

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

DINÂMICA DE NUTRIENTES DA FITOMASSA DE PLANTAS DE
COBERTURA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE CULTIVO

GUSTAVO FERNANDES TAVARES

Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL

2025

GUSTAVO FERNANDES TAVARES

**DINÂMICA DE NUTRIENTES DA FITOMASSA DE PLANTAS DE COBERTURA
EM SISTEMAS INTEGRADOS DE CULTIVO**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2025**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

T23d	Tavares, Gustavo Fernandes Dinâmica de nutrientes da fitomassa de plantas de cobertura em sistemas integrados de cultivo. / Gustavo Fernandes Tavares. — 2025. 49 f. : il. Orientadora: Profa. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares Coorientadora: Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2025. Inclui lista de tabelas e figuras. 1. Sistema de plantio direto. 2. Decomposição da fitomassa. 3. Ciclagem de nutrientes. 4. Sustentabilidade agrícola. 5. Plantas de cobertura. I. Tavares, Rose Luiza Moraes. II. Cantão, Veridiana Cardozo Gonçalves. III. Título. CDD: 631.51
------	--

Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

GUSTAVO FERNANDES TAVARES

**DINÂMICA DE NUTRIENTES DA FITOMASSA DE PLANTAS DE COBERTURA
EM SISTEMAS INTEGRADOS DE CULTIVO**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVAÇÃO: 30 de junho de 2025

Documento assinado digitalmente
 ROSE LUIZA MORAES TAVARES
Data: 30/06/2025 12:23:02-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Rose Luiza Moraes Tavares
Presidente da Banca Examinadora
Membro – PPGPV/UniRV

Documento assinado digitalmente
 GILMAR OLIVEIRA SANTOS
Data: 30/06/2025 11:48:52-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Gilmar Oliveira Santos
Membro – FA/UniRV

Documento assinado digitalmente
 VERIDIANA CARDOZO GONCALVES CANTAO
Data: 30/06/2025 11:16:05-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Veridiana Cardozo G. Cantão
Coorientadora
Membro – PPGPV/UniRV

Documento assinado digitalmente
 CHARLES BARBOSA SANTOS
Data: 30/06/2025 11:39:02-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Charles Barbosa Santos
Membro – FA/UniRV

Documento assinado digitalmente
 JOAQUIM JULIO DE ALMEIDA JUNIOR
Data: 30/06/2025 12:01:40-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Joaquim Júlio de Almeida Júnior
Membro Externo – UniFIMES

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pela oportunidade de realizar o Mestrado em Produção Vegetal na linha de pesquisa em Manejo do Solo na Universidade de Rio Verde (UniRV).

À minha mãe, Andréa Aparecida da Silva Tavares, e ao meu pai, Geovane Almança Tavares, pela dedicação e que não mediram esforços para meu crescimento profissional;

À minha avó paterna, Sônia Irene Almança Tavares, que me deu todo o suporte para minha permanência no mestrado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela sua infinita misericórdia, amor, amparo e proteção em todos os dias da minha vida e a Nossa Senhora Aparecida pela sua divina proteção.

À minha mãe, Andréa Aparecida da Silva Tavares, e meu pai, Geovane Almança Tavares, por todo o apoio e ensinamentos que me fizeram chegar até aqui.

Ao meu irmão, Guilherme Fernandes Tavares, pelo apoio e oportunidade de troca de conhecimento e experiências ao longo da caminhada e por estar comigo nesta jornada.

Aos meus avós paternos, Idomeno Assis Tavares (*In memória*) e Sônia Irene Almança Tavares, aos meus avós maternos, Antônio Fernandes da Silva e Neusa Falchi, que direta e indiretamente, contribuíram para que esta conquista acontecesse.

À minha namorada, Luane Pereira Dias, pelo incentivo e apoio em todos os dias em que mencionava reclamações, diante das dificuldades ela me inspirava e encorajava a vencer todos os obstáculos que apareceram e a mostrar a luz no fim do túnel.

Aos meus professores, orientadora Professora Dra. Rose Luiza Moraes Tavares e coorientadora Professora Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão, que se tornaram mais que instrutores nesta carreira acadêmica.

Aos técnicos de laboratório Eduardo Felix Costa, Rodrigo Medeiros da Silva e Carmem Maria Bonini pela disponibilidade e todo o apoio nas análises laboratoriais.

Aos acadêmicos e amigos Vladriel de Freitas Almeida Soares das Dores, Felipe, Antônio Cruvinel e Vitória Ester de David, que deram apoio de campo para a execução dos trabalhos.

Agradeço aos amigos, em especial ao Igor Kioshi Hatisuka Marani, Natan Rezende Blat, que em convívio ao período de graduação e mestrado, todos os dias sempre me auxiliaram, não somente na parte profissional quanto no pessoal.

A todos os docentes da Universidade de Rio Verde (UniRV), que me agregaram conhecimentos durante o período em que fui discente do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Em especial ao Professor Dr. Charles Barbosa Santos, Professor Dr. Alessandro Guerra da Silva, Professor Dr. Antônio Joaquim Braga Pereira Braz que também contribuíram para minha formação acadêmica;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo concedida (Processo 88887.820551/2023-00).

BIOGRAFIA

Gustavo Fernandes Tavares, filho de Andréa Aparecida da Silva Tavares e Geovane Almança Tavares, nascido em Jataí-GO no dia 15 de fevereiro de 2002, cresceu na cidade de Itajá-GO.

Em 2019, ingressou na Universidade de Rio Verde (UniRV) e concluiu o curso de Agronomia em 2022 com monografia intitulada: “Avaliação nutricional de pastagem irrigada no período da seca”. Realizou Projeto de Pesquisa na área de fisiologia vegetal como bolsista de Iniciação Científica PIBIC-PIVIC (2020/2021), com o seguinte tema: “Alterações morfofisiológicas de feijão sob restrição hídrica e utilização de bioestimulante” e publicou resumos em anais de eventos e artigo científico em revistas indexadas.

Em 2023, concluiu curso Técnico em Gestão do Agronegócio pela Uniasselvi e no mesmo ano iniciou o mestrado em Produção Vegetal na área de Grandes Culturas, Manejo de solo: Estudo das áreas de física, manejo e conservação do solo para uso racional das áreas agrícolas, com a seguinte proposta de dissertação para defesa: “Dinâmica de nutrientes da fitomassa de plantas de cobertura em sistemas integrados de cultivo”.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Sistema de Plantio direto (SPD).....	2
2.2 Condições climáticas e sua influência na fitomassa.....	3
2.3 Plantas de cobertura e ciclagem de nutrientes.....	4
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3.1 Caracterização da área experimental.....	6
3.2 Delineamento estatístico e tratamentos.....	8
3.2.1 Sacos de decomposição (<i>litterbags</i>).....	9
3.3 Avaliações.....	10
3.3.1 Análise na fitomassa seca residual.....	10
3.3.2 Análise de Solo.....	10
3.3.3 Produtividade de grãos.....	11
3.4 Análise estatística.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
5 CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Características química e granulométrica do solo latossolo vermelho distrófico da área experimental da Universidade de Rio Verde, Rio Verde – GO, realizada conforme Embrapa (1997).....	7
TABELA 2	Tratamentos, cultivo e dados de plantio utilizados no ensaio de segunda safra 2023. Universidade de Rio Verde – GO.....	8
TABELA 3	Resumo da ANAVA para os dados de fitomassa seca residual e teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em plantas de cobertura em função do tempo de decomposição.....	12
TABELA 4	Dados médios de fitomassa seca residual (mg) de diferentes coberturas na segunda safra (2023), avaliados em diferentes períodos após o corte sobre o solo. Universidade de Rio Verde – GO.....	16
TABELA 5	Dados médios do teor de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) da fitomassa seca residual de diferentes coberturas de segunda safra, avaliados em diferentes períodos após passagem do triton sobre o solo. Universidade de Rio Verde – GO.....	24
TABELA 6	Dados de umidade, temperatura e teor de carbono (C), fósforo (P) e potássio K no solo após o cultivo de plantas de cobertura na segunda safra 2023. Universidade de Rio Verde – GO.....	26

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Precipitação acumulada mensal (mm), temperaturas do ar (°C) máxima, mínima e média, no ano de 2023, incluindo o período de condução do experimento e tempos de decomposição T0, T15, T30, T60, T90 e T120). Universidade de Rio Verde – GO.....	8
FIGURA 2	Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023, na quantidade de fitomassa seca residual. Universidade de Rio Verde – GO.	13
FIGURA 3	Efeito do tempo na decomposição de fitomassa seca residual de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023. Universidade de Rio Verde – GO.....	15
FIGURA 4	Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023 na relação C/N (A), teor de lignina (B), celulose (C) e hemicelulose (D) da fitomassa seca residual. Universidade de Rio Verde – GO.....	17
FIGURA 5	Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023, teor de Nitrogênio (N) – A e Nitrogênio (%) * Massa Seca (MS) – B. Universidade de Rio Verde – GO.....	18
FIGURA 6	Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023, teor de Fósforo (P) – A e Fósforo (%) * Massa Seca (MS) – B. Universidade de Rio Verde – GO.....	19
FIGURA 7	Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023 teor de Potássio (P) – A e Potássio (%) * Massa Seca (MS) – B. Universidade de Rio Verde – GO.....	20
FIGURA 8	Liberação de nutrientes (N, P, K) pela fitomassa das plantas de cobertura de segunda safra (2023) e pousio. Universidade de Rio Verde – GO.....	22
FIGURA 9	Teor de potássio (K) na matéria seca residual de plantas de cobertura ao longo do tempo de decomposição, manejadas na segunda safra de 2023. Universidade de Rio Verde – GO.....	23
FIGURA 10	Produtividade de soja (sc ha ⁻¹) após o cultivo de diferentes plantas de cobertura e pousio, segunda safra (2023). Universidade de Rio Verde – GO.....	27

RESUMO

TAVARES, G. F., UniRV – Universidade de Rio Verde, junho de 2025. **Dinâmica de nutrientes da fitomassa de plantas de cobertura em sistemas integrados de cultivo.** Orientadora: Profa Dra. Rose Luiza Moraes Tavares. Coorientadora: Profa Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão.

As plantas de cobertura representam uma estratégia fundamental para promover a sustentabilidade em sistemas conservacionistas, especialmente em solos tropicais. Elas contribuem significativamente para a ciclagem de nutrientes, proteção física do solo e manutenção da matéria orgânica, impactando diretamente a produtividade agrícola. Este trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica de nutrientes e decomposição de fitomassa seca residual de plantas de cobertura na segunda safra em sistemas de cultivo solteiro na safra de 2023, bem como seus efeitos sobre atributos físicos e químicos do solo, conduzidos na região do cerrado goiano. O experimento foi conduzido na Universidade de Rio Verde (GO), utilizando milho, sorgo, milheto, *Urochloa ruziziensis*, *Panicum maximum* Zuri e pousio como tratamentos. A decomposição dos resíduos foi monitorada por meio do método de sacos de decomposição (*litterbags*) ao longo de 120 dias. Avaliaram-se a produção de fitomassa, os teores de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, lignina, celulose e hemicelulose, além da relação C/N. Os resultados demonstraram que *Panicum* e *Urochloa* apresentaram maior acúmulo de fitomassa e liberação mais eficiente de nutrientes, especialmente potássio e nitrogênio. O milho e o sorgo apresentaram maior relação C/N e decomposição mais lenta. As diferentes coberturas influenciaram positivamente a qualidade do solo, com destaque para o aumento do carbono orgânico e da disponibilidade de macronutrientes nas camadas superficiais. Conclui-se que o uso de espécies forrageiras como cobertura é estratégico para o manejo sustentável do solo em sistemas de produção agrícola intensiva.

Palavras-chave: Sistema de plantio direto, Matéria orgânica, Relação C/N.

ABSTRACT

TAVARES, G. F., UniRV – University of Rio Verde, June 2025. **Nutrient dynamics of cover crop phytomass in integrated cropping systems.** Advisor: Profa. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares. Co-advisor: Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão.

Cover crops represent a fundamental strategy for promoting sustainability in conservation systems, especially in tropical soils. They contribute significantly to nutrient cycling, physical protection of the soil and organic matter maintenance, directly impacting agricultural productivity. This study aimed to evaluate the dynamics of nutrients and decomposition of residual dry phytomass from cover crops in the second harvest in single cropping systems in the 2023 harvest, as well as their effects on physical and chemical attributes of the soil, conducted in the cerrado region of Goiás. The experiment was carried out at the University of Rio Verde (GO), using corn, sorghum, millet, *Urochloa ruziziensis*, *Panicum maximum* Zuri and fallow as treatments. Residue decomposition was monitored using the litterbag method over 120 days. The phytomass production and the contents of carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, lignin, cellulose and hemicellulose were evaluated, as well as the C/N ratio. The results showed that *Panicum* and *Urochloa* had greater phytomass accumulation and more efficient nutrient release, especially potassium and nitrogen. Maize and sorghum had a higher C/N ratio and slower decomposition. The different cover crops had a positive influence on soil quality, especially the increase in organic carbon and the availability of macronutrients in the surface layers. It is be concluded that the use of forage species as cover crops is strategic for sustainable soil management in intensive agricultural production systems.

Keywords: no-till system, organic matter, C/N ratio.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto (SPD) configura-se como um componente fundamental para a sustentabilidade agrícola em solos brasileiros, especialmente em regiões do cerrado, devido às suas características edafoclimáticas. Este sistema é amplamente adotado na produção de grãos e fundamenta-se em três princípios agronômicos essenciais: o cultivo mínimo do solo, a diversificação por meio da rotação de culturas e a formação e manutenção contínua da fitomassa vegetal sobre a superfície do solo, promovendo a proteção física, biológica e química do perfil edáfico (BERTOL et al., 2019).

Isso proporciona significativa ciclagem de nutrientes provenientes dos resíduos das coberturas, possibilidade de manutenção ou aumento dos teores de matéria orgânica e, consequentemente, melhoria da qualidade do solo (EDDY E YANG, 2022). Nesse sentido, uma alternativa potencial consiste no cultivo de plantas de cobertura na segunda safra (DALLA CÔRT et al., 2021).

A eficácia do SPD está atrelada à produção e ao aporte contínuo de fitomassa sobre a superfície do solo (MARIA et al., 2019), principalmente em regiões tropicais onde as altas temperaturas e umidade aceleram a decomposição dos resíduos. Nesta condição de clima, deve-se ficar atento às características da cobertura do solo, tanto em relação à quantidade quanto à qualidade das plantas de cobertura, visto que isso influencia o tempo de permanência dos respectivos resíduos na superfície do solo (THAPA et al., 2022). Desta maneira, para que as plantas de cobertura possam contribuir satisfatoriamente nos aspectos físico-químicos do solo, é necessário que se tenha conhecimento sobre o processo de decomposição de sua fitomassa, pois é fundamental para maximizar o aproveitamento dos nutrientes pela cultura em sucessão.

O SPD possui uma capacidade de ciclagem de nutrientes, sendo a melhor condição de liberação de forma lenta dos nutrientes, especialmente para os elementos que são lixiviados como potássio (K), nitrogênio (N) e enxofre (S). As gramíneas com maior relação C/N e com sistema radicular profundo e potencial de acúmulo de fitomassa têm sido utilizadas como principal estratégia de cultivo quando o objetivo é a permanência no sistema, pois são mais resistentes à decomposição (ABREU, 2025).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito da decomposição de fitomassa seca residual de plantas de cobertura em sistemas de cultivo solteiro na safra de 2023 na dinâmica de nutrientes, bem como seus efeitos sobre atributos físicos e químicos do solo, conduzidos na região do cerrado goiano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistema de Plantio direto (SPD)

A adoção do Sistema de Plantio Direto (SPD) no Brasil teve início na década de 1970 e, por volta de 1980, foi introduzido na região do cerrado, fundamentando-se em três princípios básicos: o cultivo mínimo do solo, a rotação de culturas e a manutenção da fitomassa na superfície (DENARDIN, 2021). Esse sistema proporciona incremento da matéria orgânica (M.O.) e melhorias na estrutura do solo ao longo de seu perfil (THAPA E DURA, 2024).

No SPD, especialmente em regiões tropicais, é imprescindível a manutenção permanente da cobertura vegetal sobre o solo. A decomposição da fitomassa nesse sistema ocorre de forma acelerada, podendo ser até dez vezes mais rápida em regiões tropicais do que em regiões temperadas (LAL E LOGAN, 1995). Diante disso, torna-se fundamental a utilização de plantas de cobertura que apresentem alta produção de fitomassa e maior tempo de meia-vida (tempo que o carbono do material leva para decompôr a metade), resultando em decomposição mais lenta e prolongada permanência dos resíduos vegetais na superfície (RIBEIRO et al., 2022). Os atributos da fitomassa influenciam diretamente a atividade microbiana decompositora e os processos de mineralização e imobilização, determinando a disponibilidade de nutrientes no solo ao longo do tempo.

No cerrado agrícola, o consórcio de gramíneas forrageiras com sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) vem sendo adotado durante a segunda safra como alternativa ao cultivo exclusivo de uma única espécie. Tal combinação oferece benefícios ao solo, destacando-se a maior permanência da fitomassa residual na superfície quando comparada a espécies da família *Fabaceae*, devido à alta relação carbono/nitrogênio (C/N), favorecendo a longevidade da cobertura (LEONEL, 2024). As gramíneas também apresentam elevado potencial de produção de fitomassa e eficiência na ciclagem de nutrientes (MARCHÃO et al., 2024).

Embora haja diversos estudos sobre o cultivo solteiro de sorgo (*Sorghum*), milho (*Zea mays*) e milheto (*Pennisetum glaucum*), são escassos os trabalhos que avaliam essas culturas em consórcio. Assim, torna-se essencial compreender a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa em sistemas consorciados, fornecendo embasamento técnico para o manejo, especialmente em áreas com baixa produção ou persistência de cobertura (CAMILO et al., 2020).

A *Urochloa ruziziensis* tem grande potencial dentre as espécies utilizadas para a formação de palhada na segunda safra, segundo Pacheco et al., (2011). Apesar do baixo desenvolvimento inicial, apresenta boa capacidade de rebrota e ganhos expressivos de fitomassa seca no final da entressafra.

2.2 Condições climáticas e sua influência na fitomassa

A temperatura média anual da região do cerrado pode variar de 20 a 35 °C e a média pluviométrica de 1.500 a 1.800 mm/ano, com o período chuvoso predominante entre os meses de novembro a abril e menores precipitações ocorrendo em junho, julho e agosto (LOPES SOBRINHO et al., 2020).

Para retardar o processo de decomposição da palhada, produtores têm adotado práticas complementares dentro do sistema de plantio direto (SPD), como o consórcio de milho com forrageiras do gênero *Urochloa*, além da introdução de culturas com alto potencial de produção de matéria seca durante a segunda safra, como *Urochloa brizantha*, milheto, milho e sorgo (BRITO E FERREIRA, 2020). A escolha de espécies adaptadas às condições climáticas do cerrado é determinante para a produção e a persistência da fitomassa, principalmente em períodos de baixa disponibilidade hídrica.

O milheto (*Pennisetum glaucum*) destaca-se pela alta tolerância ao estresse hídrico e às temperaturas elevadas, sendo capaz de produzir até 16 t ha⁻¹ de matéria seca mesmo sob condições adversas, como veranicos e solos de baixa fertilidade (SATYAVATHI et al., 2023). Sua ampla adaptação o torna uma das espécies mais utilizadas como cobertura vegetal em sistemas de SPD na segunda safra, com destaque para sua rápida germinação, crescimento vigoroso e elevado índice de área foliar (COSTA et al., 2015).

O sorgo (*Sorghum bicolor*) apresenta elevada adaptação ao clima do cerrado, especialmente devido à sua tolerância ao déficit hídrico. Com temperatura ótima de crescimento entre 29 °C e 33 °C, a cultura mostra bom desempenho mesmo em condições de baixa precipitação, desde que as fases críticas, como a floração, não coincidam com períodos de seca severa (FLORES, 2020). A exigência hídrica do sorgo é relativamente baixa, em torno de 300 mm ao longo do ciclo, sendo sua produtividade diretamente afetada por temperaturas abaixo de 16 °C ou superiores a 38 °C, principalmente durante o enchimento de grãos (CAZARIM, 2021).

O milho (*Zea mays*), embora amplamente cultivado na segunda safra, possui maiores exigências hídricas e térmicas. A faixa ideal de temperatura para seu desenvolvimento situa-se entre 24 °C e 30 °C, sendo que temperaturas inferiores a 10 °C ou superiores a 35 °C

comprometem o crescimento vegetativo, a polinização e a formação dos grãos (BALBINOT JUNIOR, 2023). Além disso, o milho é sensível à redução da radiação solar, especialmente no período reprodutivo, o que torna essencial a escolha de datas de semeadura que coincidam com períodos de maior insolação (BALBINOT JUNIOR, 2023).

Urochloa ruziziensis possui boa adaptação às condições de clima tropical, principalmente na regiões Centro-Oeste, possui crescimento rápido no início da estação chuvosa e a temperatura ótima para seu desenvolvimento se encontra no intervalo entre 25 e 35 °C. Os fatores do solo que influenciam o crescimento das raízes são: umidade, temperatura, estrutura, profundidade, fertilidade e reação química. A umidade do solo geralmente tem o maior efeito na profundidade da raiz (CASTRO, 2023). A *Urochloa* apresenta grande adaptação a solos ácidos e de baixa fertilidade (MALAVOLTA; PAULINO, 2002).

O *Panicum Zuri* é indicado para uso em solos de média a alta fertilidade, no bioma cerrado, com necessidade pluviométrica anual de mais de 800 mm e até seis meses de estação seca. A cultivar foi classificada como bastante tolerante ao encharcamento temporário do solo, é sazonal, já que há grande diferença de produção entre as estações das águas e seca; mesmo assim, ele é produtivo nessas duas épocas. (JANK, 2022)

Dessa forma, torna-se evidente que as condições climáticas do cerrado exercem influência direta na seleção das espécies para a produção de fitomassa na segunda safra. Culturas como milheto, sorgo e milho apresentam comportamentos distintos frente às variações térmicas e hídricas, sendo imprescindível que o manejo leve em consideração o regime de chuvas, a temperatura média durante o ciclo e a disponibilidade de radiação solar.

A adoção de estratégias como consórcios, escalonamento de semeadura e escolha de cultivares adaptadas potencializa a sustentabilidade dos sistemas produtivos em plantio direto, promovendo não apenas a cobertura contínua do solo, mas também a ciclagem eficiente de nutrientes (KITTIKA et al., 2023).

2.3 Plantas de cobertura e ciclagem de nutrientes

O uso de plantas de cobertura durante a segunda safra, especialmente entre junho e setembro, é estratégica para garantir a sustentabilidade dos sistemas produtivos (NASCIMENTO et al., 2025). Apesar das limitações hídricas dessa época, espécies como *Urochloa spp.*, *Panicum spp.* e milheto demonstram rusticidade adaptativa, sendo capazes de formar cobertura suficiente para proteger o solo contra a radiação solar e perdas por evapotranspiração (AQUINO, 2021).

A formação de fitomassa depende da capacidade da planta em produzir grandes volumes de matéria seca sob déficit hídrico e em apresentar resistência à decomposição durante a entressafra, o que está diretamente relacionado à sua relação C/N (SOKOL et al., 2019).

Além dos benefícios físicos, as plantas de cobertura promovem melhorias químicas e biológicas no solo. Sob o aspecto químico, observa-se incremento na disponibilidade de nutrientes como N, P e K e incremento na capacidade de troca catiônica, graças ao aporte contínuo da fitomassa e limitação das perdas por lixiviação (NERY E FRANCO JUNIOR, 2023). No aspecto biológico, ocorre aumento da fitomassa microbiana, diversidade funcional e atividade enzimática, impulsionando processos como mineralização de nutrientes e formação de agregados estáveis (CRUZ et al., 2019).

Resíduos vegetais de leguminosas possuem menor relação C/N em comparação às gramíneas, o que acelera sua decomposição. Por outro lado, os resíduos de gramíneas, por conterem maior teor de fibras estruturais e relação C/N elevada, decompõem-se mais lentamente, proporcionando cobertura prolongada e formação de húmus estável (PEREIRA FILHO et al., 2023).

A ciclagem de nutrientes promovida pelas gramíneas ocorre por acumulação foliar, liberação gradual via decomposição e incorporação no perfil, fechando ciclos de nutrientes e reduzindo a necessidade de fertilizantes (PACHECO et al., 2013). Em estudos no cerrado, espécies como *Pennisetum glaucum* acumularam cerca de 120 kg ha⁻¹ de N e 200 kg ha⁻¹ de K na fitomassa aérea antes da decomposição, destacando seu potencial na ciclagem (PACHECO et al., 2017).

Por fim, o residual de fitomassa, avaliado pela relação C/N, assume papel crítico: valores baixos ($\leq 20:1$) associados a resíduos de leguminosas favorecem mineralização rápida, enquanto resíduos de gramíneas com C/N elevados ($> 40:1$) retardam a decomposição, contribuindo para manutenção da cobertura e estabilização de agregados (SILVA et al., 2022). Essa dinâmica influencia diretamente a liberação de nutrientes, formação de húmus e eficiência do sistema SPD, sendo determinante para a qualidade do substrato nas segundas safras do cerrado (RAMOS et al., 2020).

Na escolha das espécies de cobertura, devem-se considerar fatores agronômicos, ambientais e econômicos, como produtividade e qualidade das sementes, tolerância à seca, viabilidade de mecanização, possibilidade de uso múltiplo (alimentação animal e condicionamento do solo), bem como compatibilidade com o sistema produtivo (SOUZA et al., 2024).

A cobertura vegetal residual exerce função relevante nas práticas conservacionistas modernas, protegendo fisicamente o solo contra impactos das chuvas intensas, que promovem a desagregação e dispersão de partículas, elevando os riscos de erosão (SILVA et al., 2024). Além disso, atua como barreira térmica, regulando a temperatura e reduzindo a evaporação da água, favorecendo o ambiente para as culturas subsequentes (SILVA, 2022).

A intensificação da atividade biológica promove a ciclagem de nutrientes e eleva os teores de carbono no solo, aumentando a estabilidade dos agregados e aprimorando a estrutura física (ACHARYA et al., 2024). Esses efeitos são fundamentais para a manutenção da produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas tropicais com elevada pluviosidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Universidade de Rio Verde, no sudoeste goiano, em 2023, em condição de campo, que fica localizado na coordenada geográfica 17°47'14,11" de latitude Sul, 50°57'53,81" de longitude oeste, na altitude de 748 metros.

O clima do município de Rio Verde, GO é caracterizado como do tipo Aw com estação seca no inverno, pela classificação de Köppen (LOPES SOBRINHO et al., 2020).

O solo da área foi classificado como latossolo vermelho distrófico (SANTOS et al., 2018), com textura argilosa, que apresenta as seguintes características granulométricas na profundidade de 0 - 20 cm: 60, 15 e 25 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente. Antes à instalação do experimento, a área era utilizada para cultivo de soja no verão e milho ou sorgo na segunda safra, com último histórico de revolvimento há 7 anos.

O perfil do solo apresenta baixa saturação por bases, pH ácido e elevada acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) (Tabela 1), características típicas de solos altamente intemperizados do bioma cerrado.

TABELA 1 - Características química e granulométrica do solo latossolo vermelho distrófico da área experimental da Universidade de Rio Verde, Rio Verde – GO, realizada conforme Embrapa (1997)

Profundidade	Ca	K	Mg	Al	H+Al	K	P (Mel.)	M.O.
cm	----- cmolc dm ⁻³ -----				----- mg dm ⁻³ ----			g kg ⁻¹
0–10	4,48	0,47	1,87	0,00	6,44	183,80	25,54	36,02
10–20	3,35	0,38	1,43	0,05	7,59	147,80	12,53	28,08
20–40	2,42	0,23	1,07	0,10	7,76	89,80	5,28	37,67
40–60	2,31	0,20	0,94	0,00	9,90	77,80	1,64	17,05
Profundidade	pH	m	V	CTC	SB	Argila	Silte	Areia
cm	CaCl ₂	----- % -----		-cmolc dm ⁻³ -		-----% -----		
0–10	5,54	0,00	51,44	13,25	6,82	37,02	4,81	41,83
10–20	5,13	0,96	40,47	12,75	5,16	37,47	3,19	40,66
20–40	4,93	2,62	32,40	11,47	3,72	42,00	0,59	42,59
40–60	4,70	0,00	25,85	13,35	3,45	40,73	1,75	42,48

Ca: cálcio; K: potássio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: acidez potencial; P: fósforo, M.O.: matéria orgânica; pH: potencial hidrogeniônico; m: saturação por alumínio; V: saturação por bases; CTC: capacidade de troca de cátions; SB: soma de bases trocáveis.

A análise química evidencia níveis reduzidos de fósforo disponível, principalmente nas camadas subsuperficiais, além de teores decrescentes de cálcio, magnésio e potássio com o aumento da profundidade.

As condições climáticas durante a condução do ensaio foram obtidas na Estação Meteorológica Automática de Rio Verde – GO, que faz parte do monitoramento climático do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em parceria com a Universidade de Rio Verde (UniRV) (Figura 1).

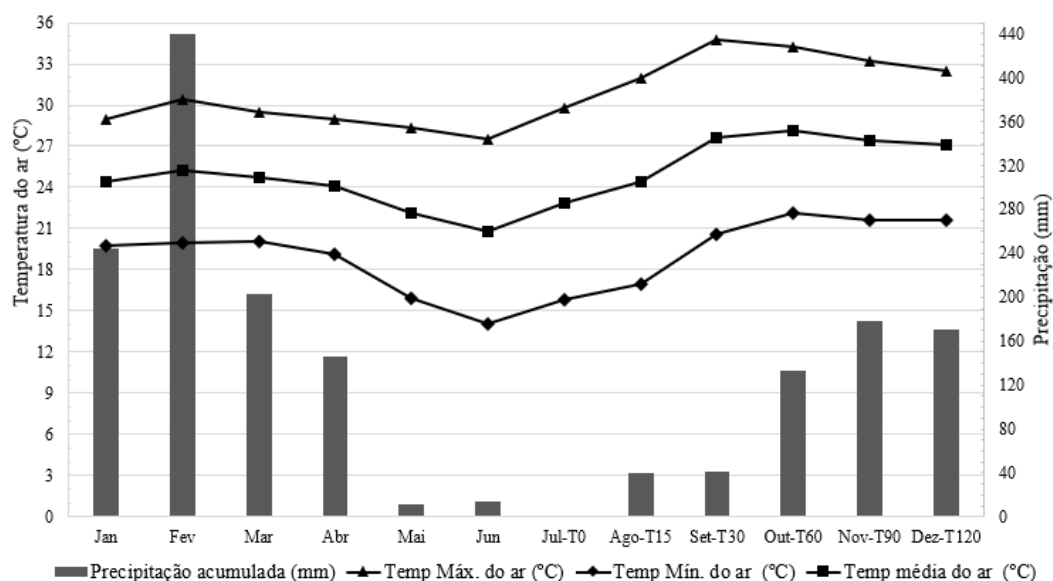


FIGURA 1 - Precipitação acumulada mensal (mm), temperaturas do ar (°C) máxima, mínima e média, no ano de 2023, incluindo o período de condução do experimento e tempos de decomposição T0, T15, T30, T60, T90 e T120). Universidade de Rio Verde – GO.

3.2 Delineamento estatístico e tratamentos

O experimento foi conduzido em blocos casualizados com seis tratamentos, sendo cinco culturas de cobertura (milho, sorgo, milheto, *Urochloa*, *Panicum*) e pousio, com quatro blocos, totalizando 24 parcelas (Tabela 2).

TABELA 2 - Tratamentos, cultivo e dados de plantio utilizados no ensaio de segunda safra 2023. Universidade de Rio Verde – GO

Cultivo/uso do solo	Dados de plantio
Milho VT pro4	27 sementes 10 m ⁻¹
Sorgo 16100	100 sementes 10 m ⁻¹
Milheto ADR 300	10 kg ha ⁻¹
<i>Urochloa Ruziziensis</i>	10 kg ha ⁻¹
<i>Panicum Maximum Zuri</i>	5 kg ha ⁻¹
Pousio	-

Cada parcela teve a dimensão de 10x5 m (50 m²), com 10 linhas de plantio espaçadas a 0,5 m nos sistemas de monocultivo (em cultivo solteiro). O plantio foi realizado em março de 2023, de forma manual em sulcos, com profundidade média de 3 cm. Em abril de 2023, foi feita adubação de cobertura com o formulado 36-0-12 na quantidade de 200 kg ha⁻¹, a quantidade de fertilizante é para atender a demanda das plantas de cobertura.

Após a colheita do milho e sorgo, os resíduos das demais culturas (milheto, *Panicum* e *Urochloa*) foram triturados separadamente com auxílio de um implemento enxada rotativa (triton) e mantidos sobre o solo.

Em cada parcela, foi lançado de forma aleatória e em duplicada um gabarito de 25 x 25 cm para coleta de palhada, a qual foi levada ao laboratório para pesagem, pesada e posteriormente colocada em estufa de ventilação de circulação forçada, a 65 °C por 72 horas ou até massa constante. Em seguida, a massa foi pesada para quantificação de fitomassa seca em cada parcela, com os resultados sendo expressos Mg ha⁻¹. As avaliações da taxa de decomposição dos resíduos culturais foram realizadas nos tratamentos mencionados. Os resíduos dos diferentes tratamentos foram coletados nos tempos 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias (T0, T15, T30, T60, T90, T120 dias).

3.2.1 Sacos de decomposição (*litterbags*)

Para o acompanhamento da decomposição dos resíduos culturais nos diferentes sistemas, adotou-se o método de *litterbags* ou sacos de decomposição. Estes foram confeccionados com polímero sintético de malha de 2 mm, com dimensões de 20 cm x 20 cm. Em cada *litterbag*, foram inseridos pesos correspondentes a cada cultura, de acordo com a estimativa da produtividade por ha de cada cultura. Milho (12 g), milheto (13 g), sorgo (10 g), *Panicum* (26 g), *Urochloa* (23 g) e pousio (3 g).

No pousio foram usadas plantas espontâneas para colocar dentro dos *litterbags*. Posteriormente, os *litterbags* foram posicionados em contato com o solo, de onde foram coletados em diferentes épocas. Estes foram retirados do campo no tempo de 15, 30, 60, 90 e 120 dias após trituração dos resíduos vegetais. O tempo 0 (T0) foi coletado e levado para laboratório logo após a utilização do triton.

O volume de cada *litterbag* correspondia à produção de fitomassa de cada cultura avaliada. A quantidade de material colocada nos *litterbags* foi diferente entre os sistemas avaliados, pois foi levado em consideração a quantidade de fitomassa seca produzida em cada sistema. Assim, foram produzidos 120 *litterbags* (6 sistemas x 4 blocos x 5 períodos).

Dentro da parcela foram confeccionados 5 *litterbags*, com mesmo peso e tamanho, contendo a fitomassa de todas as culturas avaliadas. Para cada período, um *litterbag* foi retirado do campo, teve a fitomassa seca em estufa e pesada para posterior avaliação da massa seca residual. O tempo 0 foi desconsiderado na produção de *litterbags*.

3.3 Avaliações

3.3.1 Análise na fitomassa seca residual

Na fitomassa residual, para cada período, foi avaliado o teor de C, N, P, K no material vegetal, de acordo com metodologia de Malavolta et al. (1997). A partir destes resultados, foi calculada a relação C/N do material.

A decomposição e o teor de nutrientes da fitomassa foram avaliados por meio de um modelo matemático utilizado em Thomas e Asakawa (1993), como descrito abaixo:

$$R = I \cdot e^{-k \cdot t}$$

Em que:

R = Fitomassa seca, ou relação C/N, ou teor de C, N, P, K (kg ha⁻¹) no material vegetal em decomposição no tempo t;

I = Valores iniciais de fitomassa seca, ou relação C/N, ou teor de C, N, P, K e S deixados sobre o solo após a trituração (kg ha⁻¹);

k = Constante de velocidade de decomposição da fitomassa ou de mineralização de nutrientes (dia⁻¹);

t = Tempo após aporte no campo (dias);

e = Constante de Euler.

A avaliação do tempo de meia vida foi feita com base nos valores de k, visando testar o efeito das quantidades de fitomassa aportadas sobre o solo na velocidade do processo de decomposição (THOMAS E ASAKAWA, 1993).

As análises de matéria seca a 105 °C, fibra em detergente ácido (FDA), fibra em detergente neutro (FDN) e lignina foram realizadas pelo método sequencial (VAN SOEST, 1981). Os teores de hemiceluloses e celulose foram determinados pelas diferenças entre FDN e FDA e entre FDA e lignina, respectivamente.

3.3.2 Análise de Solo

Após a retirada do penúltimo *litterbag* da área experimental, foi amostrado solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm com auxílio de um trado para avaliação dos teores de P e K, seguindo metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). No mesmo período, foram

coletados dados de temperatura e umidade do solo nas mesmas profundidades com auxílio de um sensor (Teros 11, *Meter Group*[®]).

3.3.3 Produtividade de grãos

Para as culturas de milho e de sorgo referente ao ano agrícola 2023, período de condução do experimento, foi selecionada uma área útil, dentro da parcela, incluindo 4 linhas de plantas em 3m lineares para avaliação. Foram avaliados: número de plantas por parcela, número de espigas ou panículas por parcela, número de fileiras/espiga, peso de 1000 grãos, além de produtividade em kg ha⁻¹.

Após o término do experimento, foi estabelecida a cultura da soja, onde foi avaliada a produtividade da safra 2023/24, características agronômicas, componentes de rendimento e produtividade da soja. Para avaliação da produtividade da soja, foram selecionadas, em cada área, quatro fileiras centrais com 2,5 m de comprimento. Os grãos foram colhidos, trilhados e secos. Foi calculada a produtividade, considerando a umidade padrão de 13% para comercialização do grão.

3.4 Análise estatística

O modelo estatístico utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 6x6, tendo como primeiro fator a cultura agrícola (milho, sorgo, milheto, *Urochloa*, *Panicum* e pousio) e como segundo fator o tempo de decomposição T0, T15, T30, T60, T90, T120 dias.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, as médias do fator qualitativo, plantas de coberturas, foram comparadas pelo teste de *Tukey* a 5% de probabilidade e as médias do fator quantitativo (tempo de decomposição) foram submetidas à análise de regressão. O programa estatístico utilizado foi o Sisvar (FERREIRA et al., 2019)

Para descrever a decomposição da fitomassa e o acúmulo de nutrientes, os dados foram ajustados com erro padrão a um modelo matemático exponencial ($y = ae^{kx}$) e linear para uma razão C/N ($y = a + bx$), usando o *software SigmaPlot*. As comparações entre as equações estimadas foram realizadas de acordo com o procedimento descrito por Snedecor e Cochran (1989), que testa a homogeneidade dos dados (F) e a significância dos coeficientes angulares da reta ($0,4343k$) e linear ($\log a$) das equações linearizadas ($\log y = \log a + 0,4343kx$).

Para calcular a meia-vida ($t_{1/2}$), ou seja, o tempo necessário para decompor 50% da fitomassa remanescente, foi utilizada a equação proposta por Paul e Clark (1989), na qual $t_{1/2}$

= 0,693/ k, onde $t_{1/2}$ é a meia-vida da fitomassa seca e k é a constante de decomposição da fitomassa seca.

Assim, os dados foram analisados por meio de análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado ANAVA está apresentado na tabela 3, onde houve efeito significativo dos fatores isolados plantas de cobertura e tempo de decomposição, bem como da interação entre eles.

TABELA 3 - Resumo da ANAVA para os dados de fitomassa seca residual e teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em plantas de cobertura em função do tempo de decomposição

FV	GL	Fitomassa	N	P	K
Bloco	3	0,76 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,91 ^{ns}
Plantas de cobertura	5	1547,29**	15,50**	8,39**	51,40**
Erro ₁	15	-	-	-	-
Tempo	5	288,73**	7,91**	135,42**	201,13**
Erro ₂	15	-	-	-	-
Trat*Tempo	25	31,13**	2,76**	2,74**	10,87**
Erro ₃	75	-	-	-	-
Total	143	-	-	-	-
CV ₁ (%)	-	6,79	27,45	24,40	25,14
CV ₂ (%)	-	7,79	17,47	19,49	32,90
CV ₃ (%)	-	6,40	19,78	19,42	22,08

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; ns: não significativo; **5% de significância.

Esses resultados indicam que a escolha da planta de cobertura influencia de forma expressiva tanto na quantidade de fitomassa produzida quanto em sua qualidade nutricional. O tempo de decomposição, por sua vez, demonstrou que a fitomassa e os teores de nutrientes variam ao longo do tempo. A interação entre os fatores reforça que o efeito das diferentes plantas de cobertura sobre a produção de fitomassa e o teor de nutrientes se altera conforme o período de decomposição.

Assim, a seleção criteriosa de culturas de cobertura pode favorecer a adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis e aumento da matéria orgânica, contribuindo para a redução da

erosão do solo, das perdas de nutrientes por lixiviação e da dependência de fertilizantes químicos (SILVA et al., 2021).

As plantas de *Panicum*, com 12,9 Mg ha⁻¹, foram as que apresentaram maior produção de fitomassa seca, seguidas da *Urochloa*, com 11,4 Mg ha⁻¹ (Figura 2). Esses valores são compatíveis com o estudo conduzido no cerrado de Goiás entre 2015 e 2017, que registrou médias plurianuais de 10,857 Mg ha⁻¹ para *Panicum maximum* Zuri e 11,437 Mg ha⁻¹ para *Urochloa brizantha* cv. Piatã em cultivos solteiros, com supressão eficiente de plantas daninhas (FERREIRA et al., 2018).

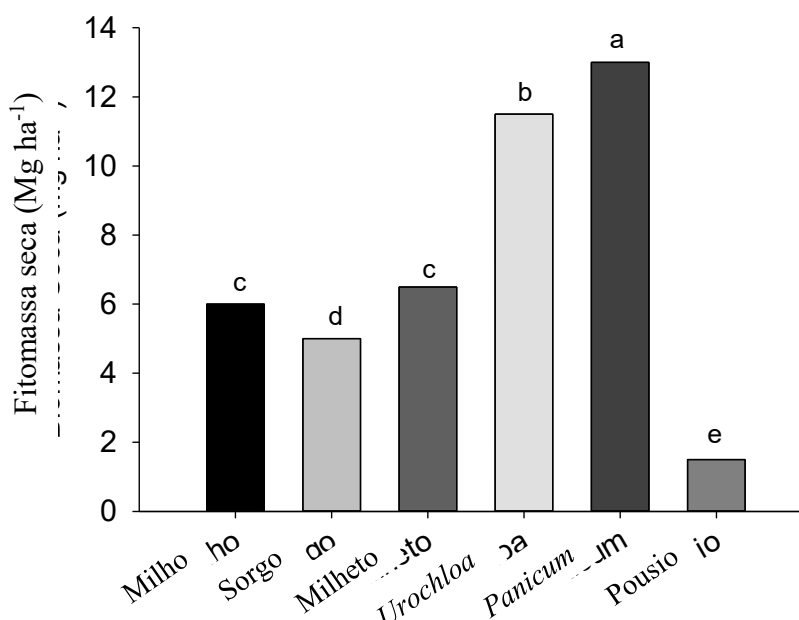


FIGURA 2 - Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023, na quantidade de fitomassa seca residual. Universidade de Rio Verde – GO.

Segundo Teodoro et al. (2011), pesquisas em solos de região de cerrado sugerem a necessidade de atingir, em programas de manejo e cultivo, a produção de 6 a 12 Mg ha⁻¹, pelo fato de a decomposição do material depositado na superfície ser mais elevada nas regiões de clima tipicamente tropical. Esse valor é considerado suficiente para que a cultura seja considerada como boa para a cobertura do solo e compensar as elevadas taxas de decomposição dos resíduos vegetais (FABIAN, 2009; TORRES et al., 2005).

As pesquisas de Pacheco et al. (2011, 2013) evidenciaram o papel crucial de culturas como milheto e *Urochloa* na ciclagem de nutrientes no cerrado, com acúmulos de fitomassa consideráveis.

O valor encontrado no pousio deve-se ao fato do desenvolvimento de plantas daninhas a partir do banco de sementes presente no solo. As diferentes espécies vegetais, com diferentes relações C/N e, ainda, o clima podem interferir na longevidade das diferentes palhadas sobre a superfície do solo (TELES et al., 2025).

Algumas culturas de cobertura como *Panicum* e *Urochloa*, por apresentarem elevada produção de fitomassa, demonstram maior potencial para o aporte de matéria orgânica ao solo. Este acúmulo contribui diretamente para a proteção do solo, melhorando sua estrutura e aumentando o teor de carbono orgânico, conforme corroborado por Silva et al. (2020). A fitomassa gerada por essas espécies é crucial para a ciclagem de nutrientes e a formação de húmus, conforme destacado por Kuneski et al. (2023).

A produção de massa seca varia significativamente entre as diferentes culturas, indicando que a escolha da cultura de cobertura pode ter um impacto direto na quantidade de matéria orgânica incorporada ao solo (SHACKELFORD et al., 2019).

A qualidade da fitomassa, em termos de teores de nutrientes, assim como as condições climáticas, temperatura e umidade, influenciam a taxa de decomposição da matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes no solo (XAVIER et al., 2017; SANDHU et al., 2022).

A Figura 3 apresenta o efeito do tempo (T0, T15, T30, T60, T90 e T120 dias) na decomposição da fitomassa residual para diferentes tipos de cobertura vegetal (pousio, sorgo, milho, milheto, *Urochloa* e *Panicum*) e observa-se que, independentemente da planta, a fitomassa seca residual diminuiu com o tempo. O pousio apresentou a decomposição mais rápida, com o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) de 43 dias e a menor quantidade inicial de fitomassa residual (Figura 4). A cultura do sorgo em relação às demais plantas de cobertura avaliadas apresentou o $t_{1/2}$ de 169 dias, indicando decomposição moderada, com a fitomassa residual diminuindo de forma gradativa ao longo do tempo. O milho mostrou a $t_{1/2}$ de 187 dias, representando uma das taxas de decomposição mais lentas, indicando maior recalcitrância da fitomassa no solo. Isto pode ter ocorrido devido à forma como foi realizada a colheita. Devido à colheita manual, algumas espigas permaneceram no campo misturadas com a palhada das plantas. O milheto apresentou uma taxa de decomposição intermediária, com $t_{1/2}$ de 105 dias. A *Urochloa* teve a decomposição relativamente rápida, com $t_{1/2}$ de 92 dias, comparada ao *Panicum*, o qual obteve uma alta fitomassa inicial e um $t_{1/2}$ de 115 dias, sugerindo boa persistência no solo.

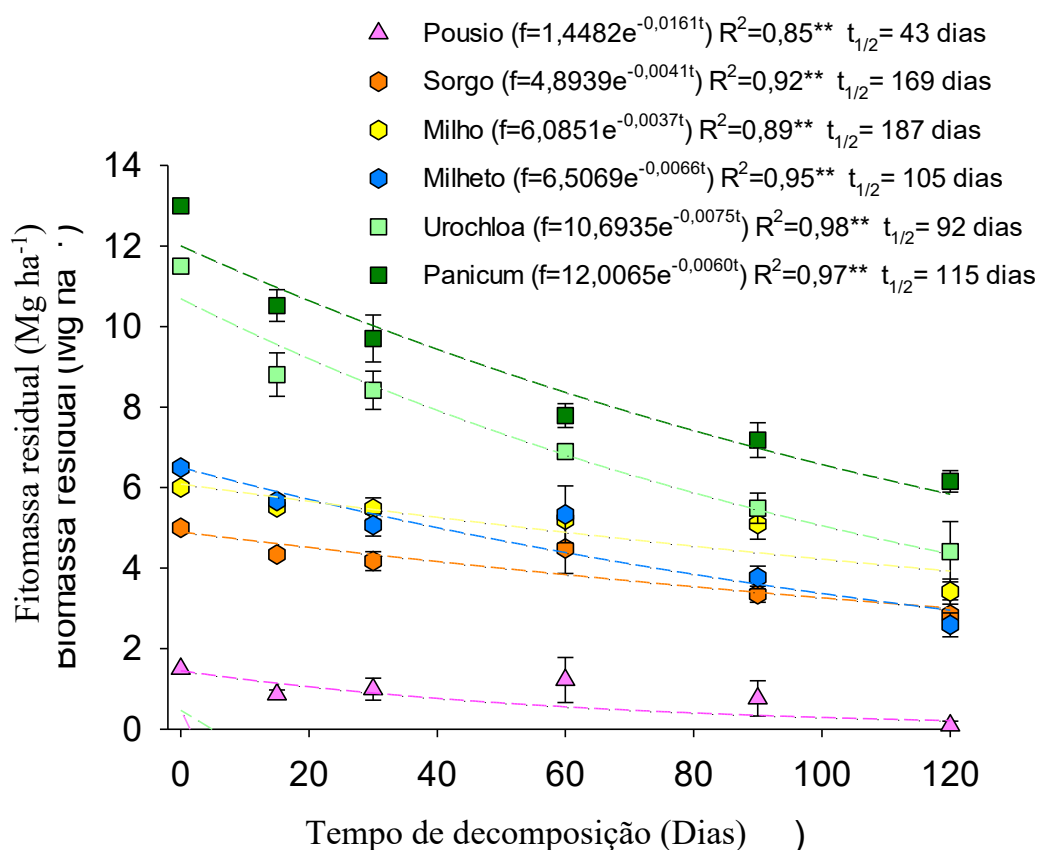


FIGURA 3 - Efeito do tempo na decomposição de fitomassa seca residual de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023. Universidade de Rio Verde – GO.

A dinâmica de decomposição tem implicações diretas para a ciclagem de nutrientes em sistemas de plantio direto (KLIEMANM et al 2010), sendo relevante para a escolha da cobertura vegetal em sistemas agrícolas. Pacheco et al. (2011) destacaram que a semeadura e manejo das plantas de cobertura no período de seca alteram significativamente as taxas de decomposição, elevando o $t_{1/2}$ vida, devido aos maiores valores de relação C/N e aos menores índices pluviométricos.

A maior persistência do milho no campo, com presença de espigas não colhidas, pode estar relacionada ao ciclo de cultivo mais longo dessa cultura, conforme observado por Silva et al. (2020). O Sorgo apresentou 169 dias de $t_{1/2}$ vida, próximo do milho. Além disso, conhecer a dinâmica do acúmulo e da decomposição de massa seca de diferentes plantas de cobertura é importante para o melhor manejo dos sistemas agrícolas no cerrado.

A interação entre as plantas de cobertura e o tempo de decomposição mostra que no geral, a área de *Panicum* e milheto resultou em maior cobertura do solo, seguido do *Urochloa* (Tabela 4). Esse resultado demonstra o potencial de cobertura dessas culturas. A fitomassa atua

na conservação da umidade do solo pela redução da evaporação, aspecto vital em ambientes com déficit hídrico, como o cerrado (Figura 3).

A persistência da fitomassa contribui ainda para a supressão de plantas invasoras, diminuindo a competição por recursos e a pressão por herbicidas, e promove um aporte gradual e contínuo de matéria orgânica, que é fundamental para a melhoria da estrutura do solo, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e estímulo à atividade microbológica, alicerces da fertilidade e produtividade do agroecossistema.

Já o tratamento pousio apresentou os menores valores de fitomassa residual, o que é esperado, já que se trata de um solo que não está coberto por culturas, que apresenta apenas algumas espécies de plantas daninhas devido ao banco de sementes presente no solo. Esses resultados podem ser usados para determinar a quantidade e permanência de diferentes coberturas vegetais em sistemas agrícolas.

TABELA 4 - Dados médios de fitomassa seca residual (mg) de diferentes coberturas na segunda safra (2023), avaliados em diferentes períodos após o corte sobre o solo. Universidade de Rio Verde – GO

Cobertura	Tempo de avaliação (dias)					
	0	15	30	60	90	120
	----- mg -----					
Milho	6,00 c	5,50 c	5,48 c	5,20 b	5,09 a	3,42 c
Sorgo	5,00 d	4,33 d	4,17 d	4,48 b	3,35 b	2,23 d
Milheto	6,50 c	5,66 c	5,07 c	5,33 b	3,77 b	2,59 cd
<i>Urochloa</i>	11,50 b	8,81 b	8,42 b	6,90 a	5,49 a	4,40 b
<i>Panicum</i>	13,00 a	10,25 a	9,70 a	7,79 a	7,18 a	6,15 a
Pousio	1,50 e	0,86 d	0,99 e	1,22 c	0,76 c	0,09 e

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A relação C/N do milho foi maior 66,81, seguido do sorgo, enquanto milheto, *Urochloa* e *Panicum* não se diferiram entre si (Figura 4A). O milho, sorgo e pousio obtiveram valores estatisticamente semelhantes para lignina, ambos superiores a 8%, enquanto as plantas de *Urochloa* e milheto apresentam um teor um pouco menor, aproximadamente entre 5 e 6 % (Figura 4B). O *Panicum* foi a única cultura que diferiu estatisticamente das demais, apresentando a menor porcentagem de lignina (4%). O pousio não diferiu de milho, sorgo e milheto no teor de lignina e o milho foi uma das culturas que teve maior teor de lignina, isso implica diretamente no seu tempo de permanência no solo. Em estudos realizados por Santos et al. (2018), foi encontrada maior concentração de lignina no milho, em comparação com outras culturas, e é um fator que influencia diretamente a taxa de decomposição da fitomassa.

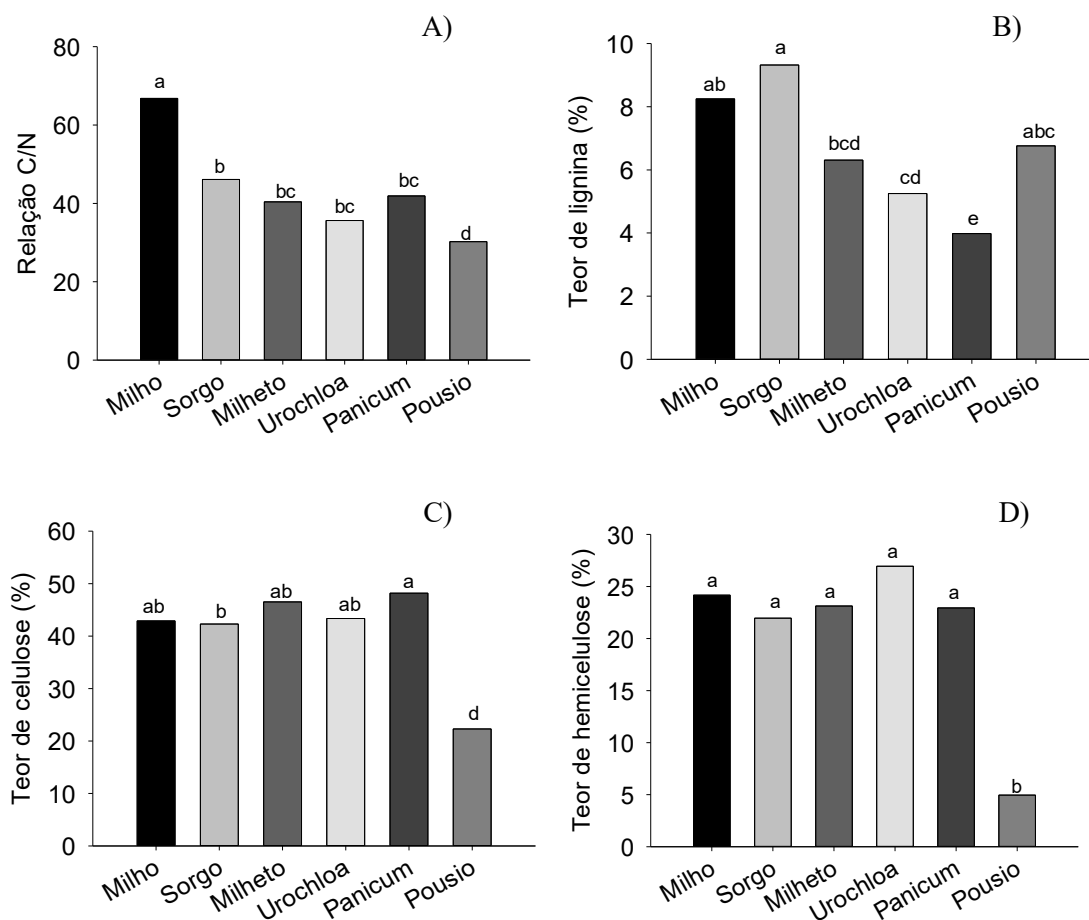


FIGURA 4 - Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023 na relação C/N (A), teor de lignina (B), celulose (C) e hemicelulose (D) da fitomassa seca residual. Universidade de Rio Verde – GO.

O teor de celulose não diferiu estatisticamente para milho, *Panicum*, milheto e *Urochloa* (Figura 4C). O sorgo e pousio apresentaram o menor teor de celulose entre as culturas analisadas (Figura 4C) devido à pouca presença cobertura no solo. A celulose é um componente abundante na parede celular das plantas analisadas e sua quantidade varia dependendo da espécie.

Tradicionalmente, acreditava-se que resíduos com alto conteúdo de lignina e alta relação C/N eram os principais responsáveis pelo acúmulo de carbono no solo (Marschner et al., 2008). Além disso, a composição da parede celular vegetal, especialmente o teor de celulose, desempenha um papel crucial na taxa de decomposição e no ciclo do carbono, influenciando diretamente a persistência e a decomposição da fitomassa no solo.

O teor de hemicelulose não diferiu entre as plantas de cobertura, ficando acima de 20% (Figura 4D). O pousio, como esperado, apresentou menor teor de hemicelulose, diferenciando-se das demais culturas. A hemicelulose, juntamente com a celulose e a lignina, é um dos principais

componentes da parede celular vegetal. Sua quantidade e composição variam entre as diferentes espécies e podem influenciar diversas propriedades do material vegetal, como velocidade de decomposição e resistência (CARVALHO et al., 2008; 2009).

O teor e a variação percentual de nitrogênio (N) variaram consideravelmente (Figura 5A e 6B), indicando que a composição nutricional é dependente das diferentes culturas.

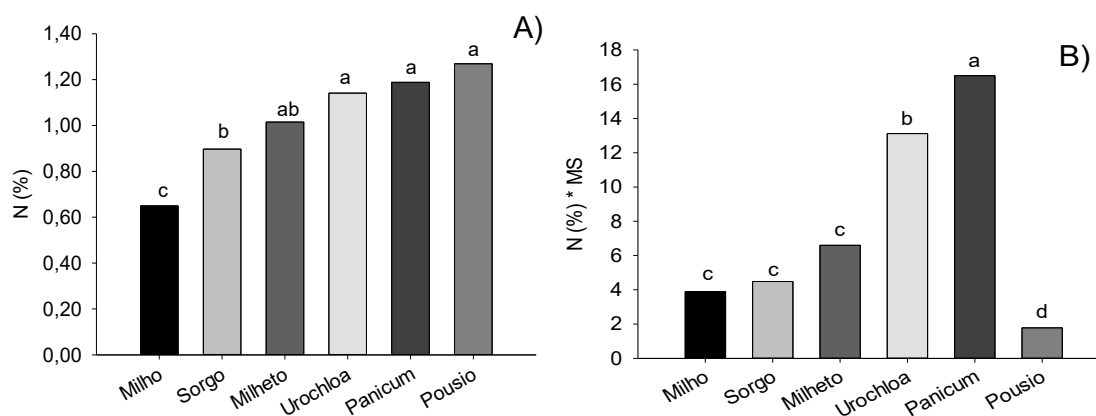


FIGURA 5 - Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023, teor de Nitrogênio (N) – A e Nitrogênio (%) * Massa Seca (MS) – B. Universidade de Rio Verde – GO.

A análise do teor de nitrogênio evidencia que espécies forrageiras como *Urochloa* e *Panicum* e milheto, bem como as áreas de pousio, apresentam maior acúmulo de nitrogênio em suas fitomassas em comparação às culturas graníferas, como milho e sorgo, podendo ser devido à exportação do nutriente N para os grãos. Esse fator influencia diretamente na taxa de decomposição e na liberação do nutriente ao solo.

A figura 5B demonstra a variação do percentual de nitrogênio na matéria seca para diferentes plantas. Culturas com maior percentual de nitrogênio na matéria seca, como o *Panicum* e a *Urochloa*, tendem a contribuir de forma mais significativa para o aumento da matéria orgânica do solo quando incorporadas ao sistema de produção. Isso ocorre porque, ao se decompor, o material orgânico dessas culturas libera nutrientes para o solo, estimulando o crescimento de microrganismos e a formação de agregados.

O *Panicum* se destaca com o maior valor de nitrogênio acima de 16%, sendo superior às demais espécies. A *Urochloa* também apresenta desempenho elevado, ficando em segundo lugar, enquanto milho, sorgo e milheto mantêm valores entre 4 a 8%, se assemelhando entre si estatisticamente (Figura 5B).

Culturas como milho e sorgo, por apresentarem menores teores de nitrogênio, podem gerar resíduos de menor teor nutricional, resultando em decomposição mais lenta e potencial imobilização de nutrientes, especialmente quando utilizadas isoladamente como plantas de cobertura (DUBEUX JÚNIOR et al., 2023).

As Figuras 6A e 6B exibem o teor e a porcentagem de fósforo pela massa seca nas diferentes culturas avaliadas.

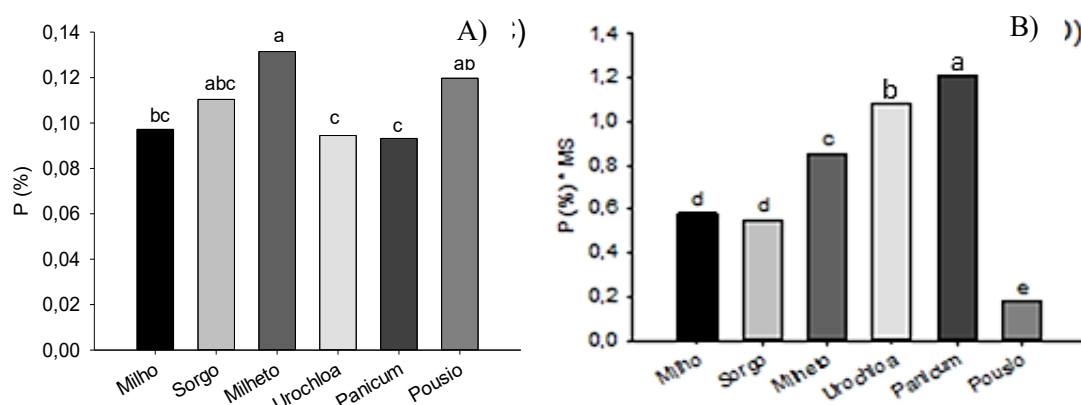


FIGURA 6 - Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023, teor de Fósforo (P) – A e Fósforo (%) * Massa Seca (MS) – B. Universidade de Rio Verde – GO.

Nota-se que o milheto, sorgo e pousio apresentam os maiores valores de fósforo, próximo de 0,13%, superando as demais espécies. *Urochloa*, *Panicum* e milho mostram menores percentuais, situados entre 0,08% e 0,09% (Figura 6A). Culturas como *Urochloa* e *Panicum*, embora reconhecidas pela alta produção de fitomassa, apresentaram teores mais baixos de fósforo, o que pode indicar menor eficiência na reciclagem desse nutriente em curto prazo (RABÊLO et al., 2022).

O percentual de fósforo na matéria seca foi mais alto nas plantas de *Panicum*, seguido por *Urochloa* e sorgo. As plantas de milho apresentaram o menor teor de fósforo na matéria seca quando comparada com as demais plantas de cobertura utilizadas (Figura 6B). A falta do fósforo na matéria seca pode ser atribuída, em grande parte, à fisiologia de absorção e translocação do P na planta de milho. Sendo uma cultura de alta demanda de P para a formação de grãos de milho, translocando a maior parte do P absorvido para as sementes, reduzindo a concentração desse nutriente na palhada (MAURI et al., 2022).

Segundo Côt et al. (2025), a *Urochloa ruziziensis* destacou-se ainda na ciclagem de P em sistemas diversificados, com 95% de P liberado para o solo até 60 dias após a semeadura da soja.

O fósforo é um nutriente fundamental para o crescimento das plantas e desempenha um papel importante em diversos processos biológicos, como a transferência de energia e a formação de ácidos nucleicos (KHAN et al., 2023). Culturas com maior teor de fósforo na matéria seca, como o *Panicum* e a *Urochloa*, tendem a contribuir com uma maior quantidade desse nutriente para o solo quando incorporadas ao sistema de produção. No entanto, a taxa de decomposição da palhada e a disponibilidade do fósforo para as plantas subsequentes também são influenciadas por outros fatores, como a relação C/N da palhada, a atividade microbiana e as condições do solo (LUO et al., 2020).

A decomposição da palhada rica em fósforo libera esse nutriente para o solo, podendo torná-lo disponível para as plantas subsequentes e reduzindo a necessidade de adubação fosfatada. Parte do fósforo presente no solo pode ser fixado em óxidos de ferro e alumínio, tornando-o indisponível para as plantas. Práticas de manejo, como a rotação de culturas, a adubação verde e a utilização de cobertura morta, podem influenciar a disponibilidade de fósforo no solo e a decomposição da palha (ROCHA et al., 2021).

O teor de potássio e a porcentagem de potássio na massa seca para as diferentes culturas apresentaram diferença significativa (Figura 7A e 7B).

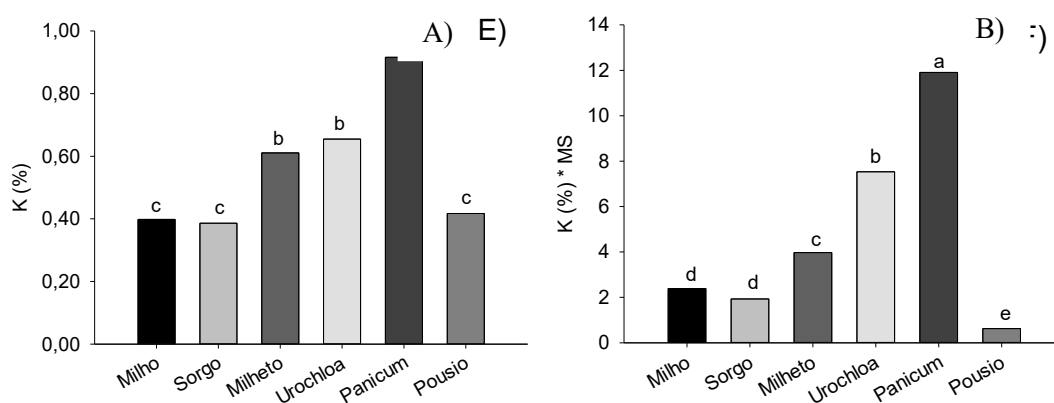


FIGURA 7 - Efeito de plantas de cobertura manejadas na segunda safra de 2023 teor de Potássio (P) – A e Potássio (%) * Massa Seca (MS) – B. Universidade de Rio Verde – GO.

O *Panicum* se destacou com 0,90%, seguido de Milheto e *Urochloa* com 0,65% e 0,60%, respectivamente. Milho, sorgo e pousio apresentaram menores teores de potássio

(Figura 7A). O percentual de potássio na matéria seca varia consideravelmente entre as diferentes culturas, indicando que a composição nutricional das plantas e, conseqüentemente, seu potencial para contribuir com a fertilidade do solo, diferem significativamente. O *Panicum* apresentou o maior teor de potássio na matéria seca seguido do *Urochloa* (Figura 7B). O milho e o sorgo apresentaram o menor teor de potássio na matéria seca entre as culturas analisadas.

O potássio é um nutriente importante para o crescimento das plantas, desempenhando um papel fundamental em diversos processos fisiológicos, como a ativação de enzimas, a síntese de proteínas e a regulação da abertura e fechamento dos estômatos (GHARIEB et al., 2025). Culturas com maior teor de potássio na matéria seca, como o *Panicum*, tendem a contribuir com uma maior quantidade desse nutriente para o solo quando incorporadas ao sistema de produção.

Os resultados reforçam a relevância das plantas de cobertura, especialmente as espécies forrageiras tropicais, como *Urochloa* e *Panicum* e milheto, como culturas estratégicas para promover o enriquecimento do solo em nitrogênio. Essa prática contribui para sistemas agrícolas mais sustentáveis, potencializando a ciclagem de nutrientes. Estudos realizados por Kaschuk et al. (2010), afirmam que as leguminosas e forrageiras são importantes aliadas para a ciclagem de nutrientes e conservação da qualidade do solo.

A avaliação da liberação de nutrientes pela fitomassa das diferentes culturas, até 120 dias de decomposição, demonstra que o potássio foi o nutriente com a maior porcentagem de liberação (Figura 8). O *Panicum* apresentou liberação de 11,90% de K, o valor mais elevado entre todas as coberturas avaliadas.

O teor de potássio liberado pela fitomassa apresentou aumento na seguinte ordem: Pousio, Milho, Sorgo, Milheto, *Urochloa* e *Panicum*. Essa tendência evidencia o maior potencial de liberação de potássio pelas gramíneas forrageiras, especialmente o *Panicum*, que se destacou com os maiores teores.

Para os elementos fósforo (P) e nitrogênio (N), a porcentagem de liberação foi menor e variável entre as culturas. Abreu (2025) ressalta que o K é liberado de forma passiva, diferentemente de N e P, cuja mineralização é um processo enzimático influenciado pela relação C/N e C/P da palhada.

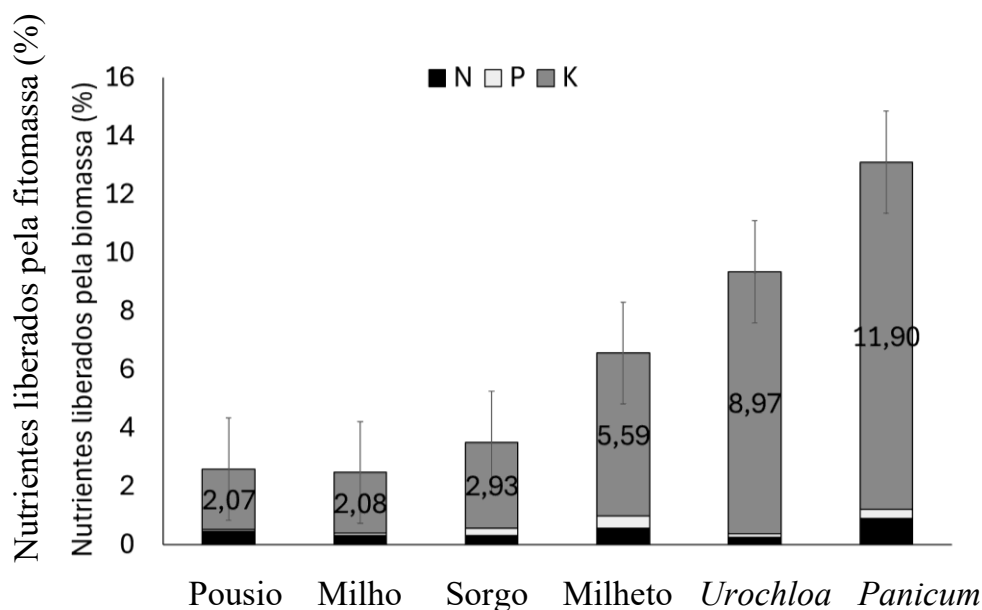


FIGURA 8 - Liberação de nutrientes (N, P, K) pela fitomassa das plantas de cobertura de segunda safra (2023) e pousio. Universidade de Rio Verde – GO.

Culturas com maior teor de nutrientes na fitomassa, como o *Panicum* e a *Urochloa*, tendem a contribuir com uma palhada de qualidade. Essa dinâmica é crucial para a manutenção da fertilidade do solo a longo prazo e para a redução da utilização de fertilizantes minerais (ROCHA et al., 2021).

A figura 10 demonstra a importância do fator nutricional da fitomassa para a fertilidade. Culturas com maior teor de nutrientes, como o *Panicum* e a *Urochloa*, possuem um maior potencial para contribuir com a palhadas presentes no solo, melhorar a sua qualidade e reduzir a dependência de fertilizantes minerais. A decomposição da palhada rica em nutrientes contribui para a formação de húmus e melhora a estrutura do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e nutrientes e promovendo a atividade microbiana.

Em todas as culturas, houve uma redução gradual do teor de potássio na fitomassa ao longo do tempo (Figura 9), o que é esperado devido à sua liberação desse nutriente. As culturas apresentam diferentes taxas de decomposição, influenciando a velocidade com que o potássio é liberado para o solo. Culturas com maior teor inicial de potássio e taxas de decomposição gradativas contribuem de forma mais eficiente para a cobertura do solo (CRUSCIOL et al., 2008).

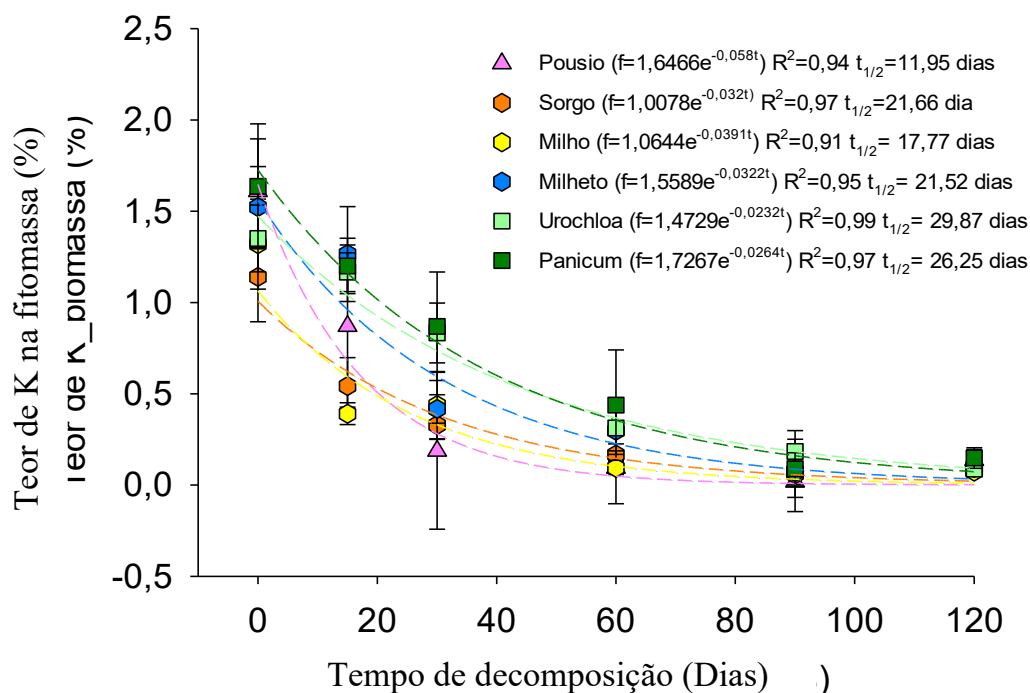


FIGURA 9 - Teor de potássio (K) na matéria seca residual de plantas de cobertura ao longo do tempo de decomposição, manejadas na segunda safra de 2023. Universidade de Rio Verde – GO.

A tabela 5 detalha a dinâmica de liberação de N, P e K pela fitomassa de diversas coberturas vegetais, monitorada em T0, T15, T30, T60, T90 e T120 dias de decomposição.

A análise dos dados revelou uma variação significativa na taxa e no padrão de liberação de cada nutriente entre as espécies estudadas. Essa heterogeneidade reflete intrinsecamente as distintas características fisiológicas de absorção e alocação de nutrientes por cada cultura, bem como as diferenças na composição química dos seus resíduos vegetais, tais como a relação C/N, teores de lignina e celulose e a natureza das formas em que os nutrientes se encontram na fitomassa.

A liberação de nitrogênio apresentou variação entre as coberturas e ao longo do tempo. As menores concentrações foram observadas nas coberturas com milho e sorgo, com destaque para o milho, que apresentou os menores teores em praticamente todos os períodos, atingindo 0,637% aos 120 dias. O milheto demonstrou liberação gradual de N, alcançando 1,157% aos 90 dias e reduzindo levemente aos 120 dias (Tabela 5).

TABELA 5 - Dados médios do teor de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) da fitomassa seca residual de diferentes coberturas de segunda safra, avaliados em diferentes períodos após passagem do triton sobre o solo. Universidade de Rio Verde – GO

Cobertura	Tempo de avaliação (dias)					
	0	15	30	60	90	120
N (%)						
Milho	0,822 c	0,380 c	0,790	0,657 b	0,612 c	0,637 b
Sorgo	0,985 bc	0,787 bc	0,917	0,857 ab	0,950 bc	0,872 ab
Milheto	0,962 bc	0,835 b	1,077	1,095 a	1,157 ab	0,962 ab
<i>Urochloa</i>	1,390 ab	1,290 ab	1,107	1,072 ab	1,487 a	1,267 a
<i>Panicum</i>	1,247 abc	1,160 a	0,787	1,050 ab	1,487 a	1,115 a
Pousio	1,597 a	1,355 a	0,747	1,050 ab	1,110 ab	1,270 a
P (%)						
Milho	0,184 bc	0,054 c	0,031	0,062	0,112 ab	0,139
Sorgo	0,220 ab	0,101 abc	0,044	0,073	0,099 ab	0,123
Milheto	0,246 a	0,132 a	0,071	0,010	0,096 ab	0,143
<i>Urochloa</i>	0,144 c	0,082 bc	0,060	0,072	0,082 ab	0,127
<i>Panicum</i>	0,173 bc	0,083 bc	0,040	0,062	0,070 b	0,129
Pousio	0,189 bc	0,111 ab	0,064	0,079	0,125 a	0,149
K (%)						
Milho	1,320 bc	0,391 b	0,437 bc	0,094 b	0,076	0,073
Sorgo	1,140 c	0,541 b	0,328 c	0,166 b	0,058	0,080
Milheto	1,523 abc	1,265 a	0,417 c	0,297 ab	0,070	0,093
<i>Urochloa</i>	1,351 bc	1,167 a	0,833 ab	0,312 ab	0,183	0,087
<i>Panicum</i>	1,922 a	1,406 a	1,187 a	0,641 a	0,160	0,184
Pousio	1,609 ab	0,458 b	0,187 c	0,094 b	0,017	0,136

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

As coberturas com *Urochloa* e *Panicum* se destacaram com os maiores teores acumulados de nitrogênio ao longo do tempo, superando 1,26% aos 120 dias. O pousio também apresentou valores elevados, especialmente no período inicial (1,597% aos 0 dias), o que pode estar relacionado à mineralização de resíduos de vegetações anteriores (Tabela 5).

Esses resultados evidenciam que as gramíneas forrageiras, como *Urochloa* e *Panicum*, têm maior capacidade de ciclagem de nitrogênio, sendo recomendadas para sistemas que visam fornecer esse nutriente de forma gradual à cultura subsequente.

A dinâmica de liberação do fósforo foi mais estável e com menores valores em comparação aos demais nutrientes. O potássio é o nutriente com a liberação mais rápida e em maior proporção porque, em grande parte, encontra-se na forma iônica na célula vegetal e não está ligado a componentes estruturais complexos da fitomassa. Ele é altamente solúvel em água, sendo rapidamente lixiviado dos tecidos vegetais logo após a morte e o início da decomposição da planta. Olaniyan et al. (2022), ao estudar a decomposição de palhada, destacam que a

liberação de K é predominantemente um processo de lixiviação física, ocorrendo de forma mais imediata e menos dependente da atividade microbiana.

O milheto apresentou os maiores teores iniciais (0,246% aos 0 dias), seguido pelo pousio, que apresentou o maior valor final (0,149% aos 120 dias). *Urochloa* e *Panicum* apresentaram teores médios, variando entre 0,06% e 0,13% (Tabela 5).

O potássio foi o nutriente com maior variação e valores absolutos ao longo do tempo. O *Panicum* destacou-se com o maior teor inicial (1,922% aos 0 dias), mantendo liberação elevada até os 30 dias (1,187%). Milheto e *Urochloa* também apresentaram elevada liberação inicial, com teores superiores a 1,2% aos 15 dias (Tabela 5).

Em contrapartida, milho e sorgo apresentaram os menores teores de potássio ao longo do período, com valores inferiores a 0,1% após os 60 dias. O pousio, apesar de apresentar um valor inicial elevado (1,609%), mostrou rápida liberação, sem reposição, refletindo um comportamento menos sustentável do ponto de vista da ciclagem de K (Tabela 5).

A liberação crescente do potássio ocorreu na seguinte ordem: milho, sorgo, pousio, milheto, *Urochloa* e *Panicum*, evidenciando que as gramíneas forrageiras, especialmente *Panicum*, possuem maior capacidade de disponibilização rápida desse nutriente, o que é vantajoso em sistemas onde a cultura seguinte possui alta exigência em potássio.

Estudo conduzido por Volf et al. (2023) avaliou a inclusão de *Urochloa* em sistemas de cultivo. Os resultados indicaram que a presença de *Urochloa* melhorou significativamente a ciclagem de potássio no sistema, evitando perdas de fertilizantes e aumentando a eficiência do uso de potássio pelo cultivo subsequente de soja. Quando o foco do estudo realizado por Teixeira et al. (2011) foi milheto e sorgo, a taxa de decomposição e a liberação de nutrientes da fitomassa aérea das culturas mostraram que o sorgo apresentou liberação mais rápida de nitrogênio, enquanto o milheto teve decomposição mais lenta, com liberação gradual de nutrientes, o que pode impactar a disponibilidade de nutrientes para culturas subsequentes.

A Tabela 6 apresenta dados importantes sobre as alterações nas propriedades do solo após o cultivo de diferentes plantas de cobertura na segunda safra. A análise desses dados permite compreender como cada cultura influencia a qualidade do solo, a ciclagem de nutrientes e a proteção ambiental. Observa-se uma grande variação nas propriedades do solo entre as diferentes culturas, indicando que a escolha da planta de cobertura pode ter um impacto significativo na qualidade do solo. Em geral, as culturas de cobertura aumentaram o teor de carbono orgânico no solo, especialmente nas camadas mais superficiais (0-20 cm). Isso indica que a incorporação da fitomassa das plantas de cobertura contribui para o aumento da matéria orgânica do solo, o que é fundamental para a melhoria da estrutura do solo e da retenção de água.

A taxa de decomposição da palhada de milho é mais rápida em comparação com a de braquiária, indicando diferenças na qualidade da matéria orgânica e na disponibilidade de nutrientes para o solo.

A liberação de nutrientes também foi variável, o potássio exibiu a maior e mais rápida liberação, notadamente pelo *Panicum*, devido à sua alta solubilidade. O nitrogênio foi mais abundantemente liberado por *Urochloa* e *Panicum*, sugerindo seu potencial para a ciclagem desse nutriente. Já a liberação de fósforo foi mais estável e em menores percentuais, com o milho mostrando os menores teores na fitomassa, atribuído à translocação para os grãos. Em termos de impacto no solo, as culturas de cobertura, especialmente *Panicum* e *Urochloa*, aumentaram o teor de carbono orgânico e influenciaram a disponibilidade de P e K nas camadas superficiais. Numericamente, a cultura de soja subsequente obteve maior produtividade após *Panicum*, seguida por *Urochloa* e sorgo, superando significativamente o pousio.

As culturas de cobertura também influenciaram a disponibilidade de nutrientes no solo, como fósforo e potássio (Tabela 6).

Algumas culturas, como *Panicum* e *Urochloa*, apresentaram maiores teores desses nutrientes nas camadas superficiais do solo, indicando um maior potencial de contribuição para a fertilidade do solo. A quantidade e a qualidade da matéria orgânica incorporada ao solo influenciam diretamente a fertilidade, a estrutura e a capacidade de retenção de água do solo.

TABELA 6 - Dados de umidade, temperatura e teor de carbono (C), fósforo (P) e potássio K no solo após o cultivo de plantas de cobertura na segunda safra 2023. Universidade de Rio Verde – GO

Cobertura	Umidade g m ⁻³	Temperatura °C	C g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K
0-20 cm					
Milho	0,31 ab	30,13 ab	8,382	45,171 a	176,64 bc
Sorgo	0,31 ab	29,29 ab	7,635	17,960 b	144,67 c
Milheto	0,30 ab	29,08 b	8,716	27,136 ab	237,34 abc
<i>Urochloa</i>	0,33 a	31,48 a	9,345	27,138 ab	285,43 ab
<i>Panicum</i>	0,33 a	30,28 ab	7,707	25,453 ab	312,02 a
Pousio	0,30 b	30,80 ab	9,371	27,063 ab	224,24 abc
Fator F	4,34*	3,53*	1,38 ^{ns}	3,14*	5,33**
CV (%)	4,20	3,19	15,18	35,82	23,80
20-40 cm					
Milho	0,31	30,02 ab	4,634 a	2,095 c	125,12
Sorgo	0,31	29,05 b	1,400 c	6,459 bc	78,99
Milheto	0,31	29,00 b	3,311 ab	7,694 ab	125,12
<i>Urochloa</i>	0,33	30,88 a	2,476 bc	12,071 a	98,92
<i>Panicum</i>	0,32	30,01 ab	2,500 bc	9,774 ab	87,66
Pousio	0,30	30,71 ab	1,400 c	1,848 c	141,54
Fator F	1,18 ^{ns}	4,22*	8,18**	15,25**	3,10 ^{ns}
CV (%)	5,82	2,59	31,07	31,54	25,19

ns: não significativo; *, **: significativo a 1 e 5%, respectivamente.

A disponibilidade dos nutrientes no solo é influenciada pela interação com outros elementos, como o pH do solo, a textura e a presença de compostos orgânicos. Santos et al. (2018) destacaram a importância da rotação de culturas para a manutenção da fertilidade do solo, uma vez que diferentes culturas possuem diferentes exigências nutricionais e contribuem de forma distinta para a formação de matéria orgânica.

A Figura 10 apresenta a produtividade de soja (em sacas por hectare) após a utilização de diferentes culturas de cobertura de solo. Numericamente, o *Panicum* apresentou maior produtividade de soja 64 sc ha⁻¹, seguido de *Urochloa* e sorgo, com 57 sc ha⁻¹ ambos os manejos. A soja cultivada em solo sem cobertura produziu menos sacos por ha⁻¹, destacando-se a necessidade de cobertura do solo.

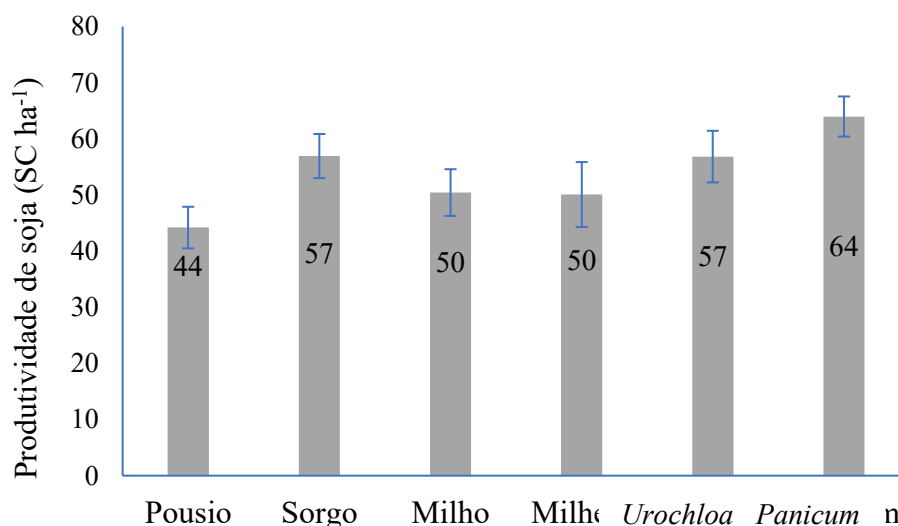


FIGURA 10 - Produtividade de soja (sc ha⁻¹) após o cultivo de diferentes plantas de cobertura e pousio, segunda safra (2023). Universidade de Rio Verde – GO.

Para regiões produtoras de soja no cerrado com condições edafoclimáticas semelhantes, as gramíneas forrageiras *Panicum* e *Urochloa* mostram-se as plantas de cobertura mais relevantes. Recomenda-se o uso dessas espécies devido à sua capacidade superior de produção de fitomassa, que garante uma cobertura do solo mais duradoura, essencial para mitigar a erosão hídrica, conservar a umidade e suprimir plantas daninhas. Além disso, seu desempenho na ciclagem de nitrogênio e potássio é vantajoso, contribuindo para a redução da dependência de fertilizantes minerais e para a melhoria da fertilidade e estrutura do solo a longo prazo, aspectos cruciais para a sustentabilidade da produção de soja.

5 CONCLUSÃO

A produção de fitomassa foi significativamente influenciada pelas condições edafoclimáticas da segunda safra, como o déficit hídrico e a temperatura do ar, podendo ter limitado o desenvolvimento vegetal.

Contudo, *Panicum* e *Urochloa* destacaram-se pela maior produção de fitomassa seca e maior capacidade de manter a cobertura do solo, contribuindo efetivamente para a conservação do solo e incremento da matéria orgânica.

De modo geral, a escolha da cobertura vegetal deve considerar tanto a quantidade de fitomassa produzida quanto o padrão de liberação de nutrientes. A liberação de potássio foi a mais expressiva e rápida, enquanto a de nitrogênio e fósforo demonstrou taxas mais lentas e variáveis entre as espécies, sendo o milho a cultura com menor potencial de reciclagem de fósforo na palhada.

Em suma, a escolha de gramíneas forrageiras como *Panicum* e *Urochloa* demonstrou ser as culturas mais eficazes para otimizar o aporte de fitomassa e a ciclagem de nutrientes, nitrogênio e potássio em sistemas de produção no cerrado, promovendo a sustentabilidade do agroecossistema. O milheto apresenta desempenho intermediário, enquanto milho e sorgo, embora amplamente utilizados, apresentaram menor eficiência na liberação de nutrientes ao solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. R. **Gestão da Matéria Orgânica do Solo: Dinâmica, Indicadores e Manejos**. Visau, 2025. 132 p. ISBN 6528015821, 9786528015825. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=vM1YEQAAQBAJ>. Acesso em: 13 jun. 2025.

ACHARYA, P.; GHIMIRE, R.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V. Cover crop-mediated soil carbon storage and soil health in semi-arid irrigated cropping systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.361, p.108813, 2024.

AQUINO, N. C. R. M. **Plantas de cobertura e agentes de biocontrole no Manejo de nematoides na cultura do milho**. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2021.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; COELHO, A. E.; SANGOI, L.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Cropping System as Affected by Maize Intercropping with Ruzigrass and Nitrogen Rate. **Int. J. Plant Prod.** **17**, p.715–728, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42106-023-00267-y>.

BAYER, C.; DIECKOW, J.; A matéria orgânica em solos tropicais e subtropicais sob agricultura conservacionista IN, p. 551 à 568, Capítulo 19, Brasília, DF : Embrapa, 2023.

BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Sci Data**, v.1, p.1–12, 2018.

BERTOL, J.; DIECKOW, J.; CONCEIÇÃO, P.; TELLES, T. Manual de manejo e conservação do solo e da água para o estado do Paraná. **Curitiba, PR: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2019.

BRITO, L.; SOUZA, H. A. de; SOUZA, I. M. de; FERREIRA, A.; AZEVEDO, D. M. P. de; ARAUJO NETO, R. B. de; SAGRILO, E. Decomposição de resíduos no consórcio de milho com forrageiras em sucessão à soja no cerrado do Leste Maranhense. **Embrapa Meio-Norte**. 2021.

BRITO, G. G. de; FERREIRA, A. C. de B. Cultivo consorciado de *Urochloa ruziziensis* com milho segunda safra em sucessão à soja: contribuições ecofisiológicas e produtividades. **Embrapa Algodão – Campina Grande**. 2020.

CAMILO, E. L.; MÜLLER, M. M. L.; RAMPIM, L.; CAMILO, M. L.; GRAFFUNDER, W. R.; KULIK, J. L.; POTT, C. A. Accumulation and release of nutrients by cover crops in single cultivation, consortium and polyculture in the South Brazil Region. **Research, Society and Development**, [S. l.], v.9, n.9, p.e779997870, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7870.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SOUSA JUNIOR, J. G. A.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.esp., p.2831-2838, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000700029>.

CASTRO, P. R. de C. e; KLUGE, R. A.; CARVALHO, M. E. A.; SILVA, M. S. da; FAVA, R. D.; NICOLAI, A. B.; SALI, N. C. **Braquiárias: Ecofisiologia**. Série Produtor Rural nº 80, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2023. DOI: 10.11606/9786587391434.

CAZARIM, P. H.; FERNANDES, C. H. S.; BAZZO, J. H. B.; FERREIRA, A. S.; CASTILHO, Í. M.; ZUCARELI, C. Initial performance of millet seed treated with Tiametoxam and *Azospirillum brasilense* under simulated water deficit. **Acta Iguazu**, v.10, n.2, p.90–99, 2021. DOI: 10.48075/actaiguaz.v10i2.27120.

CÔRT, A. S. D.; PACHECO, L. P.; GUEDES, T. R. M.; SILVA, L. S.; GRECO, T. M.; MACEDO, K. S. de; BATISTA, E. R.; SOUZA E. D. de; SILVA I. A. G. da; CRUSCIOL, C. A. C. Rotação de culturas com diversificação de espécies durante a entressafra impacta a ciclagem de nutrientes no sistema plantio direto. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-12, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02475-z>.

COTRUFO, M. F.; WALLENSTEIN, M. D.; BOOT, C. M.; DENEFF, K.; PAUL, E. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: Do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biology*, v. 19, p. 988-995, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12113>.

COTRUFO, M. F.; SOONG, J. L.; HORTON, A. J.; CAMPBELL, E. E.; HADDIX, M. L.; WALL, D. H.; PARTON, W. J. Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. *Nature Geoscience*, v. 8, p. 776-779, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/ngeo2520>.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V. ANDREOTTI, M. **Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto**. *Bragantia*, Campinas, v. 67, p. 481-489, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000200024>.

CRUZ, A. F.; PIRES, M. D. C.; NASCIMENTO, L. K. B. D.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, S. A.; BLUM, L. E. B.; YAMANISHI, O. K. Cover cropping system and mulching can shape soil microbial status in fruit orchards. **Scientia Agricola**, v.77, p.e20180316, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0316>.

COSTA, A. C. T. da; DOMUKOSKI, J. F.; ECCO, M.; DUARTE JÚNIOR, J. B. Desempenho do milho pérola na segunda safra em espaçamentos e densidades de semeadura. **Agrarian**, v.8, n.27, p.47-56, 2015. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/3112>. Acesso em: 13 jun. 2025.

DALLA CÔRT, A. S.; FEITOSA, P. B.; PACHECO, L. P.; GRECO, T. M.; SILVA, I. D. F., SOUZA, E. D. de; SANTOS, L. F.; PETER, F. A. CRUSCIOL, C. A. C. Accumulation and efficiency of nutrient use in crop systems in second crop under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p.e01879-e01879, 2021.

DENARDIN, J. E. Sistema Plantio Direto. **Embrapa Trigo**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto/fundamentos/historico/evolucao-do-spd-no-brasil>. Acesso em: 05/05/2025.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, E. R. S.; PORTUGUEZ-ACUNA, J. E.; AND QUEIROZ, L. M. D., Nutrient Cycling and Crop Responses on Integrated Crop-Livestock Systems (2024). **IGC Proceedings (1989-2023)**. 15. DOI: <https://doi.org/10.13023/qmx-e-tf28>.

EDDY, W. C.; YANG, W. H. Improvements in soil health and soil carbon sequestration by an agroforestry for food production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.333, p.107945, 2022.

FABIAN, A. J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. 2009. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia-Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP, 2009.

FERREIRA, A. C. D. B.; BORIN, A. L. D. C.; BOGIANI, J. C.; LAMAS, F. M. Suppressive effects on weeds and dry matter yields of cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53, n.05, p.566-574, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000500005>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.4, p.529-535, 2019.

FLORES, W. M. F. **Zoneamento agroclimático de espécies bioenergéticas para a entressafra Verão-Inverno na microrregião de Patos de Minas-MG**. 2020. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Biocombustíveis) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.519>.

GHARIEB, A. S.; HASHEM, I. M.; GHAZY, HASNAA A.; ABDEL-FATTAH, A.G. Impact Of Foliar Nutrients Spray And Plant Growth Regulators On Growth, Production, And Grain Quality Of Rice. **Menoufia Journal of Plant Production**, v.10, n.1, p.1-10, 2025.

JANK, L.; SANTOS, M. F.; BRAGA, G. J. O capim-BRS Zuri (*Panicum maximum* Jacq.) na diversificação e intensificação das pastagens. Embrapa. Brasília, DF Novembro, 2022.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v.42, p.1–13, 2020.

KHAN, F.; SIDDIQUE, A. B.; SHABALA, S.; ZHOU, M.; ZHAO, C. Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. **Plants**, v.12, n.15, p.2861, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12152861>.

KITTIKA, K.; FAYE, O.; MANGA, A. Study of the Effect of Sowing Date and Sowing Method on Yield of New Rice Varieties in the Senegal River Valley under Low Temperatures. **J Rice Res Dev**, v.5, n.2, p.456-465, 2023. DOI: DOI: 10.36959/973/445.

KLIEMANN, J. H.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, M. S. Decomposição da palhada de plantas de cobertura. In SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Plantas de Cobertura dos solos do cerrado. 1 Ed. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão. 2010. p. 47-57.

KUNESKI, A. C.; LOSS, A.; SANTOS, T. S. dos; GIUMBELLI, L. D.; LIMA, A. P.; PICCOLO, M. de C.; Brunetto, G.; Kurtz, C.; Lovato, P. E.; Lourenzi, C. R.; COMIN, J. J. Total Carbon And Nitrogen And Granulometric Fractions Of Soil Organic Matter Under No-Till System And Conventional Tillage With Onion Cultivation. **Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.17, n.9, 2023.

LAL, R.; LOGAN, T. J. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; LEVINE, E.; STEWART, B. A., (Eds.) **Soil management greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press, p.293-307, 1995.

LEONEL, G. L. Alterações químicas do solo após consórcios forrageiros para a produção de silagem. **Trabalho de conclusão de curso** (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2024.

LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, L. N. S. dos; SANTOS, G. O.; CUNHA, F. N., SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B. (2021). Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, GOIÁS. *Revista Brasileira De Climatologia*, 27, 19–33.
<https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.68692>.

LUO, G.; XUE, C.; JIANG, Q.; XIAO, Y.; ZHANG, F.; GUO, S.; SHEN, Q. LING, N. Soil carbon, nitrogen, and phosphorus cycling microbial populations and their resistance to global change depend on soil C: N: P stoichiometry. **Msystems**, v.5, n.3, p.10.1128/msystems.00162-20, 2020.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 319p, 1997.

MALAVOLTA, E.; PAULINO, V.T. Nutrição mineral e adubação do gênero *Brachiaria*. In: PAULINO, V.T.; ALCÂNTARA, P.B.; ALCÂNTARA, V.B.G. (Ed.). *A Brachiaria no novo século*. 2. ed. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2002. p. 15-55.

MARCHÃO, R. L.; MENDES, I. C.; VILELA, L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. G.; NIVA, C. C.; PULROLNIK, K.; SOUZA, K. W.; CARVALHO, A. M. de; Integrated crop–livestock–forestry systems for improved soil health, environmental benefits, and sustainable production. **Soil Health Series: Volume 3 Soil Health and Sustainable Agriculture in Brazil**, p.19-61, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch2>.

MARIA, I. C.; BERTOL I.; DRUGOWICH, M. I. Práticas conservacionistas do solo e da água. In: Bertol I, Maria IC, Souza LS, editors. *Manual de manejo e conservação do solo e da água*. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.527-87, 2019.

MARSCHNER, B.; BRODOWSKI, S.; DREVES, A.; GLEIXNER, G.; GUDE, A.; GROOTES, P. M.; HAMER, U.; HEIM, A.; JANDL, G.; JI, R.; KAISER, K.; KALBITZ, K.; KRAMER, C.; LEINWEBER, P.; RETHEMEYER, J.; SCHÄFFER, A.; SCHMIDT, M. W. I.; SCHWARK, L.; WIESENBERG, G. L. B. How relevant is recalcitrance for the stabilization of organic matter in soils? **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, p. 91-110, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200700049>.

MAURI, G.; GERLACH, G. A. X.; CATALANI, G. C.; CRUSCIOL, G. C. D. Produtividade da cultura do milho em função da adubação de cobertura. **Revista Científica Unilago**, [S. l.], v.1, n.1, 2022. Disponível em: <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/796>. Acesso em: 13 jun. 2025.

MELO, B. M. G. de; LANA, R. P. de. Silagem De Dieta Total Com Feijão Guandu Destinadas A Vacas Leiteiras. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.14, n.01, p.56-67, 2024.

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas: cerrado climate: atmospheric dynamics and features, variability and climatic typologies. **Élisée-Revista de Geografia da UEG**, v.9, n.2, p.e922021-e922021, 2020.

NASCIMENTO, F. J. L. do; COSTA, G. M.; SOUSA, M. P. de; PEREIRA, Y. N.; CABRAL NETO, O. Degradação De Pastagens: Causas, Consequências E Caminho Para A Recuperação. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v.8, n.1, p.1-12, 2025.

NERY, J. S.; FRANCO JUNIOR, K. S. Plantas de cobertura como estratégia de melhoria da fertilidade do solo. **Research, Society and Development**, v.12, n.10, p.e36121043363-e36121043363, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i10.43363>.

OLANIYAN, F. T.; ALORI, E. T.; ADEKIYA, A. O.; AYORINDE, B. B.; DARAMOLA, F. Y.; OSEMWEGIE, O. O.; BABALOLA, O. O. The use of soil microbial potassium solubilizers in potassium nutrient availability in soil and its dynamics. **Annals of Microbiology**, v.72, n.1, p.45, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13213-022-01701-8>.

PACHECO, L. P.; MEDEIROS, M. M. S.; SILVA, R. F.; SOARES, L. S.; FONSECA, W. L.; PETTER, F. A.; ALCANTARA NETO, F.; FERNANDES, A. A.; SANTOS, G. Biomass and Nutrient Accumulation of Cover Crops in the Crop Off-season in Cerrado, in Goiás State, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v.4, n.9, p.209-216, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.5539/jas.v4n9p209>.

PACHECO, L. P.; PIRES, F. R.; MONTEIRO, F. P.; PROCÓPIO, S. O.; ASSIS, R. L.; CARMO, M. L.; PETTER, F. A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.7, p.815-823, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000700005>.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. D. A.; ASSIS, R. L. D.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.1228-1236, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000900006>.

PACHECO, L. P.; MONTEIRO, M.; MARTINS, D. S.; PETTER, F. A.; NÓBREGA, J. C. A.; SANTOS, A. S. D. Biomass and nutrient cycling by cover crops in brazilian cerrado in the state of piaui. **Revista Caatinga**, v.30, p.13-23, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n102rc>.

PEREIRA, R. R.; GARCIA, I. M.; MODESTO, V. C.; SEKIYA, B. M. S.; SOARES, D. D. A.; ANDREOTTI, M. Soybean performance in succession to the intercropping of corn with marandu grass and pigeonpea in an integrated agricultural production system. **Revista Ceres**, v.70, p.72-80, 2023. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370030008>.

RABÊLO, F. H. S.; SANTOS, F. H. dos; LAVRES, J. ALLEONI, L. R. F. Changes in Tillering, Nutritional Status and Biomass Yield of *Panicum maximum* Used for Cadmium Phytoextraction. **Water Air Soil Pollut** **233**, v.214, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05687-6>.

RAMOS, M. L. G.; SILVA, V. G. D.; CARVALHO, A. M. D.; MALAQUIAS, J. V.; OLIVEIRA, A. D. D.; SOUSA, T. R. D.; SILVA, S. B. Carbon fractions in soil under no-tillage corn and cover crops in the Brazilian cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.55, p.e01743, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01743>.

RIBEIRO, L. L. O.; SEIDEL, E. P.; CUNHA, L. do S.; FAVORITO, A. C.; STEIN, J. M.; ERTEL, L. G.; MATTEI, E. PAN, R.; MOTTIN, M. C.; LANA, M. do C. Phytomass decomposition of cover crops subjected to mechanical management and soybean yield. **Research, Society and Development**, v.11, n.3, p.e52311326401-e52311326401, 2022.

ROCHA L. V.; BIASI, D.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G.; RIBEIRO, J. C. No-tillage in organic production system: production parameters and biomass decomposition. **Comunicata Scientiae**, v.12, p.e3157-e3157, 2021. DOI: [DOI: https://doi.org/10.14295/cs.v12.3157](https://doi.org/10.14295/cs.v12.3157).

ROCHA, J. G. D.; COELHO, F. C.; LELIS, R. T.; SANTOS, G. C. D. S.; JAEGGI, M. E. P. D. C. Mulch decomposition and nitrogen, phosphorus and potassium release in vetiver grass at different plant densities. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.50, p.e64603, 2021.

RODRIGUES, L. N. (ed.). Agricultura irrigada no cerrado: subsídios para o desenvolvimento sustentável. 2. ed. rev. e ampliada Brasília, DF: **Embrapa**, 2024. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1165534>.

SANDHU, O. S.; JAT, M. L.; GUPTA, R. K.; THIND, H. S.; SIDHU, H. S.; SINGH, Y. Influence of residue type and method of placement on dynamics of decomposition and nitrogen release in maize-wheat-mungbean cropping on permanent raised beds: A litterbag study. **Sustainability**, v.14, n.2, p.864, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14020864>.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SHACKELFORD, G. E.; KELSEY, R.; DICKS, L. V. Effects of cover crops on multiple ecosystem services: Ten meta-analyses of data from arable farmland in California and the Mediterranean. **Land use policy**, v.88, p.104204, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104204>.

SILVA, A. D. N.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; LIMA, C. A. de; JAYME-OLIVEIRA, A.; SILVA, A. M. M.; CARVALHO, A. M. de; Nutrient accumulation in cover crops under contrasting water regimes in the Brazilian cerrado. **Atmosphere**, v.13, n.10, p.1617, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos13101617>.

SILVA, B. E. C.; DANTAS, Y. V. V.; CESCONE, J. V. F.; BONINI, H. C.; ROCHA, J. R.; SOUZA, J. M. de; PIRES, F. R.; GONTIJO, I. Atributos físico-hídricos do solo sob diferentes plantas de cobertura consorciada com pimenta-do-reino. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, v.22, n.10, p.e7354-e7354, 2024.

SILVA, W. B.; PETTER, F. A.; LIMA, L.B. de; ANDRADE, F. R. Desenvolvimento inicial de *Urochloa ruziziensis* e desempenho agrônomo da soja em diferentes arranjos espaciais no cerrado Mato-Grossense. *Fitotecnia*, Bragantia, Artigo Campinas, v. 72, n. 2, p.146-153, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052013000200006>.

SILVA, J. M. Dinâmica termo-hídrica do solo em função da cobertura vegetal no Semiárido brasileiro. **Dissertação** (Mestrado) - UFPB/CCA. 2022.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FRASCA, L. L. de M.; REZENDE, C. C.; FERREIRA, E. A. S.; FILIPPI, M. C. C. de; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. de 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.

SOKOL, N. W.; KUEBBING, S. E.; KARLSEN-AYALA, E.; BRADFORD, M. A. Evidence for the primacy of living root inputs, not root or shoot litter, in forming soil organic carbon. **New Phytologist**, v.221, n.1, p.233-246, 2019.

SOUSA, D. C.; MEDEIROS, J. C.; LACERDA, J. J. J.; ROSA, J. D.; BOECHAT, C. L.; SOUSA, M. N. G.; RODRIGUES, P. C. F.; OLIVEIRA FILHO, E. O.; MAFRA, A. L. Dry mass accumulation, nutrients and decomposition of cover plants. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.5, p.152-160, 2019.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; BANY, V. L. Fitomassa e acúmulo de nitrogênio em espécies vegetais de cobertura do solo para um Latossolo vermelho distroférrico de cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.30, n.4, p.525-531, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i4.5313>.

SOUZA, J. L. de; COSTA, A. F. da; ANGELETTI, M. D.; JARRETA, J.; FAVARATO, L. Indicadores fitotécnicos para cultivo de plantas de cobertura e produção de fitomassa. **Estudos Agroecológicos: o avanço da ciência no Brasil: volume 3 – Guarujá-SP: Científica Digital** 2024.

SRICKLAND, M. S.; THOMASON, W. E.; AVERA, B.; FRANKLIN, J.; MINICK, K.; YAMADA, S.; BADGLEY, B. D. Short-term effects of cover crops on soil microbial characteristics and biogeochemical processes across actively managed farms. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v.2, 180064, 2019.

TARA, S.T.; SUPRIYA, A.; SEHGAL, D.; LATA, C.; TIWARI, S.; SRIVASTAVA, R.; KUMAR, S.; CHINNUSAMY, V. Genomic designing for abiotic stress tolerance in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. **Genomic designing for abiotic stress resistant cereal crops**, p.223-253, 2021. DOI: 78-3-030-75875-2_6.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. DECOMPOSITION and nutrient release from millet and sorghum biomass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.867-876, 2011.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3ª ed. Brasília: Embrapa, 2017.

TELES, J. B.; PEREIRA, J. L.; JAKELAITIS, A.; SILVA, G. M.; CAIXETA, K. da C.; VALE, P. H. M. do; PRADO, T. N. B. do. Seleção de plantas de cobertura para a segunda safra do cerrado no município de Cristalina-GO. **Brazilian Journal of Development**, v.11, n.1, p.e76733-e76733, 2025. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv11n1-052>.

THAPA, B.; DURA, R. A review on tillage system and no-till agriculture and its impact on soil health. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v.9, n.3, p.612-617, 2024.

THAPA, R.; TULLY, K. L.; HORTON C. R.; Cabrera M.; DAVIS, B. W.; FLEISHER D., GASKIN, J.; HITCHCOCK, R., PONCET, A.; SCHOMBERG H. H.; SEEHAVER; S. A.; TIMLIN, D.; MIRSKY, S. B. Cover crop residue decomposition in no-till cropping systems: Insights from multi-state on-farm litter bag studies. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.326, p.107823, 2022.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.1351–1361, 1993.

VAN SOEST, P.; WINE, R.H. Development of a comprehensive system of feed analysis and applications to forages. **Journal of Associate Official Agronomy Chemistry**, v.51, p.780-785, 1968.

VOLF, M. R.; CRUSCIOL, C. A.; KOVAR, J. L.; ROSOLEM, C. A. Unraveling the role of ruzigrass in soil K cycling in tropical cropping systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.126, n.2, p.181-194, 2023.

XAVIER, F. A. D. S.; OLIVEIRA, J. I. A.; SILVA, M. R. D. Decomposition and nutrient release dynamics of shoot phytomass of cover crops in the Recôncavo Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.41, p.e0160103, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160103>