forrageiras consorciadas com milho;
- Mensurar e qualificar o aporte de nutrientes e carbono ao solo e os efeitos na fertilidade, em sistemas integrados de produção no Cerrado da região Meio-Norte do Brasil;
- Avaliar os efeitos do uso de gramíneas forrageiras na produtividade do milho consorciado e da soja cultivada em sucessão, em sistemas integrados no Cerrado da região Meio-Norte do Brasil.

4 HIPÓTESES

- Gramíneas do gênero *Megathyrsus* apresentam maior potencial de produção de biomassa e resistência à decomposição na região Meio-Norte.
- Gramíneas do gênero *Urochloa* disponibilizam nutrientes de forma mais rápida que espécies do gênero *Megathyrsus*.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. A. D. A.; AMADO, T. J. C.; SILVA, L. S. D.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Rural**, v. 44 , 2014 DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000002>.
- ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E.; VALIM, W. C.; RODRIGUES, S. A.; VARELLA, C. A. A. Hydraulic erosion in different tillage systems and soil cover. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1110–1119, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900010>.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- AMARAL, A. J.; SANTOS, J. C. P.; SILVA NETO, L. F.; RANGEL, J. H. A.; BARROS, A. H. C.; ZONTA, J. H. Potencialidades da zona da mata e do agreste nordestinos para a implantação de Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**.

Brasília, DF : Embrapa, 2021. p. 573-595.

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, G. M. B. Adubação verde na agricultura orgânica. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; DONIZETI CARLOS, J. A. **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa , 2014. v. 2, cap. 15, p. 45-80.

ANDRADE, C. A. O.; BORGHI, E.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; CAMARGO, F. P.; AVANZI, J. C.; SIMON, J.; SILVA, R. R.; FIDELIS, R. R. Straw production and agronomic performance of soybean intercropped with forage species in no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 10, p. 861-868, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017001000005>.

BAPTISTELLA, J. L. C.; ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. *Urochloa* in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 119, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119>.

BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no Cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, 308 p. 2020.

CAMPOS, M. C. C.; FRAGA, V.; SALCEDO, I.; OLIVEIRA, F.; SILVA, J.; BRITO FILHO, E. Agregados de solos em áreas sob distintas intensidades de uso da região semiárida do Nordeste. **Scientia Plena**, v. 18, n. 7, 2022. DOI: 10.14808/sci.plena.2022.070209.

CANALLI, L. B. D. S.; SANTOS, J. B. D.; SILVA, A. A.; MUCHINSKI, A.; FELICIANO, E.; PENTEADO, D. Residues decomposition in crop rotations under no-till system. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, p. e20190609, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-solo-2020190609>.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; LOPES, M. L. T.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; WESP, C. L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, p. 259-273, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9360-x>

CASTRO, G. F.; SILVA, C. G. M.; MOREIRA, S. G.; RESENDE, A. V. Plantas de cobertura em sucessão ao milho para silagem em condições do Cerrado. **Journal of Bioenergy and Food Science**. v. 4, p. 37-49, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18067/jbfs.v4i1.130>

CERRI, C. E. P.; ABBRUZZINI, T. F.; CARVALHO, J. L. N.; CHERUBIN, M. R.; FRAZÃO, L. A.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, D. M. S. Matéria orgânica do solo e o equilíbrio global de carbono. IN: BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN-NETO, L. ANDRADE, C. A. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 211-254 p.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. **Sistemas integrados de produção**: potenciais opções para o Brasil. Rio de Janeiro : IPEA, junho, 2023. 34 p. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/10419/285008>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

COSTA, A. A.; CARVALHO, G. P.; SILVA LOPES, P. Cultivation of carioca bean in succession to cover crops subjected to nitrogen doses in sandy soils in the Cerrado. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 7, p. 49181-49195, 2022. DOI:10.34117/bjdv8n7-035

COSTA, H. R. O.; MOREIRA, E. S.; NUNES, J. O. R. El uso del suelo por las actividades agrícolas y su impacto en las cuencas hidrográficas. **GeoGraphos**, v. 14, n. 2, p. 64–90, 2023. DOI: 10.14198/GEOGRA2023.14.154.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Soybean yield and nutrition after tropical forage grasses. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, p. 31-49, , 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10157-2>.

CRUSCIOL, C. A.; NASCENTE, A. S.; BORGHI, E.; SORATTO, R. P.; MARTINS, P. O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0603>

DANTAS, S. E.; DALTO, P. H.; PIRES, M. F. M. SOUSA, A. B.; COSTA, R. M. Rendimento de fitomassa de plantas de cobertura sob déficit hídrico no município de Uruçuí-PI. In: ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. **Pesquisas agrárias e ambientais**. Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2022. p. 36-43. DOI: 10.46420/9786581460297cap4

DUBEUX JR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E.; VENDRAMINI, J. M. B.; INTERRANTE, S. M.; LIRA JR, M. A. Stocking method, animal behavior, and soil nutrient redistribution: how are they linked? **Crop Science**, v. 54, p. 2341-2350, 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Bioma Cerrado**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado>. Acesso em: 18 mar. 2024.

FERREIRA, A. C. D. B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. M.; SOFIATTI, V. Cover

plants in second crop: nutrients in straw and cotton yield in succession. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632023v5375032>.

FERREIRA, N. C. Ativos ambientais do bioma Cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, p. 37-50, 2009.

FERREIRA, N. C. F.; RAMOS, T. V.; FERREIRA JÚNIOR, R. CARVALHO, I. A. Decomposição de serapilheira em mata nativa do bioma Cerrado e *Eucalyptus urograndis*. **Revista de Biotecnologia & Ciência**, v. 9, n. 1, 2020.

FRASCA, L. L. de M.; REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; LANNA, A. C.; DUARTE, J. R. de M.; NASCENTE, A. S. Plantas de cobertura inoculadas com microrganismos multifuncionais na entressafra em sistemas de produção da região do Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 4, p. 1489-1508, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n4p1489>.

FRASCA, L. L. M.; SILVA, M. A.; REZENDE, C. C.; FARIA, D. R.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; LACERDA, M. C.; NASCENTE, A. S. Utilização de plantas de cobertura como alternativa de manejo sustentável. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 2, n. 7, p. e27571, 2021. DOI: 10.47820/recima21.v2i7.571.

FREITAS, Â. M. S.; SANTOS, J. L. S. Importância dos Sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 14, n. 1, 2022. Disponível em: <<http://revista.sear.com.br/rei/article/view/250/264>>. Acesso em: 27 abr. 2024.

GARCIA, L. D. S.; SILVA, J. G.; ALMEIDA, R. B.; CARVALHO, L. V. Uma análise da expansão agrícola no Cerrado da Região de Matopiba. **Revista Economia Política do Desenvolvimento**, v. 15, n. 34, 2024.

GIONGO, V.; FREITAS, M. S. C.; FREITAS, R. C. A.; FREITAS, A. D. S.; TAURA, T. A.; LEITE, L. F. C. Matéria orgânica do solo em sistemas de produção integrados no Nordeste brasileiro. In: SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Brasília, DF : Embrapa, 2021. p. 81-112.

GUIMARÃES, M. A. D.; MONTEIRO, A. R.; MOURA, T. M.; DINIZ, V. S. dos S.; GUIMARÃES, G. A. M. Experiências e perspectivas no uso de frutíferas em sistemas integrados. **Seven Editora**, 2023. Disponível em: <http://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/2299>. Acesso em: 20 apr. 2024.

HENTZ, P.; CARVALHO, N. L.; LUZ, L. V.; BARCELLOS, A. L. Ciclagem de

Nitrogênio em Sistema de Integração Lavoura Pecuária. **Revista Ciência e Natura**, v. 36, Ed. Especial II, p. 663-676, 2014.

HOLANDA, A. C. D.; FELICIANO, A. L. P.; FREIRE, F. J.; SOUSA, F. Q. D.; FREIRE, S. R. D. O.; ALVES, A. R. Aporte de serapilheira e nutrientes em uma área de caatinga. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 621-633. 2017.

HÖRBE, T.; MINELLA, J. P. G.; SCHNEIDER, F. J. A.; LONDERO, A. L.; GUBIANI, P. I.; MER-TEN, G. H.; SCHLESNER, A. Managing runoff in rainfed agriculture under no-till system: potential for improving crop production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. e0210015, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210015>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, 2024. Acesso em: 01 out 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Províncias estruturais compartimentos de relevo tipos de solos regiões fitoecológicas e outras áreas**, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101648>>. Acesso em: 9 ago. 2025.

JAMES, J. N.; GROSS, C. D.; DWIVEDI, P.; MYERS, T.; SANTOS, F.; BERNARDI, R.; FARIA, M. F.; GUERRINI, I. A.; HARRISON, R.; BUTMAN, D. Land use change alters the radiocarbon age and composition of soil and water-soluble organic matter in the Brazilian Cerrado, **Geoderma**, v. 345, p. 38-50, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.019>.

JENSEN, E. S.; CARLSSON, G.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: a global-scale analysis. **Agronomy Sustainable Development**, v. 40, n. 5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>

LEITE, M. J. H. Características gerais dos principais solos da região semiárida. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 10, p. e3101964, 2022. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i10.1964>.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2021. 312 p.

LIEBIG, M. A.; ARCHER, D. W.; TANAKA, D. L. Crop diversity effects on near-surface soil condition under dryland agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**, 2014, v. 7, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/703460>.

LIMA, C. S.; DALZUCHIO, M. S.; SILVA, E. F.; PÉRICO, E. Macrofauna edáfica e sua relação com sazonalidade em sistema de uso do solo, bioma Cerrado. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, p.1-13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0001>.

MACHIWAL, D.; KUMAR, S.; ISLAM, A.; KUMAR, S.; JAT, S. R.; VAISHNAV, M.; DAYAL, D. Avaliação do efeito de plantas de cobertura sobre o escoamento superficial, a perda de solo e os nutrientes do solo em uma região árida indiana. **Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas**, v. 52, n. 14, p. 1669-1688, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1892726>.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas. Coleção 2022 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil 2021. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 10 de agosto de 2025.

MENDONÇA, V. Z. D.; MELLO, L. M. M. D.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, É. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 1, p. 183-193, 2015.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, É. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 183-193, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150666>

MONTEIRO, P. F. C.; ANDRADE, A. P.; AIRES, R. F.; DE CARLI TOIGO, M. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos e químicos do solo e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 179-194, 2019. DOI: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>.

NAVARRO, R.; MARTELÓCIO, A. C.; SEVILHA, R.; BIDO, G.; MANNIGEL, A. Manejo do solo para o sistema de cultivo do café no Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 18, n. 38, 2021. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/5389>. Acesso em: 22 abr. 2024.

NERY, J. S.; FRANCO JUNIOR, K. S. Coverage plants as a strategy for improving soil fertility. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 10, p. e36121043363, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i10.43363.

NOGUEIRA, N.; OLIVEIRA, O.; MARTINS, C.; BERNARDES, C. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14,

2012.

Disponível

em:

<<https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3969>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

NUNES, P. A. A.; LACA, E. A.; CARVALHO, P. C. F.; LI, M.; SOUZA FILHO, W.; KUNRATH, T. R.; MARTINS, A. P.; GAUDIN, A. Livestock integration into soybean systems improves long-term system stability and profits without compromising crop yields. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 1649, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81270-z>.

OLIVEIRA D. L.; BORSZOWSKI, P. R. Rate of decomposition of wheat straw and NPK release in the system tillage Ponta Grossa-PR. **Revista TechnoEng**, 5 ed., 2012.

OLIVEIRA, E.; OLIVEIRA, P. S. R. de; RIBEIRO, L.; REGO, C. A. R. de M.; OLIVEIRA, A. P.; HERRERA, J. L. de. Implications of integrated crop-livestock system under physical soil attributes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47638-47651, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-414.

OLIVEIRA, J. P. C.; CORREIRA, D. B.; VERÇOSA, C. J.; FIGUEROA, N. F. V.; CABRAL, C. P.; VITOR, L. N. A.; SANTOS, A. F.; MARTINS, A. S.; TEIXEIRA, L. M.; PEREIRA, G. G.; ANUNCIAÇÃO, J. A. O.; PEREIRA, F. D.; VASCONCELOS, J. M. P. B. L.; SILVA, A. S. O.; FERNANDES, N. S.; OLIVEIRA, P. S.; SAMPAIO, N. K. S.; SANTOS, R. H. L.; BARROS, J. E. L.; SANTOS, M. A. F. Inappropriate land use and its impacts on the degradation of áreas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e35101219948, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.19948.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Dinâmica temporal do uso e cobertura da Terra Na Fronteira agrícola do MATOPIBA: análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurgueia-Piauí. **Revista Equador**, v. 9, n. 1, p. 317-333. 2020. DOI: <https://doi.org/10.26694/equador.v9i1.9461>.

OLIVEIRA, T. R. A.; CARVALHO, H. W. L.; COSTA, E. F. N.; CARVALHO FILHO, J. L. S. Correlation among adaptability and stability assesment models in maize cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 5, p. 516-521, 2017.

OLIVEIRA, V. S.; PEREIRA, R. G. F. A.; RABELO GOMES, M. C. The use of sustainable techniques for soil remineralization in tropical regions. **Geoscience**, v. 41, n. 3, p. 755-768, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i03.16687>.

PACHECO, L. P.; PETTER, F. A.; SOARES, L. D. S.; SILVA, R. F. D.; OLIVEIRA, J. B. D. S. Sistemas de produção no controle de plantas daninhas em culturas anuais no

Cerrado Piauiense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 500-508, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160060>.

PARIZ, C. M.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CASTILHOS, A. M.; ANDREOTTI, M.; COSTA, N. R.; MARTELLO, J. M.; SOUZA, D. M.; PROTES, V. M.; LONGHINI, V. Z.; FRANZLUEBBERS, A. J. Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, p. 35-54, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9821-y>.

PEDREIRA, B. C.; BEHLING NETO, A.; WRUCK, F. J.; OLIVEIRA JUNIOR, O. L.; DOMICIANO, L. F. Culturas de cobertura para a entressafra: importância e recomendações. In: In: FURTINI NETO, A. E.; LIMA, D. T.; ALMEIDA, D. P.; NASCIMENTO, H. L. B.; FERNANDES, R. H.; BILEGO, U. O. **Anuário de Pesquisas em Agricultura**. Rio Verde, GO: Instituto de Ciência e Tecnologia, 2020. p. 40-55.

PEREIRA, I. M.; CONEGLIAN, A. Situação e perspectivas da conservação do Cerrado em 2019. **Rev. Agrotecnologia**, Ipameri, v. 11, n. 1, p. 16-22, 2020.

PEREIRA, L. I.; PAULI, L. The process of land grabbing and expansion of agribusiness in Matopiba. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária**, v. 11, n. 23, 2016.

PESSOA, G. M.; SILVA, M. G.; COSTA, B. F. da; SILVA, G. L. B.; MENDONÇA, G. G.; CONSTANT, M. R. S. Acúmulo de nutrientes e produtividade de diferentes plantas de cobertura na região de Aquidauana. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 10, p. e8818, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n10-086.

PONCIANO, V. F. G.; PONCIANO, I. M.; VALICHESKI, R. R., OLIVEIRA, S. S. C.; CRUZ, S. J. S.; VIEIRA FILHO, W. C. Retenção da água no solo sob diferentes adubos verdes como cobertura vegetal em Neossolo litólico distrófico. **Revista Ciência Agrícola**, v. 20, n. 2, p. 1-10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v20i2.13291>.

PRATA, T. C.; LIMA, A. M. M. Vulnerabilidade ambiental da costa oeste da Região Salgado Paraense (Estado do Pará, Norte do Brasil). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 20, p. 1315-1332, 2021. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)082004](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)082004).

QIN, Z.; GUAN, K.; ZHOU, W.; PENG, B.; VILLAMIL, M. B.; JIN, Z.; TANG, J.; GRANT, R.; GENTRY, L.; MARGENOT, A. J.; BOLLERO, G.; LI, Z. Assessing the impacts of cover crops on maize and soybean yield in the US Midwestern agroecosystems. **Field Crops Research**, v. 273, p. 108264, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108264>.

RAMALHO, N. T. C.; CAVICHIOLI, F. A. Técnicas de preparo do solo e sua importância na produção agrícola. **Interface Tecnológica**. v. 20, n. 2, p.762-774, 2023. DOI: <https://doi.org/10.31510/infa.v20i2.1751>.

RANGEL, J. H. A.; MUNIZ, E. N.; SOUZA, S. F.; PIOVEZAN, U.; AMARAL, A. J.; SILVA NETO, L. F.; SANTOS, J. C. P.; MORAES, S. A.; SANTOS, R. D.; TONUCCI, R. G.; ZONTA, J. H.; STEFANO, J. G. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos**. Brasília, DF : Embrapa, 2019. 471 p.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. D; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008, p. 107-133.

REBÊLO, A. G. M.; CAPUCHO, H. L. V.; PAULETTO, D.; DANTAS, E. F. Estoque de nutrientes e decomposição da serapilheira em sistemas agroflorestais no município de Belterra - Pará. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 4, p.1876-1893, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509846854>

RUIS, S. J.; BLANCO-CANQUI, H.; CREECH, C. F.; KOEHLER-COLE, K.; ELMORE, R. W.; FRANCIS, C. A. Cover crop biomass production in temperate agroecozones. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 4, p. 1535-1551, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.08.0535>.

SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A. dos; MARTINS, A. C. E. The Importance of Straw No-Tillage System for Soil Restructuring and Organic Matter Restoration. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e154911870, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i1.1870

SANTOS, R. N. V.; CARDOSO, M. P.; MACENA, C. V. S. P.; SANTOS, L. L. O.; SILVA, M. R. M. Dinâmica da decomposição dos adubos verdes na manutenção da fertilidade do solo, disponibilidade de nutrientes e manejo agroecológico de plantas espontâneas em hortaliças. In: GARCÍA, L. M. H. **Agroecologia: princípios e fundamentos ecológicos aplicados na busca de uma produção sustentável**. Canos, RS: Mérida Publishers, 2021a. 128 p. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-9-0.c5>.

SANTOS, R. S.; WIESMEIER, M.; CHERUBIN, M. R.; OLIVEIRA, D. M. S.; LOCATELLI, J. L.; HOLZSCHUH, M.; CERRI, C. E. P. Consequences of land-use change in Brazil's new agricultural frontier: a soil physical health assessment. **Geoderma**, v. 400, p. 115149, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115149>.

SAUSEN, D.; MARQUES, L. P.; BEZERRA, L. de O.; SILVA, E. dos S.; CANDIDO, D. Biotecnologia aplicada ao manejo de plantas daninhas / Biotechnology applied to weed management. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23150–23169, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-027.

SENE, S. M.; BACHA, C. J. C. Adoção dos sistemas integrados na agropecuária do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 1, p. 1-21, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.264625>.

SILVA, A. L.; SOUZA, C.; ELOY, L.; PASSOS, C. J. S. Selective environmental policies and expansion of the agricultural frontier in the Cerrado: impacts on local communities in a Conservation Unit in western Bahia. **Revista Nera**, n. 47, p. 321-347, 2019. DOI: <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i47.6274>

SILVA, É. A.; BENEVENUTE, P. A. N.; OLIVEIRA, G. C.; ZINN, Y. L.; SILVA, B. M.; MELO, L. B. B.; REIS, T. H. P.; OLIVEIRA, C. H. C.; GUIMARÃES, P. T. G. CARDUCI, C. E. Soils under plastic and grass cover: Effects on soil aggregation and nutrient cycling in Brazilian coffee growing. **Agricultural Research and Technology**, v. 24, 556265, 2020. DOI: <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2020.25.556265>

SILVA, F. L.; FUSHITA, Â. T.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JÚNIOR, I.; VENEZIANI JÚNIOR, J. C. T. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1626-1653, 2021a.

SILVA, J. A. G.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SILVA, A. G.; VILELA, L.; LEANDRO, W. M.; MUNIZ, M. P.; SILVA, L. M.; MENDONÇA, K. T. M.; BARROS, V. M. Efficiency of Desiccation, Decomposition and Release of Nutrients in the Biomass of Forage Plants of the Genus *Brachiaria* After Intercropping with Sorghum in Integrated Systems for Soybean Productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 55, n. 7, p. 1 19, 2024.

SILVA, L. D.; LEITE, H. P. P.; BASTOS, F. G.; FREIRE, L. V.; HIGA, A. R.; VICTORIA, D. de C. Importância em se conhecer o tipo de solo e as particularidades da adubação em áreas de Cerrado. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; VICTORIA, D. de C.;

BASTOS, F. G.; LEITE, H. P. P.; FREIRE, L. V. **Sistema de informações para planejamento florestal no Cerrado brasileiro**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2021. v. 2, cap. 3, p. 30-43. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228460/1/PL-Importancia-solo-adubacao-v2-cap3-2021.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; MELLO FRASCA, L. L.; LANNA, A. C.; LACERDA, M. C.; SILVA, C. B. Biomassa, acúmulo de nutrientes e supressão de plantas daninhas por mix de plantas de cobertura. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 4, p. 757-764, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n403rc>

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; MELLO FRASCA, L. L.; REZENDE, C. C.; FERREIRA, E. A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; LACERDA, M. C. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e11101220008-e11101220008, 2021b. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20008>

SILVA, N.; SILVA, C. Perception of rural producers about systems integrated in agricultural production (SIPAs). **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tup, v. 14, n. 2, p. 172–186, 2020. DOI: 10.18011/bioeng2020v14n2p172-186.

SILVA, T. O.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; PALUDO, V. Culturas de cobertura sob diferentes fontes de fósforo em diferentes solos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1315–1326, 2011. DOI: 10.5433/1679-0359.2011v32n4p1315.

SILVEIRA, D. C.; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; REBESQUINI, R.; DALL'AGNOL, E.; PANISSON, F. T.; BOMBONATTO, M. C. P.; CEOLIN, M. E. Plantas de cobertura de solo de inverno em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**, v. 29, n. 173, 2020.

SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. Avaliação da adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Brasil. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. **Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil: Estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos**. Brasília, DF: Embrapa; 2019. p. 340-380.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.

SOUZA, H. A., RATKE, R. F., BOGIANI, J. C., KLEPKER, D., OLIVEIRA JUNIOR, A. D., NATALE, W.; BORIN, A. L. D. C.; CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.

SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Brasília, DF : Embrapa, 2021. 595 p.

SOUZA, R. F.; OLIVEIRA, G. R.; FREITAS, E. G.; PINHEIRO, A. C.; DE SOUZA, R. N. Agricultura no Cerrado e impactos ambientais decorrentes. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 21, n. 12, p. 25068–25081, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n12-088. Disponível em:

<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/2475>.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. de M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 4, p. 0099, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>

TANAKA, K. S.; CRUSCIOL, C. A.; SORATTO, R. P.; MOMESSO, L.; COSTA, C. H.; FRANZLUEBBERS, A. J.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CALONEGO, J. C. Nutrients released by *Urochloa* cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, p. 267-281, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09980-5>

TAVARES, R. L. M.; FARHATE, C. V. V.; ASSIS, R. L.; DOMICIANO, L. F. Plantas de cobertura e seus benefícios ao solo. In: FURTINI NETO, A. E.; LIMA, D. T.; ALMEIDA, D. P.; NASCIMENTO, H. L. B.; FERNANDES, R. H.; BILEGO, U. O. **Anuário de Pesquisas em Agricultura**. Rio Verde, GO: Instituto de Ciência e Tecnologia, 2020. p. 40-55.

TELES, N. E. B.; MOTA FILHO, R. C.; LIMA, R. P. Sistema de integração lavoura pecuária no Cerrado. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 9, n. 1, 2024.

TIMOSSI, P. C.; HENCHEN, P.; LIMA, S. F. Supressão de capim-amargoso por plantas de cobertura. **Revista Científica Rural**, v. 23, n. 2, p. 91-102. 2021. DOI: <https://doi.org/10.29327/246831.23.2-8>

TORRES, J. L. R.; GUARDIEIRO, L. V. F.; SOUSA, J. P. G.; ALVES, C. P. M.; DAINES, R.; SILVA VIEIRA, D. M. Produção e decomposição dos resíduos e relação com a compactação solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Innovative Science & Technology Journal**, v. 10, n. 1, 2024.

VIEIRA JÚNIOR, J. O. L.; PEREIRA, R. C.; ARÊDES, A.; PEREIRA, A. J.; SANTANA, F. C. Funções do solo e sua essencialidade à vida. In: CARMO, D. L.; LOPES, S. O.; SILVA MIGUEL, E.; S. PRATES JÚNIOR, P.; SANTANA, F. C.;

PEREIRA, A. J.; CASALI, V. W. D.; FERNANDES, R. B. A.; SANTOS, R. H. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; CARDOSO, I. M.; PRIORE, S. E. **Diálogos transdisciplinares em Agroecologia: projeto café com agroecologia**. Viçosa, MG: FACEV, 2021. 451 p.

VINCENT-CABOUD, L.; CASAGRANDE, M.; DAVID, C.; RYAN, M. R.; SILVA, E. M.; PEIGNE, J. Using mulch from cover crops to facilitate organic no-till soybean and maize production. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 39, p. 1-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0590-2>.

WANG, K. H.; WAISEN, P.; LESLIE, A. W.; PAUDEL, R.; MEYER, S. L.; HOOKS, C. R. Relationships between Soil Tillage Systems, Nematode Communities and Weed Seed Predation. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 425, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050425>.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F.; WERNER, R. S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134–143, 2016. DOI: 10.5965/223811711522016134.

XAVIER, S. A. B.; MOREIRA, T. B. R.; CASSA, CRESPO, A. M.; LOUBACK, G. C.; PERON, I. B.; VARDIERO, L. G. G.; SOUZA, M. N. Agroecologia aplicada aos procedimentos de recuperação de áreas degradadas. SOUZA, M. N. (Org.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**, v. 5. Caonás, RS: Méricadas Publishers, 2023. P. 115-148.

YARDAM, E.; TIGABU, M.; MONGE, A. Rehabilitation of degraded dryland ecosystem: review. **Silva Fennica**, v. 51, n. 1, p. 1-32, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.1673>.

ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; KEIBLINGER, K.M.; MOOSHAMMER, M.; PEÑUELAS, J.; RICHTER, A.; SARDANS, J.; WANEK, W. The application of ecological stoichiometry to plant–microbial–soil organic matter transformations. **Ecological Monographs**, v. 85, p. 133-155, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1890/14-0777.1>

CAPÍTULO II

Decomposição de palhada e fertilidade do solo manejado com plantas de cobertura na de produção de grãos da região Meio-Norte

Artigo a ser submetido (ou publicado) no periódico *Brazilian Journal of Environmental
Sciences*

Informações do periódico

Pontuação de citação: *Dimensions Analytics* é 2,3

RBCIAMB foi indexada na base de dados *Scopus* com *CiteScore* 0,7

Decomposição de palhada e fertilidade do solo manejado com plantas de cobertura na de produção de grãos da região Meio-Norte

Resumo: Os sistemas integrados constituem uma importante alternativa para otimizar o uso dos recursos naturais com sinergias entre produção agrícola, no âmbito econômico e ambiental. Objetivou-se avaliar a produção de biomassa, dinâmica da decomposição e liberação de nutrientes de gramíneas forrageiras consorciadas com milho, em sistemas integrados de produção de grãos no Cerrado do Meio-Norte. O delineamento foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos: *Urochloa ruziziensis* e *U. brizanta* cv. Marandu, *Megathyrsus maximus* cv. Massai, *M. maximus* cv. Tamani e *M. maximus* cv. Zuri; consorciadas com milho e testemunha com milho solteiro. Foram avaliados decomposição dos resíduos, produtividade do milho e soja, fertilidade do solo após o cultivo de milho e capim e a após o cultivo de soja. Os dados foram verificados quanto à normalidade e homogeneidade das variâncias. Quando significativos, foram comparados pelo teste de Tukey. Não houve efeito significativo para produção residual em Brejo-MA. Em Bom Jesus-PI, M+Massai diferiu dos demais tratamentos. Para fertilidade do solo após consórcio, apenas K, Fe e Mn em Bom Jesus e Zn em Brejo, apresentaram diferença. Houve efeito significativo na produtividade da soja em Bom Jesus. Os consórcios M+Ruziziensis em Bom Jesus proporcionam maior disponibilidade de K⁺, Fe³⁺ e Mn. Em Brejo M+Marandu, proporciona incremento de Zn. O consórcio de gramíneas forrageiras do gênero *Megathyrsus* e *Urochloa* não reduzem a produtividade do milho. O cultivo de M+Ruziziensis em Bom Jesus e M+Tamani em Brejo, apresentam potencial como plantas de cobertura no Cerrado da região Meio-Norte do Brasil.

Palavras-chave: Resíduos vegetais, Ciclagem de nutrientes, Bioma Cerrado, Gramínea forrageira, *Glycine max*.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas integrados constituem uma importante alternativa para otimizar o uso dos recursos naturais (Silva *et al.*, 2020a; Freitas e Santos, 2022) com sinergias entre produção agrícola (Guimarães *et al.*, 2023), no âmbito econômico e ambiental (Freitas e Santos, 2022; Guimarães *et al.*, 2023).

Um dos princípios para adoção dos sistemas de produção integrados consiste no cultivo de gramíneas forrageiras, sobretudo consorciadas com milho, possibilitando a produção de forragem para alimentação animal e a manutenção de palhada sobre o solo (Martin *et al.*, 2023; Cerri *et al.*, 2024).

As plantas de cobertura aumentam a taxa de entrada de biomassa no sistema e a ciclagem de nutrientes (Canalli *et al.* 2020; Costa *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022), sendo portanto, indispensáveis para a otimização da eficiência no uso de nutrientes em sistemas agrícolas. A biomassa atua como reservatório de nutrientes, que são disponibilizados para

os cultivos subsequentes por meio do processo de decomposição (Costa *et al.* 2021). No entanto, embora os sistemas integrados sejam reconhecidamente relevantes na sustentabilidade dos agroecossistemas, ainda é necessário pesquisas que busquem identificar plantas de cobertura mais eficientes diante das condições edafoclimáticas desafiadoras da região Meio-Norte.

O solo predominante no Cerrado brasileiro pertence à classe dos Latossolos (James *et al.*, 2019; Bolfe *et al.*, 2020), são característico por serem profundamente intemperizados e com capacidade de troca de cátions baixa (Alexandrino *et al.*, 2021), solos considerados ácidos, variando entre 4,0 a 5,3 (Reatto *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2021), com baixo teor de matéria orgânica (Giongo *et al.*, 2021) e baixa fertilidade natural (IBGE, 2019; Leite, 2022), apresentando baixa disponibilidade de fósforo em condições naturais, sendo esse nutriente um importante protagonista para os cultivos agrícolas (Silva *et al.*, 2021).

As espécies vegetais empregadas como plantas de cobertura não apenas melhoram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Wolschick *et al.*, 2016; Frasca *et al.*, 2023; Nery e Franco Junior, 2023), mas também desempenham um papel importante no controle de plantas daninhas, doenças, nematoides e pragas (Sausen *et al.*, 2020; Frasca *et al.*, 2021).

Os benefícios do uso de plantas de cobertura variam de acordo com as características biológicas da espécie vegetal. Gramíneas como *Urochloa ruziziensis* e *Urochloa brizantha* são espécies com rápido estabelecimento, elevada produção de biomassa, baixa velocidade de decomposição e ciclagem eficiente de nutrientes (Pereira *et al.*, 2016). Esses fatores as tornam culturas potenciais para serem usadas para produção de biomassa (Baptistella *et al.*, 2020), proteção da superfície do solo contra erosão, regulação da temperatura do solo (Machiwal *et al.* 2021) e ciclagem de nutrientes (Tanaka *et al.* 2019), levando ao aumento produtivo.

Resultados de estudos recentes têm demonstrado, para as condições do Meio-Norte brasileiro, os efeitos benéficos do uso de gramíneas forrageiras sobre a qualidade química e biológica do solo (Silva *et al.*, 2024), o aumento dos estoques de matéria orgânica do solo (Vogado *et al.*, 2024) com reflexos positivos na produtividade de grãos de soja (Silva *et al.*, 2024). No entanto, ainda há carência de resultados de pesquisa mais detalhados sobre a taxa de decomposição dos resíduos de diferentes espécies de gramíneas forrageiras, bem como, o efeito dessas espécies na disponibilização de nutrientes contidos na biomassa, na fertilidade do solo e na produtividade de grãos de soja

cultivada em sucessão.

A velocidade de decomposição e a liberação dos nutrientes das *litterbags* podem inferir no tempo de permanência das plantas de cobertura na superfície do solo. Leite *et al.* (2010), verificou que a braquiária mostrou-se mais eficiente na proteção do solo e liberação gradual de nutrientes para as culturas subsequentes devido maior acúmulo de matéria seca e de nutrientes, associado à decomposição inicial mais lenta.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a produção de biomassa, a dinâmica da decomposição e a liberação de nutrientes de espécies de gramíneas forrageiras em consórcio com o milho, utilizadas como culturas de cobertura do solo em sistemas integrados de produção no Cerrado do Meio-Norte do Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Características da área experimental

Os experimentos foram conduzidos em sistema Integração Lavoura Floresta (ILF) na Fazenda Vó Desidério, localizada no município de Bom Jesus, no Cerrado do Sudoeste do Piauí ($09^{\circ}16'20''\text{S}$; $44^{\circ}56'56''\text{O}$) e sistema Integração Lavoura Pecuária (ILP) na Fazenda Barbosa, localizada no município de Brejo, no Leste do Maranhão ($03^{\circ}42'44''\text{S}$; $42^{\circ}55'44''\text{O}$).

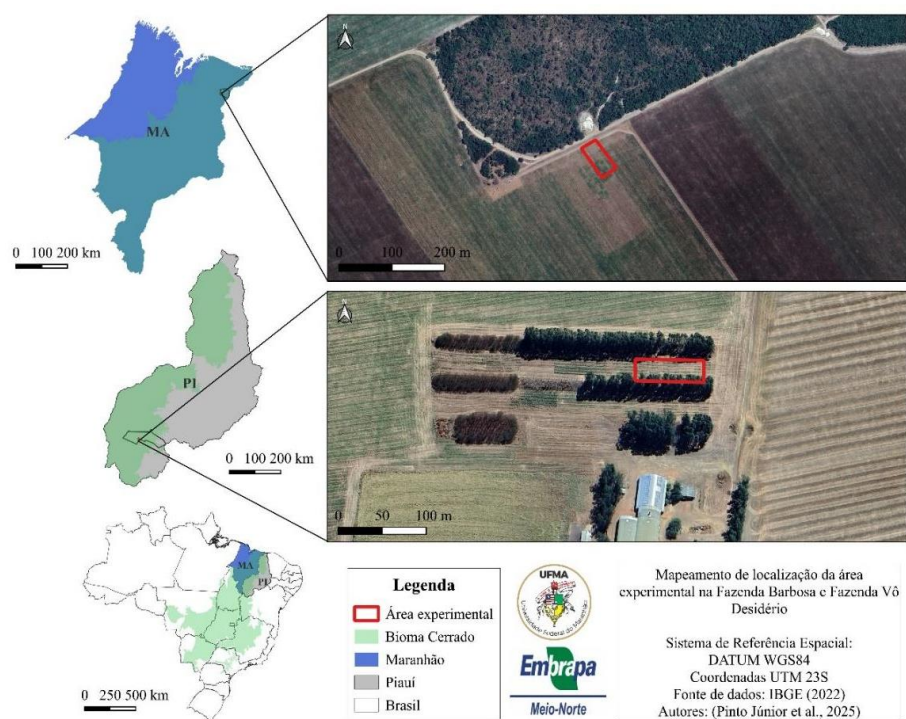


Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Vó Desidério em Bom Jesus - PI e Fazenda Barbosa em Brejo - MA.

Em Bom Jesus, o solo é caracterizado como um Latossolo Amarelo distrófico de textura média. No município de Brejo, o solo é caracterizado como um Argissolo Amarelo distrocoeso típico, com textura franco-arenosa (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e caracterização da granulometria do solo no momento da instalação dos experimentos.

Atributos	Bom Jesus - PI	Brejo - MA
	Profundidade 00 - 10 cm	Profundidade 00 - 20 cm
pH (CaCl ₂)	4,61	5,32
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,61	5,92
COT (g kg ⁻¹)	2,68	15,00
P (mg dm ⁻³)	83,80	85,00
K (cmol _c dm ⁻³)	0,17	0,04
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,83	0,97
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,72	0,44
S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³)	13,97	5,73
Fe (mg kg ⁻³)	52,42	64,00
Mn (mg kg ⁻³)	0,48	0,33
Cu (mg kg ⁻³)	0,19	0,09
Zn (mg kg ⁻³)	5,88	0,33
B (mg kg ⁻³)	0,19	0,20
CTC (cmol _c dm ⁻³)	5,34	4,66
Argila (g kg ⁻¹)	223	134
Silte (g kg ⁻¹)	5	92
Areia (g kg ⁻¹)	772	774

pH em CaCl₂: potencial hidrogeniônico; COT: carbono orgânico total; P: fósforo; K⁺: potássio; Ca⁺²: cálcio; Mg⁺²: magnésio; Al⁺³: alumínio; S-SO₄²⁻: enxofre; B: boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; H+Al: acidez potencial; CTC: capacidade de troca de cátions.

O clima em ambas áreas experimentais é quente com inverno seco (Aw), com temperatura média anual de 27°C. Em Bom Jesus-PI, a precipitação média anual é de 1.100 mm, enquanto que em Brejo-MA, a precipitação média anual é de 1.613 mm (Figura 2).

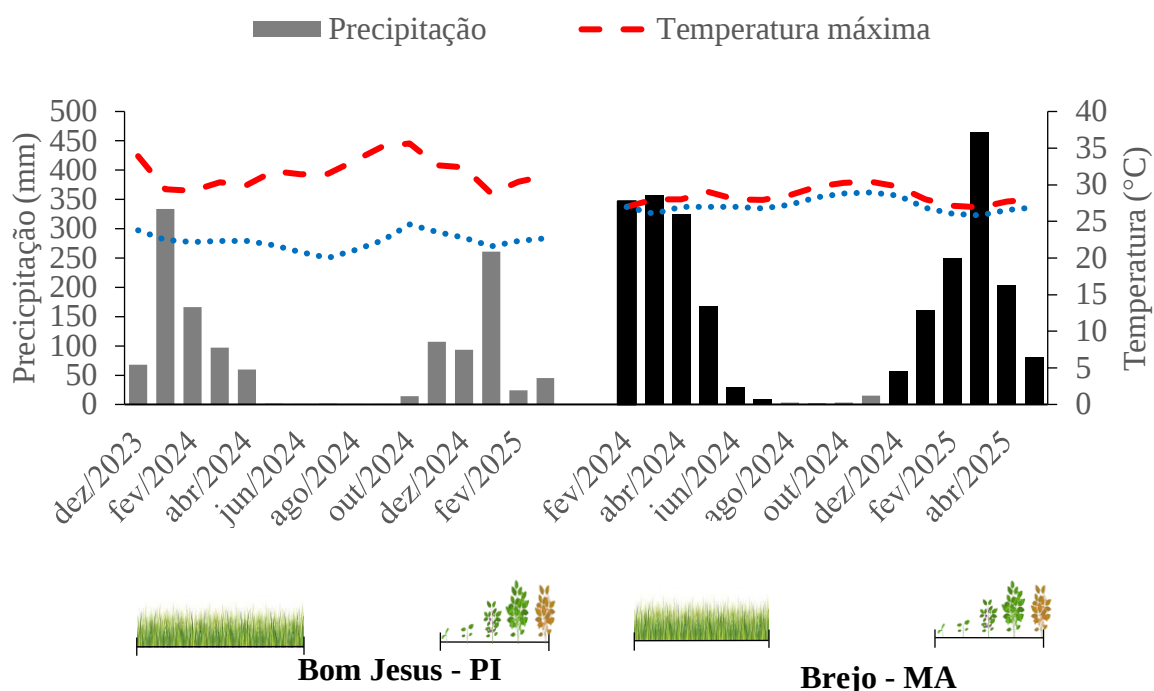


Figura 2. Precipitação e temperatura do ar obtidos durante condução experimental na Fazenda Vô Desidério em Bom Jesus-PI e Fazenda Barbosa em Brejo-MA.

2.2 Histórico das áreas

2.2.1 Brejo-MA

Em 2003, o manejo da soja sob Plantio Direto (PD) teve início, com a remoção da vegetação nativa do Cerrado e a adoção de práticas de agricultura mecanizada que incluíram a aplicação de 2 t ha^{-1} de calcário calcítico. Em 2004, práticas conservacionistas foram introduzidas, marcando o começo do preparo reduzido do solo e o cultivo de soja (*Glycine max*), juntamente com a sucessão entre soja e milho (*Pennisetum glaucum*), além da inoculação das sementes de soja com *Bradyrhizobium japonicum*. Durante este período, o pH do solo foi mantido em 5,5 na camada de 0–10 cm, com aplicações de 2 t ha^{-1} de calcário a cada quatro anos. Historicamente, a área foi manejada sob monocultivo de soja até 2011, o sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) foi implementado, como uma estratégia para diversificar a produção e otimizar o uso dos recursos, substituindo o cultivo exclusivo de soja e milho sob sucessão. O ciclo do ILP é de cinco anos, alternando o cultivo consorciado de milho e braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) com pastejo de bovinos na entressafra, seguido de quatro anos de cultivo de soja e milho. O pastejo de animais realizado após o consórcio do milho com Marandu mantém uma taxa de lotação de 2,5 Unidades Animal (UA)/ha.

Em 2016, um novo ciclo do sistema ILP foi adotado, permitindo o pastejo de bovinos machos. Entre 2018 e 2020, a área foi novamente manejada sob Plantio Direto. Em 2021, a área foi subsolada até 0,30 m, retornando ao consórcio de milho e braquiária. A massa seca de braquiária variou de 7.780 kg ha⁻¹ na entrada dos animais, para 3.550 kg ha⁻¹ na saída. A adubação das culturas de soja e milho seguiu as recomendações de Sousa e Lobato (2004), garantindo a manutenção da fertilidade do solo.

Na safra de 2022, intervenções específicas incluíram a dessecação da palhada de milho com glifosato e 2,4-D amina, além de adubação de plantio com 150 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico (MAP) e 170 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl). Aplicações foliares de micronutrientes e controle químico de pragas, doenças e plantas daninhas foram realizados conforme a necessidade. O milho é semeado a lanço após a colheita da soja, visando não apenas a produtividade, mas também a sustentabilidade do sistema agrícola, promovendo a saúde do solo e a eficiência no uso dos recursos.

Neste novo ciclo, foi realizado o cultivo da soja até a safra 2023, sendo que em 2024, tiveram início as atividades do presente estudo nesta localidade, com o plantio consorciado do milho com diferentes espécies de gramíneas forrageiras.

2.2.2 *Bom Jesus-PI*

A fazenda realiza o cultivo sob sistema de plantio direto há quinze anos (desde 2001), utilizando as culturas de soja e milho em sucessão, realizando-se incorporação de calcário a cada seis anos. Na safra 2016/2017, foram iniciados os sistemas de cultivo de milho consorciado com gramíneas forrageiras em rotação com soja.

Nesse mesmo período, foram implantados três renques de espécies florestais (eucalipto e sabiá), compostos por 4 fileiras de plantas espaçadas de 4 m x 4m, com dois entre-renques (área de cultivo agrícola) de 30 metros de largura, numa área já cultivada anteriormente. Nos entre-renques das espécies florestais, foi implantado o cultivo de milho consorciado com gramíneas forrageiras no primeiro ano e cultivo de soja em três anos consecutivos. Um novo ciclo de cultivo de milho consorciado com gramíneas forrageiras ocorreu na safra 2020/21, com cultivo posterior de soja até a safra 2022/23. Foram realizadas práticas de manejo e adubação baseada nas recomendações de Sousa e Lobato (2004).

Na safra 2023/24, teve início as ações do presente estudo, com a implantação da cultura do milho consorciada com espécies de gramíneas forrageiras.

2.3 Delineamento experimental

Em cada local, o delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados

com 5 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos avaliados consistiram de quatro espécies de gramíneas forrageiras em consórcio com milho e milho solteiro, como testemunha. As parcelas possuíam dimensões de 5 x 6 m, com dez fileiras de milho espaçadas de 0,5 m e com aproximadamente 5,3 plantas m². A semeadura das parcelas experimentais e adubação de base foi realizado manualmente seguindo-se as recomendações para as culturas do milho para a região (Sousa e Lobato, 2004).

Em Bom Jesus, o plantio do milho e dos capins foi realizado em 12/12/2023, utilizando espécies de gramíneas forrageiras do gênero *Urochloa* (*U. ruziziensis* e *U. brizanta* cv. Marandu) e do gênero *Megathyrsus* (*M. maximus* cv. Massai e *M. maximus* cv. Zuri) consorciadas com milho, além de um tratamento testemunha com milho solteiro. A cultivar de milho utilizada foi a NK501VIP3 (SZF61012L.0). A colheita do milho foi realizada em 22/05/2024, e a coleta dos capins foi realizada em 19/06/2024. Em 13 de novembro de 2024, foi realizado plantio manual da soja em todas as parcelas do experimento, utilizando-se a cultivar Olimpo, com aproximadamente 15 plantas por metro linear (300.000 plantas ha⁻¹). A soja foi colhida em 26/03/2025.

No município de Brejo, o plantio do milho (cultivar Pioneer 3707) e dos capins foi realizado em 01/02/2024, utilizando as espécies de gramínea forrageira *U. ruziziensis* e *U. brizanta* cv. Marandu e *M. maximus* cv. Massai e *M. maximus* cv. Tamani. A colheita do milho foi realizada em 04/06/2024, e a coleta dos capins foi realizada em 04/07/2024. Em 31 de janeiro de 2025, foi realizado o plantio manual da soja em todas as parcelas do experimento, utilizando-se a cultivar Olimpo, com aproximadamente 15 plantas por metro linear (300.000 plantas ha⁻¹). A soja foi colhida em 07/05/2025.

2.4 Decomposição dos resíduos vegetais

A decomposição da matéria seca e liberação de nutrientes dos resíduos de cada sistema foi determinada com o auxílio de bolsas de decomposição (*Litterbags*), as quais foram confeccionadas com malha de nylon com abertura de 2 mm, nas dimensões 0,20 x 0,20 m, conforme descrito por Thomas e Asakawa (1993).

Cada *Litterbag* foi preenchida com uma alíquota de 20 gramas de cada um dos resíduos vegetais previamente secos (milho e milho+gram), os quais foram fracionados em pedaços de aproximadamente 10 cm. Para cada um dos tratamentos foram preparadas 4 repetições, avaliadas ao longo de 5 diferentes tempos de coleta, aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias (fator tempo), totalizando 100 *Litterbags* em cada local (Bom Jesus-PI e Brejo-MA). Em cada tratamento, foram depositadas sobre a superfície do solo um conjunto de 20

Litterbags (5 épocas de amostragem x 4 repetições cada), contendo resíduos oriundos de cada respectivo tratamento.

Após a coleta das *Litterbags* no campo nos tempos pré-determinados (0, 30, 60, 90 e 120 dias), as amostras foram limpas manualmente e lavadas em água corrente, água destilada com detergente neutro (0,1%), ácido clorídrico (0,3%) e novamente lavadas com água destilada (Boaretto *et al.*, 2009), colocadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante. Em seguida, o material foi pesado para obtenção da massa seca remanescente. O percentual de massa seca remanescente (%MSR) foi obtido pela relação entre o peso final seco (Pf) e o peso inicial seco (Pi), de acordo com a expressão: %MSR= (Pf/Pi) x 100.

Para a caracterização dos resíduos remanescentes nas *Litterbags*, as amostras de tecido vegetal foram moídas em moinho tipo Willey a 1 mm e submetidas a análises químicas. Em todas as avaliações, foram determinados os teores de carbono orgânico (C) pelo método Walkley-Black modificado por Yeomans e Bremner, (1988). Foram também determinadas as concentrações de lignina e celulose, obtidas pelo método da fibra em detergente ácido - FDA (Van Soest; Wine, 1968). Na primeira e última coleta, foram determinados os teores de nitrogênio total (N) pela metodologia de Kjeldahl, descrito por Detmann *et al.* (2012).

Os acúmulos de carbono foram obtidos por meio da multiplicação da massa seca inicial (20g) encontrados nos respectivos tempos (Malavolta *et al.*, 1997) e posteriormente expressos em porcentagem, considerando o tempo zero como 100%. Foram empregados modelos com parâmetros estimados usando a função de ajuste com curva dinâmica, sendo escolhido o modelo que expressou significância estatística e maior coeficiente de determinação (R²).

A taxa de decomposição dos resíduos vegetais foi avaliada utilizando o modelo exponencial proposto por descrito Thomas e Asakawa, (1993) na equação (1):

$$X = X_0 \cdot e^{-kt} \quad 1$$

Em que: X é a quantidade de fitomassa seca remanescente após um período de tempo t (dias); X₀ é quantidade inicial da fitomassa seca ou de determinado nutriente e; k é a constante de decomposição do resíduo.

Por meio do valor de k foi calculado o tempo de meia-vida, que é o tempo necessário para decomposição da metade da quantidade dos resíduos vegetais existentes

no tempo inicial, obtido por meio do modelo de linearização exponencial simples, proposto por Landsberg e Gower (1997), calculado pela equação (2):

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0,69315}{k} \quad 2$$

2.5 Avaliação da produtividade de grãos e massa seca de forragem

Para avaliação da produtividade do milho, foram colhidas as espigas de duas fileiras centrais de cada parcela, descartando-se 0,50 m da extremidade de cada fileira (5 m²), a fim de avaliar o efeito das gramíneas forrageiras na performance das plantas. As espigas foram debulhadas e a massa dos grãos corrigida para 14% de umidade. A massa de grãos foi então convertida para megagramas por hectare (kg ha⁻¹).

Após a colheita do milho, foi realizada a coleta de resíduos vegetais, com o auxílio de uma moldura metálica de área conhecida (0,50 m²), lançada aleatoriamente em dois pontos de cada um dos diferentes tratamentos (Crusciol *et al.*, 2005). Foram coletados os seguintes resíduos vegetais: Marandu + palhada de milho (M+Marandu), Ruziziensis + palhada de milho (M+Ruziziensis), Massai + palhada de milho (M+Massai), Zuri ou Tamani + palhada de milho (M+Zuri ou M+Tamani, respectivamente) e apenas palhada de milho nos tratamentos testemunha. O material coletado foi levado para secagem em estufa de circulação forçada de ar 65 °C até peso constante. Após secas, as amostras foram pesadas para determinar a produção de matéria seca dos resíduos vegetais, com posterior estimativa da produtividade, expressa em quilograma por hectare (kg ha⁻¹).

A colheita da soja foi realizada a partir de 2 m² da área central das parcelas, a fim de avaliar o efeito dos tratamentos do cultivo anterior, na performance das plantas. As plantas de soja foram debulhadas e a massa dos grãos corrigida para 14% de umidade. A massa de grãos foi então convertida para quilograma por hectare (kg ha⁻¹).

2.6 Avaliação da fertilidade do solo

Após a colheita do milho, e após a colheita da soja, foram coletadas amostras de solo para avaliação de atributos de fertilidade na camada de 0,00-0,10 m.

Os atributos químicos do solo medidos foram o pH (CaCl₂) determinado pelo método do potenciômetro, na proporção solo: água de 1:2,5; P e K⁺, extraídos com solução de Mehlich-1, sendo a concentração de P determinada por colorimetria e o K⁺ por absorção atômica; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, sendo o Ca²⁺ e Mg²⁺ determinados por espectrometria de absorção atômica e Al por titulometria;

acidez potencial (H+Al) determinado via extração com 0,5 mol L⁻¹ de acetato de cálcio e quantificada por titulometria; soma de bases (SB= K⁺+Ca²⁺+Mg²⁺); capacidade de troca catiônica (CTC= SB + H+Al) e saturação de bases (V%= SB/CTC*100), de acordo com Teixeira *et al.* (2017). A matéria orgânica (MO) do solo foi determinado por digestão úmida com dicromato de potássio (Swift, 1996).

Os micronutrientes Zn²⁺, Cu²⁺, Fe²⁺ e Mn²⁺ foram extraídos com solução Mehlich-1, sendo a determinação por espectroscopia de absorção atômica. Os micronutrientes Zn²⁺, Cu²⁺, Fe²⁺ e Mn²⁺ foram extraídos com solução Mehlich-1, sendo a determinação por espectroscopia de absorção atômica. O boro (B) foi determinado em espectrofotometria após empregar o método de extração com água quente.

2.7 Análises estatísticas

Os dados coletados foram submetidos e verificados quanto à normalidade e homogeneidade das variâncias e posteriormente submetidos à análise de variância, de acordo com um delineamento de blocos inteiramente casualizado. Quando significativos, os dados de produtividade (biomassa de gramíneas e grãos de milho e soja) e teores de nutrientes foram comparados pelo teste de Tukey (P≤0,05). As análises foram realizadas com auxílio do software SISVAR[®] 5.6 (Ferreira, 2014).

3 RESULTADOS

Não houve diferença estatística significativa (p>0,05) na produção de MSRP em Brejo-MA. Todavia, M+Tamani apresentou 7912,5 kg ha⁻¹, sendo numericamente, 25,31% superior ao menor valor encontrado no tratamento M+Massai com 5910 kg ha⁻¹. Em Bom Jesus-PI, houve diferença estatística significativa (p<0,05) entre os tratamentos, sendo que o tratamento M+Massai apresentou valor de MSRP de 13100 kg ha⁻¹, diferindo estatisticamente do consórcio M+Marandu, M+Zuri e da Testemunha (Figura 3).

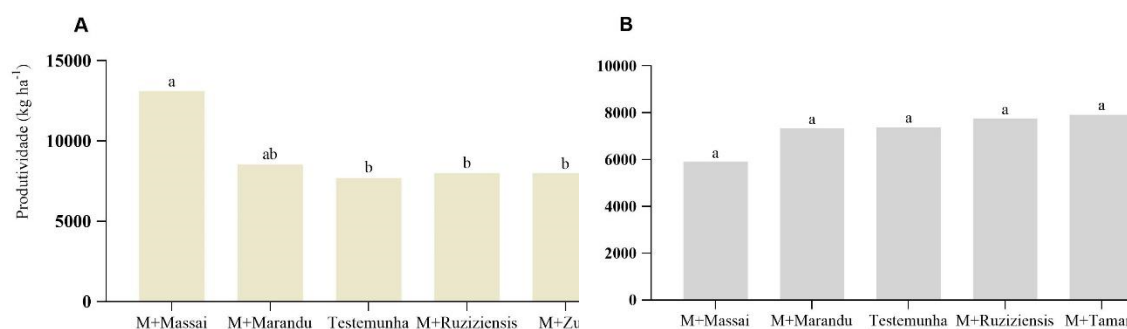


Figura 3. Produtividade da matéria seca do resíduo da palhada (kg ha^{-1}) de diferentes consórcios de plantas de cobertura com milho e milho solteiro, nos municípios de Bom Jesus-PI (A) e Brejo-MA (B). Médias seguidas pela mesma na coluna letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Não houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos nas diferentes épocas da decomposição da palhada. Todavia, houve redução da massa seca remanescente da palhada até os 120 dias, tanto em Brejo-MA como em Bom Jesus-PI (Figuras 4). Cerca de 9,48, 8,31, 9,05, 9,80 e 12,33% da biomassa da palhada de M+Marandu, M+Massai, M+Ruziziensis, Testemunha e M+Tamani, respectivamente, foi decomposta ao longo dos 120 dias em Brejo-MA e 19,04, 7,06, 24,35, 24,23 e 6,48% da biomassa da palhada de M+Marandu, M+Massai, M+Ruziziensis, Testemunha e M+Zuri, respectivamente, foi decomposta ao longo dos 120 dias, em Bom Jesus-PI.

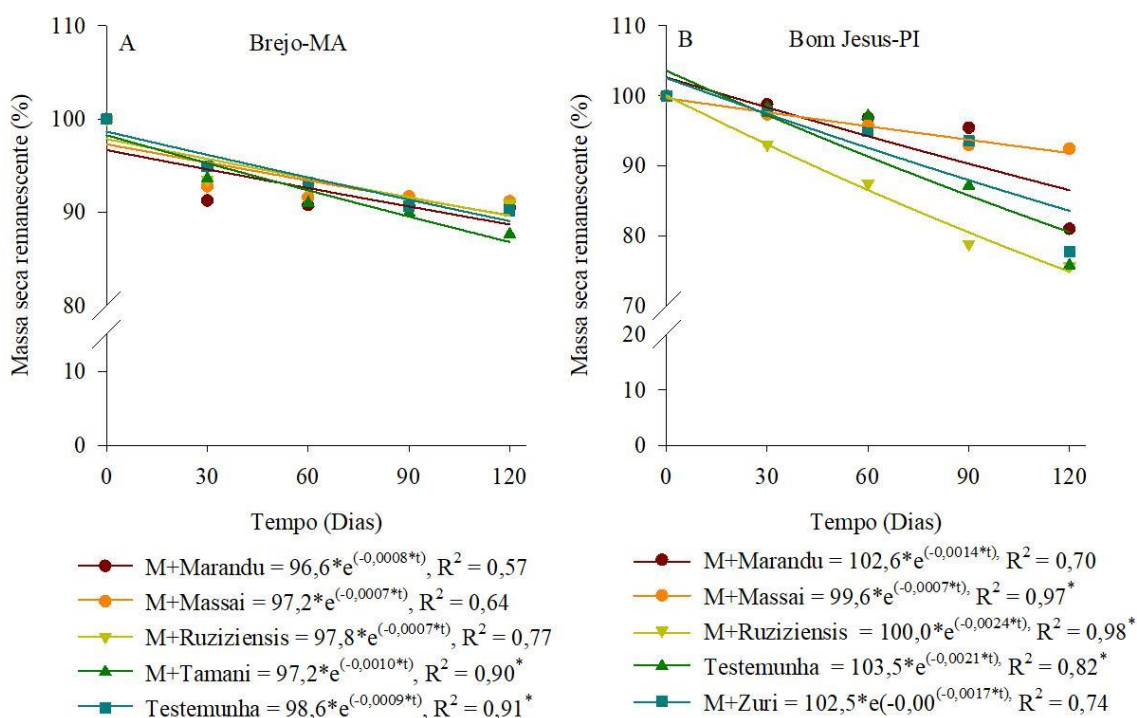


Figura 4. Curvas de decomposição da palhada nas diferentes áreas de estudo.

O modelo não linear de decaimento exponencial descreveu adequadamente a decomposição dos resíduos de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, Brejo-MA com coeficiente de determinação ($R^2 = 0,57$) e coeficiente de correlação ($R = 0,76$), indicando ajuste moderado entre os valores observados e estimados. O erro padrão da estimativa (EPE = 3,11) revelou que o desvio médio dos valores observados em relação à curva ajustada foi relativamente baixo, considerando a escala da variável, o que reforça a confiabilidade do modelo em representar o padrão geral de decomposição. No entanto, a

constante de decomposição ($k = 0,0007 \pm 0,0004$) apresentou elevado erro relativo e não foi estatisticamente significativa ($p = 0,136$), evidenciando variabilidade considerável na dinâmica de decomposição e baixa precisão na estimativa da taxa de decaimento nas condições avaliadas.

Tabela 2. Valores de constante de decomposição (k) e tempo de meia vida ($t_{1/2}$) da serapilheira nos diferentes ambientes de estudo.

Parâmetros	Brejo – MA				
	M+Marandu	M+Massai	M+Ruziziensis	M+Tamani	Testemunha
P0 (g)	20	20	20	20	20
r^2	0,57	0,64	0,77	0,90*	0,91*
EPE	3,11	2,53	2,01	1,68	1,34
k (g g ⁻¹ dia)	0,0008	0,0007	0,0007	0,0010	0,0009
$t_{1/2}$ (dias)	866	990	990	693	770

Parâmetros	Bom Jesus – PI				
	M+Marandu	M+Massai	M+Ruziziensis	Testemunha	M+Zuri
P0 (g)	20	20	20	20	20
r^2	0,76	0,97*	0,98*	0,82*	0,74
EPE	4,85	0,62	1,18	4,89	5,08
k (g g ⁻¹ dia)	0,0014	0,0007	0,0024	0,0021	0,0017
$t_{1/2}$ (dias)	495	990	289	330	408

Em que: P0 = massa inicial; k = constante da decomposição; r^2 = coeficiente de determinação do ajuste para a estimativa do k ; EPE = Erro padrão da estimativa de k ; $t_{1/2}$ = tempo de meia-vida; * $p < 0,05$.

O tempo de meia-vida variou de 866 a 990 dias para as gramíneas forrageiras do gênero *Urochloa* spp. e de 693 a 990 para o gênero *Megathyrsus* spp. nas condições experimentais de Brejo-MA. Todavia, em Bom Jesus-PI, com condições edafoclimáticas parcialmente distintas, as gramíneas forrageiras do gênero *Urochloa* spp. tiveram variação do tempo de meia-vida entre 289 a 495 dias, enquanto as do gênero *Megathyrsus* spp., tiveram variação do tempo de meia-vida entre 408 a 990 dias.

Nas condições de Brejo-MA, houve diferença significativa entre os tratamentos quanto aos teores de N no tempo inicial (0 dias), sendo que M+Marandu (14,3 g kg⁻¹) foi 37,76% superior quando comparado com a Testemunha (8,9 g kg⁻¹). Aos 120 dias, M+Ruziziensis apresentou os maiores teores de N (8,2 g kg⁻¹), enquanto M+Massai, apresentou as menores médias (5,7 g kg⁻¹). Para o teor de C, não houve diferença entre os tratamentos no tempo inicial. No entanto, aos 120 dias, M+Marandu e M+Massai apresentaram as maiores médias, seguidos pelos tratamentos M+Ruziziensis, Testemunha e M+Tamani. Não houve efeito significativo dos tratamentos para as variáveis MSR, lignina e celulose, tanto no início, como no final do período de avaliação.

Em Bom Jesus-PI houve diferença estatística no tempo inicial, apenas para os teores de celulose, sendo que o tratamento M+Massai apresentou maior valor (31,4%),

enquanto M+Marandu apresentou o menor valor (28,3%). Aos 120 dias, houve diferença entre os tratamentos para os teores de N, sendo que M+Ruziziensis apresentou as maiores médias (12,6 g kg⁻¹), sendo 38,9% superior ao valor encontrado na Testemunha (7,7 g kg⁻¹). Quanto aos teores de celulose, o tratamento M+Massai apresentou valor significativamente superior (32,1%) aos demais tratamentos, exceto a Testemunha (30,6%) (Tabela 3).

Tabela 3. Médias (n = 4) da massa seca remanescente (MSR) e dos teores de carbono (C), nitrogênio (N), Lignina (LIG) e Celulose (CEL) de resíduos vegetais de espécies de plantas de cobertura aos 0 e 120 dias de decomposição, avaliadas em dois ambientes (Brejo-MA e Bom Jesus-PI).

Espécies	Tempo (0 dias)					Tempo (120 dias)				
	MSR (g)	C (%)	N (g kg ⁻¹)	LIG (%)	CEL (%)	MSR (g)	C (%)	N (g kg ⁻¹)	LIG (%)	CEL (%)
Brejo-MA										
M+Marandu	20,0 ^{ns}	47,7 ^{ns}	14,3a	3,3 ^{ns}	31,9 ^{ns}	18,2 ^{ns}	44,3a	7,6ab	4,8 ^{ns}	27,6 ^{ns}
M+Massai	20,0	48,6	9,9b	3,5	37,2	18,5	43,6a	5,7c	4,9	26,9
M+Ruziziensis	20,0	47,8	9,9b	4,1	31,9	18,3	41,4ab	8,2a	9,4	25,2
M+Tamani	20,0	49,4	10,0b	3,4	27,9	17,6	37,2c	7,2ab	3,5	28,3
Testemunha	20,0	47	8,9b	5,1	31,7	18,1	40,6ab	7,4ab	2,1	29,8
CV (%)	0,26	3,13	12,6	27,1	17,4	3,63	6,99	13,78	83,4	33,83
valor p	0,08	0,25	0,001*	0,13	0,30	0,46	0,03*	0,04*	0,19	0,96
Bom Jesus-PI										
M+Marandu	20,0 ^{ns}	44,6 ^{ns}	10,7 ^{ns}	3,4 ^{ns}	28,3c	16,2 ^{ns}	43,6 ^{ns}	11,3ab	1,2 ^{ns}	27,3b
M+Massai	20,0	43,5	10,1	2,3	31,4a	18,7	44,9	11,6ab	2,5	32,1a
M+Ruziziensis	20,0	43,9	10,7	2,1	30,5ab	15,3	41,6	12,6a	2,7	27,6b
Testemunha	20,0	42,9	7,8	2,4	28,9ab	15,2	44,1	7,7b	2,9	30,6ab
M+Zuri	20,0	44,5	9,6	2,9	29,3ab	18,5	43,3	8,6b	2,5	27,5b
CV (%)	0,2	5,14	17,3	43	3,81	20,57	4,42	17,3	47,6	6,78
valor p	0,06	0,81	0,14	0,54	0,01*	0,4	0,24	0,01*	0,29	0,01*

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente de acordo com o teste de Tukey ao nível de significância de 5% dentro do mesmo período de avaliação. C: carbono, N: nitrogênio total, LIG: lignina, CEL: celulose. CV (%): coeficiente de variação. Valor de p: probabilidade associada ao teste F da análise de variância (ANOVA).

Não houve efeito significativo ($p > 0,05$) entre os tratamentos avaliados nos diferentes consórcios ou cultivo solteiro do milho na produtividade de grãos, nas duas localidades experimentais, tanto em Brejo como em Bom Jesus (Figura 5). Dentre os tratamentos, o M+Tamani com 7913 kg ha⁻¹ expressou maior valor dentre os demais tratamentos em Bom Jesus e o tratamento que obteve o maior valor foi o tratamento M+Ruziziensis com 8074 kg ha⁻¹.

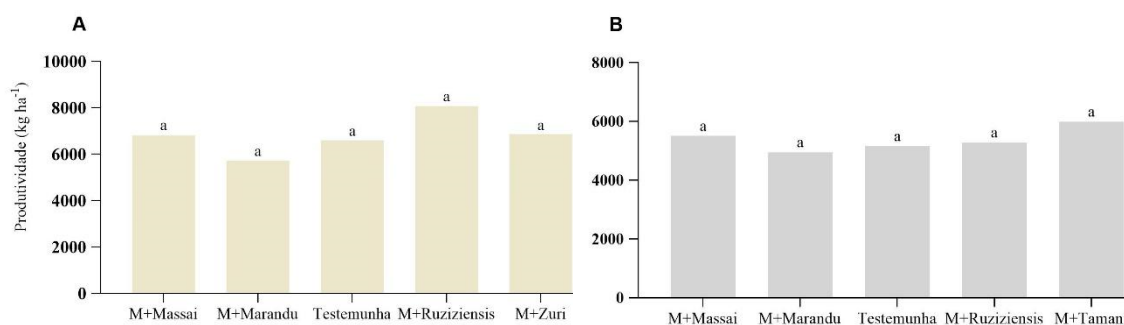


Figura 5. Produtividade de grãos de milho (kg ha⁻¹) em sucessão a diferentes espécies de plantas de cobertura nos municípios de Bom Jesus-PI (A) e Brejo-MA (B). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Os dados referentes à fertilidade química do solo estimados entre os diferentes tratamentos após a colheita do milho, demonstraram que as plantas de cobertura avaliadas em Bom Jesus-PI influenciaram significativamente os teores de nutrientes K⁺, Fe³⁺ e Mn²⁺ (Tabela 4).

Tabela 4. Características química da fertilidade do solo após colheita do milho em resposta ao efeito das plantas de cobertura consorciada com milho em sistemas integrados avaliados em dois ambientes (Brejo-MA e Bom Jesus-PI).

Plantas de cobertura	Macronutrientes							Micronutrientes				
	pH	COT	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S-SO ₄ ²⁻	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	mg kg ⁻¹	-----	-----
Bom Jesus - PI												
M+Massai	6,30 ^{ns}	1,77 ^{ns}	72,96 ^{ns}	0,78ab	2,44 ^{ns}	0,94 ^{ns}	10,57 ^{ns}	30,41a	11,32a	0,31 ^{ns}	4,93 ^{ns}	0,21 ^{ns}
M+Marandu	6,52	1,42	74,68	0,69b	1,98	0,90	7,95	16,73b	1,96b	0,28	3,71	0,22
Testemunha	6,39	1,60	62,73	1,14a	2,04	0,97	10,83	30,20a	9,29a	0,50	4,69	0,21
M+Ruziziensis	6,44	1,41	81,72	0,86ab	3,51	1,25	6,11	32,16a	10,19a	0,35	4,78	0,21
M+Zuri	6,35	1,72	64,23	1,07ab	2,20	0,99	13,55	31,09a	0,68b	0,47	4,30	0,21
CV (%)	2,73	9,14	23,31	19,29	29,47	21,98	56,65	19,40	29,62	47,16	16,10	6,99
valor p	0,51	0,08	0,57	0,01*	0,06	0,25	0,42	0,01*	0,01*	0,38	0,18	0,65
Brejo - MA												
M+Massai	5,75 ^{ns}	1,87 ^{ns}	48,99 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,92 ^{ns}	10,42 ^{ns}	50,04 ^{ns}	9,26 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,84b	0,25 ^{ns}
M+Marandu	5,46	2,31	56,06	0,14	1,53	0,86	9,75	40,33	10,46	0,07	8,54a	0,26
Testemunha	5,76	1,74	38,16	0,16	1,64	0,93	5,59	49,12	10,62	0,05	1,25b	0,25
M+Ruziziensis	5,75	1,65	37,15	0,08	1,83	0,99	5,23	52,28	8,92	0,05	2,08b	0,25
M+Tamani	5,83	1,68	34,16	0,07	1,57	0,93	13,04	53,50	11,09	0,07	6,97a	0,25
CV (%)	5,43	10,64	37,65	50,53	18,87	17,31	109,36	26,32	13,55	111,55	52,31	2,51
valor p	0,51	0,64	0,32	0,10	0,67	0,87	0,75	0,64	0,18	0,98	0,01*	0,46

pH em CaCl₂: potencial hidrogeniônico; COT: carbono orgânico total; P: fósforo; K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; S-SO₄²⁻: enxofre; B: boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco. CV (%): coeficiente de variação. Valor de p: probabilidade associada ao teste F da análise de variância (ANOVA). As médias seguidas por letras diferem umas das outras pelo teste de Tukey (p < 0,05), ns - não significativo.

Os dados de produtividade de soja mostrou não haver influência dos tratamentos em Bom Jesus. Por sua vez, em Brejo, houve diferença significativa ($p < 0,05$) dos tratamentos para a produtividade de grãos, sendo que M+Massai apresentou a menor média 2489 kg ha^{-1} , comparado aos demais tratamentos (Figura 6).

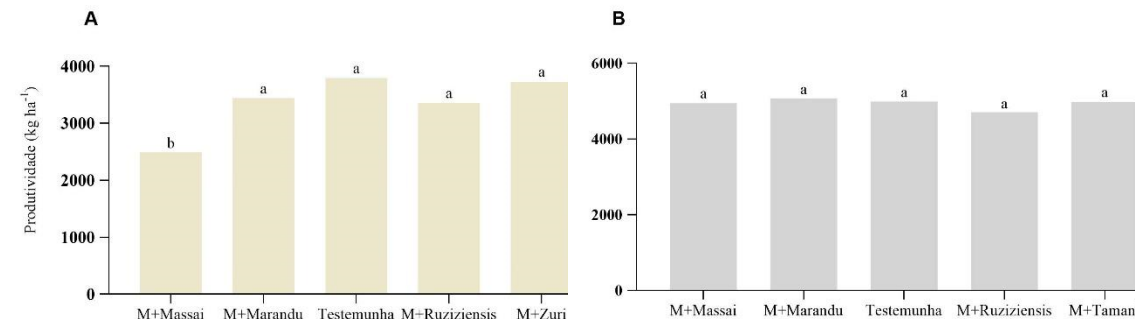


Figura 6. Produtividade de grãos de soja (kg ha^{-1}) em sucessão a diferentes espécies de plantas de cobertura nos ambientes de Bom Jesus-PI (A) e Brejo-MA (B). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Observa-se que mesmo após a colheita da soja, em 2025, as plantas de cobertura exerceram efeitos sobre algumas características do solo, tanto em Bom Jesus, como em Brejo. Em Bom Jesus-PI, os teores de P foram maiores com o cultivo de M+Marandu ($76,33 \text{ mg dm}^{-3}$), e menores na testemunha ($57,18 \text{ mg dm}^{-3}$).

Já em Brejo, os teores de P foram maiores no tratamento M+Massai ($38,23 \text{ mg dm}^{-3}$) e menores para M+Marandu ($26,33 \text{ mg dm}^{-3}$) e Testemunha ($20,87 \text{ mg dm}^{-3}$). Os teores de Ca também foram influenciados pelos tratamentos, com maiores valores no consórcio M+Marandu ($1,69 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e M+Ruziziensis ($1,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Tabela 5. Características química da fertilidade do solo em resposta ao efeito residual de plantas de cobertura consorciada com milho, após cultivo de soja em sistemas integrados, avaliados em dois ambientes (Brejo-MA e Bom Jesus-PI).

Plantas de cobertura	Macronutrientes							Micronutrientes				
	pH	COT	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S-SO ₄ ⁻²	Fe ³⁺	Mn	Cu	Zn	B
	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	mg kg ⁻¹	-----	-----
Bom Jesus - PI												
M+Massai	6,51 ^{ns}	2,58 ^{ns}	71,34abc	0,45 ^{ns}	-	-	26,79 ^{ns}	26,80 ^{ns}	13,93 ^{ns}	0,68 ^{ns}	4,13 ^{ns}	-
M+Marandu	6,42	2,65	76,33a	0,35	-	-	33,00	26,49	12,27	0,75	3,02	-
Testemunha	6,31	2,93	57,18c	0,39	-	-	22,07	28,96	12,03	0,66	3,97	-
M+Ruziziensis	6,45	2,72	75,53ab	0,31	-	-	33,07	21,61	12,77	0,69	3,68	-
M+Zuri	6,40	2,88	60,49bc	0,46	-	-	31,13	24,14	12,47	0,71	3,20	-
CV (%)	1,98	13,72	10,13	3,27	-	-	32,45	19,22	21,25	16,02	12,92	-
valor p	0,33	0,65	0,005*	0,19	-	-	0,45	0,32	0,87	0,85	0,18	-

Brejo – MA												
M+Massai	5,38 ^{ns}	3,31 ^{ns}	38,23a	0,04 ^{ns}	1,64ab	0,44 ^{ns}	1,79 ^{ns}	75,69 ^{ns}	10,59 ^{ns}	0,95 ^{ns}	5,00 ^{ns}	0,20 ^{ns}
M+Marandu	5,44	3,05	26,33b	0,07	1,69a	0,46	1,28	68,74	10,99	0,92	4,61	0,20
Testemunha	5,74	3,13	20,87b	0,08	1,41b	0,46	2,77	72,92	12,62	0,75	6,06	0,19
M+Ruziziensis	5,55	3,34	27,47ab	0,04	1,76a	0,43	2,36	68,73	11,32	0,70	4,38	0,20
M+Tamani	5,57	3,28	30,86ab	0,05	1,53ab	0,42	2,05	74,76	12,81	1,04	4,62	0,20
CV (%)	5,17	12,15	18,08	46,47	7,37	9,07	114,64	14,50	11,65	40,65	18,57	3,63
valor <i>p</i>	0,49	0,80	0,006*	0,17	0,009*	0,63	0,92	0,81	0,14	0,63	0,14	0,2752

pH em CaCl₂: potencial hidrogeniônico; COT: carbono orgânico total; P: fósforo; K⁺: potássio; Ca⁺²: cálcio; Mg⁺²: magnésio; S-SO₄²⁻: enxofre; B: boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco. CV (%): coeficiente de variação. Valor *de p*: probabilidade associada ao teste F da análise de variância (ANOVA). As médias seguidas por letras diferem umas das outras pelo teste de Tukey (*p* < 0,05), ns - não significativo.

Nas condições em que os tratamentos foram avaliados, não houve efeito significativo (*p* > 0,05) para a maioria dos atributos químicos do solo após o cultivo da soja. Para os nutrientes Ca²⁺, Mg²⁺ e B não foram realizados análises para as amostras de Bom Jesus-PI, devido à quebra de equipamentos no laboratório de solos.

4 DISCUSSÃO

Em Brejo, a precipitação acumulada de 347 mm em fevereiro de 2024 proporcionou o bom estabelecimento inicial dos consórcios com plantas de cobertura consorciadas com milho e milho solteiro. As condições climáticas no período entre a semeadura dos consórcios até a colheita da MSRP resultaram em precipitação acumulada de 1226 mm, com temperatura média de 27,4°C. Apesar da boa precipitação, as quantidades de MSRP obtidas neste trabalho foram inferiores às mencionadas por Kluthcouski *et al.* (2003), que relataram que para o solo estar bem protegido, são necessárias cerca de 7000 kg ha⁻¹. Em Bom Jesus, a precipitação acumulada foi de 726 mm e a temperatura média foi de 26,5°C e temperatura média de 28,9°C no mês do plantio (dezembro de 2023). Para as condições experimentais desta localidade, houve tratamentos com valores de MSRP mais elevados do que em Brejo, chegando a 13.100 kg ha⁻¹, possivelmente influenciados pela presença de renques florestais próximos ao experimento. De acordo com Bertoni *et al.* (2017), as árvores podem reduzir a evapotranspiração do sistema por meio de sombreamento, promovendo um ambiente mais favorável para o crescimento das plantas. Os dados do presente estudo demonstraram o potencial para produção de biomassa por plantas de cobertura, o que constitui uma estratégia necessária em sistemas produtivos sustentáveis, por combinar a alta capacidade da biomassa e de fornecer nutrientes e incorporar carbono no solo (Cordeiro *et al.*, 2021).

A diferença de comportamento de produtividade de plantas de cobertura nas diferentes localidades, está possivelmente relacionada diretamente com a precipitação (Figura 2). Os dados obtidos em Bom Jesus são de grande relevância, especialmente ao considerar as condições edafoclimáticas da região, na qual ocorrem longos períodos de seca. Portanto, os dados do presente estudo são essenciais o processo de escolha de culturas de cobertura visando otimizar não apenas a produção de forragem de alta qualidade (Krstić *et al.*, 2018; Hussein *et al.*, 2024), mas para aumentar também a performance dos cultivos em sucessão, principalmente em função dos longos períodos de seca. Esse resultado indica que, embora o modelo representa a tendência geral da perda de massa dos resíduos, a interpretação da velocidade de decomposição (k) deve ser feita com cautela, uma vez que o parâmetro pode ser sensível à variação ambiental e a limitações amostrais (Tabela 2).

Por sua vez, o desafio para o manejo sustentável na região do Cerrado do leste maranhense, é manejar diversificação de plantas de cobertura do solo, para que possam gerar volume de biomassa suficiente para recobrimento do solo, que persista até a implantação da cultura sucessora (Santos *et al.*, 2024).

No presente estudo, não houve diferença estatística para produtividade do milho em Brejo e Bom Jesus. Tal fato mostra que o consórcio com gramíneas forrageiras não é um fator limitante na produtividade do milho (Ceccon *et al.*, 2013), além de possibilitar incremento na ciclagem de nutrientes, com possibilidade de aumentos de produtividade dos cultivos em sucessão. Tal resultado demonstra a relevância destes dados, haja visto que a produtividade média dos grãos em consórcio foi 13,61% maior que a média do estado do Maranhão e 9,93% inferior à média nacional em Brejo e em Bom Jesus 31,27% maior que a média do estado do Piauí e 13,30% superior à média nacional na safra 22/23 (Conab, 2023). No contexto da intensificação dos sistemas de produção, os resultados encontrados no presente trabalho são de suma importância, pois permitem a escolha correta da gramínea forrageira, além de não interferir na produtividade do milho consorciado, possibilitando maior biomassa presente na superfície do solo. Estas condições favorecem o aumento da matéria orgânica e estoque de carbono e nitrogênio no solo (Torres *et al.*, 2019), portanto, promovendo melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo ao longo dos anos (Mattei *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2021; Campos e Montanari, 2024). Além disso, a escolha de espécies com mais lenta decomposição dos resíduos vegetais promove a liberação paulatina de nutrientes, de

modo a atender a demanda da cultura subsequente (Costa *et al.*, 2020; Dias *et al.*, 2020; Muniz *et al.*, 2021).

O período de permanência da MSRP sobre a superfície do solo é determinada pela velocidade de decomposição do resíduo vegetal. No tempo inicial ocorre uma rápida decomposição, favorecida pela presença de açúcares, aminoácidos e proteínas. Com o passar do tempo, o aumento da proporção de componentes recalcitrantes, como celulose e lignina, diminuem a velocidade de decomposição. Em Brejo, o tratamento M+Marandu diferiu dos demais no período inicial da avaliação, tendo uma decomposição mais rápida, possivelmente influenciada pelo maior teor de N. O N é consumido pelos microrganismos presentes no sistema, para construir sua biomassa. No tempo final da avaliação, o tratamento M+Tamani apresentou maiores taxas de C, possivelmente devido à decomposição mais lenta do resíduo, mesmo não tendo diferença estatística na MSRP.

Nas condições edafoclimáticas de Bom Jesus, observou-se teores elevados de compostos mais recalcitrantes, como a celulose. No tempo inicial, os tratamentos M+Massai e Testemunha diferiram dos demais indicando os maiores teores de celulose, resultando em mais lenta decomposição, comparado a Brejo.

Foi observado diferença na disponibilidade de K^+ pelas plantas de cobertura após cultivo dos consórcios. O potencial das gramíneas forrageiras na ciclagem de K^+ é reconhecido (Costa *et al.*, 2021), uma vez que, as gramíneas absorvem K não trocável e o tornam disponível em formas trocáveis no solo (Crusciol *et al.*, 2015). Os dados confirmam que, na ausência de plantas de cobertura, a retenção de K^+ na biomassa vegetal pode ser menor, resultando em menores teores no solo. Portanto, a não adoção de manejos que visem deposição de resíduos vegetais, implica na perda desse nutriente por lixiviação, devido à sua elevada mobilidade no solo (Segatelli *et al.*, 2022).

A produtividade da soja cultivada em sucessão não foi influenciada pelos consórcios instalados nos sistemas integrados em Brejo. Entretanto, em Bom Jesus, foi observada maior produtividade de grãos e soja quando esta foi cultivada em sucessão ao consórcio M+Ruziziensis; a menor produtividade foi observada para a soja cultivada em sucessão ao consórcio M+Massai. Tais diferenças possivelmente ocorreram devido às condições de menor decomposição da MSRP produzida por M+Massai, o que possivelmente resultou em menor quantidade de nutrientes sendo ciclados e disponibilizados para a soja no cultivo seguinte. Em áreas de pousio durante a entressafra, onde não há ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura, o acúmulo de biomassa e absorção de nutrientes pela soja em sucessão é afetado, principalmente nos anos com

condições climáticas desfavoráveis, comprometendo a produtividade da cultura (Soratto *et al.*, 2022). Os resultados, portanto, destacam que a escolha correta da gramínea a ser consorciada com a cultura do milho, visando a produção de biomassa para o plantio direto da soja, otimizando o uso da área, diversificando a produção e propiciando maior sustentabilidade aos sistemas agrícolas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os consórcios M+Ruziziensis em Bom Jesus proporcionam maior disponibilidade de K^+ , Fe^{3+} e Mn no solo. Em Brejo M+Marandu, proporciona incremento de Zn.

O consórcio de gramíneas forrageiras do gênero *Megathyrsus* e *Urochloa* não reduzem a produtividade do milho quando consorciado.

O cultivo de M+Ruziziensis em Bom Jesus e M+Tamani em Brejo, embora não tenha resultado em aumento da produtividade da soja, apresentam potencial como plantas de cobertura no Cerrado da região Meio-Norte do Brasil.

Novos estudos são necessários para avaliar os efeitos de longo prazo da interação entre o consórcio do milho e gramíneas forrageiras sobre a fertilidade do solo, ciclagem dos nutrientes e produtividade do consórcio das culturas em outras condições experimentais.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRINO, D.; SANTOS, H.; KÜLL, C. An investigative activity for the study of the landscape: the Cerrado soil in focus. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática - REnCiMa**, n. 12 v. 3, p. 1-21. 2021. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/20.500.12162/4887>>. Acesso em: 21 abr. 2024.
- aREATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. D; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008, p. 107-133.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. *Urochloa* in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 119, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119>
- BERTONI, J. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M.; SANTOS, P. M. Forage yield and nutritive value of warm-season grasses under nitrogen fertilization and irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 192, p. 217-255, 2017.
- BOARETTO, A. E.; VAN RAIJ, B.; SILVA, F. C.; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. do. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. In: SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.59-85.
- BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no Cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, 308 p. 2020.
- CAMPOS, R. P.; MONTANARI, R. Manejo dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo no sistema de integração lavoura pecuária–ILP. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 12, p. 194, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n12-194
- CANALLI, L. B. D. S.; SANTOS, J. B. D.; SILVA, A. A.; MUCHINSKI, A.; FELICIANO, E.; PENTEADO, D. Residues decomposition in crop rotations under no-till system. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, p. e20190609, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-solo-2020190609>.
- CECCON, G.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. Z.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in midwestern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 204-212, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100021>.
- CERRI, C. E. P.; ABBRUZZINI, T. F.; CARVALHO, J. L. N.; CHERUBIN, M. R.; FRAZÃO, L. A.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, D. M. S. Matéria orgânica do solo e o

equilíbrio global de carbono. IN: BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN-NETO, L. ANDRADE, C. A. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 211-254 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 05 set. 2025.

CORDEIRO, C. F. S.; RODRIGUES, D. R.; ROCHA, C. H.; ARAUJO, F. F.; ECHER, F. R. Glomalin and microbial activity affected by cover crops and nitrogen management in sandy soil with cotton cultivation. **Applied Soil Ecology**, v. 167, p. 104026, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104026>

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Soybean yield and nutrition after tropical forage grasses. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, p. 31-49, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10157-2>.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; PARIZ, C. M.; BOSSOLANI, J. W.; CASTILHOS, A. M.; NASCIMENTO, C. A. C.; LIMA, C. G. R.; BONINI, C. S. B.; KURUMAE, E. E. Can palisade and Guinea grass sowing time in intercropping systems affect soybean yield and soil chemical properties?. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 81, 2020.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p.161-168, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000200009>.

CRUSCIOL, C. A.; NASCENTE, A. S.; BORGHI, E.; SORATTO, R. P.; MARTINS, P. O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 2271–2280, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0603>

DETMANN, E.; E SILVA, L. F. C.; ROCHA, G. C.; PALMA, M. N. N.; RODRIGUES, J. P. P. **Métodos para análise de alimentos**: INCT-Ciência Animal. Minas Gerais: Visconde do Rio Branco. 350 p. 2012.

DIAS, M. B. C.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; BILEGO, U. O.; FURTINI NETO, A. E.; ALMEIDA, D. P.; BRAND, S. C.; VILELA, L. Brachiaria and Panicum maximum in an integrated crop–livestock system and a second-crop maize system in succession with soybean. **The Journal of Agricultural Science**, v. 158, n. 3, p. 206-217, 2020.

FERREIRA, D. F. **Sistema para análise de variância para dados balanceados: SISVAR**. UFLA, Lavras -MG, p. 92, 2014.

FRASCA, L. L. de M.; REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; LANNA, A. C.; DUARTE, J. R. de M.; NASCENTE, A. S. Plantas de cobertura inoculadas com microrganismos multifuncionais na entressafra em sistemas de produção da região do Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 4, p. 1489-1508, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n4p1489>

FRASCA, L. L. M.; SILVA, M. A.; REZENDE, C. C.; FARIA, D. R.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; LACERDA, M. C.; NASCENTE, A. S. Utilização de plantas de cobertura como alternativa de manejo sustentável. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 2, n. 7, p. e27571, 2021. DOI: 10.47820/recima21.v2i7.571.

FREITAS, Â. M. S.; SANTOS, J. L. S. Importância dos Sistemas de Integração Lavoura Pecuária Floresta. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 14, n. 1, 2022. Disponível em: <<http://revista.sear.com.br/rei/article/view/250/264>>. Acesso em: 27 abr. 2024.

GIONGO, V.; FREITAS, M. S. C.; FREITAS, R. C. A.; FREITAS, A. D. S.; TAURA, T. A.; LEITE, L. F. C. Matéria orgânica do solo em sistemas de produção integrados no Nordeste brasileiro. In: SOUZA, H. A.; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Brasília, DF : Embrapa, 2021. p. 81-112. GUIMARÃES, M. A. D.; MONTEIRO, A. R.; MOURA, T. M.; DINIZ, V. S. dos S.; GUIMARÃES, G. A. M. Experiências e perspectivas no uso de frutíferas em sistemas integrados. **Seven Editora**, 2023. Disponível em: <http://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/2299>. Acesso em: 20 apr. 2024.

HUSSEIN, M. A.; HAILESLASSIE, A.; DERSEH, M. B.; ASSEFA, T. T.; RIGA, F. T.; ADIE, A.; TEBEJE, A. K.; JONES, C. S.; TILAHUN, S. A. Enhancing irrigated forage crop production through water and nutrient management in the Ethiopian sub-humid highlands. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 8, p. 1373698, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1373698>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Províncias estruturais compartimentos de relevo tipos de solos regiões fitoecológicas e outras áreas**, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101648>>. Acesso em: 9 ago. 2025.

JAMES, J. N.; GROSS, C. D.; DWIVEDI, P.; MYERS, T.; SANTOS, F.; BERNARDI, R.; FARIA, M. F.; GUERRINI, I. A.; HARRISON, R.; BUTMAN, D. Land use change

alters the radiocarbon age and composition of soil and water-soluble organic matter in the Brazilian Cerrado, **Geoderma**, v. 345, p. 38-50, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.019>.

KRSTIĆ, Đ.; VUJIĆ, S.; JAĆIMOVIĆ, G.; D'OTTAVIO, P.; RADANOVIĆ, Z.; ERIĆ, P.; ČUPINA, B. The Effect of Cover Crops on Soil Water Balance in Rain-Fed Conditions. **Atmosphere**, v. 9, n. 12, p. 492, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos9120492>

LANDSBERG, J. J.; GOWER, S.T. Applications of Physiological Ecology to Forest Management. **Academic Press**, 354 p. 1997.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. D. C. A. D.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. D. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 29-35, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20100004>

LEITE, M. J. H. Características gerais dos principais solos da região semiárida. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 10, p. e3101964, 2022. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i10.1964>.

MACHIWAL, D.; KUMAR, S.; ISLAM, A.; KUMAR, S.; JAT, S. R.; VAISHNAV, M.; DAYAL, D. Avaliação do efeito de plantas de cobertura sobre o escoamento superficial, a perda de solo e os nutrientes do solo em uma região árida indiana. **Comunicações em Ciência do Solo e Análise de Plantas**, v. 52, n. 14, p. 1669-1688, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1892726>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.^a ed. Piracicaba: Potafós. 1997. 319 p.

MARTIN, T. N.; PIRES, J. L. F.; VEY, R. T. **Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja**, Santa Maria: Editora GR, 2022. 530 p.

MATTEI, E.; OLIVEIRA, P. S. R.; RAMPIM, L.; EGEWARTH, J. F.; REGO, C. A. R. M.; PIANO, J. T.; HERRERA, J. L. Remaining straw and release of nutrients from oat managed in integrated crop-livestock. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 1, p. 206-215, 2018.

MUNIZ, M. P.; COSTA, K.AP.C.; SEVERIANO, E.C.; BILEGO, U.O.; ALMEIDA, D.P.; FURTINI NETO, A.E.; VILEL, L.; LAN, M.A.; LEANDRO, W.M.; DIAS, M.B.C. Soybean yield in integrated crop–livestock system in comparison to soybean–maize succession system. **The Journal of Agricultural Science**, v. 159, n. 3-4, p. 188-198, 2021.

NERY, J. S.; FRANCO JUNIOR, K. S. Coverage plants as a strategy for improving soil

fertility. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 10, p. e36121043363, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i10.43363.

PEREIRA, F. C. B. L.; MELLO, L. M. M. D.; PARIZ, C. M.; MENDONÇA, V. Z. D.; YANO, É. H.; MIRANDA, E. E. V. D.; CRUSCIOL, C. A. C. Autumn maize intercropped with tropical forages: crop residues, nutrient cycling, subsequent soybean and soil quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150003>.

SANTOS, L. P. C.; SANTOS, A. J. M.; BACKES, C.; TEODORO, A. G.; TOMAZELLO, D. A.; SOUSA, J. E. R. Liberação de nutrientes e decomposição da palhada de capim solteiro e capim + feijão guandu no período de desenvolvimento da cultura da soja. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 10, p. e7496, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n10-259.

SAUSEN, D.; MARQUES, L. P.; BEZERRA, L. de O.; SILVA, E. dos S.; CANDIDO, D. Biotecnologia aplicada ao manejo de plantas daninhas / Biotechnology applied to weed management. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23150–23169, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-027.

SEGATELLI, C. R.; CÂMARA, G. M. D. S.; AGUILA, L. S. H. D.; AGUILA, J. S. D.; FRANCISCO, E. A. B.; PIEDADE, S. M. S. Soybean yield under no-tillage system with an early Eleusine coracana fertilization. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 308–319, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n207rc>.

SILVA, A. A.; LACERDA, J. J. J.; CARVALHO, S. P.; FERREIRA, R. S.; BRITO, R. R.; VOGADO, R. F.; ARAÚJO NETO, R. B.; SAGRILO, E.; CAVIGELLI, M. A.; SOUZA H. A. Chemical and biological attributes of soil and soybean (*Glycine max*) yield in integrated systems in the Cerrado of north-east Brazil. **Soil Research**, v. 62, n. 5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1071/sr23120>

SILVA, É. A.; BENEVENUTE, P. A. N.; OLIVEIRA, G. C.; ZINN, Y. L.; SILVA, B. M.; MELO, L. B. B.; REIS, T. H. P.; OLIVEIRA, C. H. C.; GUIMARÃES, P. T. G. CARDUCI, C. E. Soils under plastic and grass cover: Effects on soil aggregation and nutrient cycling in Brazilian coffee growing. **Agricultural Research and Technology**, v. 24, 556265, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2020.25.556265>

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; MELLO FRASCA, L. L.; REZENDE, C. C.; FERREIRA, E. A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; LACERDA, M. C. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p.

e11101220008-e11101220008, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20008>

SORATTO, R. P.; GUIDORIZZI, F. V.; SOUSA, W. S.; GILABEL, A. P.; JOB, A. L.; CALONEGO, J. C. Effects of previous fall–winter crop on spring–summer soybean nutrition and seed yield under no-till system. **Agronomy**, v. 12, n. 12, p. 2974, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12122974>

SOUSA, D. M. G.; LOBATO E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L. Methods of soil analysis. **America Society of Agronomy**, 1996. p.1011-1020.

TANAKA, K. S.; CRUSCIOL, C. A.; SORATTO, R. P.; MOMESSO, L.; COSTA, C. H.; FRANZLUEBBERS, A. J.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CALONEGO, J. C. Nutrients released by *Urochloa* cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, p. 267-281, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09980-5>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF. Embrapa, 2017.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Bio. Biochem**, v. 25, n. 10, 1993.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. The determination of lignin and cellulose in acid-detergent fibre with permanganate. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 51 p.780-785. 1968.

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

WANG, K. H.; WAISEN, P.; LESLIE, A. W.; PAUDEL, R.; MEYER, S. L.; HOOKS, C. R. Relationships between Soil Tillage Systems, Nematode Communities and Weed Seed Predation. **Horticulturae**, v. 8, n. 5, p. 425, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050425>.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F.; WERNER, R. S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134–143, 2016. DOI: 10.5965/223811711522016134.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, 19:1467-1476, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.

ANEXOS

ESTRUTURA E FORMATAÇÃO

Título, Resumo e Palavras-chave:

- O texto em português também deve conter título, resumo e palavras-chave em inglês.
- O texto em inglês também deve conter título, resumo e palavras-chave em português (Brasil).
- Resumo: com no máximo 250 palavras no idioma do texto.

O trabalho deve ser formatado em tamanho de página A-4, margens de 3 cm para a esquerda e para cima e de 2 cm para baixo e para a direita; Fonte Times New Roman, tamanho 12 e o espaçamento entre linhas deve ser de 1,5. As páginas devem estar devidamente numeradas e o artigo completo deve ter no máximo 20 páginas.

As figuras devem ser enviadas com resolução de 300 DPI e tamanho mínimo de 2.500 pixels (largura). Imagens enviadas em formatos inadequados não serão aceitas.

No ato da submissão, ao inserir os **autores** no Sistema, é obrigatório informar: nome completo, e-mail, ORCID, título, vínculo institucional completo contendo instituição, função, cidade, país. Esta informação só deve constar no Sistema, preenchida no momento da inscrição. **IMPORTANTE:** não coloque essa informação no corpo do artigo ao enviar a contribuição original.

Os autores devem inserir um documento anexo com as seguintes informações (no item 2. Carregar submissão - Selecionar componente do artigo - Outro):

- a)** Existência ou não de conflito de interesses
- b)** Fonte de financiamento
- c)** [Contribuição dos Autores](#) (Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Financiamento, aquisição, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Recursos, Software, Supervisão, Validação, Visualização, Redação – rascunho original, Redação – revisão e edição).

Referências

As referências devem ser apresentadas no final do manuscrito, em ordem alfabética de acordo com o sobrenome do primeiro autor, autores modelo, data. A Revista Brasileira de Ciências Ambientais adota os padrões de Chicago com adaptações.

Todas as publicações citadas no texto devem ser apresentadas em uma lista de referências que deve ser organizada em ordem alfabética nos nomes dos autores e

cronologicamente por autor. O manuscrito deve ser cuidadosamente verificado para garantir que a grafia dos nomes e datas do autor seja exatamente a mesma do texto e da lista de referências.

Os trabalhos de conclusão de curso não serão considerados referências científicas validadas.

O texto refere-se ao nome do autor (sem inicial) e ano de publicação, seguidos - se necessário - de uma breve referência às páginas apropriadas.

Se a referência for feita no texto a uma publicação escrita por mais de dois autores, deve-se usar o nome do primeiro autor seguido de "et al.". Esta indicação, no entanto, nunca deve ser usada na lista de referências. Nesta lista devem ser mencionados nomes de primeiros autores e coautores.

O uso de DOI é altamente recomendado. Na fase de teste, os dados que faltam nas referências serão solicitados aos autores para correção. As referências devem ser organizadas de acordo com os seguintes exemplos:

Exemplos

Citação no texto

Um autor: No parágrafo Schultz (2020) ou Entre parênteses: (Schultz, 2020)

Dois autores: No parágrafo Schultz e Luz (2020) ou Entre parênteses: (Schultz e Luz, 2020)

Três ou mais autores: No parágrafo: Mello et al. (2020) Entre parênteses: (Mello et al., 2020).

Documentos do mesmo autor, publicados no mesmo ano: No parágrafo: Brasil (2020a, 2020b) ou Entre parênteses: (Brasil, 2020a, 2020b)

Citação com número de página

Uma página: Schultz e Luz (2020, p. 201)

Intervalo de páginas: (Schultz e Luz, 2020, pp. 201-210)

Lista de referências

Artigo em revista

Soares, R.; Silva, S.; Souza Filho, F.; Studart, T.; Frota, R., 2020. Vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação por agroquímicos. Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB), v. 55 (4), 440-455. <https://doi.org/10.5327/10.5327/Z2176-947820200531>.

Livro

Gaugh, Jr., H.G., 1992. Análise estatística de ensaios de campo regionais. Elsevier,

Amsterdã, 278 p.

Capítulo de livro

Cox, G.; Lowe, P.; Inverno, M., 1990. A gestão política do setor de laticínios na Inglaterra e no País de Gales. Em: Marsden, T.; Little, J. (Eds.), Perspectivas políticas, sociais e econômicas sobre o sistema alimentar internacional. Avebury, Aldershot, pp. 82-111.

Dissertações/Teses

Dalberto, G., 2020. Colonialidade e Segurança: discursos e práticas de reforma do setor de segurança na Libéria. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. DOI:10.11606/T.8.2020.tde-04112020-212829. Recuperado em 05/11/2020, de www.teses.usp.br

Legislação

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2005. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília.

Página inicial

Departamento de Ecologia do Estado de Washington, 2020. Portal de Dados Abertos Geoespaciais de Washington (acessado em 15 de novembro de 2019) em: <http://geo.wa.gov/datasets>.

PLÁGIO

Os artigos passam por uma triagem inicial com software para verificação de plágio. Se o artigo já foi publicado em seminários ou conferências, por exemplo, a versão para o RBCIAMB deve ter um avanço significativo, configurando efetivamente um novo artigo.

AVALIAÇÃO

Pré-análise: Os manuscritos podem ser rejeitados nesta fase.

Os manuscritos submetidos são inicialmente verificados quanto à conformidade com as normas de publicação e submissão. Em sequência, são avaliados pelo Editor-Chefe e pelos Editores Associados de acordo com os seguintes critérios: **Pertinência** (O tema central do artigo se enquadra no âmbito da RBCIAMB?); **Relevância Científica** (O manuscrito representa uma contribuição científica significativa para a área de Ciências Ambientais?); **Originalidade** (Apresenta inovação e progresso em relação ao estado da arte?); **Contextualização** (O texto apresenta contextualização interdisciplinar para estabelecer as interfaces e conexões do problema específico com o contexto e o campo do conhecimento? O texto se encaixa na área do conhecimento de acordo com o estado da arte?); **Ética** (O artigo apresenta aprovação de comitês de ética quando se trata de

experimentação animal ou humana (direta ou indiretamente)? O trabalho faz promoção ou crítica indevida de um indivíduo, organização e produto?); e **Referências**.

Avaliação

Após a pré-análise, os artigos que se qualificaram nesta etapa são atribuídos aos Editores Associados e submetidos a revisores ad-hoc independentes no sistema "double-blind review". A Equipe Editorial elaborou um formulário para orientar os revisores sobre os critérios de avaliação. Quando os revisores têm opiniões opostas, a critério do editor, o artigo é enviado a um terceiro revisor. O processo de revisão pode exigir várias rodadas e, após cada uma, o autor correspondente deve enviar uma versão corrigida do manuscrito destacando as alterações feitas e uma carta respondendo a cada comentário ou sugestão dos revisores.

O Editor-Chefe toma a decisão final. Esta decisão é comunicada aos autores e a todos os revisores, com os respectivos comentários anonimizados que a justificaram.