



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

BRUNA DE SOUZA SILVEIRA MACHADO

**CULTIVO DE SORGO GRANÍFERO SOBRE DIFERENTES COBERTURAS EM
CULTIVO ISOLADO E CONSORCIADAS EM DIFERENTES ÉPOCAS DE
PLANTIO**

UBERLÂNDIA

2025

BRUNA DE SOUZA SILVEIRA MACHADO

**CULTIVO DE SORGO GRANÍFERO SOBRE DIFERENTES COBERTURAS EM
CULTIVO ISOLADO E CONSORCIADAS NO CERRADO MINEIRO EM
DIFERENTES ÉPOCAS DE PLANTIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em Agronomia,
área de concentração em Produção Vegetal,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia.

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres
Orientador

UBERLÂNDIA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- M149c
2025
- Machado, Bruna De Souza Silveira. 1993-
Cultivo de sorgo granífero sobre diferentes coberturas em cultivo isolado e consorciadas em diferentes épocas de plantio [recurso eletrônico] / Bruna de Souza Silveira Machado. - 2025.
- Orientador: José Luiz Rodrigues Torres.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2026.5509>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.
- I. Agronomia. I. Torres, José Luiz Rodrigues, 1965-. (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

André Carlos Francisco
Bibliotecário-Documentalista - CRB-6/340§

BRUNA DE SOUZA SILVEIRA MACHADO

**CULTIVO DE SORGO GRANÍFERO SOBRE DIFERENTES COBERTURAS EM
CULTIVO ISOLADO E CONSORCIADAS NO CERRADO MINEIRO EM
DIFERENTES ÉPOCAS DE PLANTIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

APROVADA: Uberlândia, MG. 15 de dezembro de 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Beno Wendling - UFU Campus Gloria

Prof. Dr. Lísias Coelho - UFU Campus Gloria

Prof. Dr. Ernane Miranda Lemes – Empresa Monitora

Prof. Dr. Fausto Antônio Domingos Júnior - IFTM Campus Uberaba

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres - UFU/IFTM Campus Uberaba

FOLHA DE APROVAÇÃO COM ASSINATURAS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em
Agronomia
Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP
38400-902
Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppgagro.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese, 011/2025, PPGAGRO				
Data:	Quinze de dezembro de dois mil e vinte e cinco	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	17:20
Matrícula do Discente:	12123AGR004				
Nome do Discente:	Bruna de Souza Silveira Machado				
Título do Trabalho:	Cultivo de sorgo granífero sobre diferentes coberturas em cultivo isolado e consorciadas em diferentes épocas de plantio				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Beno Wendling - UFU; Lísias Coelho - UFU; Ernane Miranda Lemes - Pesquisador; Fausto Antônio Domingos Júnior - IFTM; José Luiz Rodrigues Tórres - UFU orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. José Luiz Rodrigues Tórres, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Essa tese possui mérito para ser indicada como destaque do Programa? (X) SIM
NÃO ()

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Lísias Coelho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 15/12/2025, às 17:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ernane Miranda Lemes, Usuário Externo**, em 16/12/2025, às 20:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Luiz Rodrigues Torres, Usuário Externo**, em 16/12/2025, às 22:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Beno Wendling, Professor(a) do Magistério Superior**, em 07/01/2026, às 15:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fausto Antônio Domingos Júnior, Usuário Externo**, em 07/01/2026, às 15:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6938122** e o código CRC **8C6A3EAD**.

*A Jesus e à Nossa Senhora das Graças, por
todas as bênçãos concedidas. Ao meu esposo,
Túlio, aos meus pais e avós, cujo apoio
incondicional tornou possível a realização
deste doutorado. E à minha filha, Ana Lúcia,
que, ainda em gestação, já me concede
inspiração e força para concluir esta jornada,
sendo a promessa mais sublime que ilumina o
futuro.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, Nossa Senhora das Graças e meu anjo da guarda, agradeço pela proteção diária, por me dar força para não desistir, superar todas as dificuldades e manter a esperança de que tudo ficará melhor, pois Jesus é misericordioso.

Ao meu marido, Túlio, o meu eterno agradecimento por assumir muitas das minhas responsabilidades diárias, permitindo que eu finalizasse este trabalho, e por compreender os meus momentos de indisponibilidade e dificuldade. Seu apoio valioso me trouxe até aqui.

Agradeço também à minha família, em especial aos meus pais, Afonso e Lucélia, e à minha avó, Juvenila, que sempre me apoiaram para que eu conseguisse estudar e hoje cursar o doutorado.

Ao professor Titular Dr. José Luiz Rodrigues Torres, agradeço sinceramente pela confiança e amizade. Obrigada por me orientar e ajudar a concluir esta etapa, que sempre fez parte do meu projeto de vida.

Agradeço também a Firmiano Alexandre, Mário Machaim, João Leonel, Cintia Oliveira, Luciene Lacerda, Claudemir Souza e a todos os meus colegas de trabalho do IFTM. Agradeço pelo apoio na condução da pesquisa e por acreditarem no meu trabalho.

Aos membros da banca por aceitarem o convite e dedicarem tempo para contribuir com este trabalho.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio concedido ao programa de Pós-graduação em Agronomia e aos estudantes através das bolsas concedidas.

Agradeço também ao Instituto Federal do Triângulo Mineiro, campus Avançado Campina Verde e campus Uberaba, pela disponibilização da sua infraestrutura para condução dos experimentos e pelo apoio durante toda a pesquisa.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, por todo o conhecimento compartilhado.

A TODOS, MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	10
1 INTRODUÇÃO GERAL	12
2 HIPÓTESE TESTADA	13
3 OBJETIVO GERAL	13
4.1 Plantas de cobertura usadas no cerrado	13
4.2 Fabáceas.....	14
4.3 Poáceas	15
4.4 Consórcios de plantas de cobertura	16
4.5 Decomposição de resíduos e ciclagem de nutrientes.....	17
4.6 Sorgo.....	20
REFERÊNCIAS	23
CAPITULO I	30
RESUMO	31
ABSTRACT	32
1. INTRODUÇÃO.....	33
2. MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1. Caracterização da área experimental	35
2.1.2 Localização da área	35
2.1.3 Clima e solo.....	35
2.2 Delineamento experimental.....	37
2.3 Semeadura das plantas de cobertura.....	37
2.4 Determinação da massa fresca e massa seca	37
2.5 Determinação da taxa decomposição e tempo de meia vida dos resíduos	38
2.6 Ciclagem de nutrientes dos resíduos das plantas de cobertura.....	39
2.7 Plantio do sorgo granífero sobre os resíduos das plantas de cobertura	40
2.8 Análise Estatística.....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1 Produção de massa fresca e seca das plantas de cobertura.....	42
3.2 Decomposição dos resíduos e tempo de meia vida	44
3.3 Ciclagem de nutrientes dos resíduos de plantas de cobertura	47
3.4. Atributos agronômicos do sorgo.....	53
4. CONCLUSÕES	57

REFERÊNCIAS	58
CAPITULO II.....	65
RESUMO	66
ABSTRACT	67
1. INTRODUÇÃO	68
2. MATERIAL E MÉTODOS	70
2.1 Caracterização da área experimental	70
2.1.1 Localização da área	70
2.1.2 Clima e solo	70
2.2 Delineamento experimental	72
2.3 Avaliações.....	72
2.4 Determinação da massa fresca e massa seca	72
2.5 Determinação da taxa decomposição dos resíduos.....	73
2.6 Plantio do sorgo granífero sobre os resíduos das plantas de cobertura	73
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
3.1 Produção de massa fresca e seca das plantas de cobertura.....	75
3.2 Decomposição dos resíduos e tempo de meia vida	76
4. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	82

**Cultivo de sorgo granífero sobre diferentes coberturas em cultivo isolado e consorciadas
no cerrado mineiro em diferentes épocas de plantio**

RESUMO GERAL

O sorgo é uma cultura amplamente cultivada tanto para a produção de grãos quanto para forragem no período da safrinha no Cerrado brasileiro devido à sua rusticidade, tolerância à seca, alta eficiência no uso de nitrogênio, boa adaptabilidade a diferentes tipos de solo e menor custo de produção. Geralmente, é plantado em sistema de plantio direto sobre os resíduos da cultura anterior. Contudo, poucas vezes é cultivado sobre uma palhada previamente formada para o seu cultivo em ciclos consecutivos. O objetivo deste estudo foi avaliar a produção, a decomposição e a ciclagem de nutrientes dos resíduos de plantas de cobertura em cultivos isolados e consorciados, bem como suas relações com a produção de sorgo granífero em dois ciclos consecutivos. O experimento foi instalado no delineamento de blocos casualizados, onde foram avaliados sete tipos de cobertura do solo: 1- Braquiária (B); 2- Milheto (M); 3- *Crotalaria ochroleuca* (CO); 4- Consórcio 1 (MIX 1): Trigo mourisco, *Crotalaria ochroleuca*, milheto, *C. breviflora*, Braquiária, Capim coracana e Crambe; 5- Consórcio 2 (MIX 2): Trigo mourisco, *C. ochroleuca*, *C. breviflora*, Capim coracana, Crambe e Braquiária; 6 - Consórcio 3 (MIX 3): Braquiária, Capim coracana, Milheto, Sorgo forrageiro, Feijão caupi e Feijão guandu, todos com quatro repetições. Avaliou-se a produção de massa fresca (MF) e seca (MS), a decomposição, o tempo de meia-vida ($T^{1/2}$ vida) e a ciclagem de nutrientes dos resíduos, bem como os parâmetros agrônômicos e a produtividade do sorgo granífero em dois ciclos consecutivos. No primeiro ciclo observou-se que o cultivo isolado, o MIX 2 apresentou maior produção de MS, maior acúmulo e ciclagem de nutrientes e menor taxa de decomposição e $T^{1/2}$ vida de seus resíduos. Nos cultivos consorciados, o MIX 2 apresentou produção de MS semelhante à do MIX 1 e do MIX 3, maior acúmulo e ciclagem de nutrientes, maior taxa de decomposição e menor $T^{1/2}$ vida de seus resíduos em relação aos MIX 1 e 3. A maior taxa de decomposição dos resíduos ocorreu no cultivo isolado e no MIX 2, em que a planta estava presente com duas espécies (*C. ochroleuca* e *C. breviflora*). Quanto ao $T^{1/2}$ vida de liberação dos nutrientes observou-se a seguinte ordem crescente: $Mg < K < Ca < N < P < S$. Os menores valores de massa fresca e seca do grão e da panícula, bem como de produtividade de grãos de sorgo granífero ocorreram quando ele foi cultivado sobre o MIX 1. As plantas de cobertura utilizadas não influenciaram os parâmetros agrônômicos: número de panículas, altura de planta, altura de inserção de panícula e diâmetro basal do colmo.

Palavras-chave: agricultura regenerativa; *Sorghum bicolor*; MIX de plantas de cobertura.

Cultivation of grain sorghum on different cover crops in isolated and intercropped cultivation in the Minas Gerais savanna at different planting times

ABSTRACT

Sorghum is a widely cultivated crop for both grain production and forage during the off-season in the Brazilian Cerrado due to its hardiness, drought tolerance, high nitrogen use efficiency, good adaptability to different soil types, and lower production cost. It is generally planted in a no-till system over the residues of the previous crop. However, it is rarely cultivated over a previously formed mulch for its cultivation in consecutive cycles. The objective of this study was to evaluate the production, decomposition, and nutrient cycling of cover crop residues in isolated and intercropped cultivations, as well as their relationships with grain sorghum production in two consecutive cycles. The experiment was set up in a randomized block design, where seven types of soil cover were evaluated: 1- Brachiaria (B); 2- Millet (M); 3- Crotalaria ochroleuca (CO); 4- Intercropping 1 (MIX 1): Buckwheat, Crotalaria ochroleuca, millet, C. breviflora, Brachiaria, Coracana grass, and Crambe; 5- Intercropping 2 (MIX 2): Buckwheat, C. ochroleuca, C. breviflora, Coracana grass, Crambe, and Brachiaria; 6 - Intercropping 3 (MIX 3): Brachiaria, Coracana grass, millet, forage sorghum, cowpea, and pigeon pea, all with four replications. The production of fresh (FM) and dry (DM) matter, decomposition, half-life (T_{1/2} life), and nutrient cycling of the residues were evaluated, as well as the agronomic parameters and productivity of grain sorghum in two consecutive cycles. In the first cycle, it was observed that in the isolated cultivation, MIX 2 presented higher DM production, greater accumulation and cycling of nutrients, and lower decomposition rate and half-life of its residues. In the intercropped cultivations, MIX 2 presented DM production similar to that of MIX 1 and MIX 3, greater accumulation and cycling of nutrients, higher decomposition rate, and lower half-life of its residues compared to MIX 1 and 3. The highest residue decomposition rate occurred in the isolated cultivation and in MIX 2, where the plant was present with two species (C. ochroleuca and C. breviflora). Regarding the half-life (T_{1/2}) of nutrient release, the following increasing order was observed: Mg < K < Ca < N < P < S. The lowest values for fresh and dry mass of grain and panicle, as well as grain yield of grain sorghum, occurred when it was grown on MIX 1. The cover crops used did not influence the agronomic parameters: number of panicles, plant height, panicle insertion height, and basal stem diameter.

Keywords: regenerative agriculture; *Sorghum bicolor*; cover crop MIX

1 INTRODUÇÃO GERAL

O sistema de plantio direto (SPD) é um dos principais sistemas de manejo do solo na produção de grãos no Brasil, fundamentado no mínimo revolvimento do solo (restrito à linha de semeadura), na rotação de culturas e na manutenção dos resíduos culturais na superfície. Esse sistema promove a conservação dos recursos naturais e contribui para a sustentabilidade da produção, ao reduzir o tráfego de máquinas, otimizar o uso de insumos, amenizar a erosão hídrica, maximizar a infiltração de água e manter a umidade do solo (Embrapa, 2018). Diante desses desafios e da importância crescente do sorgo, o uso estratégico de plantas de cobertura consorciadas surge como uma alternativa promissora para mitigar esses desafios, promovendo solos mais férteis e produtivos, o que potencializa o cultivo do sorgo e sua relevância no agronegócio brasileiro.

Nesse sistema, as plantas de cobertura desempenham um papel essencial, indo além da formação de palhada para proteção do solo (Calegari, 2001; Gentsch *et al.*, 2024). Atualmente, essas plantas são reconhecidas por sua capacidade de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo por meio de sistemas radiculares diversificados e da ciclagem eficiente de nutrientes (Carey; Nair, 2025).

As plantas mais utilizadas para a produção de palhada no SPD são as Poáceas e Fabáceas, contudo, várias outras famílias podem ser usadas como planta de cobertura, podendo ser semeadas de forma isolada ou consorciadas na mesma área (Oliveira *et al.*, 2024). A semeadura concomitante das famílias traz benefícios para biodiversidade do sistema como a ciclagem de nutriente, a descompactação do solo, além de melhorar a biota. No entanto, a escolha da forma de semeadura vai depender do objetivo do cultivo da planta de cobertura e das famílias consorciadas (Klinger *et al.*, 2018).

Com o cultivo das Fabáceas na rotação, ocorrerá a fixação biológica do nitrogênio (N) e maior disponibilidade do elemento no solo, além de outros nutrientes, pois a decomposição é mais rápida, devido à menor relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos, diminuindo os gastos com insumos agrícolas, maquinários e otimizando os custos de produção (Bouwman *et al.*, 2013).

Dentre as culturas cultivadas em SPD, o sorgo destaca-se como uma cultura beneficiária das vantagens proporcionadas pelos resíduos das plantas de cobertura, especialmente quando cultivado como segunda safra (fevereiro a junho) no Brasil (Batista *et al.*, 2025). Sua expansão está associada à resiliência às mudanças climáticas, com maior tolerância à escassez hídrica e às variações de temperatura, resultando em menor custo de produção em comparação ao milho.

Essa característica reforça a importância do sorgo para a segurança alimentar e sua versatilidade em aplicações como alimentação humana, ração animal, produção de etanol e bioenergia (Silva, 2024). Contudo, a produtividade média do sorgo no Brasil ainda é baixa, de aproximadamente 2.821 kg ha⁻¹ (IBGE, 2021), sendo limitada por fatores como precipitações irregulares, baixa fertilidade do solo e manejo inadequado.

O uso estratégico de plantas de cobertura consorciadas surge como uma alternativa promissora para mitigar esses desafios, promovendo solos mais férteis e produtivos, o que potencializa o cultivo do sorgo e sua relevância no agronegócio brasileiro (Embrapa, 2018).

2 HIPÓTESE TESTADA

A premissa subjacente a este estudo é que a utilização de plantas de cobertura consorciadas pode oferecer maiores benefícios em comparação ao uso de plantas de cobertura isoladas.

3 OBJETIVO GERAL

Neste estudo objetivou-se avaliar o impacto do cultivo consorciado de plantas de cobertura sobre as características agrônômicas do sorgo, comparando-o ao cultivo com espécies de plantas de cobertura isoladas.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Plantas de cobertura usadas no cerrado

No Brasil, os adubos verdes são conhecidos há pelo menos 100 anos. As primeiras informações técnicas sobre adubação verde foram publicadas por Gustavo Rodrigues Pereira D'Utra, no livro Adubos verdes: sua produção e modo de emprego (D'utra, 1919).

As principais plantas de cobertura utilizadas no cerrado incluem leguminosas como crotalárias (*Crotalaria juncea* e *C. spectabilis*), mucuna-preta (*Mucuna pruriens*) e feijão-guandu (*Cajanus cajan*), além de gramíneas como milheto (*Pennisetum glaucum*) e braquiária (*Urochloa ruziziensis*) (Carvalho *et al.*, 2022).

Essas espécies são escolhidas por sua adaptação aos solos ácidos e de baixa fertilidade do cerrado, bem como por sua capacidade de fixar nitrogênio, produzir alta biomassa e controlar a erosão (Calegari, 2001). A crotalária e a mucuna-preta destacam-se pela fixação de nitrogênio (até 96 - 180 kg ha⁻¹), enquanto o milheto e a braquiária são valorizados pela produção de biomassa (até 40 t ha⁻¹) e pela proteção do solo contra a erosão, especialmente em sistemas de

plantio direto. Estudos demonstram que essas plantas melhoram a fertilidade do solo e aumentam a produtividade de culturas como soja e milho (Ferreira *et al.*, 2016).

O consórcio de plantas de cobertura vem ganhando destaque na agricultura do Cerrado devido à diversificação de espécies e aos múltiplos benefícios que cada uma proporciona. Combinações como milheto (*Pennisetum glaucum*) com crotalária (*Crotalaria juncea*) ou aveia-preta (*Avena strigosa*) com feijão-guandu (*Cajanus cajan*) promovem sinergia, unindo a alta produção de biomassa das gramíneas, que protege o solo contra a erosão, à fixação de nitrogênio das leguminosas e aumenta a fertilidade (Duarte *et al.*, 2014).

Esses consórcios também favorecem o controle de plantas invasoras melhoram a estrutura do solo e aumentam a biodiversidade, contribuindo para sistemas mais sustentáveis. Estudos da Embrapa Cerrado mostram que consórcios de plantas de cobertura podem aumentar a produtividade das culturas subsequentes em até 22% (Silva *et al.*, 2024).

4.2 Fabáceas

A família Fabaceae, também conhecida como Leguminosae, é a terceira maior família de angiospermas, abrangendo cerca de 18.000 espécies distribuídas em diversos habitats globais. Essas espécies apresentam grande diversidade em termos de ciclo vegetativo, porte, produção de biomassa e critérios edafoclimáticos, o que as torna fundamentais para sistemas agrícolas sustentáveis (Carvalho, 2021).

As plantas desta família destacam-se por sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN) por meio de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* ou *Bradyrhizobium*, resultando em uma menor relação carbono/nitrogênio (C/N) em comparação com Poaceae e outras famílias (Bertolo *et al.*, 2021).

Essa característica aumenta a disponibilidade de nitrogênio no solo, promovendo maior absorção de nutrientes pelas plantas e diminuindo a dependência de fertilizantes nitrogenados minerais, diminuindo custos de produção e impactos ambientais (Duarte *et al.*, 2014).

A FBN ocorre em nódulos radiculares, estruturas hipertróficas formadas pela interação planta-bactéria. Contudo, a eficiência desse processo pode ser limitada por fatores químicos do solo, como baixa disponibilidade de fósforo, alta acidez e elevados teores de alumínio, maior grau do que pela simples ausência de rizóbios (Moreira; Siqueira, 2006).

O sistema radicular pivotante das Fabaceae, geralmente profundo e robusto, contribui para a descompactação do solo, sendo especialmente vantajoso em sistemas de semeadura direta. Essa característica permite a exploração de camadas mais profundas do solo, melhorando a estruturação e a circulação de nutrientes. No entanto, os resíduos vegetais dessas espécies

tendem a se decompor rapidamente, podendo reduzir a cobertura do solo e a sua proteção contra a erosão (Silva *et al.*, 2024).

Dentre os gêneros da família, as espécies do gênero *Crotalaria* destacam-se no contexto agrícola, especialmente *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis*, *C. ochroleuca* e *C. breviflora*, todas originárias da Ásia Tropical. A *C. juncea* é amplamente adaptada a regiões tropicais, apresentando hábito arbustivo, porte ereto (2,0 a 3,0 m de altura), alta produção de biomassa e elevada capacidade de FBN, com desenvolvimento rápido. Além disso, essa espécie auxilia no controle biológico de nematoides, contribuindo para a sanidade do solo (Carvalho *et al.*, 2022).

Estudos indicam que a *C. juncea* pode fixar, em média, 350 kg ha⁻¹ de nitrogênio por ciclo, reciclando aproximadamente 35 kg ha⁻¹ de fósforo e 200 kg ha⁻¹ de potássio. Suas raízes podem atingir até 4,5 m de profundidade em 130 dias, e a produtividade varia de 35 a 60 t ha⁻¹ de massa verde e 10 a 15 t ha⁻¹ de massa seca por ciclo. Apesar de suas vantagens, a adoção da *C. juncea* enfrenta desafios, como a baixa disponibilidade de sementes no mercado, dificuldades na colheita mecanizada e maturação desuniforme dos grãos, que elevam os custos de produção (Carvalho *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2024).

4.3 Poáceas

As espécies da família Poaceae destacam-se pelo rápido desenvolvimento inicial, o que lhes confere notável capacidade de adaptação a condições edafoclimáticas adversas, como solos pobres ou climas extremos (Yamauchi *et al.*, 2021).

Seu sistema radicular fasciculado é altamente eficiente na absorção e ciclagem de nutrientes, trazendo para a superfície elementos passíveis de lixiviação para camadas profundas do solo ou lençol freático. Essa característica promove uma ciclagem mais eficaz, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Salazar *et al.*, 2020).

As Poáceas apresentam maior teor de lignina na sua composição, o que resulta em uma maior relação C/N, em comparação às Fabáceas e, conseqüentemente menor taxa de decomposição dos resíduos. Porém, podem apresentar problemas em relação à disponibilidade de N para as plantas, devido à imobilização deste N pelos microrganismos do solo durante o processo de decomposição de seus resíduos. Esta deficiência de N ocorre principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, o que resultará em perdas de produtividade (Lima Filho *et al.*, 2023).

Dentre as Poáceas utilizadas como cobertura vegetal destaca-se o milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e as braquiárias (*Urochloa* spp.), sendo as principais espécies utilizadas como coberturas de solo, pois apresentam capacidade de produção elevada de massa seca em um curto

período, elevado acúmulo de nutrientes, com menor taxa de decomposição e tempo de meia vida dos resíduos, o que possibilita proteção do solo por períodos mais prolongados (Silva *et al.*, 2024).

Braquiária e milheto tem como característica a alta produção de massa seca, persistência sobre o solo após manejo (Torres; Pereira; Fabian, 2008; Assis *et al.*, 2013), boa capacidade de absorção e ciclagem de nutrientes do solo, principalmente N e K, o que reduz os riscos de perdas por lixiviação (Crusciol; Soratto, 2009).

Avaliando o acúmulo de nutrientes em diferentes plantas de cobertura, Silveira *et al.* (2021) observaram que, em comparação com a braquiária (B), crotalária (C)+B, M+B, M+C e M+C+B, o milheto se destacou com o maior acúmulo de macronutrientes em torno de 100 dias após a emergência.

Em condições irrigadas o acúmulo de macronutrientes nos resíduos é semelhante àquele obtido em condições naturais obtidas no cerrado. Em Rio Verde - GO, sob condições naturais, Pacheco *et al.* (2011) quantificaram a massa seca de braquiária e milheto em 6,2 e 2,4 t ha⁻¹ no ano de 2008/09, que acumularam quantidades elevadas de N (116,13 e 29,28 kg ha⁻¹), P (10,40 e 2,57 kg ha⁻¹), K (92,87 e 12,74 kg ha⁻¹), Ca (53,79 e 8,95 kg ha⁻¹) e Mg (11,59 e 3,82 kg ha⁻¹). No ano seguinte (2009/10), a produção de massa seca foi de 7,5 e 6,1 Mg ha⁻¹, e acumularam maiores quantidades de N (98 e 78,8 kg ha⁻¹), P (19,6 e 16,2 kg ha⁻¹), K (112,4 e 53,8 kg ha⁻¹) e Ca (63,7 e 49,0 kg ha⁻¹), quando comparado ao ano anterior.

Além do acúmulo e ciclagem de nutrientes, outro efeito benéfico das Poáceas é observado na formação e estabilização dos agregados do solo decorrente da alta densidade de suas raízes, que promove aproximação das partículas, pela constante absorção de água solo, periódicas renovações do sistema radicular e distribuição dos exsudados no solo, que estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos atuam na formação e estabilização dos agregados (Stone *et al.*, 2006; Ma *et al.*, 2022). Tisdall e Oades (1979) sugerem que o aumento da estabilidade de agregados devido à ação de Poáceas ocorre pela liberação de polissacarídeos por hifas de micorrizas associadas.

4.4 Consórcios de plantas de cobertura

Os consórcios das plantas de cobertura têm sido uma alternativa bastante estudada e utilizada em algumas regiões do país, pois proporciona benefícios agrônômicos e ecológicos devido às diferentes características funcionais de cada espécie, promovendo melhorias significativas na saúde do solo, como a produção de resíduos com relação C/N intermediária,

maior equilíbrio e acúmulo de carbono no perfil do solo, trazendo melhorias significativas na produtividade agrícola ao longo dos anos (Calegari, 2001; Carey; Nair, 2025).

O consórcio de Fabáceas, Poáceas, Crucíferas, Polygonáceas entre outras, busca aliar os benefícios individuais de cada espécie, podendo atenuar o problema de baixa produção e persistência de palhada de compactação de solo e deficiência de N nos estágios iniciais de desenvolvimento da próxima cultura, bem como ciclar os nutrientes com elevada mobilidade no solo (Calvo *et al.*, 2010).

Normalmente, o acúmulo de nutrientes na massa seca, a velocidade de decomposição e a liberação de nutrientes variam entre Poáceas e Fabáceas (Boer *et al.*, 2008), o que pode ser uma vantagem do consórcio. Assim, os estudos da dinâmica de decomposição da palhada e de liberação de nutrientes dessas plantas consorciadas podem ser extremamente importantes no embasamento para a recomendação dessa técnica (Leite *et al.*, 2010).

As espécies de plantas de cobertura são selecionadas estrategicamente com base nas necessidades específicas de cada área, considerando fatores como clima, objetivos de manejo (ex.: controle de nematoides ou pragas, descompactação do solo, fixação de nitrogênio) e características do sistema agrícola. Essas espécies são cultivadas em períodos, como as entressafras para proteger o solo, promover a biodiversidade e melhorar qualidade do solo. (Silva *et al.*, 2024).

Ao integrar diferentes espécies de plantas de cobertura, estabelece-se uma rede de raízes diversificadas, formando bioporos que regulam os fluxos de ar e água, proporcionando um ambiente favorável para o desenvolvimento das plantas e melhorando a capacidade de retenção hídrica no solo (Silva, 2024).

Além disso, o consórcio de coberturas contribui significativamente para a formação de agregados estáveis no solo. Esses agregados fortalecem a estrutura do solo, proporcionando resistência ao crescimento radicular e à aplicação de pressões externas, como as originadas por maquinaria agrícola (Johnson *et al.*, 2021). Assim, a estratégia do MIX de cobertura destaca-se como um elemento fundamental na gestão agrícola, promovendo a qualidade física do solo e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

4.5 Decomposição de resíduos e ciclagem de nutrientes

O conhecimento das constantes relacionadas com os processos de decomposição e a liberação de nutrientes ao solo pela fitomassa das plantas de cobertura permite estimar o tempo no qual os nutrientes estarão disponíveis para as culturas de interesse comercial. Tais

informações quando associadas à demanda nutricional da cultura poderão otimizar a escolha de espécies de cobertura mais indicadas para cada caso (Carvalho *et al.*, 2021).

A maior parte dos nutrientes das plantas estão armazenados em seus tecidos vegetais, desempenhando funções estruturais ou funcionais como substância de reserva (Etienne *et al.*, 2018). Após a colheita ou o manejo dessas plantas, os nutrientes presentes nos resíduos são liberados para a solução do solo, tornando-se disponíveis para absorção pelas culturas subsequentes em um curto período (Torres; Pereira, 2008).

O tempo de mineralização desses nutrientes depende da taxa de deterioração dos resíduos que, por sua vez, é regulado por três grupos de variáveis: as condições físico-químicas do ambiente, influenciadas pelo clima; a qualidade do substrato (composição orgânica e nutricional), que define sua degradabilidade; e a natureza da comunidade decompositora, composta por macro e microrganismos (Correia; Andrade, 1999; Carvalho *et al.*, 2021; Coelho, 2023). Na escala regional, o clima exerce controle predominante sobre a fixação, enquanto, na escala local, a composição química do substrato é o fator determinante (Berg, 2000).

As condições edáficas do solo, como fertilidade e presença de minerais argilosos, também influenciaram o processo de renovação. Quando um nutriente essencial aos microrganismos não está disponível em quantidades suficientes no substrato, ele é retirado da solução do solo por meio do processo de imobilização (Aber; Melillo, 1991).

Em solos com baixa fertilidade, onde certos nutrientes são escassos, a decomposição tende a ser mais lenta, podendo até ser interrompida. Dentre os fatores físico-químicos ambientais, as condições climáticas são os que mais explicam as variações nas taxas de decomposição (Berg, 2000; Ribeiro *et al.*, 2022).

Baixas temperaturas e períodos de estiagem reduzem o metabolismo dos organismos decompositores, provocando a perda de massa dos resíduos (Aerts, 1997). Já condições de alta umidade e temperatura favorecem a atividade microbiana, aumentando a população de microrganismos e acelerando o processo de decomposição (Pant *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2021).

A qualidade do substrato, especialmente sua composição química (como carboidratos estruturais) e a relação carbono/nitrogênio (C/N), também é crucial na dinâmica de decomposição (Oliveira *et al.*, 2002). Para que o nitrogênio (N) orgânico seja aproveitado pelas plantas, os microrganismos do solo devem mineralizar a matéria orgânica, utilizando o N como fonte de energia e o carbono (C) dos resíduos para formar seus próprios tecidos. O N excedente é liberado ao solo, ficando disponível para o desenvolvimento das culturas (Cabalero *et al.*, 2022). A relação C/N, juntamente com o teor total de nutrientes nos resíduos varia ao longo do

ciclo das plantas, aumentando com a idade e diferenciando entre famílias botânicas (Cabalero *et al.*, 2022).

As gramíneas produzem grande quantidade de matéria verde e possuem altas relações C:N, variando de 33 a 94 para aveia e trigo, respectivamente, e isso pode resultar em decomposição mais lenta de resíduos e imobilização líquida de nitrogênio (Barradas, 2010; Lucadamo *et al.*, 2022). Esses atributos contribuem para a temperatura regular e a umidade do solo, além de reduzir os riscos de erosão (Carvalho *et al.*, 2021).

Por outro lado, as leguminosas com baixa relação C/N decompõem-se rapidamente e são valorizadas por fixarem nitrogênio atmosférico (N₂) em simbiose com bactérias diazotróficas, enriquecendo o solo. Além disso, produz biomassa rica em fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca), e possuem sistemas radiculares profundos que reciclam nutrientes, disponibilizando-os às culturas subsequentes (Tripolskaja *et al.*, 2023).

A comunidade decompositora, formada principalmente por fungos e bactérias, é responsável pela quebra direta da matéria orgânica. Outros organismos, como protozoários, nematoides, anelídeos e artrópodes (fauna do solo) influenciam esse processo ao fragmentar os resíduos e facilitar a ação dos decompositores (Santos; Whitford, 1981; Wang *et al.*, 2023). Apesar disso, os modelos matemáticos atuais apresentam a composição e a abundância da fauna do solo como fator regulador.

A liberação de nutrientes dos resíduos depende de sua localização e forma nos tecidos vegetais, seguindo, em geral, a sequência $K > N > Ca > P > Mg$, independentemente da planta de cobertura (Giacomini *et al.*, 2003). O potássio (K) é liberado rapidamente por não ser metabolizado, formando ligações orgânicas facilmente reversíveis (Rosolem *et al.*, 2003).

O magnésio (Mg) segue como o segundo nutriente mais liberado por não integrar constituintes celulares, enquanto o fósforo (P) é associado a formas solúveis em água (Crusciol *et al.*, 2008). A liberação de N varia conforme o acúmulo de palhada com alta relação C/N (Ceretta *et al.*, 2002).

O cultivo consorciado de plantas de cobertura, como poáceas e leguminosas, oferece vantagens sobre o cultivo isolado, como maior produção de massa seca e acúmulo de nutrientes (Camilo *et al.*, 2020; Scavazza *et al.*, 2021; Salviano *et al.*, 2023). As poáceas esgotam o N do solo, estimulando a fixação biológica pelas leguminosas, enquanto os sistemas radiculares complementares otimizam o uso de água e nutrientes.

O consórcio resulta em resíduos com alta relação C/N, protegendo o solo e fornecendo N às culturas sucessoras. Para maximizar esses benefícios é essencial ampliar a diversidade de espécies consorciadas, selecionando aquelas mais adaptadas e definindo proporções ideais que

otimizam a produção de massa seca, a adição de carbono e o acúmulo de nutrientes como N, P e K (Carvalho *et al.*, 2021; Scavazza *et al.*, 2021).

4.6 Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor*), assim como o milho, pertence à família das Poaceae é uma planta herbácea monocotiledônea, apresenta colmo ereto que pode atingir mais de 2 m altura, suportado por um sistema radicular muito resistente. As inflorescências são panículas, que podem ser compactas a abertas, dependendo do cultivar. É uma cultura naturalizada, com origem na África tropical (Tabosa *et al.*, 2019; Silveira *et al.*, 2021).

Os países que lideraram a produção de sorgo na safra (2023/2024) foram: Estados Unidos, 8,73 milhões de toneladas, Nigéria com 6,9 Mt, Índia com 5,7 Mt, Brasil com 5 Mt e México com 4,2 Mt., representando 48% da produção mundial (USDA, 2025). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2025), a previsão para a safra 2024/25 indica que o sorgo deverá ser cultivado em uma área de 1,46 milhão de hectares, representando um aumento de 2,9% em comparação à temporada anterior, com estimativa de produção de 4,425 milhões de toneladas.

O sorgo é o quinto cereal mais plantado no mundo, após o milho, o trigo, o arroz e a cevada. Nos últimos anos, a cultura vem se expandindo no Brasil, colocando o País entre os cinco maiores produtores do grão do mundo (Coelho, 2025). A espécie é utilizada para consumo humano na forma de grãos *in natura* ou derivados farináceos, como complemento alimentar de ruminantes, na forma de silagem ou pastejo para produção de óleos e biocombustível, na fabricação de vassouras artesanais de uso doméstico, cera, bebidas entre outros usos (Silveira *et al.*, 2021).

O aumento do cultivo do sorgo está associado às mudanças do clima nos últimos anos, principalmente no período da segunda safra, que se dá de fevereiro a junho, pois o sorgo possui maior resistência à escassez de chuva e tolera a variação de temperatura, acarretando assim menor custo de produção quando comparado ao milho, dessa forma o sorgo tem cada vez mais importância para a segurança alimentar (Anuradha *et al.*, 2023).

No entanto, em áreas secas, com poucas chuvas ou irregulares, a cultura pode responder muito favoravelmente à irrigação suplementar (Galicia – Juárez *et al.*, 2021).

As temperaturas ideais para variedades de alta produção são acima de 25°C. Baixas temperaturas (<15°C) durante a floração e formação da produção, e altas temperaturas (>35°C) levam à baixa produção de sementes, problemas de amadurecimento e redução da produção (Landau; Sans, 2015).

Para uma interceptação de luz ideal, o índice de densidade é de cerca de 100 mil a 150 mil plantas por hectare. Em áreas onde a água (chuva + irrigação) é escassa, quanto maior a escassez, maior é a vantagem de um espaçamento maior. Sorgo é uma planta de dia curto, mas existem variedades neutras em relação ao dia (Rabelo *et al.*, 2021). A cultura se desenvolve bem na maioria dos solos, mas se desenvolve melhor em solos de textura leve a média. O solo deve ser preferencialmente bem arejado e bem drenado. O sorgo é relativamente tolerante a curtos períodos de alagamento (Aydinsakir *et al.*, 2021).

Para implantação do sorgo granífero é necessário aplicar calcário para elevar a saturação de base a pelo menos 60% (pH em torno de 6), com incorporação na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Relações Ca:Mg muito estreitas, abaixo de 3:1 prejudicam a cultura. As necessidades de fertilizantes para atingir uma produtividade de 8 t ha⁻¹ são de até 100 kg ha⁻¹ de N, 40 a 80 kg ha⁻¹ de P e 40 a 70 kg ha⁻¹ de K, dependendo da disponibilidade dos nutrientes no solo (Galvão *et al.*, 2015).

No plantio direto, recomenda-se aumentar a adubação nitrogenada de plantio para 30 kg ha⁻¹ de N. Quando o fertilizante nitrogenado for a ureia, esta deve ser incorporada a uma profundidade de cerca de 5 cm. Nos solos deficientes em zinco aplicar de 1 a 2 kg ha⁻¹ de Zn. Aplicar, no plantio ou em cobertura, 30 kg ha⁻¹ de S, quando se utilizarem adubos concentrados (Alves *et al.* 1999; AGRO 2025).

Para sistemas de alta produção, as necessidades hídricas (ETm) do sorgo ficam entre 450 e 650 mm, dependendo do clima. O sorgo é relativamente mais resistente à seca do que muitas outras culturas, como o milho (Tu *et al.*, 2023). Isso se deve a um extenso sistema radicular, ao controle eficaz da evapotranspiração e aos estômatos com capacidade de recuperação rápida após períodos de estresse hídrico e à capacidade de resistir à dessecação (Tu *et al.*, 2023).

Além disso, quando a estação de crescimento é longa, as variedades de perfilhamento conseguem se recuperar até certo ponto dos déficits hídricos nos primeiros períodos de crescimento, formando perfilhos adicionais. Graves déficits hídricos durante o período de floração causam falha na polinização. A redução de rendimento pode ser parcialmente compensada por perfilhos adicionais (Wang *et al.*, 2020; Von Haden *et al.*, 2021).

Um bom rendimento sob irrigação é de 3,5 a 5 toneladas ha⁻¹ (12 a 15 % de umidade). A eficiência de utilização da água para o rendimento colhido (Ey) de grãos está entre 0,6 e 1,0 kg m⁻³ (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION, 2007).

O principal sistema de produção do sorgo é o sistema plantio direto (SPD). O sorgo, especialmente o granífero e o forrageiro apresentam excelente desempenho cultivados sobre

plantas de cobertura, como milheto (*Pennisetum glaucum*) e braquiária (*Urochloa* spp.). O uso de plantas de cobertura antes do plantio do sorgo melhora a estrutura do solo, aumenta a matéria orgânica e reduz a erosão (Almeida, 2023).

No sistema de integração lavora-pecuária, o sorgo é cultivado após a colheita de soja, com plantas de cobertura fornecendo palhada para o plantio direto. A palhada ajuda a reter a umidade, que é essencial para o sorgo em regiões semiáridas, e cicla nutrientes como potássio, cálcio e magnésio (Landau; Sans, 2015).

Para se ter uma boa produção de sorgo alguns aspectos devem ser observados, como altura de planta, a altura típica dos híbridos varia de 1,7 a 2,5 m em cultivares para grãos, com média geral entre 2,4 e 2,5 m (Cruz, 2014). Diâmetro de colmo, que deve variar entre 10 a 35 mm, conforme a cultivar e as condições de fertilização. Para híbridos com adubação adequada a espessura média varia entre 19 e 24 mm. Número de panículas, quanto maior número de perfilhos tende a contribuir positivamente para a produtividade. Proporção de panícula em matéria seca varia entre 17 e 28%, conforme o porte da planta (Rabelo *et al.*, 2012).

O 4º Levantamento de grãos 2025/26 – CONAB (2026) aponta para uma produção de sorgo 6,7 milhões de toneladas de grão, resultado que reflete a expectativa de uma safra maior em área (+9,4%) e melhoria climática. Esses parâmetros podem variar de acordo com sistema de plantio – o plantio direto na palha de plantas de coberturas e em sistema irrigado podem melhorar os parâmetros acima citados.

REFERÊNCIAS

- ABER, J. D.; MELILLO, J. M. Origin and decomposition of soil organic matter. *In: Terrestrial ecosystems*. United States of America: Saunders College Publishin, 1991. p. 195-209.
- AERTS, R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial. *Ecosystems: a triangular relationship. Oikos*, Ireland, v.79, p.439-44, 1997. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3546886>. Acesso em 01 mai. 2025
- AGRO SUSTENTAR (BR). Maiores produtores de sorgo. Brasil, 2025. **Agro Sustentar**. Disponível em: <https://agrosustentar.com.br/agronegocio/maiores-produtores-sorgo/>. Acesso em: 01 mai. 2025.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG), 1999. 359 p..
- ALMEIDA, T. R. **Sistemas de manejo de solo no cultivo simultâneo de sorgo e *Urochloa brizantha* pelo dosador pneumático**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/ca2e6a15-f052-471b-9395-08f1594f6802>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- ANURADHA, B. *et al.* Perspectivas do mercado de sorgo. *In: FLORÊNCIO, Victor. Blog Nutrição de Safras*. Brasil, 9 set. 2025. Disponível em: <https://nutricaodesafras.com.br/mercado-de-sorgo-oportunidades-desafios-e-mais>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- ASSIS, R. L. *et al.* Produção de biomassa, acúmulo de nitrogênio por plantas de cobertura e efeito na produtividade do milho safrinha. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.16 p.1769-1775, 14 setembro 2013.
- AYDINSAKIR, K. *et al.* Yield and bioethanol productivity of sorghum under surface and subsurface drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Turquia, v. 243, n. 2, p.40, 1 de janeiro de 2021.
- BARRADAS, Carlos Antonio de Almeida. **Adubação Verde**. 25. ed. Niterói: Manual Técnico, 2010.
- BATISTA, G. A.; SILVA, L. G. M.; COSTA, C. A. R. Sorgo no Brasil: crescimento e novas oportunidades. *In: BLOG Revista Campo & Negócios*, Uberlândia, 4 fev. 2025. Disponível em: <https://campoenegocios.com/sorgo-no-brasil-crescimento-e-novas-oportunidades/>. Acesso em: 21 jun. 2025.
- BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soil. **Forest Ecology and Management**, v.133, n.1-2, p.13-22, 2000.
- BERTOLO, F. O. A. *et al.* **A Fixação biológica de nitrogênio e os inoculantes**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2021. 19 p. (Comunicado Técnico, 7).

BOER, C. A. *et al.* Global trends and uncertainties in terrestrial denitrification and N₂O emissions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. Países Baixos, v. 368, n 1621, 5 julho 201.

CALEGARI, A. Sistemas de rotação de culturas e seus efeitos ambientais e econômicos no Centro Sul do Cerrado. *In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO*, Brasília-DF, 2001. **Anais Eletrônicos** [...] Dourados: UFMS/Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/244403>. Acesso em: 20 jul. 2025.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v. 69, p. 77-86, 2010.

CAMILO, E. L. *et al.* Acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura em cultivo solteiro, consórcio e policultivo na Região Sul do Brasil. **Research, Society and Development**, Paraná, v. 9, n. 9, p. 15, 6 setembro 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7870. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344687061_Acumulo_e_liberacao_de_nutrientes_por_plantas_de_cobertura_em_cultivo_solteiro_consortio_e_policultivo_na_Regiao_Sul_do_Brasil. Acesso em: 20 jul. 2025.

CAREY, A M.; NAIR, A. Evaluating ecosystem services of summer cover crop MIX tures for organic cabbage production. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 40, p. e8, 2025.

CARVALHO, J. E. B. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes por diferentes plantas de cobertura em um pomar de laranjeira. 2021. **EMBRAPA** (Embrapa mandioca e fruticultura) Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1135161/1/BoletimPesquisa123-JoseEduardo-AINFO.pdf> Acesso em: 20 jun. 2025.

CARVALHO, P. E. R. Fabaceae, 2021. **EMBRAPA** (Espécies Árboreas Brasileiras). Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/especies-arboreas-brasileiras/fabaceae>. Acesso em: 23 de maio 2025.

CERETTA, A. C. *et al.* Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Revista Ciência Rural**, v.32, n.1, p.49-54, 2002.

CARVALHO, M. L. *et al.* Guia prático de plantas de cobertura: aspectos fitotécnicos e impactos sobre a saúde do solo. **Livro eletrônico**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2022. 126 p. DOI: <https://doi.org/10.11606/9786589722151>. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/Livro_Plantas_de_Cobertura_completo.pdf. Acesso em: 23 mai. 2025.

COELHO, V. A. **Decomposição de palhada:** liberação de nutrientes e atividade microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária no Cerrado. 2023. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

COELHO, A. M. Situação atual e perspectivas para o sorgo granífero cultivado na segunda safra no Brasil: adaptação e resiliência de sistemas de produção, Sete Lagoas, MG, 2025.

EMBRAPA (Milho e Sorgo) . Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1177156/1/Situacao-atual-e-perspectivas-para-o-sorgo-granifero.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Produção de grãos e área plantada da safra 2025/26 mantém perspectiva de novos recordes. Brasília, DF, 2026. **Conab**. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-e-area-plantada-da-safra-2025-26-mantem-perspectiva-de-novos-recordes>. Acesso em 15 de janeiro 2026

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. *In*: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O., Ed. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênese, 1999.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxa de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v.67, n.2, p.481-489, 2008.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Nitrogen supply for cover crops and effects on peanut grown in succession under a no-till system. **Agronomy Journal**, v.101, p.40-46, 2009.

CRUZ, S. S. **Características agrônômicas e nutricionais de genótipos de sorgo**. 2014. 52 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) — Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2014. Disponível em: <https://www.posgraduacao.unimontes.br/ppgz/wp-content/uploads/sites/24/2019/11/Sandra.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2025.

DUARTE, I. B. *et al.* Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Iguazu**, Cascavél, PR, v. 3, n. 2, 5 jan 2014. DOI: 10.48075/actaiguazu.v3i2.10625. Disponível em: https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/pt_BR/article/view/10625. Acesso em: 29 nov. 2025.

D'UTRA, G. R. P. **Adubos verdes: sua produção e modo de emprego**. São Paulo: Secretaria da eAgricultura, Comércio e Obras Públicas do Estado de São Paulo, 1919. 76 p.

EMBRAPA. Plantio direto com rotação de culturas é eficaz na mitigação de gases de efeito estufa. **Portal Embrapa**, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31857346/plantio-direto-com-rotacao-de-culturas-e-eficaz-na-mitigacao-de-gases-de-efeito-estufa>. Acesso em: 21 jun. 2025.

ETIENNE, P. *et al.* Macro and micronutrient storage in plants and their remobilization when facing scarcity: the case of drought. **Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 14, 2018.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. Environmental, health, and safety guidelines for annual crop production. Washington, DC: **World Bank Group**, 2007. 20 p. Disponível em: <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2000/english-2007-annual-crop-production.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2025.

FERREIRA, W. S. *et al.* Cultivo do milho e da soja em sucessão as culturas de safrinha em Rio Verde-GO. **Energia na agricultura**, v. 31, n. 3, p. 291-297, 2016.

GALICIA-JUÁREZ, M. *et al.* Identificação de genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) com potencial de tolerância ao estresse hídrico e térmico no nordeste do México. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2265, 2021.

GALVÃO, J. R. *et al.* Adubação potássica em híbridos de sorgo forrageiro cultivados em sistemas de manejo do solo na Amazônia oriental. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 04, p. 70-79, 2015.

GENTSCH, N. *et al.* Cover crops improve soil structure and change organic carbon distribution in macroaggregate fractions. **Soil**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 139-150, 2024. DOI: 10.5194/soil-10-139-2024. Disponível em: <https://soil.copernicus.org/articles/10/139/2024/>. Acesso em: 08 out. 2025.

GIACOMINI, S. J. *et al.* Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1097- 1104, 2003.

CABALLERO, Segundo Sacramento Urquiaga. Fixação biológica de nitrogênio, Brasília, DF, 2022. **EMBRAPA** (agrobiologia). Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar/producao/correcao-e-adubacao/fixacao-biologica-de-nitrogenio>. Acesso em: 29 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Indicadores IBGE: Lavoura Temporária. Brasília, DF, 2021. **IBGE**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em 29 jul. 2021.

JOHNSON, A. M. *et al.* Influência de misturas de culturas de cobertura na saúde do solo em sistemas de produção agrícola no sudeste. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 4, n. 3, p. e20202, 2021.

KLINGER, M.L.J *et al.* Plantas de cobertura como aliadas. **Revista Cultivar grandes culturas**. ED.229, jun. 2018.

LANDAU, E. C; SANS, L. M. A. Clima *In*: Cultivo do Sorgo, Sete lagoas, MG, 2015. **EMBRAPA** (Milho e Sorgo). Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/Sistema-de-Producao-Cultivo-do-Sorgo.pdf> . Acesso em: 01 mai. 2025.

LEITE, L. F. C. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 29-35. 2010.

LIMA FILHO, O. F. *et al.* Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 2023.p 417.

LIU, X. *et al.* Vegetation type and soil moisture drive variations in leaf litter decomposition and nutrient release in a successional chronosequence. **Forests**, China, v. 12, n. 9, p. 1195, 3

setembro 2021. DOI:10.3390/f12091195. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/12/9/1195>. Acesso em: 20 jun. 2025.

LUCADAMO, E. E. *et al.* Efeitos pós-terminação de monoculturas e misturas de culturas de cobertura sobre o nitrogênio inorgânico do solo e comunidades microbianas em duas fazendas orgânicas em Illinois. **Frontiers in Soil Science**, [s.l.] v. 2, p. 824087, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/soil-science/articles/10.3389/fsoil.2022.824087/full>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MA W. *et al.* Root exudates contribute to belowground ecosystem hotspots: A review. **Front Microbiol**, china, v. 13, n. 5, 5 out 2022. doi: 10.3389/fmicb.2022.937940. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.937940/full>. Acesso em: 20 jun. 2025

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

OLIVEIRA, M. W.; *et al.* Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 2002, 24., Cairns. **Proceedings**[...]. Cairns: D.M. Hogarth, 2002. Disponível em: <https://www.assct.com.au/>. Acesso em: 29 nov. 2025.

OLIVEIRA, M. W. *et al.* Ciclagem de nutrientes pela crotalaria juncea e taxa de crescimento e produção de forragem pela cana-de-açúcar RB867515. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 1, p. 770-789, 2024.

PACHECO, L. P.; *et al.* Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 17- 25. 2011.

PANT, H. K.; TIWARI, K. N.; RAWAT, Y. S. Effect of temperature on litter decomposition, soil microbial respiration and microbial biomass under different litter and soil conditions. **Journal of Ecology and Environment**, Russia, v. 44, p. 1–13, 2020. DOI:10.1186/s41610-020-0151-2. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333387989_Effect_of_Temperature_on_Litter_Decomposition_Soil_Microbial_Community_Structure_and_Biomass_in_a_Mixed-Wood_Forest_in_European_Russia. Acesso em: 29 nov. 2025.

RABELO, F. H. S. *et al.* Parâmetros agronômicos do sorgo em razão de estratégias de semeadura e adubação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 47- 66, 2012.

RIBEIRO, F P. *et al.* Deposição, decomposição e conteúdo de nutrientes de serapilheira em área de integração lavoura-pecuária-floresta na região do Cerrado. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 42, p. 1–9, 2022. DOI: 10.4336/2022.pfb.42e201902072. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/2072>. Acesso em: 29 nov. 2025.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p.355-362, 2003.

SALAZAR, M. P., *et al.* 2020. Winter cover crops effects on soil organic carbon and soil physical quality in a Typical Argiudoll under continuous soybean cropping. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Buenos Aires, Argentina, v. 44. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/dkBym9Ly3ByR4htZgCzqw4s/?lang=en> Acesso em: 30 de maio 2025.

SALVIANO, A. M. *et al.* Plantas de cobertura em ambiente semiárido: produção de biomassa, adição de carbono e de nutrientes ao solo. **Revista DELOS**, Petrolina, PE, v. 16, n. 43, p. 835–852, 2023. DOI: 10.55905/rdelosv16.n43-022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1156562/1/Plantas-de-cobertura-em-ambiente-semiarido-2023.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2025.

SANTOS, R. F.; WHITFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem. **Ecology**, v. 62, n. 3, p. 654-663, 1981.

SCAVAZZA, A. L. *et al.* Produção de fitomassa e extração de macronutrientes por plantas de cobertura cultivadas na estação seca. **Nativa**, Santo Antônio de Goiás, GO, v. 6, n. 6, 2021. DOI: 10.31413/nativa.v6i6.5609. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/BPVHKxxjn8KJ4qJBfxB7tzC/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 30 mai. 2025.

SILVA, A. O. MIX de cobertura: por que fazer e qual escolher. **AgroAdvance**, 2024. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-MIX-de-cobertura/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

SILVA, J. R. *et al.* Uso de leguminosas como plantas de cobertura: efeitos positivos da adubação verde em áreas de argissolo vermelho distrófico e de agricultura familiar em São Gonçalo/RJ. **Humboldt**, São Gonçalo, RJ, v.2, n. 1, 2024. 20p. Disponível em: [file:///C:/Users/LAB%20Agropecuaria/Downloads/74617%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/LAB%20Agropecuaria/Downloads/74617%20(1).pdf). Acessado em: 29 mai. 2025.

SILVEIRA, B. de S. *et al.* Cover crops in the production of green and sweet corn. **Horticultura Brasileira**, v. 39, p. 94-101, 2021.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto. **EMBRAPA** (Arroz e Feijão). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/568975/caracterizacao-fisico-hidrica-e-hidraulica-de-solos-do-bioma-cerrado-submetidos-a-diferentes-sistemas-de-preparo>. Acesso em: 29 mai. 2025.

TABOSA, J. N. *et al.* Importância do melhoramento genético de diferentes tipos de sorgo para as mesorregiões do Agreste, Sertão e afins do Semiárido Brasileiro. **EMBRAPA** (Cerrados) 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1116836/1/Importanciadomelhoraementogeneticodediferentestiposdesorgoparaasmesorregioes2019.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2025.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilisation of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Journal Soil Research**, v. 17, p. 429-441, 1979.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 421-428. 2008.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p. 1609-1618. 2008.

TRIPOLSKAJA, L.; KAZLAUSKAITE-JADZEVICE, A.; RAZUKAS, A. Carbono orgânico, acúmulo de nitrogênio e lixiviação de nitrogênio afetados por resíduos de leguminosas em solo franco-arenoso na região do Báltico Oriental. **Plants**, [s. l.], v. 12, n. 13, p. 2478, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10346452/>. Acesso em: 20 jun. 2025. DOI:10.3390/agronomy13081234

TU, M. *et al.* Avanços atuais na regulação molecular da tolerância ao estresse abiótico em sorgo via abordagens transcriptômica, proteômica e metabolômica. **Frontiers in Plant Science**, Wuhan, China, v. 14, p. 1147328, 2023. doi: 10.3389/fpls.2023.1147328. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10206308/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 22 jun. 2025.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Production – Sorghum. Estados Unidos da América, 2025. **U.S. Department of Agriculture**. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0459200>>. Acesso em: 01 mai. 2025.

VON HADEN, A. C. *et al.* Estabelecimento e produtividade comparativos de sorgo e milho para bioenergia após alagamento pré-emergente. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 6, p. 5602-5611, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20832>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.20832>. Acesso em: 22 jun. 2025.

WANG, D.; *et al.* Climate and litter traits affect the response of litter decomposition to soil fauna. **BMC Research Notes**, [s.l.], v. 16, artigo 321, 2023. DOI: 10.1186/s13104-023-06601-X. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13104-023-06601-x>. Acesso em: 22 jun. 2025.

WANG, X. *et al.* Impactos do período de floração e do perfilhamento na produtividade de grãos de híbridos de sorgo em diversos ambientes. **Agronomia**, v. 10, n. 1, p. 135, 2020. Doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy10010135>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/1/135>. Acesso em: 22 jun. 2025.

YAMAUCHI, T. *et al.* Principais características radiculares de *Poaceae* para adaptação a gradientes hídricos do solo. **New Phytologist**, Tóquio, Japão, v. 229, n. 6, p. 3133-3140, 2021. DOI: 10.1111/nph.17093. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33222170/>. Acesso em: 22 jun. 2025.

CAPITULO I

PLANTAS DE COBERTURA EM CULTIVO ISOLADO E CONSORCIADAS E RELAÇÕES COM OS ATRIBUTOS AGRONÔMICOS DO SORGO GRANÍFERO CULTIVADO NA SAFRINHA

UBERLÂNDIA

2025

RESUMO

MACHADO, B.S.S. Capítulo 1 - Plantas de cobertura em cultivo isolado e consorciadas e relações com os atributos agronômicos do sorgo granífero cultivado na safrinha.

O uso de plantas de cobertura em cultivos isolados e, principalmente, em consórcio (MIX), na rotação de culturas no sistema de plantio direto, tem contribuído comprovadamente para a melhoria dos atributos do solo, mantendo o equilíbrio desse ambiente. O objetivo deste estudo foi avaliar a produção, a decomposição e a ciclagem de nutrientes dos resíduos de plantas de cobertura em cultivo isolado e consorciado, bem como suas relações com a produção de sorgo granífero. Em um delineamento de blocos ao acaso foram avaliados sete tipos de cobertura do solo: 1 - Braquiária (B); 2 - Milheto (M); 3 - *Crotalaria ochroleuca* (C); 4 - MIX 1: Trigo mourisco, *C. ochroleuca*, milheto, *C. breviflora*, Braquiária, Capim coracana e Crambe; 5 - MIX 2: Trigo mourisco, *C. ochroleuca*, *C. breviflora*, Capim coracana, Crambe e Braquiaria; 6 - MIX 3: Braquiaria, Capim coracana, Milheto, Sorgo forrageiro, Feijão caupi e Feijão guandu, todos com quatro repetições. Avaliou-se a produção de massa fresca (MF) e seca (MS), a decomposição, o tempo de meia-vida ($T^{1/2}$ vida) e a ciclagem de nutrientes dos resíduos, bem como os parâmetros agronômicos e a produtividade do sorgo granífero. No cultivo isolado, o Milheto apresentou maior produção de MS, maior acúmulo e ciclagem de nutrientes e menor taxa de decomposição e $T^{1/2}$ vida de seus resíduos. Nos cultivos consorciados, o MIX 2 apresentou produção de MS semelhante à do MIX 1 e do MIX 3, maior acúmulo e ciclagem de nutrientes, maior taxa de decomposição e menor $T^{1/2}$ vida de seus resíduos em relação aos MIX 1 e 3. A maior taxa de decomposição dos resíduos ocorreu no cultivo isolado e no MIX 2 em que a planta estava presente com duas espécies (*C. ochroleuca* e *C. breviflora*). Quanto ao $T^{1/2}$ vida de liberação dos nutrientes observou-se a seguinte ordem crescente: $Mg < K < Ca < N$. $P < S$. Os menores valores de peso fresco e seco do grão e da panícula, bem como de produtividade de grãos de sorgo granífero ocorreram quando ele foi cultivado sobre o MIX 1.

Palavras-chave: cerrado, plantio direto, agricultura regenerativa, matéria orgânica, MIX.

ABSTRACT

MACHADO, B.S.S. Chapter 2 - Cover plants in isolated and intercropped cultivation and relationships with the agronomic attributes of grain sorghum cultivated in the second crop. In: MACHADO, B.S.S. Cultivation of grain sorghum under different covers in isolated and intercropped cultivation in the Minas Gerais savannah at different planting times. Uberlândia: UFU, 2025. 83f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

The use of cover crops in isolated crops and, mainly, in intercropping (MIX) systems within no-till farming has demonstrably contributed to improving soil attributes and maintaining the balance of this environment. The objective of this study was to evaluate the production, decomposition, and nutrient cycling of cover crop residues in isolated and intercropped cultivation, as well as their relationships with grain sorghum production. In a randomized block design, seven types of soil cover were evaluated: 1- Brachiaria (B); 2- Millet (M); 3- Crotalaria ochroleuca (C); 4 - MIX 1: Buckwheat, Crotalaria ochroleuca, millet, Crotalaria breviflora, Brachiaria, Coracana grass, and Crambe; 5 - MIX 2: Buckwheat, Crotalaria ochroleuca, Crotalaria breviflora, Coracana grass, Crambe, and Brachiaria; 6 - MIX 3: Brachiaria, Coracana grass, Millet, Forage sorghum, Cowpea, and Pigeon pea, all with four replications. The production of fresh (FM) and dry (DM) matter, decomposition, half-life ($T_{1/2}$ life), and nutrient cycling of the residues were evaluated, as well as the agronomic parameters and productivity of grain sorghum. In isolated cultivation, MIX 2 showed higher DM production, greater accumulation and cycling of nutrients, and lower decomposition rate and $T_{1/2}$ life of its residues. In intercropping systems, MIX 2 showed dry matter production similar to MIX 1 and MIX 3, greater nutrient accumulation and cycling, a higher decomposition rate, and a shorter half-life of its residues compared to MIXes 1 and 3. The highest residue decomposition rate occurred in the isolated crop and in MIX 2, where the plant was present with two species (*C. ochroleuca* and *C. breviflora*). Regarding the half-life of nutrient release, the following increasing order was observed: $Mg < K < Ca < N$. $P < S$. The lowest values for fresh and dry weight of grain and panicle, as well as grain yield of grain sorghum, occurred when it was grown on MIX 1.

Keywords: cerrado, no-till farming, regenerative agriculture, organic matter, MIX.

1. INTRODUÇÃO

Nas regiões brasileiras produtoras de grãos do cerrado brasileiro, as bráquiárias, milhetos e crotalárias e, ainda, o consórcio destas três plantas em uma mesma área mostraram ser as coberturas que estão melhor adaptadas às condições do cerrado, pois apresentam elevada quantidade de palha e ciclando quantidades consideráveis de nutrientes, proporcionando resultados significativos ao sistema de produção e na produtividade das culturas (Pacheco *et al.*, 2017; Mazetto Junior *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2024).

Entretanto, uma nova variável vem sendo introduzida nos sistemas de produção, os consórcios de sementes para o plantio em uma mesma área são selecionadas estrategicamente com base nas necessidades específicas de cada área, considerando fatores como clima, objetivos de manejo e características do sistema agrícola, que buscam proteger o solo, promover a biodiversidade e melhorar qualidade do solo (Silva *et al.*, 2021).

Para escolher a planta de cobertura que melhor se adequa aos sistemas de produção agrícola deve-se fazer uma investigação do local que será implantado, identificando assim os atuais pontos fracos do sistema, dessa forma, a planta de cobertura trará mais benefícios à produção (Veloso *et al.*, 2022). Pois, não se conhece nenhuma espécie de planta de cobertura que se adapte a toda e qualquer condição ecológica (Besen *et al.* 2024).

Diversas famílias botânicas de plantas de cobertura podem ser utilizadas, dentre elas, Poáceas, Fabáceas e Crucíferas (Miotto *et al.*, 2020). Com a popularização do uso de plantas de cobertura, as empresas têm investido em produtos para atender o mercado, disponibilizando sementes isoladas como crotalária, milheto e o consórcio de diversas famílias botânicas, garantindo os benefícios para o solo.

Dentre os grãos produzidos no cerrado brasileiro, o sorgo (*Sorghum bicolor*) tem se destacado, pois é uma poácea de clima tropical e subtropical amplamente cultivada tanto para a produção de grãos quanto para forragem, destacando-se por sua tolerância à seca, alta eficiência no uso de nitrogênio e boa adaptabilidade a diferentes tipos de solo (Galicia-Juárez *et al.*, 2021). É um cereal que ocupa a quinta posição como o cereal mais plantado no mundo, após o milho, trigo, arroz e a cevada, sendo que o Brasil está entre os cinco maiores produtores globais do grão (Embrapa, 2025).

Esse cereal resistente vem ganhando relevância devido à sua capacidade de fornecer benefícios nutricionais, sendo uma opção de cultivo sustentável e resiliente em condições adversas (Anuradha *et al.*, 2023). Nos últimos anos, o cultivo do sorgo tem sido impulsionado pela crescente demanda por grãos sem glúten na indústria de alimentos, pelo aumento da

procura por biocombustíveis e pela adaptabilidade da cultura frente às mudanças climáticas (Mishra *et al.*, 2025).

No cerrado brasileiro, o sorgo é geralmente cultivado na safrinha, pois apresenta maior resistência ao período seco (Menezes *et al.*, 2021). Quando cultivado em sistemas de plantio direto, a utilização de diferentes plantas de cobertura antes do estabelecimento da cultura pode ser uma estratégia eficiente, pois a palhada deixada pela cultura anterior protege o solo contra a erosão, mantém a umidade por mais tempo e promove a ciclagem de nutrientes, melhorando sua qualidade (Calegari *et al.*, 2013). Além disso, proporciona liberação gradual de nutrientes, especialmente N e K (Crusciol *et al.*, 2015), que são os mais demandados pelo sorgo, favorecendo desenvolvimento da cultura (Menezes *et al.*, 2021).

Dessa forma, sistemas de plantio direto associados a plantas de cobertura em cultivo isolado ou consórcios aumentam a sustentabilidade do sistema produtivo, melhoram a estrutura do solo e otimizam a disponibilidade de nutrientes, benefícios particularmente relevantes nas condições edafoclimáticas do Cerrado. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a produção, decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos das plantas de cobertura em cultivo isolado e consorciadas e avaliar suas relações com a produção do sorgo grânifero cultivado na safrinha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área experimental

2.1.2 Localização da área

O estudo foi conduzido entre os anos 2022 e 2024 na área experimental do setor de Olericultura do Instituto Federal do Triângulo Mineiro Campus Avançado Campina Verde localizado no município de Campina Verde - MG, na rodovia BR 364, km 153, entre as coordenadas geográficas -19°32'19" e -49°31'12", na altitude de 554 m (Figura 1), no período compreendido entre janeiro e março (plantas de cobertura) e de abril a agosto (Sorgo granífero) de 2023.

Figura 1 - Área experimental localizada no município de Campina Verde – MG, onde os estudos de campo foram conduzidos em 2023 e 2024.



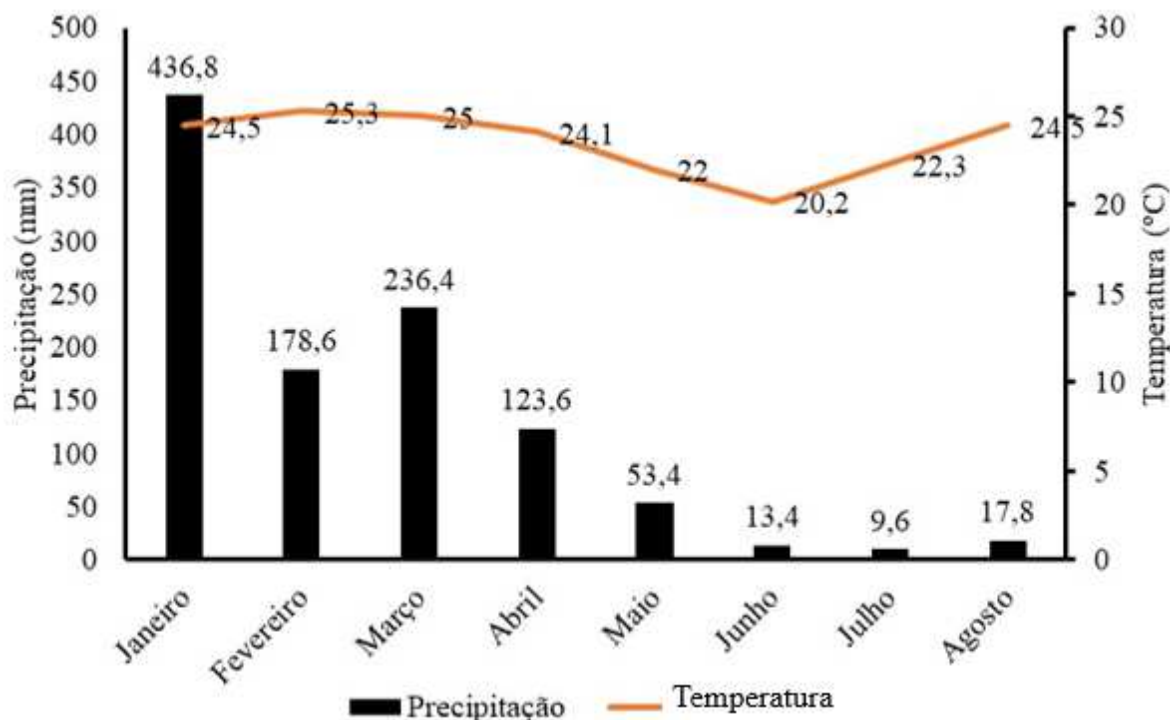
Fonte: Google Earth 2023.

A área experimental encontrava-se em pousio antes da instalação dos tratamentos, onde o capim colônia (*Megathyrsus maximus*), beldroega (*Portulaca oleracea*) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) predominavam como cobertura vegetal.

2.1.3 Clima e solo

O município de Campina Verde apresenta o clima tropical semi-úmido com duas estações bem definidas, o verão chuvoso e com temperaturas elevadas e o inverno com escassez de chuvas e temperaturas amenas (Weather Spark, 2025). A média histórica de precipitação anual na região é de 1394 mm e temperatura média de 22,6°C (INMET, 2025). As plantas de cobertura foram cultivadas entre os meses de janeiro/2023 e março/2023 em virtude das condições inadequadas de precipitação nos meses anteriores, acumulando no período de cultivo uma pluviosidade de 851,8 mm (Figura 2). Já o sorgo foi cultivado entre os meses de abril/2023 e agosto/2023 com precipitação acumulada de 217,8 mm.

Figura 2 - Precipitação e temperatura média mensal no período entre janeiro/2023 e agosto/2023, obtidas na Estação Meteorológica do IFTM Campus Avançado Campina Verde-MG, durante a condução do experimento



Fonte: INMET, 2025.

Também é comum a ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que se estende da porção sul da região Aazonica ao litoral da Região Sudeste, passando sobre o Triângulo Mineiro, provocando nebulosidade e chuvas intensas por dias e até semanas no verão. As estações de primavera e outono são consideradas de transição seca-chuvosa e chuvosa-seca, respectivamente (Mendes; Queiroz, 2011).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Santos *et al.*, 2018), textura de areia franca, sendo que dois meses após a calagem apresentou os seguintes atributos na profundidade de 0-0,20 m: 105, 787 e 108 g kg⁻¹ de argila, areia e silte, respectivamente, pH em CaCl₂ de 5,0; P (resina) 6,00 mg dm⁻³; 0,76; 9,4; 3,9; 0,0 e 14,00 mmol_c dm⁻³, respectivamente de K, Ca, Mg, Al e H⁺Al; saturação de bases de 50,09%; 12,1 g dm⁻³ de matéria orgânica e 28 mmol_cdm⁻³ de capacidade de troca catiônica (CTC).

2.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado no delineamento de blocos casualizados, onde foram avaliadas sete diferentes coberturas do solo que caracterizaram os tratamentos: 1 – Braquiária (*Urochloa ruziziensis*); 2 – Milheto (*Pennisetum glaucum*); 3 – Crotalaria ochroleuca (*Crotalaria ochroleuca*); 4 – MIX (Consórcio) 1: Trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum*), *C. ochroleuca*; Milheto (*P. glaucum*); *C. breviflora*; Braquiaria (*U. ruziziensis*); Capim coracana (*Eleusine coracana*) e Crambe (*Crambe abyssinica*); 5 – MIX (Consórcio) 2: Trigo mourisco (*F. esculentum*); *C. ochroleuca*; *C. breviflora*; Capim coracana (*E. coracana*); Crambe (*C. abyssinica*) e Braquiaria (*U. ruziziensis*); 6 – MIX (Consórcio) 3: Braquiaria (*U. ruziziensis*); Capim coracana (*E. coracana*); Milheto (*P. glaucum*); Sorgo forrageiro (*S. bicolor*); Feijão caupi (*Vigna unguiculata*) e Feijão guandu (*Cajanus cajan*) e também um tratamento controle com uma área de pousio com predominância de Capim Colonião (*M. maximus*), Beldroega (*P. oleracea*) e Leiteiro (*E. heterophylla*), todos com quatro repetições.

2.3 Semeadura das plantas de cobertura

Foi realizado o preparo convencional da área, com uma aração profunda e duas gradagens (aradora e niveladora). A seguir procedeu-se com o semeio manual no espaçamento de 0,30 m entre linhas, totalizando 20 linhas de quatro metros em quatro blocos, sendo que cada bloco continha sete parcelas totalizando 28 parcelas com 24 m² de área (4 x 6 m). Utilizou-se a recomendação de plantio da empresa produtora de semente, aplicando sendo 25 kg ha⁻¹ de crotalaria, (C), 10 kg ha⁻¹ de braquiária (B), 20 kg ha⁻¹ de milheto (M), 30 kg ha⁻¹ do MIX 1, 25 kg ha⁻¹ do MIX 2 e 25 kg ha⁻¹ do MIX 3, respectivamente, cultivadas individualmente, que foram conduzidas no período de janeiro a março de 2023. As plantas de cobertura não foram irrigadas.

2.4 Determinação da massa fresca e massa seca

No momento em que aproximadamente 50% das espécies semeadas atingiram o máximo florescimento, cerca de 120 dias após semeadura, coletaram-se amostras numa área de 2 m² por parcela para avaliação da massa fresca (MF), dentro das 16 linhas centrais, retirando todo material vegetal presente sobre o solo (Figura 3).

Após a amostragem das plantas de cobertura para avaliação da MF, realizou-se o manejo químico das plantas, que consistiu na dessecação da área total com herbicida, com o princípio ativo Sal de N-(Phosphonomethyl) glycine 792,5 g kg⁻¹ (Roundup WGR), na dose de 2 kg ha⁻¹ do produto comercial (Figura 3 B).

Para quantificação da MF, o material vegetal foi pesado logo após a amostragem. A seguir para determinação da massa seca (MS), o material foi colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas e, a seguir foram pesados. (Figura 3 C).

Figura 3 - Manejo das plantas de cobertura com roçadeira costal motorizada para coleta de amostras para avaliação da massa fresca (A), deposição da planta sobre o solo após manejo químico seguido de roçada (B) e material vegetal colocado na estufa de circulação forçada de ar para determinação da massa seca (MS) (C).



Fonte: Machado, 2023.

2.5 Determinação da taxa decomposição e tempo de meia vida dos resíduos

A taxa de decomposição dos resíduos (palhada) das plantas de cobertura em cultivo isolado e com consórcios foi analisada durante os meses de abril a agosto de 2023. Para avaliar esta taxa de decomposição foi empregado o método das bolsas de decomposição, desenvolvido por Santos e Whilford (1981). Foram utilizadas sacolas de nylon (litter bags) com malha de 2 mm de abertura, com dimensões de 0,04 m² (0,20 x 0,20 m), onde foram colocadas 30 g de parte aérea das plantas de cobertura utilizadas, após terem sido secas em estufa a 65 °C por 72 horas (Figura 4 A).

Em cada parcela foram distribuídas cinco sacolas na superfície do solo, logo após a semeadura do sorgo granífero, sendo coletada uma sacola por parcela em cada amostragem, que ocorreu aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após sua distribuição no campo (Figura 4 B). Após a coleta das amostras, o resíduo vegetal de cada sacola foi limpo manualmente sobre peneira, seco em estufa a 65°C por 72 horas para a determinação da massa seca (t ha⁻¹) (Figura 4 C).

Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais aplicou-se o modelo matemático exponencial descrito por Thomas e Asakawa (1993), do tipo $X=X_0e^{-kt}$, onde: X é a quantidade de massa seca (MS) remanescente após um período de tempo (t), em dias; X_0 é a quantidade inicial de MS, onde k é a constante de decomposição do resíduo.

Figura 4 - Avaliação da taxa de decomposição das plantas de cobertura após serem manejadas através das sacolas de decomposição (A), que foram distribuídas de aleatória no campo (B), que após recolhidas foram limpas e pesadas para determinação de sua massa (C).



Fonte: Machado, 2023.

Com o valor de k foi calculado o tempo de meia-vida ($T^{1/2}$ vida) dos resíduos remanescentes, com o uso da fórmula $T^{1/2} \text{ vida} = 0,693/k$, proposta por Paul e Clark (1996), que expressa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponham. Foram elaboradas equações matemáticas da decomposição de MS, utilizando o Software SigmaPlot, versão 10.

2.6 Ciclagem de nutrientes dos resíduos das plantas de cobertura

Para quantificar a ciclagem de nutrientes dos resíduos vegetais das plantas de cobertura, o material retirado das sacolas de decomposição foi moído e levado ao laboratório Labfert em Uberaba - MG para posterior análise química.

O nitrogênio total foi determinado pelo método de destilação de Kjeldahl, a determinação de P foi feita por colorimetria e o K por espectrofotometria de imersão atômica, Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o S por turbidimetria (Teixeira *et al.*, 2017). O conteúdo total de cada nutriente foi estimado a partir da porcentagem do nutriente presente em cada amostra, multiplicado pela massa seca total estimada.

2.7 Plantio do sorgo granífero sobre os resíduos das plantas de cobertura

Cerca de 15 dias após a dessecação das plantas de cobertura, no mês de abril de 2023, o sorgo granífero foi semeado sob a palhada seca, seguindo a recomendação para cultivo na região, com população de 160.000 plantas por hectare. Em cada parcela foram semeadas 12 linhas, espaçadas 0,50 m entre si, sendo que as quatro linhas centrais foram consideradas como área útil para colheita, que totalizavam 8,0 m².

O semeio do sorgo foi realizado manualmente sendo que a quantidade de semente por linha foi estimada por pesagem. Como a germinação não estava muito favorável, conforme teste preliminar, foi semeado 30% a mais de semente para garantir o estande final de plantas, com isso, houve uma quantidade de plantas superior ao recomendado, devido à perfilhagem do sorgo.

A adubação foi realizada de forma manual, na dose de 23, 80 e 46 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, utilizando a fórmula 8-28-16 em semeadura. A adubação de cobertura foi realizada com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ K₂O com formulado 20-00-20, aplicada 30 dias após semeadura, de acordo com Ribeiro *et al.* (1999).

O controle de pragas e doenças foi realizado antes das pragas ou patógenos atingirem o limiar de dano econômico. As pragas que necessitaram de controle foram: lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), cigarrinha (*Dalbulus maidis*) e pulgão (*Melanaphis sorghi*); a doença que apresentou nível para controle foi a mancha foliar (*Exserohilum turcicum*).

Foram utilizados herbicidas registrados para a cultura no controle químico de plantas invasoras, sendo estes empregados nas doses recomendadas pelos fabricantes.

No momento da colheita do sorgo avaliaram-se as seguintes características agronômicas e produtivas: altura de planta (AP, m), altura de inserção da panícula (AIP, m) (Figura 5 A), diâmetro basal do colmo (DBC, mm), utilizando um paquímetro digital (Figura 5 B), produtividade de massa seca e fresca de colmos e folhas (PMS e PMF kg ha⁻¹) em dez plantas, ao acaso por parcela.

Peso fresco de grãos e panículas (PFGP, kg ha⁻¹), Peso seco de grãos e panícula (PSGP, kg ha⁻¹), massa seca dos grãos (PSG, kg ha⁻¹) e a produtividade dos grãos (PG, kg ha⁻¹),

utilizando as quatro linhas centrais de cada parcela, depois registradas em quilograma por hectare, a 13% de umidade (Figura 5 C).

Porém, houve um incêndio acidental no laboratório, comprometendo a avaliação de alguns parâmetros, isso explica a avaliação bianual para alguns parâmetros e anual para outros. Sendo assim os parâmetros que tiveram avaliação somente anual, 2023, foram: PMS e PMF kg ha^{-1} ; PFGP, kg ha^{-1} ; PSGP, kg ha^{-1} ; PSG, kg ha^{-1} e PG, kg ha^{-1} .

Figura 5 - Medição da altura de inserção da panícula (A), do diâmetro basal do colmo (B) e avaliação da produtividade (C).



Fonte: Machado, 2023.

2.8 Análise Estatística

Os dados foram submetidos às análises de normalidade da distribuição dos resíduos de homogeneidade das variâncias e aditividade dos blocos, por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em seguida foram submetidos à Análise de Variância, aplicando-se o teste F, e quando diferenças significativas foram detectadas, as médias foram comparadas pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

Os cálculos foram realizados utilizando o programa Agroestat (Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomicos), desenvolvido pelo Prof. Dr. José Carlos Barbosa e Walter Maldonado Júnior, UNESP- FCAV, Câmpus de Jaboticabal.

Para determinar a constante da taxa de decomposição e o tempo de meia vida utilizou-se o modelo de regressão, com auxílio do Software Sigmaplot versão 12,5.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de massa fresca e seca das plantas de cobertura

A análise da produção de massa fresca (MF) obtida mostrou que não houve diferença entre os tratamentos; no entanto, o mesmo não correu com a massa seca (MS), que foram estatisticamente iguais para milheto, MIX 1, 2 e 3 e superiores quando a crotalária, braquiária e pousio (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção de massa fresca (MF) e seca (MS) das diferentes plantas de cobertura cultivadas em Campina Verde-MG no ano de 2023.

Plantas de cobertura	Produção de massa (t ha ⁻¹)	
	MF	MS
C	18,70 a	3,26 b
M	18,25 a	5,60 a
B	16,57 a	3,74 b
MIX 1	17,02 a	4,47 a
MIX 2	19,67 a	4,84 a
MIX 3	19,95 a	4,94 a
POU	15,99 a	2,88 b
F	0,81 ^{ns}	9,17 ^{**}
CV (%)	18,96	15,34

^{**} = Significativo (p<0,05); Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. C = Crotalária; M = Milheto, B = Braquiária; POU = Pousio; CV = Coeficiente de variação. Fonte: Machado, 2025.

A produção de MF das plantas de cobertura ter sido semelhante era uma possibilidade esperada, pois a semeadura foi realizada em meados de janeiro, quando a precipitação na região está alta, com isso, as sementes tem água para germinar e as plantas desenvolverem a parte vegetativa, porém mesmo chovendo os tratamentos que mais se destacaram na produção de MS foram milheto, MIX 1, 2 e 3.

O milheto é uma planta com maior resistência à seca, por isso tem-se destacado como a planta melhor adaptada nas condições edafoclimáticas do cerrado que, de maneira geral, é uma planta de cobertura que está inserida na maioria dos consórcios comerciais de sementes, como ocorre neste estudo nos MIX 1 e 3, pois é a planta em cultivo isolado que apresenta maior produção de MF e MS, e que em condições naturais na época chuvosa tem produzido de 6 a 13

t ha⁻¹ de massa seca (Pacheco *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2014; Collier *et al.*, 2011, 2018; Mazetto Junior *et al.*, 2019).

Dentre as Poáceas utilizadas como cobertura vegetal, o milheto (*Pennisetum glaucum*) constitui uma das principais espécies utilizadas como coberturas de solo, pois apresenta capacidade de produção elevada de massa seca em um curto período, elevado acúmulo de nutrientes, com menor taxa de decomposição e tempo de meia vida dos resíduos, o que possibilita proteção do solo por período mais prolongado (Pacheco *et al.*, 2017).

Nas regiões brasileiras produtoras de grãos, milheto e braquiária (Poáceas) e a crotalária (Fabáceas) são as principais plantas de cobertura utilizadas no sistema de rotação em monocultivo ou em consórcios, pois essas plantas caracterizam-se pela elevada produção de massa seca e persistência dos resíduos sobre o solo por mais tempo após terem sido manejadas, além disso, possuem elevada capacidade de extração de nutrientes do solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes, principalmente N e K, reduzindo as perdas por lixiviação (Timossi *et al.*, 2007).

Geralmente, a crotalária produz menor quantidade de MF e MS, quando comparado ao milheto e à braquiária em cultivo isolado, conforme comprovado em outros estudos avaliando estas mesmas plantas (Soratto *et al.*, 2012; Torres *et al.*, 2014), conforme também foi observado neste estudo. Além disso, é uma planta que disponibiliza mais N no solo através da decomposição dos seus resíduos, contudo, acelera a sua taxa de decomposição quando colocada nos consórcios de sementes (Silva *et al.*, 2021; Torres *et al.*, 2021).

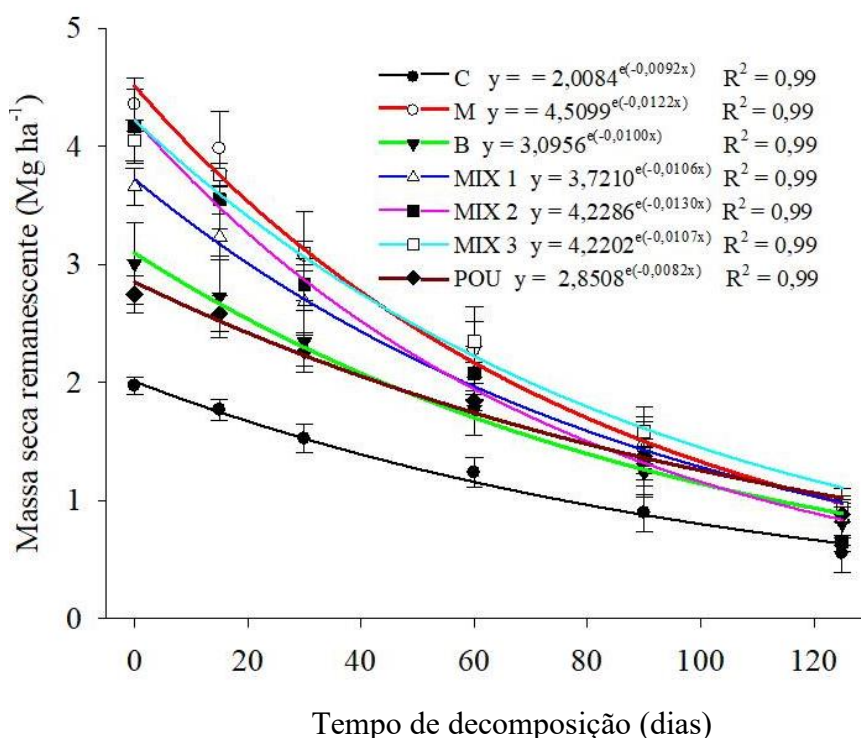
Cultivando estas mesmas plantas de cobertura em cultivo isolado e os mesmos MIXes 1, 2 e 3 em Uberaba, MG, semeados mecanicamente, Martins *et al.* (2025) observaram que a produção de massa fresca foi significativamente superior na sequência no MIXes 3, 1 e 2 (que equivale aos MIXes 2, 1 e 3 neste estudo), diferentemente do que ocorreu neste estudo, que não houve diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, os resultados para o milheto foram semelhantes, pois a maior produção MS ocorreu em ambos os estudos.

Segundo Silva *et al.* (2021), consórcios de plantas de cobertura, especialmente de Poáceas e Fabáceas, têm sido muito recomendados, objetivando a melhoria da qualidade física, química e biológica do solo, pois é uma prática que possibilita benefícios, como redução da imobilização do N pelos microrganismos do solo, promovendo aumento do teor do nutriente no solo, acúmulo de MS, maior eficiência na utilização da água e nutrientes devido à exploração de diferentes profundidades do solo pelos sistemas radiculares contrastantes e auxiliam na maior descompactação do solo, melhorando a sua qualidade física.

3.2 Decomposição dos resíduos e tempo de meia vida

A quantificação da taxa de decomposição dos resíduos das plantas de cobertura em cultivo isolado e dos MIXes avaliados mostraram que ao final de 125 dias restavam apenas 18, 31, 32, 35, 38, 47 e 52% de massa seca remanescente, ou seja, 1,85; 1,46; 3,17; 2,61; 1,99 e 1,76 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de crotalária, pousio, milheto, braquiária, MIX 2, MIX 1 e MIX 3, respectivamente, nas áreas avaliadas (Figura 5).

Figura 5 - Massa seca remanescente dos resíduos de crotalária (C), milheto (M), braquiária (B), e dos consórcios MIX 1, MIX 2, MIX 3 e Pousio (POU) em função do tempo de decomposição (0, 15, 30, 60, 90 e 125 dias após distribuição das sacolas no campo), em Campina Verde, MG, em 2023.



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Dentre as Fabáceas utilizadas como planta de cobertura, a crotalária é a que geralmente apresenta a menor relação carbono/nitrogênio (C/N), consequentemente a persistência dos seus resíduos sobre o solo é diminuída drasticamente, como pode ser observado também neste estudo (Figura 6), condição está só observada para a crotalária em cultivo isolado neste estudo, que pode ser justificada pela elevada fixação biológica de nitrogênio (FBN) nesta planta, que torna estes resíduos facilmente decompostos pelos organismos do solo (Torres *et al.*, 2008; Pacheco *et al.*, 2013). Trata-se de uma cultura que, ao ser plantada no início do período seco, em

condições de safrinha, após a colheita das culturas comerciais, produz MS variando entre 2,0 e 4,0 Mg ha⁻¹ (Torres *et al.*, 2005; Salmi *et al.*, 2006), como observado neste estudo (Tabela 1).

Ao avaliar a mineralização de resíduos de plantas de cobertura, Adhikari *et al.* (2024), mostraram que a qualidade do resíduo (razão C:N, lignina, fibras) controla fortemente a velocidade de decomposição e que consórcios que combinam Fabáceas e Poáceas frequentemente exibem dinâmica de decomposição retardada em relação a Fabáceas.

O MIX de Fabáceas, Poáceas e outras plantas tem sido uma alternativa bastante utilizada em algumas regiões do país, que proporciona, dentre outras vantagens, a produção de resíduos com relação C/N intermediária, maior equilíbrio e acúmulo de carbono no perfil do solo ao longo dos anos (Calegari, 2001); entretanto, neste estudo, os MIXes 1, 2 e 3 foram os que apresentaram a menor taxa de decomposição, pois seus resíduos permaneceram mais tempo sobre a superfície do solo (Figura 1).

O MIX de culturas visa aliar os benefícios individuais de cada espécie, podendo atenuar o problema de baixa produção e persistência de palhada, de compactação de solo e deficiência de N nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura sucedânea, bem como ciclar os nutrientes com elevada mobilidade no solo (Calvo *et al.*, 2010).

O tratamento com MIX 2 (4,84 t ha⁻¹) apresentou valores iniciais de MS próximos aos do MIX 3 (4,94 t ha⁻¹), mas sua taxa de decomposição foi de 62%, bem mais rápida que a do MIX 3 (47%), demonstrando que, se na rotação de culturas houver a necessidade de um MIX que proporcione uma liberação mais rápida dos nutrientes dentro de um período menor, talvez seja uma boa opção para se fazer o manejo da rotação na área. Essa decomposição acelerada pode ser relacionada com a presença de duas crotalárias no MIX 2 (*C. Ochroleuca* e *C. breviflora*), pois são plantas que em cultivo isolado, ou nos consórcios, proporcionam maior taxa de decomposição, por geralmente apresentarem menor relação carbono/nitrogênio (C/N), quando comparado às Poáceas (Pacheco *et al.*, 2011; 2013).

Através da constante de decomposição (k) das curvas de regressão pode-se estimar o tempo de meia vida (T^{1/2} vida) dos resíduos destas coberturas, comprovando que a crotalária em cultivo isolado, ou inserida no consórcio (MIX 2), proporciona T^{1/2} vida de 57 e 53 dias, respectivamente, que são significativamente menores quando comparado aos resíduos das outras plantas (Tabela 2). Por outro lado, a presença do milheto, que apresenta relação C/N superior, aumenta o T^{1/2} vida dos resíduos para 75 dias quando em cultivo isolado ou quando presente no MIX 3 para 65 dias.

Outros estudos já comprovaram que a relação C/N, temperatura e umidade do solo são fatores importantes que determinam a velocidade da decomposição dos resíduos, que são mais

aceleradas nas Fabáceas em monocultivo, intermediária no consórcio Fabáceas + Poáceas, quando comparadas as Poáceas cultivadas isoladamente, que apresentam relação C/N menor em monocultivo e intermediária nos consórcios (MIX) e maior, quando comparado as Fabáceas (Soratto *et al.*, 2012; Torres *et al.*, 2019; Silveira *et al.*, 2021).

Tabela 2 - Massa seca remanescente (MSR), constante de decomposição (k) e tempo de meia-vida ($T^{1/2}$ vida) das diferentes coberturas do solo em área sob plantio direto de sorgo irrigado, em Campina Verde, MG, em 2023

Coberturas	Indicadores da decomposição dos resíduos			
	MSR	k	$T^{1/2}$	R^2
	t ha ⁻¹	g g ⁻¹	Dias	--
C	3,01 b	0,0249	69 c	0,99*
M	4,35 a	0,0107	75 b	0,99
B	1,97 c	0,0087	57 e	0,99
MIX 1	3,65 a	0,0099	65 d	0,99
MIX 2	4,17 a	0,0165	53 f	0,99
MIX 3	4,05 a	0,0095	65 d	0,99
POU	2,74 b	0,0105	85 a	0,99
F	14,80**	--	11,88**	--
CV (%)	15,31	--	2,75	--

* e ** = Significativo ($p < 0,01$; $p < 0,05$); R^2 = Coeficiente de determinação. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). C = Crotalária; M = Milheto, B = Braquiária; POU = Pousio; Fonte: Acervo pessoal 2025.

Segundo Giacomini *et al.* (2003), ao consórciar plantas de famílias com relação C/N inversamente proporcionais, como ocorre em Fabáceas e Poáceas, produzirá resíduos vegetais com relação C/N intermediária, o que resulta em uma menor taxa de decomposição dos resíduos do consórcio, proporcionando cobertura de solo por maior tempo, comprovado neste estudo.

Em estudo semelhante conduzido nas mesmas condições naturais na mesma região, Torres *et al.* (2008) avaliaram a produção de biomassa e a mineralização dos resíduos de diferentes plantas de cobertura em áreas cultivadas com milho e soja sob plantio direto, observando $T^{1/2}$ vida superior para o milheto (131 dias) e crotalária (98 dias), quando comparado a braquiária (56 dias).

Nas safras de 2008/09 e 2009/10, Pacheco *et al.* (2013) observaram $T^{1/2}$ vida de 42 e 111 dias para a braquiária, 63 e 108 dias para o milho e 44 e 130 dias para o consórcio braquiária + guandú, respectivamente. Collier *et al.* (2018) observaram $T^{1/2}$ vida de 57 dias para a crotalaria, quando foi manejada aos 170 dias após a semeadura.

Em estudo semelhante conduzido em região próxima, Silveira *et al.* (2021) avaliaram a produção de biomassa e a mineralização dos resíduos de braquiária, crotalaria, milho em cultivo isolado e do consórcio entre elas, e observaram que o $T^{1/2}$ vida foi estatisticamente inferior na braquiária (23 dias), seguido pelo consórcio braquiária + crotalaria (42 dias), quando comparado às outras coberturas avaliadas, que foram semelhantes, variando de 65 a 80 dias.

Em estudo semelhante utilizando as mesmas coberturas, semeadas mecanicamente, em Uberaba, MG, Martins *et al.* (2025) observaram que o menor $T^{1/2}$ vida dos resíduos ocorreu também na crotalaria (17 dias) em cultivo isolado e no MIX 1 (24 dias), onde a crotalaria estava presente no consórcio, entretanto, o maior $T^{1/2}$ vida ocorreu na braquiária (44 dias), e MIX 3 (44 dias), enquanto que o milho ficou em uma posição intermediária de 28 dias.

3.3 Ciclagem de nutrientes dos resíduos de plantas de cobertura

Com relação ao acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos resíduos das plantas de cobertura, de forma geral, observou-se que os valores foram significativamente superiores no milho e no MIX 2, quando comparados às outras coberturas, sendo que o N e o K foram os nutrientes que acumularam os maiores valores de 73,88 e 66,36 kg ha⁻¹ e 56,61 e 65,30 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3).

Essa maior quantidade de nutrientes pode estar relacionada com a produção de massa seca, pois, as coberturas milho e MIX 2 apresentaram valores estatisticamente iguais e superiores quando comparados à braquiária, crotalaria e pousio em monocultivo (Tabela 1).

Em seu estudo utilizando as mesmas coberturas, semeadas mecanicamente, em Uberaba, MG, Martins *et al.* (2025) observaram valores superiores para a maioria dos macronutrientes acumulados, sendo que o milho e o MIX 3 se destacaram apresentando 121,22; 20,22; 198,87; 23,17; 15,90 e 18,09 kg ha⁻¹ e 165,37; 42,53; 197,21; 48,07; 25,13 e 20,12 kg ha⁻¹ para o N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, com uma produção de MS maior.

De forma geral, o N e o K são os nutrientes mais exigidos pela maioria das espécies vegetais, apresentando acumulação até cinco vezes maior do que o P e de duas a três vezes maior que a do Ca. Enquanto o S é o nutriente menos exigido e, consequentemente, o menos acumulado (Brady e Weil, 2013; Amaral *et al.*, 2021), padrão este identificado neste estudo.

Tabela 3 - Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), constante de decomposição (k) e tempo de meia-vida ($T^{1/2}$ vida) nos resíduos das diferentes coberturas utilizadas em área sob cultivo de sorgo em Campina verde, MG, na 1ª safra (2023).

Cobertura	Macronutrientes						
	Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
Crotalária (C)	Total (kg ha ⁻¹)	35,87 c	3,87 b	29,23 d	14,92 a	4,58 b	3,40 a
	k (g g ⁻¹)	0,0361	0,0150	0,0490	0,0298	0,0494	0,0243
	$T^{1/2}$ vida (Dias)	19	46	14	23	14	29
	R ²	0,98	0,93	0,99	0,98	0,99	0,98
Milheto (M)	Total (kg ha ⁻¹)	73,88 a	7,94 a	66,36 a	19,29 a	12,92 a	5,06 a
	k (g g ⁻¹)	0,0184	0,0162	0,0297	0,0249	0,0378	0,0142
	$T^{1/2}$ vida (Dias)	38	43	23	28	18	49
	R ²	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,98
Braquiária (B)	Total (kg ha ⁻¹)	43,23 c	4,71 b	41,13 c	12,92 a	9,69 a	3,25 a
	k (g g ⁻¹)	0,0175	0,0145	0,0281	0,0219	0,0683	0,0114
	$T^{1/2}$ vida (Dias)	40	48	25		10	61
	R ²	0,99	0,99	0,96	0,98	0,96	0,98
MIX 1	Total (kg ha ⁻¹)	54,49 b	4,64 b	57,20 b	15,96 a	10,18 a	4,63 a
	k (g g ⁻¹)	0,0174	0,0130	0,0309	0,267	0,0417	0,0089
	$T^{1/2}$ vida (Dias)	40	53	22	26	17	78
	R ²	0,98	0,99	0,99	0,097	0,99	0,90
MIX 2	Total (kg ha ⁻¹)	56,61 b	6,51 a	65,30 a	16,76 a	11,46 a	3,85 a
	k (g g ⁻¹)	0,0191	0,0176	0,0325	0,0347	0,0382	0,0065
	$T^{1/2}$ vida (Dias)	36	39	21	28	18	107
	R ²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
MIX 3	Total (kg ha ⁻¹)	63,17 b	6,95 a	48,34 c	17,59 a	10,93 a	4,20 a
	k (g g ⁻¹)	0,0225	0,0191	0,0369	0,0262	0,0374	0,0120
	$T^{1/2}$ vida (Dias)	31	36	19	26	19	58
	R ²	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97
Pousio	Total (kg ha ⁻¹)	45,46 c	5,76 b	56,60 b	15,06 a	9,64 a	3,98 a
	k (g g ⁻¹)	0,0256	0,0231	0,0493	0,0204	0,0331	0,0068
	$T^{1/2}$ vida (Dias)	27	30	14	34	21	102
	R ²	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Teste F	--	18,21**	10,48**	16,99**	5,41 ^{ns}	12,39**	13,99 ^{ns}
CV (%)	--	25,80	18,81	25,40	19,99	25,50	22,19

* = Significativo (p<0,05). Médias seguidas de mesma letra na coluna comparam as coberturas e não diferem entre si pelo teste de Scott Knott (p<0,05). R² = Coeficiente de determinação; CV = Coeficiente de variação. Fonte: Acervo pessoal 2025.

Em Selvíria-MS, Silva *et al.* (2017), observaram produção de MS de crotalária de 19,7 e 11,4 t ha⁻¹ nos anos de 2015 e 2016, que acumularam N (387,5 e 394,2 kg ha⁻¹), P (66,3 e 45,9 kg ha⁻¹), K (396,0 e 192,7 kg ha⁻¹), Ca (134,7 e 69,1 kg ha⁻¹), Mg (69,0 e 51,1 kg ha⁻¹) e S (55,8 e 77,9 kg ha⁻¹), respectivamente. Esses estudos mostram que a matéria seca influi diretamente na quantidade de nutrientes acumulados, porém no presente trabalho não houve diferença na produção de MS para os tratamentos, com exceção da braquiária, podendo concluir que o

milheto e braquiária + milheto foram os tratamentos que melhor se destacaram no acúmulo de nutrientes independente da MS acumulada.

Em Uberaba-MG, sob condições naturais, Torres *et al.* (2008) e Torres e Pereira (2008) quantificaram a produção de massa seca de braquiária, milheto e crotalária em 6,0, 10,3 e 3,9 t ha⁻¹, que acumularam valores elevados de N (130,80; 165,55 e 118,11 kg ha⁻¹), P (13,30; 22,60 e 10,80 kg ha⁻¹), K (214,70; 218,90 e 59,20 kg ha⁻¹), Ca (18,70; 41,12 e 42,60 kg ha⁻¹), Mg (21,10; 22,60 e 12,80 kg ha⁻¹) e S (9,00; 13,40 e 4,20 kg ha⁻¹) no período chuvoso. No entanto, esses valores foram inferiores aos obtidos no presente estudo para a mesma área, época do ano e coberturas em cultivo isolado.

Outros estudos, como o de Pacheco *et al.* (2017) e Rossi *et al.* (2013), realizados igualmente no cerrado comprovam que existe elevada variação na produção de massa seca (MS) e nas taxas de acúmulo de nutrientes nos resíduos das plantas de cobertura estudadas.

Em Uberaba – MG, Silveira (2021) avaliando a MS de milheto, braquiária e crotalária, observaram produção de 8,44 e 7,78 t ha⁻¹, respectivamente, com acúmulo de N (173,8 e 228,2 kg ha⁻¹), P (32,7 e 30,9 kg ha⁻¹), K (187,3 e 132,3 kg ha⁻¹), Ca (55,6 e 61,6 kg ha⁻¹), Mg (26,6 e 25,6 kg ha⁻¹) e S (7,6 e 5,6 kg ha⁻¹) em seus resíduos, enquanto em Selvíria-MS, Leal *et al.* (2013), avaliando a MS de milheto e crotalária, observaram produção de 4,2 e 4,2 t ha⁻¹, respectivamente, com acúmulo de N (50,5 e 107,3 kg ha⁻¹), P (9,6 e 12,1 kg ha⁻¹), K (49,2 e 72,5 kg ha⁻¹), Ca (22,5 e 45,2 kg ha⁻¹) e Mg (15,0 e 16,8 kg ha⁻¹) em seus resíduos.

Analisando a taxa de liberação dos nutrientes (Tabela 03) observou-se que o Mg apresentou os menores T^{1/2} vida, ou seja, metade do Mg retido nos resíduos foi todo liberado no período variando entre 10 a 21 dias, em todas as coberturas, seguido pelo K que variou entre 7 e 24 dias e pelo Ca, entre 23 e 34 dias, enquanto que o S foi o nutriente que mais tempo demorou a ser disponibilizado no solo (variou entre 29 a 102 dias).

Alguns estudos indicam que o Mg ocorre na fitomassa em formas relativamente solúveis, com associações menos fortes aos constituintes estruturais em comparação ao cálcio. Além disso, por ser um cátion com movimento livre nas soluções de solo, parte significativa pode ser liberada rapidamente durante a fase inicial de decomposição (fase de lixiviação e mineralização microbiana ativa) (Crusciol *et al.* 2008; Zhou *et al.*, 2019). Em seu estudo, Torres *et al.* (2008) constataram que a palha de *B. brizantha*, utilizada como lanta de cobertura, levou 11 dias para liberar metade do Mg, valores estes semelhantes aos obtidos com a Braquiária neste estudo. Por outro lado, Werner *et al.* (2021), também com *B. brizantha* encontraram o tempo necessário para liberar 50% de Mg foi em torno de 50 e 75 dias para a dessecação realizada 15 e 60 dias antes da semeadura da soja, respectivamente. As variações observadas no tempo de

liberação do Mg podem ser associadas, principalmente, à idade das plantas no momento do manejo, à relação folha/colmo, aos teores de outros nutrientes presentes na biomassa e às condições climáticas predominantes, especialmente temperatura e precipitação. Assim como o Mg alguns estudos mostram a rápida liberação do K, independente da espécie envolvida e da época do corte. Isto pode ser justificado devido o elemento não fazer parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, sendo encontrado como cátion livre ou adsorvido, o que o torna facilmente trocável das células ou dos tecidos, tendo alta mobilidade intracelular (Taiz e Zeiger, 1991; Torres e Pereira, 2008). O resultado deste estudo corrobora com o estudo de Rossi *et al.* (2013), que observaram $T^{1/2}$ vida para o K menores que 13 dias para todas as plantas de cobertura.

Em sua revisão sobre resíduos ricos em K e compostos orgânicos, Andrews *et al.* (2021) mostram que as taxas de liberação de K a partir de resíduos são, em geral, muito mais rápidas do que a decomposição da massa seca, e que a quantidade e a frequência de água (chuva/irrigação) controlam fortemente a rapidez e o total liberado.

Para o Ca, estudos sobre o tempo para a liberação de 50% foi de 75 a 95 dias para a braquiária dessecada 15 dias antes da semeadura da soja e, em torno de 130 dias para a dessecação 60 dias antes da semeadura da soja, considerada uma liberação lenta, o que favorece o aproveitamento desse nutriente pela cultura da soja. Isso pode ser explicado em razão do Ca não ser um nutriente de fácil remoção, sendo o principal componente da parede celular (Cavalli *et al.* 2018).

Resultados contrastantes foram obtidos por Mendonça *et al.* (2015), que observaram rápida liberação de Ca, em até 10 dias após o manejo, com redução constante a partir de 20 dias e apresentando tendência à estabilização em valores aproximados a zero para a *U. brizantha* cv. Marandu e *U. ruziziensis*.

Estudo sobre os efeitos da decomposição de serapilheira demonstrou liberação de Ca (K^+ e Mg^+) em fases iniciais da decomposição, especialmente quando há consórcio com arbustos ou leguminosas que aumentam a fração solúvel (Każmierczak *et al.*, 2024).

Com esses resultados pode se dizer que a liberação do Ca pode ser associada a vários fatores como as plantas estudadas, o momento do manejo das plantas, a quantidade de folha e colmo, aos teores de outros nutrientes presentes na biomassa e às condições climáticas predominantes, especialmente temperatura e precipitação.

O $T^{1/2}$ vida do S avaliado nesse estudo corrobora com o trabalho feito por Werner *et al.* (2021) sobre a aplicação de N, houve imobilização temporária do S na palhada produzida, demorando mais tempo para liberá-lo. A liberação de S foi lenta durante o período avaliado,

sendo que o tempo necessário para liberar 50% do nutriente foi cerca de 90 e 135 dias para a dessecação realizada aos 15 e 60 dias antes da semeadura da soja, respectivamente.

Trabalho realizado utilizando *B. ruziziensis*, Santos *et al.* (2014) observaram que o S teve liberação de 7,7 kg ha⁻¹ e levou 78 dias para liberar metade dessa quantidade. Entretanto, Torres *et al.* (2008) constataram que o S demorou 18 dias para liberar 50% de S em *B. brizantha* cv Marandu. Mostrando que para as condições e plantas desse estudo o S teve uma liberação lenta.

Cerca de 90% do S encontrado na planta faz parte da constituição de aminoácidos: cistina, cisteína e metionina. O S está ligado diretamente ao metabolismo do N, sendo necessário para a formação de qualquer proteína que apresente na sua constituição esses aminoácidos (Anjum *et al.*, 2015). Justificando o longo tempo de decomposição do S nas plantas de cobertura, principalmente MIX 2 e pousio, por serem tratamentos que possuem um consórcio de plantas que pode ter impactado na liberação desse nutriente, pois cada planta possui uma composição diferente.

Analisando as curvas de regressão observa-se que os macronutrientes que mais acumularam foram N>K>Ca>Mg>P>S, sendo que o Mg e K foram os nutrientes que tiveram a liberação inicial mais rápida, que evidencia que essas plantas do estudo necessitam de N, K e Ca em maior quantidade do que os demais nutrientes (Figura 7).

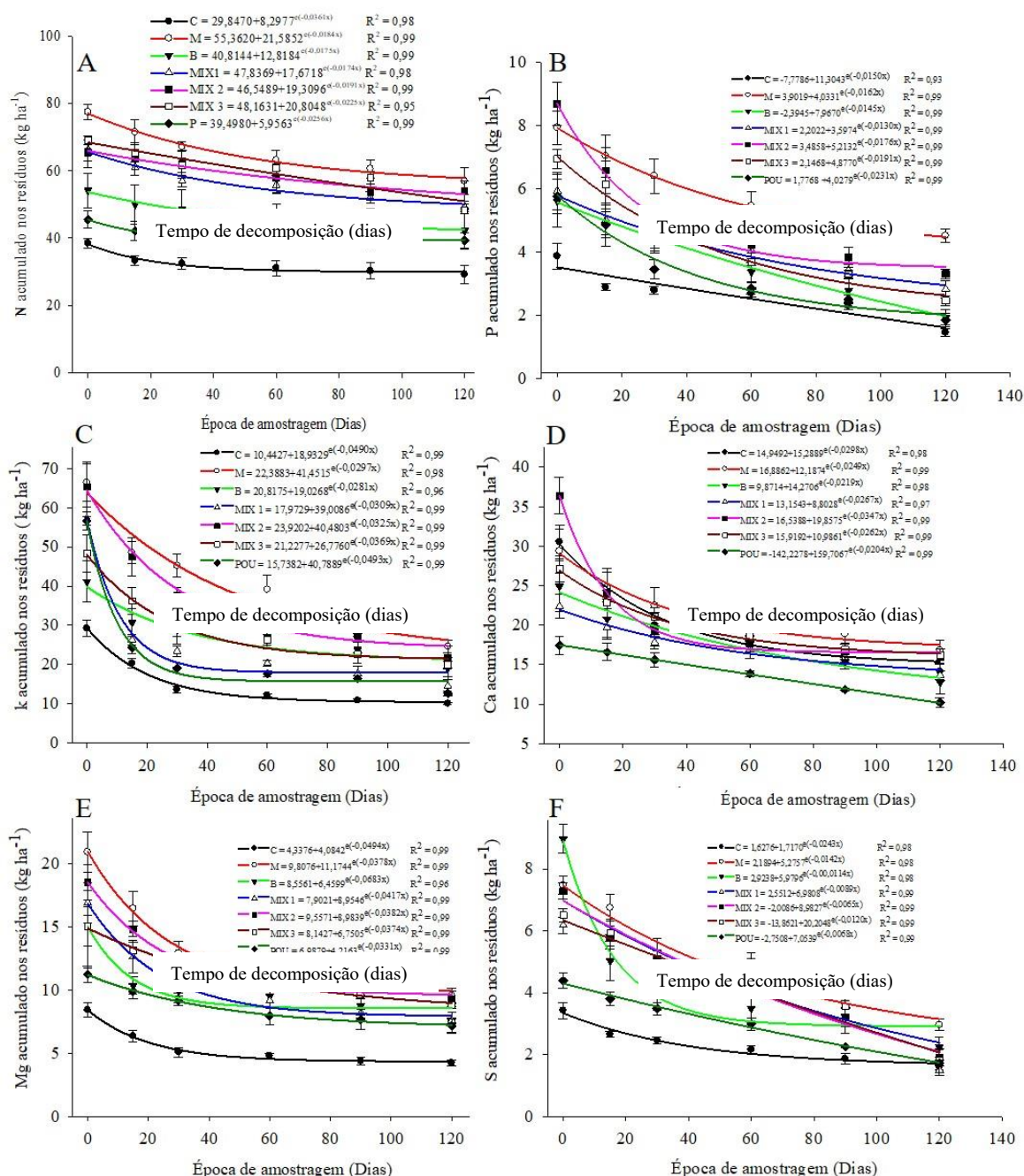
O maior valor acumulado nos resíduos é o do N, que é geralmente o elemento mais concentrado na biomassa vegetal, principalmente em espécies de crescimento rápido, devido ao seu papel direto na fotossíntese e na síntese de compostos orgânicos (Figura 7 A). Estes valores destacam que este nutriente participa da constituição de aminoácidos, proteínas, clorofila e enzimas, essenciais para o metabolismo primário.

Segundo Santos *et al.* (2014) e Prescott *et al.* (2021), os valores de P acumulado nos resíduos vegetais não é elevado, pois varia de 3,87 a 7,94 kg ha⁻¹ e o T_{1/2} vida é mais lento, pois varia de 30 a 53 dias (Tabela 3), o que é mostrado pelas curvas de regressão decrescente do nutrientes (Figura 7 B).

O K foi o segundo macronutriente mais acumulado, o que é esperado, pois esse elemento é móvel e solúvel nas plantas, estando principalmente na forma iônica (K⁺) e não incorporado a estruturas orgânicas (Figura 7C). Estudos mostram que o K se acumula em grandes quantidades nos tecidos vegetais, especialmente nas folhas e caules suculentos, sendo o principal cátion osmótico responsável pelo controle estomático e pelo transporte de açúcares (Dey *et al.*, 2019; Dutra *et al.*, 2025). Durante a decomposição, o K tende a ser liberado rapidamente, muitas vezes nas primeiras semanas, devido à sua alta solubilidade e mobilidade

intracelular (Pitta *et al.*, 2012), como encontrado nesse estudo.

Figura 7 - Ciclagem de N (A), P (B), K (C), Ca (D), Mg (E) e S (F) dos resíduos de braquiária (B), milho (M), crotalária (C) e dos consórcios MIX 1, MIX 2, MIX 3 e Pousio ao 0 (zero), 15, 30, 60, 90 e 120 dias após distribuição das sacolas, nos resíduos das diferentes coberturas utilizadas em área sob cultivo de sorgo em Campina verde, MG, em 2023.



Fonte: Machado, 2025.

O cálcio (Ca) (Figura 7 D) e o magnésio (Mg) (Figura 7 E) aparecem em níveis intermediários de acúmulo. O Ca é um nutriente pouco móvel associado à parede celular e à

integridade estrutural dos tecidos, o que justifica seu acúmulo moderado, mas liberação lenta (Dutra *et al.*, 2025). Já o Mg participa da estrutura da clorofila e atua como cofator enzimático, sendo mais móvel que o Ca, mas ainda menos acumulado que o K.

Esses padrões são coerentes com observações de Oliveira *et al.* (2025; 2019;; 2017; 2002), que verificaram maior acúmulo de Ca e Mg em sistemas consorciados de plantas de cobertura, mas com liberação mais lenta que N e K.

O P (Figura 7 B) e o S (Figura 7 F) geralmente apresentam menores teores nos tecidos vegetais, pois estão associados a moléculas específicas e menos abundantes, como fosfolipídeos, ATP e proteínas sulfuradas. Além disso, ambos dependem de transformações microbianas para se tornarem disponíveis novamente ao solo (Dey *et al.*, 2019; Prescott *et al.*, 2021). A baixa concentração desses elementos nas palhadas é, típica e esperada, refletindo seu papel mais limitado em termos de biomassa total, embora sejam essenciais metabolicamente.

O Mg, embora muitas vezes menos destacado que o K, também pode apresentar liberação relativamente rápida em muitos sistemas, como evidenciado nesse trabalho, especialmente quando está na fração intercambiável ou associada a componentes solúveis, pois não participa de ligações estruturais muito fortes em muitos tecidos (Dey *et al.*, 2019). A mobilidade do Mg dentro da planta e sua presença em formas solúveis explicam a observação de liberação inicial acelerada, ainda que normalmente não tão rápida quanto a do K.

A liberação do K ocorre em duas fases distintas: uma inicial mais rápida e outra mais lenta (Figura 7 C). Contudo, em áreas irrigadas esta velocidade de liberação é potencializada, diminuindo o $T^{1/2}$ vida destes nutrientes nos resíduos pela metade, quando comparado aos estudos de Assis *et al.* (2016), Pacheco *et al.* (2017) e Assis *et al.* (2017).

Em seus estudos, Espíndola *et al.* (2006) e Gama-Rodrigues *et al.* (2007) observaram liberação semelhante de nutrientes $K > Mg > P > N > Ca$ e $K > N > Mg > P > Ca$, respectivamente, mostrando que a ordem de liberação dos nutrientes independente das plantas de cobertura utilizadas. Esses resultados reforçam a consistência do padrão de ciclagem de nutrientes em diferentes condições experimentais. De modo geral, tal comportamento evidencia que a dinâmica de decomposição e mineralização segue tendências relativamente estáveis, mesmo quando há variação nas espécies avaliadas.

3.4. Atributos agronômicos do sorgo

Com relação ao parâmetro a altura de planta (AP), altura de inserção de panícula (AIP), e diâmetro basal do colmo (DBC) do sorgo granífero (Tabela 04), não ocorreram diferenças significativas quando o sorgo foi semeado em cima de qualquer cobertura.

Tabela 4 - Altura de planta (AP), altura de inserção de panícula (AIP) diâmetro basal do colmo (DBC) do sorgo granífero, em sistemas de plantio direto na palha de plantas de cobertura solteira e consorciadas, no ano de 2023, em Campina Verde, MG.

Tratamento	Atributos agronômicos do sorgo		
	AP	AIP	DBC
	m.....		cm
C	1,12 a	0,85 a	1,40 a
M	1,08 a	0,86 a	1,15a
B	0,99 a	0,77 a	1,32 a
MIX 1	1,00 a	0,78 a	1,25 a
MIX 2	1,09 a	0,81 a	1,35 a
MIX 3	1,01 a	0,79 a	1,17 a
POU	1,09 a	0,84 a	1,37a
F	4,20**	6,39**	1,03ns
CV (%)	14,05	25,21	15,07

** = Significativo ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam as coberturas e não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). C = Crotalária; M = Milheto, B = Braquiária; POU = Pousio; CV = Coeficiente de variação. Fonte: Acervo pessoal 2025.

Essa capacidade do milheto sugere que, nas parcelas onde foi incluído (MIX 1 ou milheto isolado), pode ter havido uma maior disponibilização de nutrientes ou menor limitação nutricional para o sorgo, o que se resultou em um maior número de panículas.

De acordo com Restovich *et al.* (2022), as coberturas em consórcios aumentam a multifuncionalidade do sistema, alterando o teor de matéria orgânica, agregação e retenção de água do solo e diversidade funcional, que pode ter contribuído para que consórcios com e sem milheto apresentassem resposta semelhante ao milheto isolado. Joshi *et al.* (2023) fizeram uma meta-análise de 61 estudos mostrando que consórcios de plantas de cobertura em regiões de precipitação baixa aumentaram estoques de carbono orgânico em 6-8% mais que monoculturas, melhorando produtividade e resiliência à seca via maior retenção de água, onde mostrou que a influência das plantas de cobertura nos parâmetros agronômicos do cultivo em tempo seco é maior.

A análise dos parâmetros da produção mostrou que os melhores resultados foram obtidos quando a cultura foi cultivada sobre os resíduos da crotalaria em cultivo isolado e o consórcio MIX 2, onde contém Fabáceas na sua composição (Tabela 5).

Tabela 5 - Peso fresco do grão e panícula (PFGP), peso seco do grão e panícula (PSGP), peso seco dos grãos (PSG) e produtividade dos grãos (PG), do sorgo granífero, em sistemas de plantio direto na palha de plantas de coberturas solteiras e consorciadas, no ano de 2023

Cobertura	Parâmetros da produção			
	PFGP	PSGP	PSG	PG
	kg ha ⁻¹			
C	2,94 b	3,23 a	2,24 a	6330,75 a
M	2,64 c	2,25 c	1,37 c	3882,50 c
B	2,24 c	1,88 d	1,08 c	3041,75 c
MIX 1	1,78 d	1,61 d	1,02 c	2871,25 c
MIX 2	3,77 a	3,40 a	2,38 a	6720,75 a
MIX 3	2,56 c	2,30 c	1,15 c	4014,25 c
POU	3,23 b	2,81 b	1,88 b	5312,50 b
F	10,23**	24,25**	18,36**	15,17**
CV (%)	14,88	10,93	16,78	17,23

** = Significativo ($p < 0,05$); Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). C = Crotalaria; M = Milheto, B = Braquiria; POU = Pousio; Fonte: Acervo pessoal 2025.

As fabáceas, como a crotalaria contribuem com maior entrada de N via FBN e, após a senescência com a decomposição dos seus resíduos, liberam mais N e outros nutrientes que podem ser assimilados pela cultura subsequente, promovendo incremento na produção da cultura cultivada em sucessão (Carvalho *et al.*, 2024; Arone *et al.*, 2024). Os consórcios (MIX 1, 2 e 3), que combinam plantas das famílias Fabáceas, Poáceas, brassicáceas e outras, frequentemente entregam um balanço entre produção de biomassa (quantidade) e qualidade do resíduo, que favorece tanto o acúmulo de MS quanto a disponibilidade de nutrientes do solo nas fases críticas do desenvolvimento do sorgo (Majeski *et al.*, 2023).

O estudo feito por Liu *et al.* (2025), com plantas de convertura, mostrou que consórcios de plantas de cobertura aumentaram a biomassa aérea em 21,7% e o acúmulo de N em 27,7%, além de melhorar, em média, os rendimentos das culturas subseqüentes em aproximadamente 4,9% quando comparadas as plantas em cultivo isolado. Esses ganhos são atribuídos ao

complemento funcional entre Poáceas (alta produção de biomassa) e Fabáceas (fixação e aporte de N), que em conjunto elevam o aporte de MF e MS e a disponibilidade de nutrientes ao sistema.

Nas áreas em pousio, o sorgo apresentou valores consideráveis nos parâmetros de produção avaliados (Tabela 5), que talvez possam ser justificados por ter em sua composição maior quantidade de capim colonião (*Megathyrsus maximus*), planta bem adaptada a região e favorecida pela adubação. Em sistemas de pousio, o manejo que evita competição e permite reserva de água e nutrientes, a cultura subsequente pode se beneficiar de maior disponibilidade hídrica acumulada no perfil e menor competição por recursos no período pré-semeadura, resultando em maior vigor e biomassa do sorgo (Garba *et al.*, 2022; Simon, 2022).

4. CONCLUSÕES

No cultivo isolado, o milheto é a cobertura com maior produção de massa seca, maior acúmulo e ciclagem de nutrientes, com menor taxa de decomposição e maior tempo de meia vida dos seus resíduos.

Nos cultivos consorciados, o MIX 2 apresenta produção de massa seca semelhante ao MIX 1 e MIX 3, maior acúmulo e ciclagem de nutrientes, com maior taxa de decomposição e menor tempo de meia vida dos seus resíduos, quando comparado aos MIX 1 e 3.

A maior taxa de decomposição dos resíduos ocorre na crotalaria em cultivo isolado e no MIX 2, onde a planta estava presente com duas espécies (*Crotalaria ochroleuca* e *C. breviflora*).

Quanto ao tempo de meia-vida de liberação dos nutrientes observa-se a seguinte ordem crescente: $Mg < K < Ca < N < P < S$.

Os menores valores do peso fresco do grão e panícula, peso seco do grão e panícula, peso seco dos grãos e produtividade dos grãos, do sorgo granífero ocorreu quando foi cultivado sobre o MIX 1.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, A. D. *et al.* Cover crop residue quality regulates litter decomposition dynamics and soil carbon mineralization kinetics in semi-arid cropping systems. **Soil Biology & Biochemistry**, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092913932300358X>. Acesso em: 11 out. 2025.
- ANURADHA, B. *et al.* Perspectivas do mercado de sorgo. *In*: FLORÊNCIO, Victor. **Blog Nutrição de Safras**. Brasil, 9 set. 2025. Disponível em: <https://nutricaodesafras.com.br/mercado-de-sorgo-oportunidades-desafios-e-mais>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- ARONE, G. J. *et al.* Benefits of *Crotalaria juncea* L. as green manure in fertility and soil microorganisms on the Peruvian coast. **Microorganisms**, v. 12, n. 11, art. 2241, 2024. DOI: 10.3390/microorganisms12112241. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/12/11/2241>. Acesso em: 24 out. 2025.
- ASSIS, R. L. *et al.* Produção e decomposição de biomassa de plantas de cobertura cultivadas na primavera. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 4, p. 328-333, 2016.
- ASSIS, R. L.; FREITAS, R. S.; MASON, S. C. Pearl millet production practices in Brazil: a review. **Experimental Agriculture**, v. 54, n.5, p. 699-718, 2017.
- BESSEN, M. R. *et al.* Cover cropping associated with no-tillage system promotes soil carbon sequestration and increases crop yield in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 242, p. 106162, 2024.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- CALEGARI, A. Sistemas de rotação de culturas e seus efeitos ambientais e econômicos no Centro Sul do Cerrado. *In*: Encontro Regional de Plantio Direto no Cerrado, 5. 2001. Brasília-DF: **Anais...** Dourados: UFMS/Embrapa Agropecuária Oeste, 2001 p.23-28.
- CALEGARI, A. *et al.* Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil Tillage Research**. [s.l.], v.133, p.32–39, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.05.009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jaos/a/z58z8tVtVG5FjLNfyD6p7Xx/?lang=en>. Acesso em: 24 out. 2025
- CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIAÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/nkDGSdmnHVnCwkHV3976QBk/>. Acesso em: 05 out. 2023.
- CARVALHO, A. M. *et al.* Culturas de Cobertura Afetam a Eficiência do Uso de Nitrogênio Mineral e Fertilizantes N no Solo em Sistema Plantio Direto de Milho no Cerrado Brasileiro. **Terra**, v. 13, n. 5, p. 693, 2024.

CAVALLI, V. et. al. Effects of experimental bleaching agents on the mineral content of sound and demineralized enamels. **Journal of applied oral science**, [s.l.], v.4, p.:26:e20170589, 2018. DOI: 10.1590/1678-7757-20170589.

COLLIER, L. S. *et al.* Consórcio e sucessão de milho e feijão-de-porco como alternativa de cultivo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p.306-313, jul./ set. 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/8706>. Acesso em: 05 out. 2025.

COLLIER, L. S. *et al.* Soil chemical attributes and corn productivity grow non legume stubble in agroforestry systems. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 279-289, abr./ jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n203rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/nkbKgQcSfycMXPsb5zscTcS/?lang=en>. Acesso em: 05 out. 2023.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Taxa de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v.67, n.2, p.481-489, 2008.

CRUSCIOL, C.A.C. *et al.* Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. **Agronomy Journal** , v.107, p.2271–2280, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Novo sorgo granífero supera 6 toneladas por hectare e chega ao mercado com alta produtividade. Brasília, DF, 2025. **Embrapa** (FertBrasil). 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/caravana-embrapa-fertbrasil/busca-de-noticias/-noticia/100133718/novo-sorgo-granifero-supera-6-toneladas-por-hectare-e-chega-ao-mercado-com-alta-produtividade>. Acesso em: 26 out.2025.

ESPÍNDOLA, J. A. A. *et al.* Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.321-328, 2006.

GALICIA-JUÁREZ, M. *et al.* Identificação de genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) com potencial de tolerância ao estresse hídrico e térmico no nordeste do México. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2265, 2021.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, 2007.

GIACOMINI, S. J.; *et al.* Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 9, p.1097- 1104, set. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000900011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/QHHpxGhNLQLW9nT5strhbxH/?lang=pt>. Acesso em: 10 nov. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). BR Tabela de Dados das Estações. Brasília, DF, 2025. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>, acesso em: 28 abr. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Informações sobre as condições climáticas do município de Uberaba-MG. Brasília, DF, 2024. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>; Acesso em: 08 out. 2024.

JOSHI, D. R. *et al.* Uma meta-análise global da resposta da cultura de cobertura ao armazenamento de carbono no solo em um sistema de produção de milho. **Revista de Agronomia**, v. 115, n. 4, p. 1543-1556, 2023. DOI: 10.1002/agj2.21340. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/agj2.21340>. Acesso em: 24 out. 2025.

LEAL, A. J. F. *et al.* Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 2, p. 491-501, abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000200020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/wpCDfRSVfnbsF9CRmNVNzHv/>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MAJESKI, M. *et al.* Sorghum-sudangrass varietal performance in a cover crop MIX. USDA NRCS **Plant Materials Technical Note**, 2023. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/plantmaterials/mtpmcsr13973.pdf>. Acesso em: 24 out. 2025.

MARTINS, J. V. S. *et al.* A. Physicochemical soil quality in areas under different management systems in the Cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, [s.l.], v.12, n.2, e9284, 2025. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v12i2.9284>. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/9284>. Acesso em: 24 out. 2025.

MAZETTO JÚNIOR J. C. *et al.* Production and decomposition of cover crop residues and associations with soil organic fractions. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 11, n. 5, p. 58-69, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p58>. Disponível em: <https://ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/39079>. Acesso em: 05 fev. 2024.

MENDES, P. C.; QUEIROZ, A. T. Caracterização climática do município de Ituiutaba-MG. In: PORTUGUÊS, A. P.; MOURA, G.; COSTA, R. A. (Org.) **Geografia do Brasil central**. Uberlândia: Assis, 2011, p. 333-353.

MENDONÇA, V. Z. *et al.* Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.183-193, 2015.

MENEZES, C.B.; *et al.* Melhoramento do sorgo para tolerância à seca. In: MENEZES, C. B. de (ed.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

MIOTTO, A. *et al.* Species identity, rather than species MIXtures, drives cover crop effects on nutrient partitioning in unfertilized agricultural soil. **Plant and Soil**, [s. l.], v. 447, p. 123–141, 2020. DOI: 10.1007/s11104-020-04782-z. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04782-z>. Acesso em: 19 jun. 2025.

OLIVEIRA, B. S. *et al.* Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura pecuária-floresta, na região Amazônica. **Revista Espacios**, Caracas, v. 38, n. 41, p. 1-12, maio 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n41/a17v38n41p08.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2024.

OLIVEIRA, M. W.; *et al.* Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE

TECHONOLOGISTS, 2002, 24., Cairns. **Proceedings**[...]. Cairns: D.M. Hogarth, 2002. Disponível em: <https://www.assct.com.au/>. Acesso em: 29 nov. 2025

PACHECO, L. P. *et al.* Biomass and nutrient recycling by cover crops in brazilian cerrado in the state of Piauí. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 1, p.13 – 23, jan./ mar. 2017b. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n102rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/sC4KDpmtLVY5fWvJGSQC3kx/>. Acesso em: 15 abr. 2024.

PACHECO, L. P. *et al.* Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, p. 582-591, ago. 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000800003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/ZH7hNyFFstNgXBzMnJkbtCQ/?lang=en>. Acesso em: 10 mar. 2024.

PACHECO, L. P. *et al.* Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, set. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000900006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/jWXYMqcSzRLdRwFbvm3hHwz/>. Acesso em: 10 mar. 2024.

PACHECO, L. P. *et al.* Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 1, p.17-25, jan. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000100003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/BPVHKxxjn8KJ4qJBfxB7tzC/>. Acesso em: 10 mar. 2024.

PITTA, C. S. R. *et al.* Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Paraná, v. 36, n. 3, p. 1043–1053, jun. 2012. DOI 10.1590/S0100-06832012000300034. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/gJZn8XWwZkSmDWcCNVWR7Rd/?lang=en>. Acesso em: 10 mar. 2025.

PRESCOTT, C. E., RUI, Y., COTRUFO, M. F., GRAYSTON, S. J. Managing plant surplus carbon to generate soil organic matter in regenerative agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, 76, p.99A-104, 2021. al., 2021.

RESTOVICH, S. B.; ANDRIULO, A.E. ; PORTELA, S. I. Cover crop MIXtures increase ecosystem multifunctionality in summer crop rotations. **Agronomy for sustainable Development**, v. 42, Artigo 19, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-021-00750-8>. Acesso em: 22 out. 2025.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG), 1999. 359 p.

ROSSI, C. Q., Pereira, M. G.; García, A.C. Fósforo em cronossequência de cana-de-açúcar queimada no cerrado goiano - análise de ácidos húmicos por RMN de ³¹P. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p.1126-1130. 2013.

SALMI, G.P.; SALMI, A.P.; ABBOUD, A.C.S. Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes de genótipos de guandu sob cultivo em aléias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 673-678, 2006.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS, H. P. *et al.* Rendimento de grãos e características agronômicas de soja em função de sistemas de rotação de culturas. **Bragantia**, v.73, n.3, p.263-273, 2014.

SANTOS, P. F.; WHILFORD, W.G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a chihuazhuan ecosystem. **Ecology**, Washington, v. 62, n. 3, p. 654-669, June 1981. DOI: <https://doi.org/10.2307/1937733>. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19812610124>. Acesso em: 06 jan. 2024.

SILVA, J. C. R. da. **Atributos físicos do solo e macrofauna edáfica em sistema agroflorestal e mata**. 2021. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1257685>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SILVA, M. A. *t al.* Plantas de cobertura isoladas e em MIX para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no cerrado. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v.10, n. 12, e11101220008, p. 1- 11, set. 2021a. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20008>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20008>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SILVA, M. de O. *et al.* Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 1, p.6853-6875, jan. 2021b. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-463>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23374>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SILVA, M. S. *et al.* Acúmulo de nutrientes e massa seca produzida por *Crotalaria juncea* cultivada no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 11, n. 1, p. 26-36, mar 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2017v11n1p26-36>. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/485>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SILVEIRA, B. de S. *et al.* Cover crops in the production of green and sweet corn. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, p. 94–101, jan./ mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210114>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/C5Yyc5VFqWLmx5WWJJffMJw/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SORATTO, R. P. *et al.* Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalaria e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 10, p. 1462-1470, out. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012001000008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/jd7jz3fkHD9SHpCxQzyBtp/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood City, Benjamin/Cummings Publishing Company, 1991. 565p.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* (ed.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 10 jun. 2024.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decompositions of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology Biochemistry**, Amsterdã, v. 25, n. 10, p.1351-1361, Oct. 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90050-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90050-L). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003807179390050L>. Acesso em: 10 ago. 2024.

TIMOSSI, P. C; DURIGAN, J.C; LEITE G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.

TORRES, J. L. R. *et al.* Cultivo de feijão e milho em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 117-125, dez. 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/3213>. Acesso em: 10 set. 2024.

TORRES, J. L. R.; *et al.* Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 609-618, jul. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/3QSGJYKdF9G3TjDwmWZ5LNF/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 ago. 2024.

TORRES, J. L. R.*et al.* Lettuce crop fertilized with organomineral source of phosphorus and micronutrients. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 4, p. 393-402, out./dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20220407>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/3bwGymtbwhLkMNI8wtXJQPM/>. Acesso em: 10 out. 2024.

TORRES, J. L. R, *et al.* Nutrient cycling of different plant residues and fertilizer doses in broccoli cultivation. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, p.11-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210102>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/63XCnMX9FhsCsfdJyrq9r8R/>. Acesso em: 10 out. 2024.

TORRES, J. L. R. *et al.* Produção de fitomassa e decomposição de resíduos culturais de plantas de coberturas no cultivo da soja em sucessão. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 247 - 253, jul./ set, 2014b. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237132104028.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

TORRES, J. L. R.*et al.* Production of corn and Soybean Cultivated in Succession and Rotation with Different Coverages in the cerrado. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, Miami, v.18, n.2, p.1-15, 14 nov. 2024.

TORRES, J. L. R. *et al.* Produtividade do milho cultivado em sucessão a crotalária, milheto e braquiária no cerrado mineiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p.2482-2491. 2014a.

TORRES, J. L. R. *et al.* Soil physical attributes and organic matter accumulation under no-tillage systems in the cerrado. **Soil Research**, Austrália, v. 57, n. 7, p.712–718, Aug. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR19047>. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/SR/SR19047>. Acesso em: 10 out. 2024.

TORRES, J. L. R. *et al.* Soil physical quality after the fifth and sixth harvest of sugarcane in

Brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, n.9, p.1306, 2016.

TORRES, J. L. R. *et al.* Physico-chemical attributes of no-till Brassica crops cultivated after various cover crops. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 2, p.252-257, abr./ jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620170216>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/JfTbpHwcyN3rHwR4BGtSny/>. Acesso em: 10 set. 2024.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1609-1618. ago. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400025>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/srJW4KyMwPtRsnrFp5Cn4tt/>. Acesso em: 10 ago. 2024.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 3, p. 421-428, mar. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000300018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/7GTdBhpsr6WRHfNySkC9tkk/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2024.

VELOSO, F. R. *et al.* Visão de sistemas de cultivo e plantas de cobertura para produção de soja no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. 1–12, ago. 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i11.33439.

WEATHER SPARK (BR). Clima característico em Campina Verde, Minas Gerais, Brasil, durante o ano. Brasil, 2025. **WEATHER SPARK**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29958/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Campina-Verde-Minas-Gerais-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 24 set. 2025.

ZHOU, T. *et al.* The impact of cover crop shoot decomposition on soil microorganisms in Apple orchard in northeast China. **Saudi Journal of Biological Sciences**. Amsterdã, v. 26, n. 8, p.1936-1942, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.07.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X19301226>. Acesso em: 05 jan. 2025.

CAPITULO II

PLANTIO DIRETO DO SORGO GRANÍFERO SOBRE A PALHADA DE DIFERENTES COBERTURAS EM CULTIVO ISOLADO E CONSORCIADO NA SAFRA

UBERLÂNDIA

2025

RESUMO

MACHADO, BRUNA DE SOUZA SILVEIRA. Capítulo 3 - Plantio direto do sorgo granífero sobre a palhada de diferentes coberturas em cultivo isolado e consorciado na safra.

O cultivo do sorgo no período chuvoso sobre os resíduos das diferentes coberturas que são utilizadas no sistema de plantio direto pode proporcionar inúmeros benefícios para o solo e melhorar a qualidade nutricional e os parâmetros agronômicos da planta e aumentar a sua produtividade. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção, decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos das plantas de cobertura em cultivo isolado e consorciado e relacionar com a produção do sorgo granífero cultivado na safra como cultura principal. Em um delineamento de blocos ao acaso foram avaliados sete tipos de cobertura do solo: 1- Braquiária (B); 2- Milheto (M); 3- *Crotalaria ochroleuca* (C); 4-Consorcio (MIX) 1: Trigo mourisco, *C. ochroleuca*, milheto, *Crotalaria breviflora*, Braquiária, Capim coracana e Crambe; 5- MIX 2: Trigo mourisco, *C. ochroleuca*, *C. breviflora*, Capim coracana, Crambe e Braquiária; 6 - MIX 3: Braquiaria, Capim coracana, Milheto, Sorgo forrageiro, Feijão caupi e Feijão guandu, todos com quatro repetições. Avaliou-se a produção de massa fresca (MF) e seca (MS), a decomposição, o tempo de meia-vida ($T^{1/2}$ vida) e a ciclagem de nutrientes dos resíduos, bem como os parâmetros agronômicos do sorgo granífero. A maior produção de MS e taxa de decomposição e o menor $T^{1/2}$ vida ocorreu no MIX 2 de plantas de cobertura. A menor taxa de decomposição dos resíduos e o maior $T^{1/2}$ vida ocorreu no milheto; os resultados permitem concluir que as coberturas não influenciaram os parâmetros agronômicos, número de panículas, altura de planta, altura de inserção de panícula e diâmetro basal do colmo avaliados no sorgo granífero.

Palavras-chave: plantio direto; *Sorghum bicolor* L.; MIX de plantas de cobertura.

ABSTRACT

MACHADO, BRUNA DE SOUZA SILVEIRA. Chapter 3 - No-till planting of grain sorghum on straw mulch of different cover crops in isolated and intercropped cultivation during the harvest.

Growing sorghum during the rainy season over the residues of different cover crops used in no-till systems can provide numerous benefits to the soil, improving the nutritional quality and agronomic parameters of the plant and increasing its productivity. In this context, the objective of this study was to evaluate the production, decomposition, and nutrient cycling of cover crop residues in monoculture and intercropping, and to relate this to the production of grain sorghum cultivated in the main crop season. In a randomized block design, seven types of soil cover were evaluated: 1- Brachiaria (B); 2- Millet (M); 3- Crotalaria ochroleuca (C); 4- Intercropping (MIX) 1 (MIX 1): Buckwheat, Crotalaria ochroleuca, millet, Crotalaria breviflora, Brachiaria, Coracana grass, and Crambe; 5- MIX 2: Buckwheat, Crotalaria ochroleuca, Crotalaria breviflora, Coracana grass, Crambe, and Brachiaria; 6 - MIX 3: Brachiaria, Coracana grass, Millet, Forage sorghum, Cowpea, and Pigeon pea, all with four replications. Fresh (FM) and dry (DM) mass production, decomposition, half-life ($T_{1/2}$ life), and nutrient cycling of the residues were evaluated, as well as the agronomic parameters of grain sorghum. The highest DM production and decomposition rate and the lowest $T_{1/2}$ life occurred in MIX 2 of cover crops; The lowest residue decomposition rate and the highest $T_{1/2}$ life occurred in millet; The results allow us to conclude that the cover crops did not influence the agronomic parameters number of panicles, plant height, panicle insertion height, and basal stem diameter evaluated in grain sorghum.

Keywords: No-tillage; *Sorghum bicolor* L.; cover crop MIX.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma Poácea tropical e subtropical amplamente cultivada tanto para grãos quanto para forragem, pois é uma planta tolerante à seca, possui alta eficiência no uso de nitrogênio e adaptabilidade a solos variados, que já ocupa a quinta posição como o cereal mais plantado no mundo, após o milho, o trigo, o arroz e a cevada (Galicia-Juárez *et al.*, 2021). No Brasil, o cultivo do sorgo tem sido impulsionado pela crescente demanda por grãos sem glúten em produtos alimentícios, a possibilidade de uso do grão na alimentação humana e animal, à crescente popularidade dos biocombustíveis e à adaptabilidade da cultura a condições climáticas adversas (Anuradha *et al.*, 2023).

Nos últimos anos, a cultura vem se expandindo no Brasil, sendo que a estimativa de área cultivada com sorgo para a safra 2024/25 no país é de 1,46 milhões de hectares, representando um aumento de 2,9% em comparação à safra anterior (2003/24), com estimativa de produção de 4,425 milhões de toneladas (CONAB, 2025), colocando o país entre os cinco maiores produtores do grão do mundo (EMBRAPA, 2025).

O sistema de cultivo utilizado no sorgo compreende um complexo de técnicas adotadas para manejo do sistema de produção nas suas interações com outras culturas (rotação e sucessão) e com os resíduos vegetais das culturas antecessoras, que é determinante no rendimento de grãos, sendo seus efeitos visíveis somente algum tempo após a adoção do sistema escolhido, que não deve ser alterado de ano para ano, pois tem efeito cumulativo nos benefícios às culturas (Silva *et al.*, 2024). Uma rotação de culturas planejada, com a manutenção dos resíduos na superfície e a mobilização do solo somente na linha do plantio são premissas básicas do sistema de plantio direto (Pires *et al.*, 2015).

Estudos que envolveram o consórcio de sorgo com leguminosas mostraram que houve aumento da produtividade e da qualidade da forragem, economia de 40% a 60% na produção de proteína bruta, maior relação C/N, produção de fitomassa e supressão de plantas daninhas (Fidelis *et al.*, 2016). O cultivo de sorgo consorciado com crotalária pode ser uma opção para melhorar a qualidade da cobertura vegetal e da futura matriz orgânica do solo, mantendo o rendimento da cultura e os componentes da produção (Gomes *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2017).

O sorgo também vem sendo utilizado nos consórcios (MIX), com milho, aveias, braquiárias, milhetos e outras culturas de outono-inverno, que ao serem integradas num sistema planejado de rotação proporcionam alto potencial de produção de fitomassa com elevada C/N, garantindo assim a manutenção da quantidade mínima preconizada de cobertura do solo e por maior tempo (Pascoaloto *et al.*, 2017). Horvathy Neto *et al.* (2014), afirmam ainda que a exploração da rebrota das plantas de braquiária no cultivo simultâneo com sorgo mostrou-se

como técnica de cultivo viável para produção de forragem e cobertura do solo na entressafra em condições de cerrado. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a produção, decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos das plantas de cobertura em cultivo isolado e consorciadas e relacionar com as características agronômicas do sorgo granífero cultivado na safra, como cultura principal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

2.1.1 Localização da área

O estudo foi conduzido entre os anos 2022 e 2024 na área experimental do setor de Olericultura do Instituto Federal do Triângulo Mineiro Campus Avançado Campina Verde, que fica localizado no município de Campina Verde - MG, na rodovia BR 364, km 153, entre as coordenadas geográficas -19°32'19" e -49°31'12", na altitude de 554 m (Figura 1), no período compreendido entre outubro de 2023 e janeiro de 2024 (plantas de cobertura) e de abril a agosto (Sorgo granífero) de 2024, no período de safra principal.

A área experimental encontrava-se em pousio antes da instalação dos tratamentos, onde o capim colonião (*Megathyrsus maximus*), beldroega (*Portulaca oleracea*) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) predominavam como cobertura vegetal.

Figura 1 - Área experimental localizada no município de Campina Verde – MG, onde os estudos de campo foram conduzidos em 2023 e 2024.



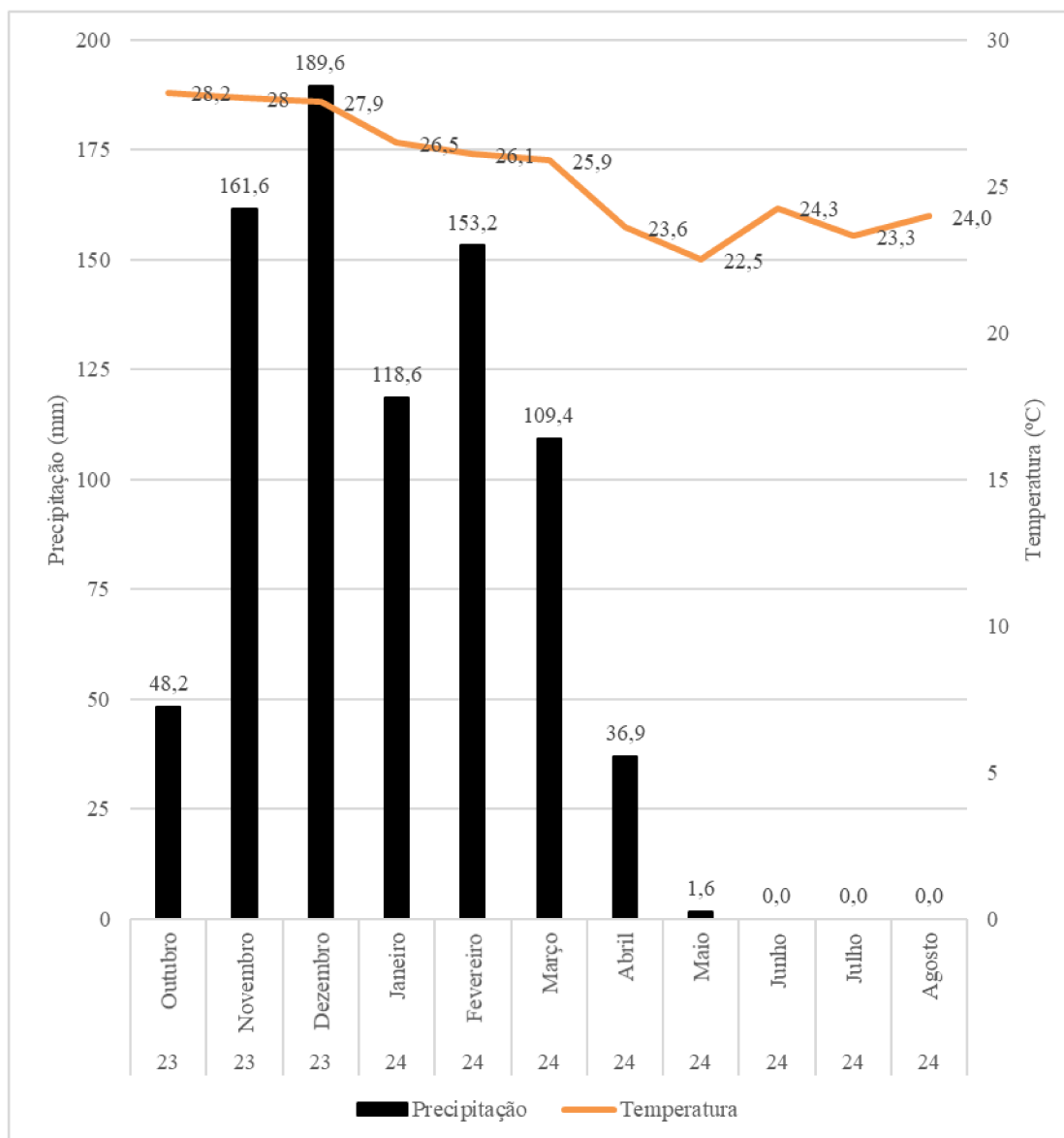
Fonte: Google Earth 2023.

2.1.2 Clima e solo

O município de Campina Verde apresenta o clima tropical semi-úmido com duas estações bem definidas, o verão chuvoso e com temperaturas elevadas e o inverno com escassez de chuvas e temperaturas amenas (Weather Spark, 2025). A média histórica de precipitação anual na região é de 1.394 mm e temperatura média de 22,6°C (INMET, 2025).

As plantas de cobertura foram cultivadas entre os meses de outubro/2023 e janeiro/2024, acumulando no período de cultivo uma pluviosidade de 518 mm, conforme demonstrado na Figura 2. O sorgo foi cultivado entre os meses de abril/2024 a agosto/2024 com precipitação acumulada de 38,5 mm (Figura 2).

Figura 2 - Precipitação e temperatura média mensal no período entre outubro/2023 e agosto/2024, obtidas na Estação Meteorológica do IFTM Campus Avançado Campina Verde-MG, durante a condução do experimento.



Fonte: (INMET, 2025).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Santos *et al.*, 2018), textura de areia franca, apresentando, após a retirada das plantas de cobertura na safra 2024, os seguintes atributos na profundidade de 0-0,20 m: 105, 787 e 108 g kg⁻¹ de argila, areia e silte, respectivamente, pH em CaCl₂ de 4,3; P (resina) 9,3 mg dm⁻³; 1,30; 13,7; 2,6; 2,30 e 40,00 mmol_c dm⁻³, respectivamente de K, Ca, Mg, Al e H+Al; saturação de bases de 30,51%; 16,2 g dm⁻³ de matéria orgânica e 57,56 mmol_cdm⁻³ de capacidade de troca catiônica (CTC).

2.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado no delineamento de blocos casualizados, onde foram avaliados sete diferentes coberturas do solo que caracterizaram os tratamentos: : 1- Braquiária (B); 2- Milheto (M); 3- *Crotalaria ochroleuca* (C); 4-Consortio (MIX) 1: Trigo mourisco, *C. ochroleuca*, milheto, *Crotalaria breviflora*, Braquiária, Capim coracana e Crambe; 5- MIX 2: Trigo mourisco, *C. ochroleuca*, *C. breviflora*, Capim coracana, Crambe e Braquiária; 6 - MIX 3: Braquiaria, Capim coracana, Milheto, Sorgo forrageiro, Feijão caupi e Feijão guandu e também um tratamento controle com uma área de pousio com predominância de Capim Colômbio (*. maximus*), Beldroega (*P. oleracea*) e Leiteiro (*E. heterophylla*), todos com quatro repetições.

2.3 Avaliações

As plantas de cobertura foram semeadas em quatro blocos, cada bloco continha sete parcelas totalizando 28 parcelas com 24 m² de área (4 x 6 m), no período de outubro/2023 a janeiro/2024.

Foi realizada a semeadura manual das plantas de cobertura e MIXes 1, 2 e 3 no espaçamento de 0,30 m entre linhas, totalizando 20 linhas de quatro metros, utilizando a recomendação de plantio da empresa produtora de semente, sendo 25 kg ha⁻¹ de crotalária, (C), 10 kg ha⁻¹ de braquiária (B), 20 kg ha⁻¹ de milheto (M), 30 kg ha⁻¹ de do MIX Comercial 1 (MIX 1), 25 kg ha⁻¹ do MIX 2, e 25 kg ha⁻¹ do MIX 3, respectivamente, cultivadas individualmente. As plantas de cobertura não foram irrigadas.

2.4 Determinação da massa fresca e massa seca

No momento em que aproximadamente 50% das espécies semeadas atingiram o máximo florescimento, cerca de 100 dias após semeadura coletaram-se amostras numa área de 2 m² por parcela para avaliação da massa fresca (MF), dentro das 16 linhas centrais, retirando todo material vegetal presente sobre o solo.

Após a amostragem das plantas de cobertura para avaliação da MF realizou-se o manejo químico das plantas, que consistiu na dessecação da área total com herbicida, princípio ativo Sal de N-(Phosphonomethyl) glycine 792,5 g kg⁻¹ (Roundup WGR), na dose de 2 kg ha⁻¹ do produto comercial.

Para quantificação da MF, o material vegetal foi pesado logo após a amostragem. A seguir, para determinação da massa seca (MS), o material foi colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, e a seguir foram pesados.

2.5 Determinação da taxa decomposição dos resíduos

A taxa de decomposição dos resíduos (palhada) das plantas de coberturas em cultivo isolado e com consórcios (MIX) foi analisada durante os meses de abril e agosto de 2024.

Para avaliar esta taxa de decomposição dos resíduos foi empregado o método das bolsas de decomposição, desenvolvido por Santos e Whilford (1981). Foram utilizadas sacolas de nylon (litter bags) com malha de 2 mm de abertura, com dimensões de 0,04 m² (0,20 x 0,20 m), onde foram colocadas 30 g de parte aérea das plantas de cobertura utilizadas, esse material foi fragmentado em partículas com aproximadamente 2 cm após terem sido secas em estufa a 65 °C por 72 horas.

Em cada parcela foram distribuídas cinco sacolas na superfície do solo, logo após a semeadura do sorgo granífero, sendo coletada uma sacola por parcela em cada amostragem, que ocorreu aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a distribuição das sacolas no campo. Após a coleta das amostras, o resíduo vegetal de cada sacola foi limpo manualmente sobre peneira, seco em estufa a 65°C por 72 horas para a determinação da massa seca ($t\ ha^{-1}$).

Para descrever a decomposição dos resíduos vegetais aplicou-se o modelo matemático exponencial descrito por Thomas e Asakawa (1993), do tipo $X=X_0e^{-kt}$, onde: X é a quantidade de massa seca (MS) remanescente após um período de tempo (t), em dias; X_0 é a quantidade inicial de MS, onde k é a constante de decomposição do resíduo.

Com o valor de k foi calculado o tempo de meia-vida ($T_{1/2}$ vida) dos resíduos remanescentes, com o uso da fórmula $T^{1/2}\text{ vida} = 0,693/k$, proposta por Paul e Clark (1996), que expressa o período de tempo necessário para que metade dos resíduos se decomponham. Foram elaboradas equações matemáticas da decomposição de MS, utilizando o Software SigmaPlot, versão 10.

2.6 Plantio do sorgo granífero sobre os resíduos das plantas de cobertura

Cerca de 90 dias após a dessecação das plantas de cobertura, no mês de janeiro de 2024, o sorgo granífero foi semeado sobre a palhada seca, seguindo a recomendação para cultivo na região, com população de 160.000 plantas por hectare. Em cada parcela foram semeadas 12 linhas, espaçadas 0,50 m entre si, sendo que as quatro linhas centrais foram consideradas como área útil para colheita, que totalizavam 8,0 m².

O semeio do sorgo foi realizado manualmente sendo que a quantidade de semente por linha foi estimada por pesagem, como a germinação não estava muito favorável, sendo essa testada em vasos antes de ir a campo foi semeado 30% a mais de semente para garantir o estante final de plantas, com isso, houve uma quantidade de plantas superior ao recomendado, devido ao perfilhamento do sorgo.

A adubação foi realizada de forma manual, na dose de 23, 80 e 46 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, utilizando a fórmula 8-28-16 em semeadura. As adubações de cobertura foram realizadas com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ K₂O com formulado 20-00-20, a cobertura foi aplicada 30 dias após semeadura de acordo com Ribeiro *et al.* (1999).

O controle de pragas e doenças foi realizado antes das pragas ou patógenos atingirem o limiar de dano econômico. As pragas que necessitaram de controle foram: lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), cigarrinha (*Dalbulus maidis*) e pulgão (*Melanaphis sorghi*); a doença que apresentou nível para controle foi a mancha foliar (*Exserohilum turcicum*).

Foram utilizados herbicidas registrados para a cultura no controle químico de plantas invasoras, sendo estes empregados nas doses recomendadas pelos fabricantes.

No momento da colheita do sorgo avaliaram-se as seguintes características agronômicas e produtivas: altura de planta (AP) e altura de inserção da panícula (AIP), utilizando uma régua graduada, diâmetro basal do colmo (DBC), utilizando um paquímetro digital; estimou-se a produtividade de massa seca e fresca de colmos e folhas (PMS e PMF), em dez plantas, ao acaso por parcela.

O peso fresco do grão e panícula (PFGP), peso seco do grão e panícula (PSGP), peso seco dos grãos (PSG) e a produtividade dos grãos (PG), foram avaliados nas quatro linhas centrais de cada parcela, depois registradas em quilograma por hectare, a 13% de umidade.

2.7 Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade da distribuição dos resíduos e homogeneidade das variâncias, e aditividade dos blocos, por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em seguida foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F, e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste Scott Knott ($p < 0,05$).

Os cálculos foram realizados utilizando o programa Agroestat (Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos), desenvolvido pelos Prof. Dr. José Carlos Barbosa e Walter Maldonado Júnior, UNESP- FCAV, Campus de Jaboticabal.

Para determinar a constante da taxa de decomposição e o tempo de meia vida utilizou-se o modelo de regressão, com auxílio do Software Sigmaplot versão 12,5.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de massa fresca e seca das plantas de cobertura

Os resultados mostraram que a produção de massa seca (MS) foi significativamente superior no MIX 2 (9,45 t ha⁻¹) e inferior no milheto (3,88 t ha⁻¹) e MIX 3 (3,57 t ha⁻¹), quando comparado às outras coberturas (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção de massa seca (MS) das diferentes plantas de cobertura cultivadas em Campina Verde-MG no ano de 2024.

Plantas de cobertura	MS
	t ha ⁻¹
C	7,08 c
M	3,88 e
B	6,57 c
MIX 1	8,31 b
MIX 2	9,45 a
MIX 3	3,57 e
POU	5,32 d
F	155,10**
CV (%)	5,58

** = Significativo (p<0,05); Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott. C = Crotalária; M = Milheto, B = Braquiária; POU = Pousio; CV = Coeficiente de variação. Fonte: Acervo pessoal 2025.

As boas condições de precipitação ocorridas no plantio favoreceram a produção de MS, que acumulou 518 mm no período de novembro/2023 a janeiro/2024 (Figura 2), pois os valores foram elevados para todas as coberturas avaliadas, com exceção do MIX 3, condição esta que é comum ocorrer com plantas de cobertura, como constatado também em outros estudos (Torres *et al.*, 2005; Fabian, 2009; Mateus *et al.*, 2011).

Em condições naturais na época chuvosa, braquiária, milheto e crotalária têm produzido de 7 a 12 t ha⁻¹, 6 a 13 t ha⁻¹ e 4 a 9 t ha⁻¹ de MS, respectivamente, que tem proporcionado elevada ciclagem de nutrientes, quando comparado a outras plantas utilizadas na região (Assis *et al.*, 2013, Pacheco *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2014; Collier *et al.*, 2018; Mazetto Junior *et al.*, 2019), valores que não foram observados neste estudo para o milheto.

Analisando a produção de MS seca da braquiária, milho, crotalária e pousio cultivadas na primavera (período chuvoso) (setembro/outubro) nos anos agrícolas 2000/01, 2007/08, 2009/10 e 2013/14, Torres *et al.* (2024) observaram que para a braquiária ocorreu variação entre 2,0 e 10,6 t ha⁻¹, para o milho entre 3,9 e 12,2 t ha⁻¹, crotalária entre 2,1 e 10,5 t ha⁻¹ e para o pousio entre 2,1 e 7,2 t ha⁻¹, valores superiores aos encontrados quando as mesmas plantas foram cultivadas no período outono/inverno (abril/junho) (período seco), quando as coberturas foram semeadas logo após a colheita das culturas comerciais de verão, que produziram MS entre 1,4 e 5,5; 1,5; 5,2 2,0 a 3,7 e 2,2 a 3,8 t ha⁻¹.

Alguns outros estudos conduzidos no Cerrado destacam o melhor desempenho das Poáceas quando semeadas no período chuvoso (Perin *et al.*, 2004; Kliemann *et al.*, 2006). Ceballos *et al.* (2018) destacam as dificuldades em obter quantidades adequadas de resíduos vegetais das coberturas do solo, cultivadas após a colheita das culturas comerciais de verão (março/abril); destacam ainda que nem sempre é possível cultivá-las no período inverno/primavera (maio-outubro), devido à escassez (maio/julho) e a irregularidade das chuvas (agosto/outubro) que ocorrem neste período.

3.2 Decomposição dos resíduos e tempo de meia vida

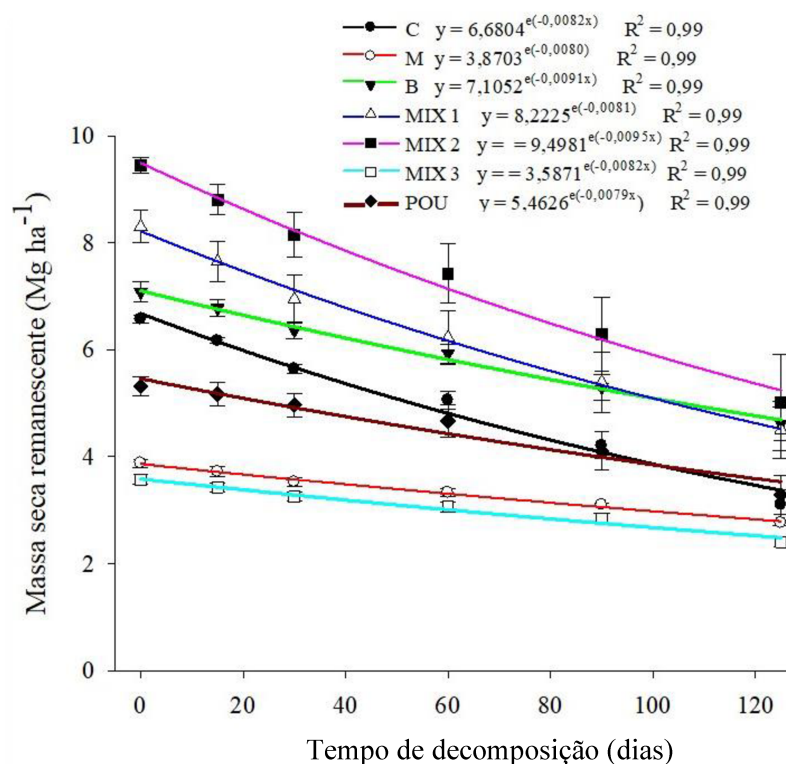
A quantificação da taxa de decomposição dos resíduos das plantas de cobertura em cultivo isolado e dos MIXes avaliados mostraram que, ao final de 125 dias, restavam apenas 7, 7, 8, 16, 22, 22 e 36% de massa seca remanescente, ou seja, 3,61; 5,68; 2,63; 7,42; 4,87; 6,91 e 4,64 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de milho, braquiária, MIX 3, MIX 1, crotalária, MIX 2 e pousio, respectivamente, nas áreas avaliadas (Figura 3).

As Poáceas (milho, braquiária) foram as plantas de cobertura que apresentaram a maior taxa de decomposição dos resíduos, o que não é comum ocorrer, pois são as plantas que geralmente tem a maior relação C/N e, com isso, seus resíduos permanecem mais tempo sobre o solo. A decomposição acelerada de Poáceas só ocorre quando esta tem desenvolvimento inicial lento, chegando no momento do manejo ainda em pleno crescimento, como ocorreu com braquiária no estudo de Silveira *et al.* (2021).

Segundo Torres *et al.* (2008) e Pacheco *et al.* (2013; 2017), a decomposição dos resíduos é diretamente influenciada pela temperatura e umidade do solo, pois a decomposição aumenta proporcionalmente ao aumento destas variáveis climáticas que ocorrem no período chuvoso e diminuem, a valores mínimos, no período seco, contudo, neste estudo não houve problemas com falta de chuva nesse período, pois foi conduzido no período chuvoso.

Em seus estudos, Assis *et al.* (2013), Mazetto Júnior *et al.* (2019) e Torres *et al.*, (2022) observaram resultados semelhantes quando utilizaram a braquiária como planta de cobertura, pois foi a planta que teve a taxa de decomposição dos resíduos mais acelerada, quando comparado à crotalária e milho, comprovando que menor relação C/N evidenciada na cultura, acelera a decomposição dos resíduos.

Figura 3 - Massa seca remanescente dos resíduos de crotalária (C), milho (M), braquiária (B), e dos consórcios MIX 1, MIX 2, MIX 3 e Pousio (POU) aos 0 (zero), 15, 30, 60, 90 e 125 dias após distribuição das sacolas no campo, em Campina Verde, MG, em 2024.



Fonte: Acervo pessoal, 2025.

Segundo Altman (2010), as plantas da família das Poáceas apresentam também alta relação C/N, com isso, seus resíduos culturais permanecem sobre a superfície do solo por mais tempo, contudo, pois são ricas em celulose e pobres em proteínas. Em contraste, os consórcios tendem produzir resíduos com relação C/N intermediária, maior equilíbrio e acúmulo de carbono no perfil do solo ao longo dos anos (Calegari, 2001).

O consórcio de Fabáceas e Poáceas busca aliar os benefícios individuais de cada espécie, podendo atenuar o problema de baixa produção e persistência de palhada, de compactação de solo e deficiência de N nos estágios iniciais de desenvolvimento da cultura sucedânea, bem

como ciclar os nutrientes com elevada mobilidade no solo (Calvo *et al.*, 2010; Mazetto Junior *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2022, 2021 e 2019).

Em estudo conduzido com as mesmas coberturas, em Uberaba, MG, Martins *et al.* (2025) observaram que ao final de 90 dias ainda restavam 51,7; 58,3; 49,6; 54,0; 54,1 e 50,3% e 48,6; 54,5; 47,0; 51,3; 52,5 e 48,5% de MS remanescente de braquiária, milheto, crotalária, MIX 1, MIX 2 e MIX 3 nas áreas no sistema de plantio direto no estágio de transição (com 9 anos) e manutenção (com 23 anos), respectivamente, resultados estes divergentes dos observados para o presente estudo.

Através da constante de decomposição (k) das curvas de regressão pode-se estimar o tempo de meia vida ($T_{1/2}$ vida) dos resíduos destas coberturas, comprovando que mais de uma planta da família das Fabáceas são inseridas no consórcio, proporcionam menor $T_{1/2}$ vida, como ocorreu no MIX 2 de 73 dias, que tem duas crotalárias em sua composição (*C. ochroleuca*; *C. breviflora*) que são significativamente menores quando comparado aos resíduos das outras plantas. Em contraste, a presença do milheto, que apresenta relação C/N superior, em cultivo isolado apresentou o $T_{1/2}$ vida dos resíduos de 87 dias, e contribuiu para aumentar também $T_{1/2}$ vida no MIX 1 (86 dias) e MIX 3 (85 dias) (Tabela 2).

Segundo Giacomini *et al.* (2003), ao consorciar plantas de famílias com relação C/N inversamente proporcionais, como ocorre em Fabáceas e Poáceas, produzirá resíduos vegetais com relação C/N intermediária, o que resulta em uma menor taxa de decomposição dos resíduos do consórcio, proporcionando cobertura de solo por maior tempo, conforme comprovado neste estudo. Torres *et al.* (2005) destacam que a qualidade e a quantidade de biomassa vegetal são parâmetros importantes a serem considerados ao produzir palha no Cerrado, pois fatores relacionados à composição química do material vegetal influem diretamente sobre o tempo de persistência dos resíduos vegetais sobre o solo.

Dentre as Poáceas utilizadas como cobertura vegetal, destacam-se o milheto (*Pennisetum glaucum* L.) e as braquiárias (*Urochloa* spp.), que têm sido as principais espécies utilizadas como cobertura de solo, pois apresentam capacidade de produção elevada de massa seca em um curto período, elevado acúmulo de nutrientes, com menor taxa de decomposição e maior tempo de meia vida dos resíduos, o que possibilita proteção do solo por período mais prolongado (Pacheco *et al.*, 2017), condição também observada neste estudo.

Tabela 2 - Massa seca remanescente (MSR), constante de decomposição (k) e tempo de meia-vida ($T^{1/2}$ vida) das diferentes coberturas do solo em área sob plantio direto de sorgo irrigado, em Campina Verde, MG, em 2024.

Coberturas	Indicadores da decomposição dos resíduos			
	MSR	k	$T^{1/2}$	R^2
	Mg ha ⁻¹	g g ⁻¹	Dias	--
C	7,08 c	0,0091	76 c	0,99*
M	3,88 e	0,0080	87 a	0,99
B	6,57 c	0,0082	85 b	0,99
MIX 1	8,31 b	0,0081	86 b	0,99
MIX 2	9,45 a	0,0095	73 d	0,99
MIX 3	3,57 e	0,0082	85 b	0,99
POU	5,32 d	0,0079	88 a	0,99
F	155,10**		219,33**	
CV (%)	5,58		0,65	

* e ** = Significativo ($p < 0,01$; $p < 0,05$); R^2 = Coeficiente de determinação. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). C = Crotalaria; M = Milheto, B = Braquiaria; POU = Pousio; Fonte: Acervo pessoal 2025.

A análise dos parâmetros agrônômicos mostrou que não houve diferenças significativas entre as coberturas utilizadas, com a altura de planta (AP) entre 0,97 e 1,06 m, a altura de inserção de panícula entre 0,74 e 0,81 m e o diâmetro basal do colmo (DBC) do sorgo granífero variando entre 16,70 e 19,95 cm (Tabela 3).

Para ter uma boa produção de sorgo alguns aspectos devem ser observados, dentre eles a AP que deve variar de 1,7 a 2,5 m em cultivares para grãos, com média geral entre 2,4 e 2,5 m (Costa *et al.*, 2016), DBC que deve variar entre 10 e 35 mm, conforme a cultivar e as condições de fertilização. Para híbridos com adubação adequada a espessura média varia entre 19 e 24 mm, NP quanto maior for o número de perfilhos tende a contribuir positivamente para a produtividade e a proporção de panícula em matéria seca varia entre 17 a 28%, conforme o porte da planta (Rabelo *et al.*, 2012).

Tabela 3 - Altura de planta (AP), Altura de inserção de panícula (AIP), Diâmetro Basal do Colmo (DBC) do sorgo granífero, em sistemas de plantio direto na palha de plantas de cobertura solteiras e consorciadas, no ano de 2024.

Coberturas	Parâmetros avaliados		
	AP	AIP	DBC
	m.....		mm
C	1,01	0,77	17,05
M	1,02	0,77	16,87
B	0,97	0,74	17,95
MIX 1	1,02	0,79	16,57
MIX 2	1,06	0,81	19,95
MIX 3	1,00	0,77	16,70
POU	1,04	0,80	17,42
F	0,97 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,80 ^{ns}
CV (%)	5,39	6,24	15,01

^{ns} = Não significativo; C = Crotalaria; M = Milheto, B = Braquiria; POU = Pousio; Fonte: Acervo pessoal 2025.

Estudos conduzidos por Nielsen (2020) e Silva *et al.* (2021) evidenciam que a manutenção de palhada no solo, proveniente tanto de plantas cultivadas quanto espontâneas, atua na ciclagem de nutrientes e na proteção da superfície, proporcionando condições mais favoráveis ao desenvolvimento reprodutivo do sorgo. Isso evidencia que o uso contínuo das plantas de cobertura pode trazer alterações futuras para esses parâmetros avaliados.

Segundo Chahal e Eard (2023), a resposta da produtividade agrícola após o uso de culturas de cobertura pode se tornar mais robusta quando as condições edafoclimáticas e os fatores agronômicos são considerados. Joshi *et al.* (2023) fizeram uma meta-análise de 61 estudos mostrando que consórcios de plantas de coberturas em regiões de precipitação baixa aumentaram estoques de carbono orgânico em 6-8% mais que monoculturas, melhorando produtividade e resiliência à seca via maior retenção de água, mostrando que a influência das plantas de cobertura nos parâmetros agronômicos do cultivo em tempo seco é maior, como ocorreu neste estudo.

4. CONCLUSÕES

A maior produção de massa seca e taxa de decomposição e o menor tempo de meia vida ocorre no consórcio 2 (MIX 2) de plantas de cobertura.

A menor taxa de decomposição dos resíduos e o maior tempo de meia vida ocorre no milho.

Os resultados permitem concluir que as coberturas não influenciam os parâmetros agronômicos, altura de planta, altura de inserção de panícula e diâmetro basal do colmo avaliados no sorgo granífero.

REFERÊNCIAS

- ALTMANN, N. **Plantio direto no Cerrado: 25 anos acreditando no sistema**. Passo Fundo, Aldeia Norte Editora, 2010, 568 p.
- ANURADHA, B. *et al.* Perspectivas do mercado de sorgo. In: FLORÊNCIO, Victor. **Blog Nutrição de Safras**. Brasil, 9 set. 2025. Disponível em: <https://nutricaoadesafras.com.br/mercado-de-sorgo-oportunidades-desafios-e-mais>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- ASSIS, R.L.*et al.* Produção de biomassa, acúmulo de nitrogênio por plantas de cobertura e efeito na produtividade do milho safrinha. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; p. 1769-1775, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e adaptação às mudanças climáticas para consolidação da economia de baixa emissão de carbono na agricultura, Brasília, 2024. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/arquivos/po-abc_final_port.pdf. Acesso em: 22 out. 2025.
- CALEGARI, A. Sistemas de rotação de culturas e seus efeitos ambientais e econômicos no Centro Sul do Cerrado. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, Brasília, 2001. **Anais Eletrônicos [...]** Brasília: UFMS/Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/244403>. Aceso em: 22 out. 2025.
- CALVO, C.L.; FOLONI, J.S.; BRANCALIAO, S.R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v.69, p.77-86, 2010.
- CEBALLOS, G. A. *et al.* Production and speed of decomposition of species of soil coverage in direct sowing system. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1-6, 2018.
- CHAHAL, I; EERD, L.L.V. Do Cover Crops Increase Subsequent Crop Yield in Temperate Climates? A Meta-Analysis. **Sustainability**, Canadá, v.15, n. 6517, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15086517>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/8/6517>. Acesso em: 22 out. 2025.
- COLLIER, L. S. *et al.* Soil chemical attributes and corn productivity grow non legume stubble in agroforestry systems. **Revista Caatinga**, v.31, n.2, p.279-289, 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). 9º levantamento da safra de grãos 2024/2025. Brasília, DF, 2025. **Conab**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de Grãos. Brasília, DF, 2020. **Conab**. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- COSTA, Renê Ferreira *et al.* Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. **Acta Scientiarum**. Animal Sciences, v. 38, n. 2, p. 127-133, 2016.
- FABIAN, A. J. Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação. 2009. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal-SP.

- FIDELIS, R.R.; *et al.* Desempenho produtivo e nutricional de sorgo forrageiro consorciado com soja em doses de nitrogênio. **Comunicata Scientiae**, v.7, p.204-208, 2016.
- GALICIA-JUÁREZ, M. *et al.* Identificação de genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) com potencial de tolerância ao estresse hídrico e térmico no nordeste do México. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2265, 2021.
- GIACOMINI, S. J. *et al.* Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.9, p.1097- 1104, 2003.
- GOMES, D. S. *et al.* Weed suppression by sunn hemp and sorghum cover crop. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, p.206-213, 2014.
- Instituto Nacional de Meteorologia. Tabela de Dados das Estações (INMET). **Brasília**, DF. 2025. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001> , acessado em: 28 abr. 2025.
- JOSHI, D. R. *et al.* Uma meta-análise global da resposta da cultura de cobertura ao armazenamento de carbono no solo em um sistema de produção de milho. **Revista de Agronomia**, v. 115, n. 4, p. 1543-1556, 2023. DOI: 10.1002/agj2.21340. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/agj2.21340>. Acesso em: 24 out. 2025.
- KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.
- MARTINS, J. V. S. *et. al.* Physicochemical soil quality in areas under different management systems in the Cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 12, n. 2, e9284, 2025. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v12i2.9284>. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/9284>. . Acesso em: 24 out. 2025.
- MATEUS, G. P.; *et al.* Adubação nitrogenada de sorgo granífero consorciado com capim em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1161–1169, out. 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/vwrRzjfs7VbYqN9ZyMN3THC/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 24 out. 2025.
- MAZETTO JÚNIOR J. C. *et al.* Production and decomposition of cover crop residues and associations with soil organic fractions. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 11, n. 5, p. 58-69, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p58>. Disponível em: <https://ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/39079>. Acesso em: 05 fev. 2024.
- NETO, A. H. *et al.* Consórcio de sorgo granífero e braquiária na safrinha para produção de grãos e forragem. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 132-141, 2014.
- NIELSEN, D. C. Grain Sorghum Response to Cover Crops under No-Till. 2020. **doctoral thesis** - Kansas State University, Manhattan. Disponível em: <https://krex.k-state.edu/server/api/core/bitstreams/ba45347d-365d-4271-a815-a6bfcd89a68a/content>. Acesso em: 22 out. 2025.
- PACHECO, L. P. *et al.* Biomassa yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, p.582-591, 2017a.
- PACHECO, L. P. *et al.* Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 48, 1228-1236, 2013.

- PASCOALOTO, I. M. *et al.* Economic analysis of sorghum consortia with forages or with dwarf pigeon pea succeeded by soybean or corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 10, p. 833-840, 2017.
- PERIN, A. *et al.* Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 35-40, 2004.
- PIRES, F. R. *et al.* Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, v. 55, n. 2, 2015.
- RABELO, F. H. S. *et al.* Parâmetros agronômicos do sorgo em razão de estratégias de semeadura e adubação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 47- 66, 2012.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG), 1999. 359 p.
- SANTOS, H. G. *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos - **Livro técnico** (INFOTECA-E). Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SANTOS, P. F.; WHILFORD, W. G. The effects of microarthropods on litter decomposition in a chihuazhuan ecosystem. **Ecological Society of America**, v.62, n.3, p.654-669, 1981.
- SILVA, J. C. R. **Atributos físicos do solo e macrofauna edáfica em sistema agroflorestal e mata**. Campinas, SP: Unicamp, 2021.
- SILVA, K. C. *et al.* Produtividade de sorgo consorciado com crotalária em plantio direto no Cerrado. **Revista Cientific@**, Goianésia, GO, v.4, n.1, 2017.
- SILVA, M. A. *et al.* Plantas de cobertura isoladas e em MIX para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 10, n.12, 2021.
- SILVA, M. S. *et al.* E. Acúmulo de nutrientes e massa seca produzida por crotalaria juncea cultivada no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 1, p. 26-36, 2017.
- SILVA, M. A. *et al.* Isolated and MIXed cover crops to improve soil quality and commercial crops in the Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20008>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1136914/1/rsd-2021.pdf>. Acesso em: 22 out. 2025.
- SILVA, P. R. F. *et al.* Rotação e sucessão de culturas. In: EICHOLZ, E. D. *et al.* Informações técnicas para o cultivo de milho e sorgo na região subtropical do Brasil: safras 2023/24 e 2024/25, **Misosul**, Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2024. p.106 – 121, 201.
- SILVEIRA, B.S. *et al.* Cover crops in the production of green and sweet corn. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, V.39, n. 1, jan - mar. 2021 . DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-0536-20210114>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/C5Yyc5VFqWLmx5WWJJffMJw/?format=html&lang=en>. Acesso em: 24 out. 2025.
- TORRES, J. L. R. *et al.* Cultivo de feijão e milho em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 117-125, 2014.

- TORRES, J. L. R. *et al.* Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, n. 29, p. 609-618, 2005.
- TORRES, J. L. R. *et al.* Lettuce crop fertilized with organomineral source of phosphorus and micronutrients. **Horticultura Brasileira**, v. 40, p.393-402, 2022.
- TORRES, J. L. R. *et al.* Produção de fitomassa e decomposição de resíduos culturais de plantas de coberturas no cultivo da soja em sucessão. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 27, n. 3, p. 247 – 253, jul. – set, 2014.
- TORRES, J. L. R. *et al.* Produção de milho e soja cultivados em sucessão e rotação com diferentes coberturas no cerrado. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.18, n.2, p.1-15, e04458,2024.
- TORRES, J. L. R. *et al.* Soil physical attributes and organic matter accumulation under no-tillage systems in the Cerrado. **Soil Research**, Uberaba, MG, v. 57, n. 7 p. 712–718, 13 ago. 2019. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/335143536_Soil_physical_attributes_and_organic_matter_accumulation_under_no-tillage_systems_in_the_Cerrado. Acesso em: 24 set. 2025.
- TORRES, J. L. R. *et al.* Nutrient cycling of different plant residues and fertilizer doses in broccoli cultivation. **Horticultura Brasileira**, v.38, p.11-10, 2021.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p.1609-1618, 2008.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 03, p. 421-428, 2008.
- WEATHER SPARK (BR). Clima característico em Campina Verde, Minas Gerais, Brasil, durante o ano. Brasil, 2025. **Weather spark**. Disponível em:
<https://pt.weatherspark.com/y/29958/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Campina-Verde-Minas-Gerais-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 24 set. 2025.