



CURSO DE BACHAREL EM AGRONOMIA

CICLAGEM DE NUTRIENTES NA BIOMASSA DO MILHO, CULTIVARES DE *Panicum maximum* E FEIJÃO GUANDU EM MONOCULTIVO E CONSORCIADO

João Pedro Moraes Leão

Rio Verde – GO

Novembro, 2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
BACHAREL EM AGRONOMIA**

**CICLAGEM DE NUTRIENTES NA BIOMASSA DO MILHO,
CULTIVARES DE *Panicum maximum* E FEIJÃO GUANDU EM
MONOCULTIVO E CONSORCIADO**

Trabalho de Curso Apresentado ao
Instituto Federal Goiano – Campus Rio
Verde, como requisito parcial para a
obtenção do Grau de Bacharel em
Agronomia.

Orientadora Profa. Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa

Rio Verde – GO
Novembro, 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

L437c Leão, João Pedro Moraes
 Ciclagem de nutrientes na biomassa do milho,
 cultivares de *Panicum maximum* e feijão guandu em
 monocultivo e consorciado / João Pedro Moraes Leão;
 orientadora Kátia Aparecida de Pinho Costa. -- Rio
 Verde, 2024.
 30 f.

 TCC (Bacharelado em Agronomia) -- Instituto
 Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

 1. *Cajanus cajan* cv. 2. BRS Mandarin. 3. Forrageiras
 tropicais. 4. sistemas integrados. 5. Sustentabilidade.
 I. Costa, Kátia Aparecida de Pinho, orient. II.
 Título.

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

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

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

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

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

João Pedro Moraes Leão

Título do trabalho:

Matrícula:

2021102200240261

Ciclagem de nutrientes na biomassa do milho, cultivares de *Paricari maximum* e feijão grande em monocultivo e consorciado

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIF Goiano: 10/07/2025

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

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

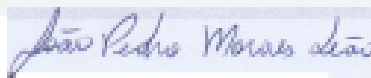
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

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

Rio Verde - GO
Local

08/02/2024
Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Documento assinado digitalmente
 **gov.br**
SISTEMA PÚBLICO DE FIANÇA COCITA
Data: 08/02/2024 12:55:40 -0500
Verifique em: <https://verifica.ri.gov.br>

Ciente e de acordo:

Assinatura do orientador



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

Ata nº 100/2024 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 22 de dezembro de 2024, às 10:30 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pela Profa. Kátia Aparecida de Pinho Costa (orientadora), Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano (IF Goiano - Campus Rio Verde); Pesquisadora Luciana Maria da Silva (IF Goiano - Campus Rio Verde) e Mestrando Bruno de Souza Marques, para examinar o Trabalho de Curso intitulado "Ciclagem de nutrientes na biomassa do milho, cultivares de *Panicum maximum* e feijão guandu em monocultivo e consorciado" do estudante João Pedro Moraes Leão, Matrícula nº 2021102200240261 do Curso de Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Kátia Aparecida de Pinho Costa
Orientadora

(Assinado Eletronicamente)

Eduardo da Costa Severiano
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Luciana Maria da Silva
Membro

(Assinado Eletronicamente)

Bruno de Souza Marques

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- Katia Aparecida de Pinho Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/12/2024 13:08:01.
- Eduardo da Costa Severiano, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/12/2024 13:09:01.
- Luciana Maria da Silva, 2024202343660001 - Discente, em 04/12/2024 13:10:56.
- Bruno de Souza Marques, 2023102310240004 - Discente, em 04/12/2024 13:16:36.
- Pablo da Costa Gontijo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 05/12/2024 17:38:11.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/12/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 658119

Código de Autenticação: fb87b26b95



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar comigo em todos os instantes, por ser o motivo de minha existência.

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais Silvio Aloísio e Nubia.

Agradeço a professora Dr^a. Kátia Aparecida de Pinho Costa, pela orientação concedida.

Agradeço aos professores que compartilharam comigo seus conhecimentos.

Agradeço aos meus amigos que me apoiaram e ajudaram durante o curso.

A equipe do Laboratório de Forragicultura e Pastagens pela ajuda na condução da pesquisa, principalmente a Luciana Maria, João Antônio, João Victor e Danilo, gratidão!

LISTA DE ABREVIACÕES E SBOLOS

C	Carbono
Ca	Calcio
g	Gramas
ha	Hectare
ILP	Integração lavoura-pecuria
K	Potássio
K ₂ O	xido de potássio
KCL	Cloreto de Potássio
kg	Quilograma
L	Litros
m	Metros
mm	Milímetros
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Fosfato
S	Enxofre
SFS	Superfosfato simples
%	Porcentagem
t _{1/2}	Tempo de meia vida da palhada
C	Graus Celsius

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Área experimental durante a condução do experimento em Rio Verde, Goiás ...	13
Figura 2. Precipitações pluviais e temperaturas mensais registradas durante o período de janeiro de 2021 a março de 2023, em Rio Verde – GO	14
Figura 3. Acúmulo de N do primeiro ano (a) e segundo ano (b) e P do primeiro ano (c) e segundo ano (d) na biomassa dos sistemas de cultivo do milho e cultivares de <i>Panicum maximum</i> em monocultivo e consorciados, durante o desenvolvimento da soja (de 0 a 120 dias)	17
Figura 4. Acúmulo de K do primeiro ano (a) e segundo ano (b) e S do primeiro ano (a) e segundo ano (b) na biomassa dos sistemas de cultivo do milho e cultivares de <i>Panicum maximum</i> em monocultivo e consorciados, durante o desenvolvimento da soja (de 0 a 120 dias)	18
Figura 5. Acúmulo de Ca do primeiro ano (a) e segundo ano (b) e Mg do primeiro ano (c) e segundo ano (d) na biomassa dos sistemas de cultivo do milho e cultivares de <i>Panicum maximum</i> em monocultivo e consorciados, durante o desenvolvimento da soja (de 0 a 120 dias)	19
Figura 6. Equivalentes em P_2O_5 e K_2O na biomassa de diferentes sistemas de cultivo em dois anos.....	21

LISTA DE TABELAS

Páginas

Tabela 1. Equivalentes em N, ureia, P_2O_5 , superfosfato simples (SFS), K_2O e cloreto de potássio (KCl) na biomassa de diferentes sistemas de cultivo	20
---	----

SUMÁRIO

Páginas

1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAIS E MÉTODOS	13
2.1 Descrição da área	13
2.2 Delineamento estatístico e tratamentos	15
2.3 Produção, decomposição da biomassa e acúmulo de nutrientes	15
2.4 Análise estatística	16
3. RESULTADOS	16
4. DISCUSSÃO.....	21
5. CONCLUSÃO	24
6. REFERÊNCIAS	24

Leão, João Pedro Moraes. **Ciclagem de nutrientes na biomassa do milho, cultivares de *Panicum maximum* e feijão guandu em monocultivo e consorciado.** Monografia (Curso Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2024. 34p

RESUMO: A diversidade de plantas nos sistemas integrados podem contribuir para a maior proteção do solo, maior ciclagem de nutrientes e maior retorno de equivalentes de fertilizantes ao solo. Portanto, a escolha das forrageiras torna-se essencial para o sucesso dos sistemas integrados. Sendo assim, objetivou-se avaliar a ciclagem de nutrientes da biomassa de milho, cultivares de *Panicum maximum* e feijão guandu, em monocultivo e em consórcio. O delineamento experimental utilizado, foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos da biomassa: milho; capim-tamani; capim-quênia; capim-zuri; feijão guandu em monocultivo; milho consorciado com capim-tamani + feijão guandu; milho consorciado com capim-quênia + feijão guandu e milho consorciado com capim-zuri + feijão guandu. Os resultados mostraram que a biomassa do consórcio triplo com capim zuri apresentou maior acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e retorno de equivalentes de fertilizantes. No entanto, todos os cultivares de *Panicum maximum* podem ser recomendados para os sistemas integrados, pois proporcionaram maior ciclagem de nutrientes, quando comparado a biomassa do milho em monocultivo. Sistemas integrados, que combinam o cultivo de gramíneas e leguminosas são uma estratégia inovadora e eficiente para os sistemas de produção agrícola, em comparação ao sistema de cultivo do milho em monocultivo, com maior ciclagem de nutrientes assegurando maior sustentabilidade agrícola.

Palavras-chave: *Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin; forrageiras tropicais; sistemas integrados; sustentabilidade.

Leão, João Pedro Moraes. **Nutrient cycling of maize biomass, cultivars of *Panicum maximum*, and pigeon pea in monoculture or triple intercropping.** Monograph (Bachelor's Degree in Agronomy). Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano - Rio Verde Campus, Rio Verde, GO, 2024. 34p

ABSTRACT: The diversity of plants in integrated systems can contribute to greater soil protection, enhanced nutrient cycling, and increased return of fertilizer equivalents to the soil. Therefore, the choice of forage plants becomes essential for the success of integrated systems. Thus, the objective was to evaluate the nutrient cycling of the biomass of maize, cultivars of *Panicum maximum*, and pigeon pea, in both monoculture and triple intercropping. The experimental design used was randomized blocks, with three replications. The treatments consisted of the biomass: maize; Tamani guinea grass; Quênia guinea grass; Zuri guinea grass; Pigeon pea in monoculture; maize intercropped with Tamani guinea grass + Pigeon pea; maize intercropped with Quênia guinea grass + Pigeon pea; maize intercropped with Zuri guinea grass + Pigeon pea. The results show that the biomass of the triple consortium with Zuri guinea grass had the highest accumulation of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), and sulfur (S) and return of fertilizer equivalents. However, all cultivars of *Panicum maximum* can be recommended for integrated systems, as they provided greater nutrient cycling compared to maize biomass in monoculture. Integrated systems that combine the cultivation of grasses and legumes are an innovative and efficient strategy for agricultural production systems, compared to the monoculture of maize, with enhanced nutrient cycling ensuring greater agricultural sustainability.

Keywords: *Cajanus cajan* cv. BRS Mandarim; tropical forages; integrated systems; sustainability

1. INTRODUÇÃO

A segurança alimentar e ambiental, atualmente são foco principal das discussões frente aos desafios das alterações climáticas (Delandmeter et al., 2024). Satisfazer as exigências alimentares de uma população mundial crescente, ao mesmo tempo que se busca garantir a sustentabilidade ambiental, através da exploração de sistemas agrícolas resilientes e sustentáveis, estão entre as questões prementes para o futuro da sociedade mundial (Reis et al., 2021).

A utilização de práticas que promovam o sinergismo entre os componentes do solo e planta-animal-atmosfera, como os sistemas integrados, devem ser vistos como oportunidade de aumentar a sustentabilidade e a resiliência dos sistemas agrícolas especializados, diante das alterações climáticas (Dardonville et al., 2023). O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), o plantio direto e a rotação de culturas estão entre as práticas para mitigação dos riscos de mercado e climáticos, através de serviços ecossistêmicos como a diversificação da produção (Meunier et al., 2024), eficiência do uso da terra (Farias et al., 2020), redução das emissões de gases do efeito estufa (Christenson et al., 2021) e aumento da saúde do solo (Camargo et al., 2024). Além de reduzir a dependência de insumos externos, principalmente fertilizantes e, ao mesmo tempo, mantendo elevados rendimentos agrícolas (Tamburini et al., 2020).

Os sistemas integrados mantem as atividades agropecuárias de forma integrada em consórcio, sucessão ou rotação, na mesma área, seja no espaço físico ou cronológico, gerando efeitos sinérgicos (Oliveira et al., 2021). Sendo considerado eficiente na recuperação de pastagens (Santos et al., 2020a), melhoria dos atributos físicos (Lima et al., 2023), químicos (Augusto et al., 2024) e biológicos do solo (Serafim et al., 2023). Além da produção de biomassa para o sistema de plantio direto da soja e ciclagem de nutrientes (Silva et al., 2023; Silva et al., 2024a), contribuindo para a diversificação da renda rural (Santos et al., 2020b).

Estudos recentes, também têm demonstrado o potencial desses sistemas de influenciar positivamente nos parâmetros fisiológicos das plantas cultivadas em sucessão. Silva et al. (2024) observaram que a cobertura do solo em sistema integrado, disponibiliza mais nutrientes para a soja cultivada, influenciando na síntese de clorofila e consequente aumento das taxas fotossintéticas. A cobertura do solo, também, mantém umidade no solo por mais tempo em sistemas integrados, e eventualmente favorece maior condutância estomática, aumento no fluxo de transpiração e transporte de nutrientes (Buckley, 2019). Avaliando o consórcio de milho com leguminosas, Nasar et al. (2020) verificaram aumento nos índices fisiológicos do milho como: área foliar, clorofila e atividade fotossintética, que foram refletidos na melhoria dos seus atributos produtivos, em comparação ao monocultivo.

Dentre as forrageiras, as do gênero *Panicum maximum* têm apresentado resultados positivos em sistemas integrados (Muniz et al., 2021; Leal et al., 2023; Silva et al., 2023). Promovendo recuperação de pastagens (Schuster et al., 2019), com bom desempenho animal (Dias et al., 2021), conservação do solo e da água (Lima et al., 2023), adequada cobertura do solo para o sistema de plantio direto da soja (Dias et al., 2020), além de melhorias na saúde do solo (Serafim et al., 2023) e parâmetros fisiológicos das culturas (Nasar et al., 2020; Silva et al., 2024b).

A inclusão de leguminosas nos sistemas integrados, também tem apresentado resultados positivos nos últimos anos (Pereira et al., 2023). Fonte de proteína para a alimentação humana e animal (Locali-Pereira et al., 2023), as leguminosas, como o feijão guandu, são boa alternativa para cultivos consorciados, pois facilitam a fixação biológica do nitrogênio (FBN), através da relação simbiótica com bactérias do solo (rizóbios), aumentando os estoques de nitrogênio (N) e melhorando a estabilização do carbono orgânico total, devido ao acoplamento dos ciclos do carbono (C) e nitrogênio (N) (Silva et al., 2022; Salinas-Roco et al., 2024). Além disso, reduz a dependência e as perdas de fertilizantes sintéticos de nitrogênio, pois o N orgânico presente nos resíduos de leguminosas é liberado lentamente, podendo sincronizar com as fases de maior demanda de nutrientes pelas plantas cultivadas em sucessão (Laroca et al., 2018; Jensen et al., 2020), contribuindo para o aumento do rendimento das culturas, principalmente os cereais (Mesfin et al., 2023), ao mesmo tempo que melhoram a saúde do solo e reduzem a emissão de gases do efeito estufa (Yang et al., 2024).

Vale ressaltar que sistemas integrados, que utilizam o consórcio duplo (por exemplo, milho com plantas forrageiras tropicais), são consolidados na literatura, respaldados por diversos resultados de pesquisa tais como: produção de biomassa para o sistema de plantio direto e ciclagem de nutrientes (Dias et al., 2020; Muniz et al., 2021), melhoria da saúde do solo (Laroca et al., 2018) e dos parâmetros fisiológicos das culturas cultivadas em sucessão (Silva et al., 2024b). Além da influência na produtividade da soja, em relação ao sistema de cultivo convencional, sem cobertura de solo (Silva et al., 2023; Mesfin et al., 2023). Entretanto, ainda há uma lacuna significativa de conhecimento em relação ao consórcio triplo (cultivos anuais + gramíneas + leguminosas) e os serviços ecossistêmicos prestados. Desta forma, compreender as inter-relações do consórcio do milho com cultivares de *Panicum maximum* e feijão guandu é de suma importância para compreender a dinâmica do consórcio triplo e suas vantagens para o sistema de plantio direto, através da de nutrientes e retorno de equivalentes de fertilizantes. Sendo assim, objetivou-se avaliar a ciclagem de nutrientes da biomassa de milho, cultivares de *Panicum maximum* e feijão guandu, em monocultivo e em consórcio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição da área

O experimento de campo foi realizado de janeiro de 2021 a março de 2023, contemplando quatro safras agrícolas em Rio Verde, Estado de Goiás (17° 48' 53" S e 50 ° 54' 02" W, com altitude de 748m) (Figura 1). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Acriférico típico (Santos et al., 2018), com 562; 94 e 344 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

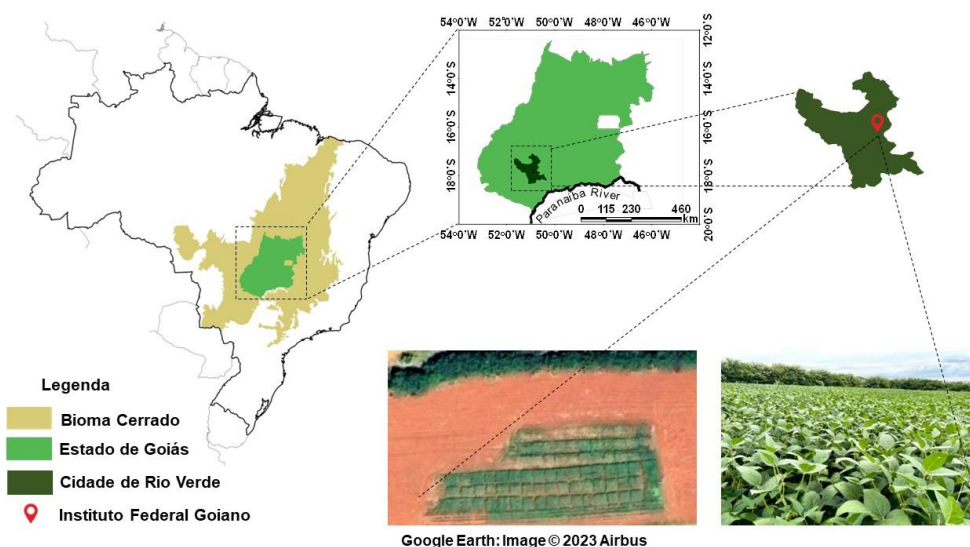


Figura 1. Área experimental durante a condução do experimento em Rio Verde, Goiás.

Durante a condução do experimento foram monitorados os dados de precipitação, temperatura máxima, média e mínima mensal (Figura 2). Sendo observado, no primeiro ano do experimento (período de janeiro de 2021 até março de 2022), média de temperatura de 24,3°C e precipitação de 2410 mm, com distribuição regular das chuvas. Já no segundo ano de condução da pesquisa (período de março de 2022 até março de 2023) foi observado média de temperatura de 24°C e precipitação de 1723 mm (Figura 1).

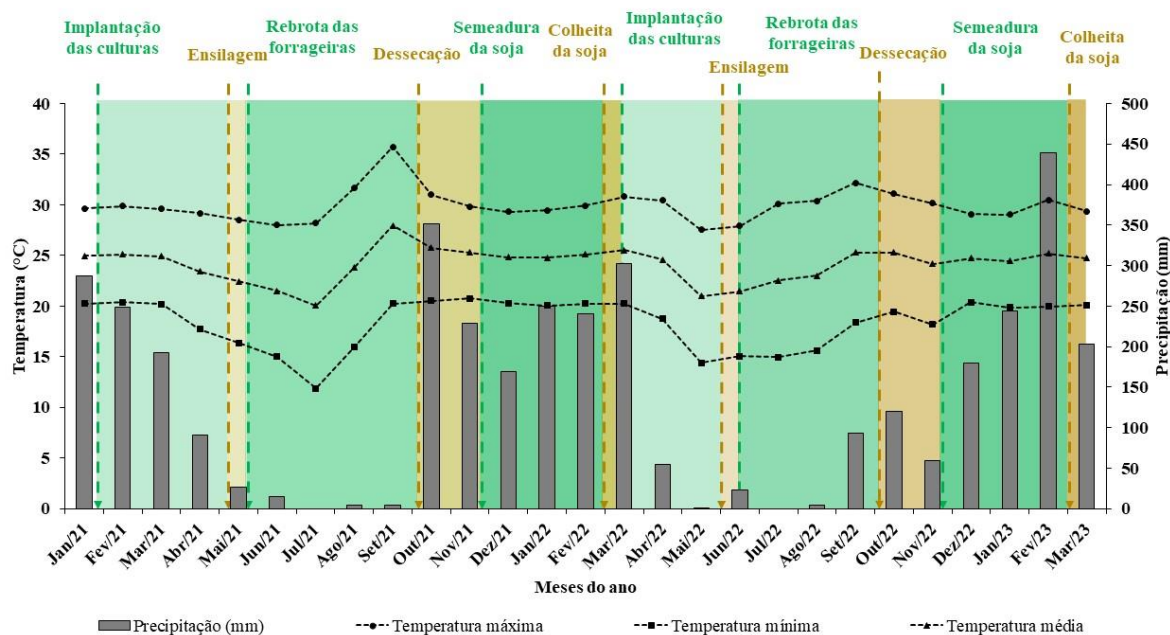


Figura 2. Precipitações pluviais e temperaturas mensais registradas durante o período de janeiro de 2021 a março de 2023, em Rio Verde-GO.

A primeira etapa da pesquisa (primeiro ano) foi implantada em 28 de janeiro de 2021 e o segundo ano em 3 de março de 2022, com a sementeira do milho, cultivares de *Panicum maximum* (BRS Tamani, BRS Quênia e BRS Zuri) e feijão guandu (*Cajanus cajan* cv. BRS Mandarin) em monocultivo e consorciados para a produção de silagem em sistemas integrados. O híbrido de milho utilizado foi o P4285 (híbrido convencional com elevada estabilidade e sanidade foliar, adequado para a produção de silagem).

Para os monocultivos, as culturas foram semeadas a 0,90 m entre linhas. No consórcio, o milho foi semeado a 0,90 m entre linhas, sendo as forrageiras dos cultivares de *Panicum* e o feijão guandu semeadas na entrelinha a 0,30 m da linha do milho, a 2 cm de profundidade. O milho em todos os tratamentos foi semeado a 3 cm de profundidade. Todos os tratamentos foram semeados em cinco linhas de 4 m de comprimento com área total de 21,6 m². Não foi aplicado nenhum herbicida para suprimir o crescimento das forrageiras e leguminosa em consórcio.

A colheita do milho e das forrageiras para a produção de silagem no primeiro ano do experimento foi realizada no dia 10 de maio de 2021 e no segundo ano no dia 03 de junho de 2022. Posteriormente houve rebrota dos cultivares do gênero *Panicum* e o feijão guandu onde foram conduzidas no período de entressafra (entre os meses de junho a agosto), com cortes sucessivos, simulando pastejo. Em agosto de 2021 e 2022 foi realizado o último corte das

forrageiras, que ficaram em descanso para rebrota. Posteriormente, em outubro foi realizado dessecação, visando a formação de biomassa de cobertura do solo para a semeadura direta da soja.

2.1. Delineamento estatístico e tratamentos

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos da biomassa: milho; capim-tamani; capim-quênia; capim-zuri; feijão guandu em monocultivo; milho consorciado com capim-tamani + feijão guandu; milho consorciado com capim-quênia + feijão guandu e milho consorciado com capim-zuri + feijão guandu. As avaliações foram realizadas durante período de dois anos nas mesmas parcelas.

2.2. Decomposição da biomassa e acúmulo de nutrientes

A dessecação das plantas forrageiras foi realizada em outubro de 2021 e outubro de 2022 com aplicação de Glifosato na dose de 3 L ha⁻¹ (480 g L⁻¹ de ingrediente ativo). Um dia antes da semeadura da soja, foram coletadas oito amostras de biomassa da cobertura morta de todos os sistemas de cultivo, através de um quadrado de 0,50 x 0,50 m (0,25 m²) distribuído aleatoriamente dentro de cada parcela. O material, cortado rente ao solo, foi pesado e as amostras colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 55°C até massa constante.

A decomposição da biomassa foi avaliada em sacolas confeccionadas em nylon (*Litter bags*) com malha de 2 mm de abertura e dimensões de 25 x 30 cm (Thomas e Asakawa, 1993). Quatro bolsas contendo resíduos das culturas foram depositados em contato direto com o solo. Aos 30, 60, 90 e 120 dias após a colocação das sacolas no solo, retirou-se um “*Litter bag*” de cada parcela, a fim de avaliar o remanescente da biomassa e determinar a decomposição da biomassa durante o período de 120 dias (ciclo de desenvolvimento da soja). Posteriormente, a cada avaliação, o material foi enviado para laboratório para retirada de solo aderido com água corrente até retirar todo resíduo, e seco em estufa a 55°C até peso constante para obtenção da biomassa seca. Com base nos dados de produção inicial de biomassa (kg ha⁻¹) dos sistemas, foram calculadas as decomposições percentuais, pela razão entre a massa dos *litter bags* em kg ha⁻¹ e a produção inicial de biomassa (Dias et al., 2020).

Foram determinados nas amostras de biomassa a concentração de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (Malavolta et al., 1997). Para avaliação do acúmulo de nutrientes na biomassa, as concentrações de macronutrientes foram multiplicadas pela produção de biomassa, expressando os resultados para kg ha⁻¹. Os equivalentes em fertilizantes N, P₂O₅ e K₂O na biomassa de cobertura do solo

dos sistemas de cultivo, foram determinados consideradas a massa atômica dos elementos, conforme convenções da química analítica e as concentrações de N, P e K dos resíduos analisados (Dias et al., 2020).

2.3. Análise estatística

Para descrever o acúmulo de nutrientes, os dados foram ajustados com erro padrão a um modelo matemático exponencial ($y = aekx$) e linear para a relação C:N ($y = a + bx$), usando o software SigmaPlot. As comparações entre as equações estimadas foram realizadas de acordo com o procedimento descrito por Snedecor e Cochran (1989), que testa a homogeneidade dos dados (F) e a significância dos coeficientes angulares da reta ($0,4343k$) e linear ($\log a$) das equações linearizadas ($\log y = \log a + 0,4343kx$). Para calcular a meia-vida ($t_{1/2}$), ou seja, o tempo necessário para decompôr 50% da biomassa remanescente, foi utilizada a equação proposta por Paul e Clark (1989) na qual, $t_{1/2} = 0,693/k$, onde $t_{1/2}$ é a meia-vida da biomassa seca e k é a constante de decomposição da biomassa seca.

Os resultados de equivalente de fertilizante foram submetidos à análise de variância utilizando o programa R versão R-3.1.1 (2014), utilizando o pacote ExpDes (Ferreira et al., 2014). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo modelo de parcela subdividida no tempo para as avaliações dos anos.

3. RESULTADOS

3.1 Acúmulo de nutrientes

Houve redução exponencial até os 120 dias, para o acúmulo de nutrientes na biomassa dos diferentes sistemas de cultivo à medida que ocorreu a decomposição da biomassa, para todos os nutrientes, nos dois anos (Figuras 3, 4 e 5). A biomassa do consórcio triplo com o capim-zuri apresentou maior acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Já o milho em monocultivo apresentou o menor potencial de acumular todos os nutrientes na biomassa.

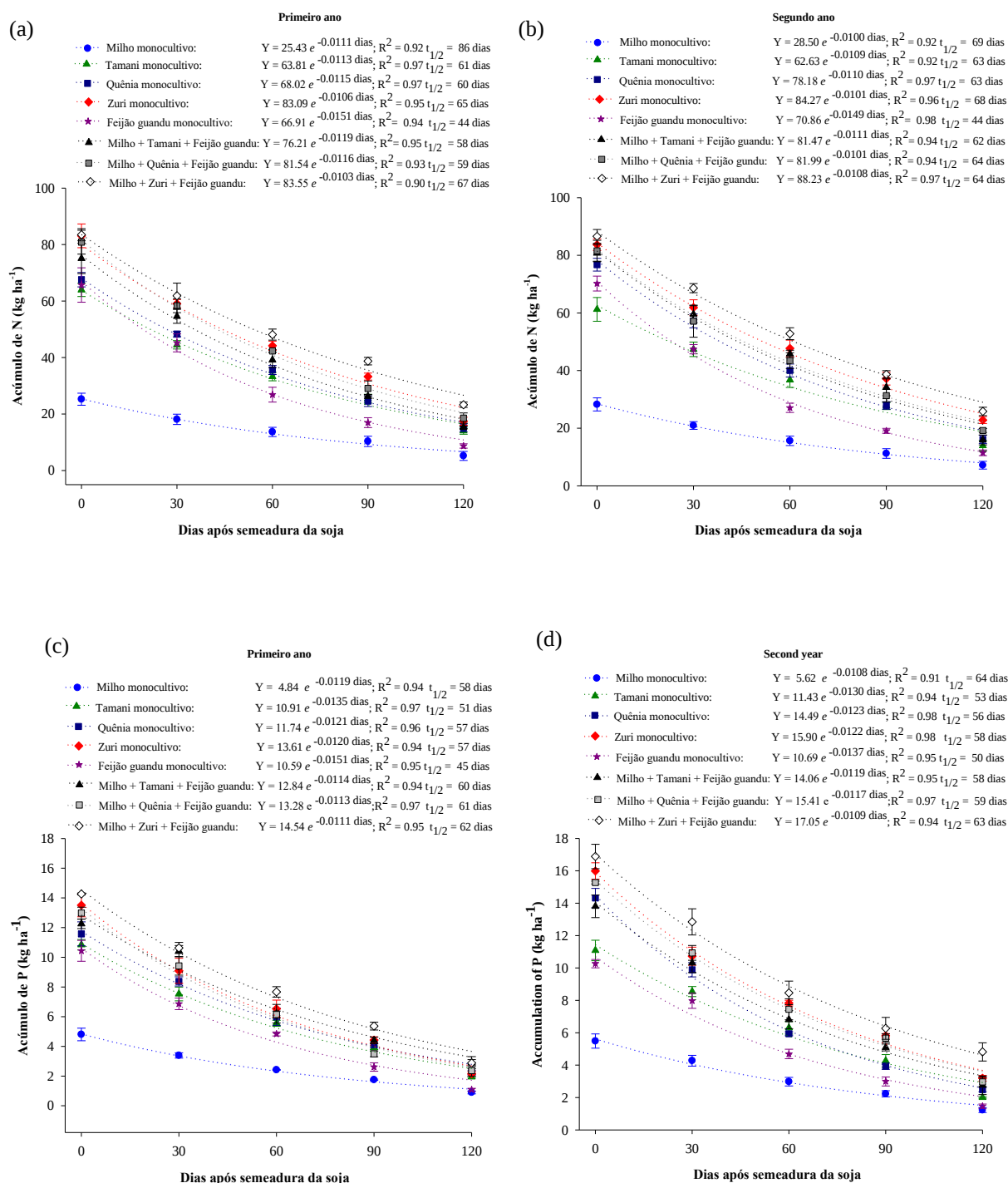


Figura 3. Acúmulo de N do primeiro ano (a) e segundo ano (b) e P do primeiro ano (c) e segundo ano (d) na biomassa dos sistemas de cultivo do milho e cultivares de *Panicum maximum* em monocultivo e consorciado, durante o desenvolvimento da soja (de 0 a 120 dias).

Quando se compara os anos, houve incremento no acúmulo de nutrientes do segundo ano em relação ao primeiro, na média dos sistemas das forrageiras em monocultivo e consorciado, no tempo zero, de 4,47; 11,63; 7,63; 6,05; 8,51 e 7,99% para o N, P, K, S, Ca e Mg, respectivamente. Para o milho em monocultivo o incremento do acúmulo foi de 10,77%

para N, 13,87% para P, 18,09% para K, 13,01% para S, 26,4% para Ca, 14,13% para Mg.

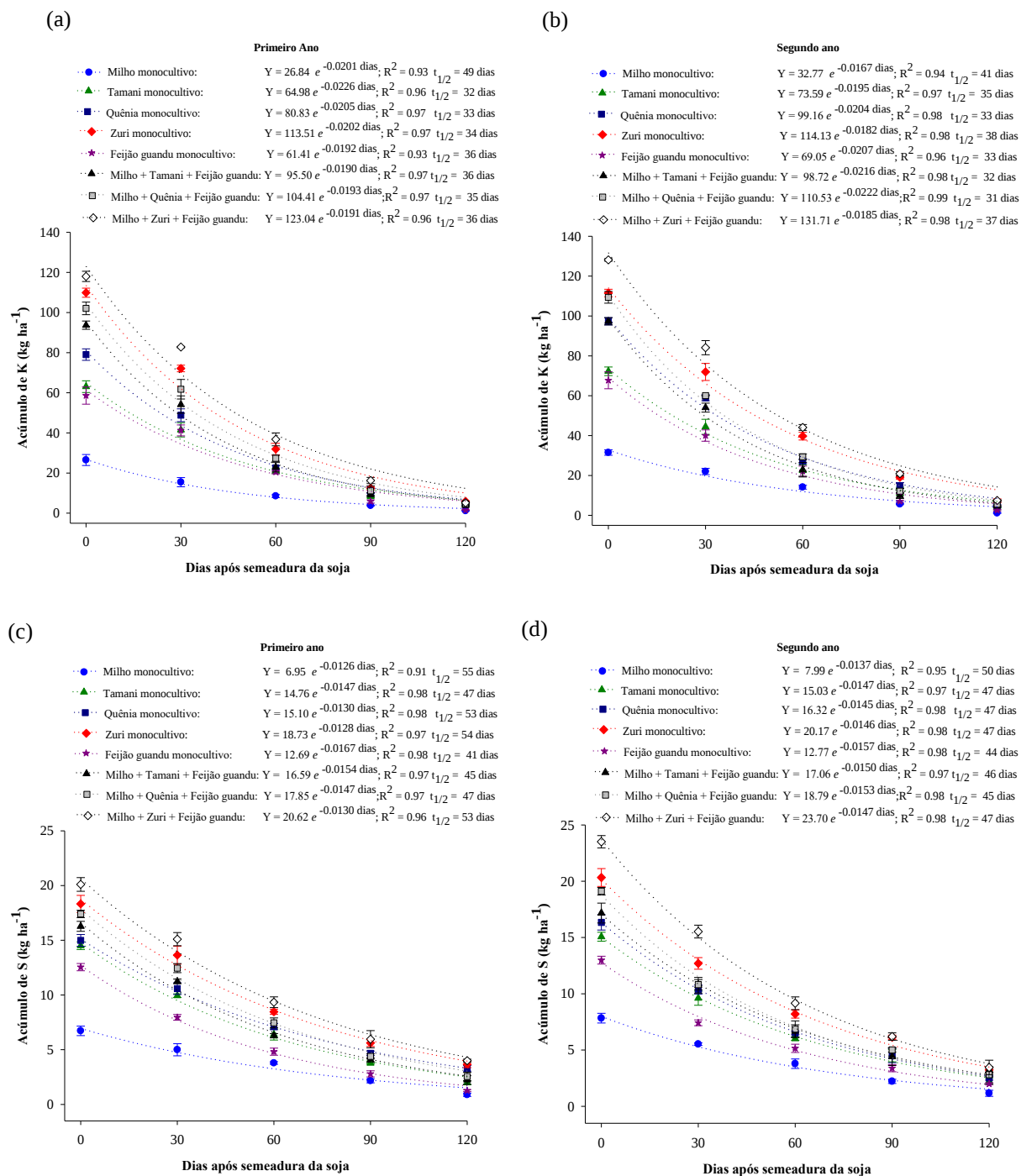


Figura 4. Acúmulo de K do primeiro ano (a) e segundo ano (b) e S do primeiro ano (a) e segundo ano (b) na biomassa dos sistemas de cultivo do milho e cultivares de *Panicum maximum* em monocultivo e consorciados, durante o desenvolvimento da soja (de 0 a 120 dias).

Em relação ao tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), o feijão guandu em monocultivo apresentou o menor tempo para todos os nutrientes, nos dois anos, revelando rápida decomposição dessa leguminosa e liberação de nutrientes. As biomassas de milho e do capim-zuri em monocultivo

e consorciado apresentaram os maiores $t_{1/2}$, evidenciando maior imobilização dos nutrientes no solo.

De todos os nutrientes o K apresentou menor tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), com valor médio em todas as biomassas dos sistemas de cultivo de 36 e 35 dias, para o primeiro e segundo ano, respectivamente, indicando que esse nutriente é rapidamente liberado e em alta porcentagem, acima de 94% aos 120 dias após o manejo.

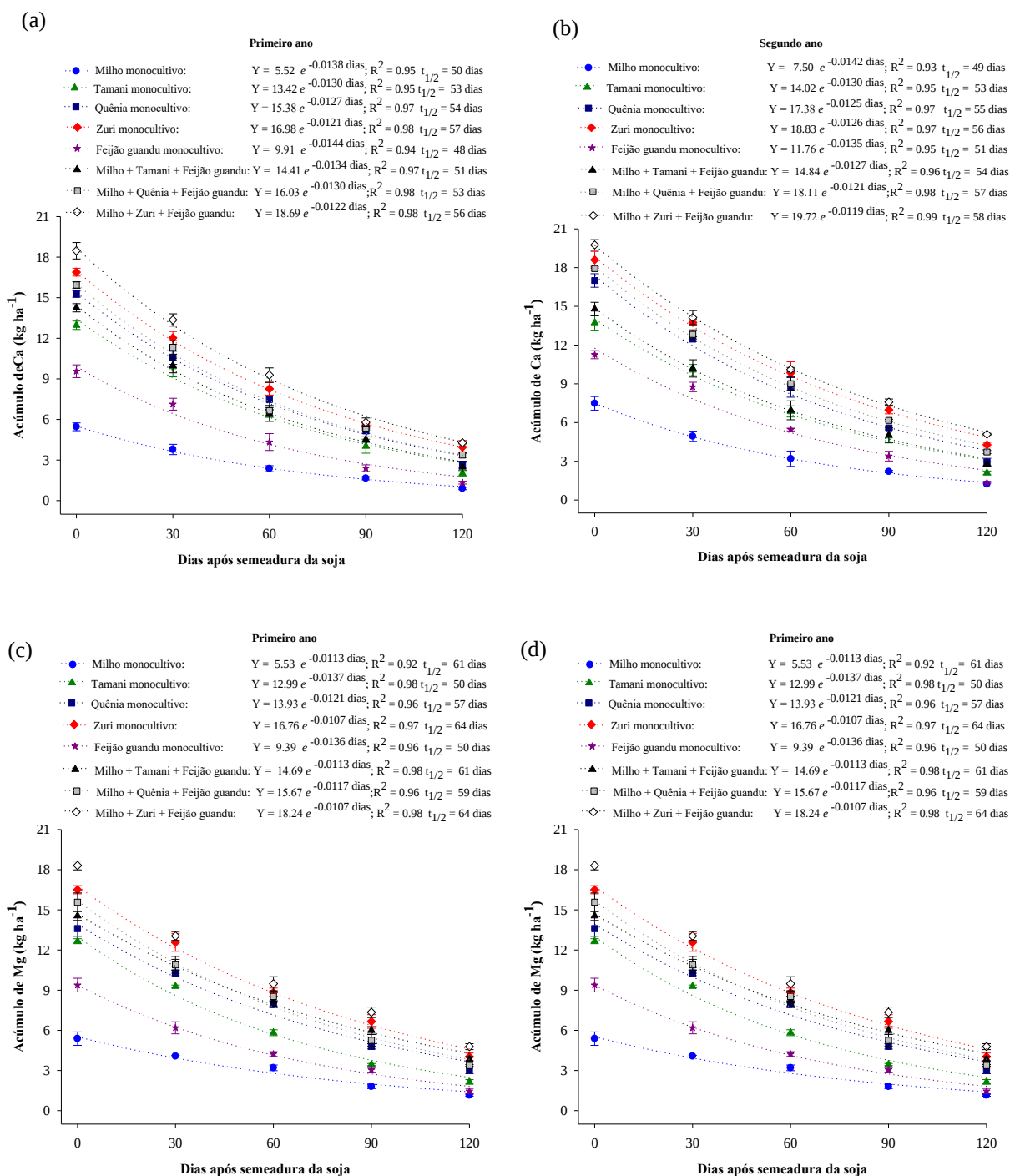


Figura 5. Acúmulo de Ca do primeiro ano (a) e segundo ano (b) e Mg do primeiro ano (c) e segundo ano (d) na biomassa dos sistemas de cultivo do milho e cultivares de *Panicum*

maximum em monocultivo e consorciados, durante o desenvolvimento da soja (de 0 a 120 dias).

Os sistemas de cultivo do consórcio triplo com os capins Zuri e Quênia e o capim-zuri em monocultivo proporcionaram maior quantidade de equivalente de nitrogênio e fósforo. Já o sistema de cultivo do consórcio triplo com capim-zuri demonstrou ser mais eficiente no retorno do potássio ao solo. Para todos os equivalentes em fertilizantes analisados, a biomassa de milho proporcionou os menores valores (Tabela 1).

Tabela 1. Equivalentes em N, ureia, P₂O₅, superfosfato simples (SFS), K₂O e cloreto de potássio (KCl) na biomassa de diferentes sistemas de cultivo.

Sistemas de cultivo	Equivalente (kg ha ⁻¹)					
	N	Ureia	P ₂ O ₅	SFS	K ₂ O	KCl
Milho monocultivo	25.25 d	57.4	11.78 e	65,4	34.92 e	60.2
Tamani monocultivo	63.95 c	145.3	25.11 d	139.5	81.51 d	140.5
Quênia monocultivo	67.56 bc	153.5	29.66 c	164.8	106.22 c	183.1
Zuri monocultivo	83.09 ab	188.8	33.79 ab	187.7	133.34 b	229.9
Guandu monocultivo	65.67 bc	149.3	23.72 d	131.8	76.09 d	131.2
Milho + Tamani + Guandu	75.09 ab	170.7	29.85 b	165.8	115.06 c	198.4
Milho + Quenia + Guandu	80.86 ab	183.8	32.36 ab	179.8	127.33 b	219.5
Milho + Zuri + Guandu	83.49 a	189.8	35.68 a	198.2	148.25 a	255.6
Erro padrão média	2.39		0.439		2.30	
Pvalor	p<0.001		p<0.001		p<0.001	

Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0.05).

Para o equivalente em N, não houve efeito significativo para os diferentes anos avaliados, sendo as médias de 68,12 e 71,12 kg ha⁻¹ de N, para o primeiro e segundo ano, respectivamente. Já para o equivalente em P₂O₅ e K₂O houve influência dos anos (Figura 6). O segundo ano proporcionou maior valor de equivalente em P₂O₅ para os sistemas dos capins Quênia e Zuri em monocultivo e consorciados (Figura 6a) e maiores equivalente em K₂O, para os sistemas dos capins Tamani, Quênia e o feijão guandu em monocultivo e do consórcio triplo com capim-zuri (Figura 6b).

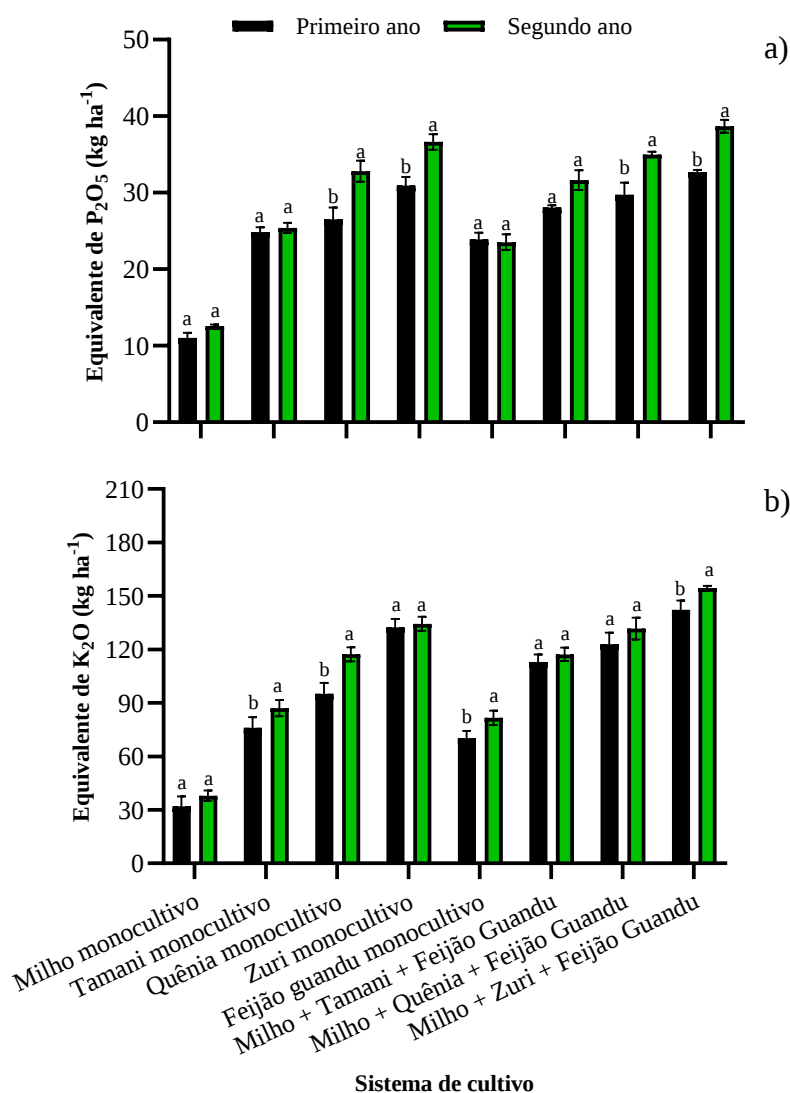


Figura 6. Equivalentes em P_2O_5 e K_2O na biomassa de diferentes sistemas de cultivo em dois anos.

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras verticais representam o desvio padrão da média.

4. DISCUSSÃO

4.1 Acúmulo de nutrientes

No consórcio triplo com o capim-zuri foi possível observar maior acúmulo de nitrogênio, para os dois anos de pesquisa, revelando que as três culturas atuam de maneira complementar, para melhorar o acúmulo de N no solo. Estudo desenvolvido por Feng *et al.* (2024) destacaram que o cultivo consorciado melhora a nodulação da leguminosa, estimulando maior fixação biológica do N, quando comparado com o monocultivo. Além disso, oferece

oportunidades para maximizar e manter o crescimento das plantas cultivadas em consórcio, refletindo em maior produção de biomassa remanescente e acúmulo de nutrientes, como observado nos nossos achados, além de impactar positivamente a curto e a longo prazo na qualidade do solo, promovendo o aumento dos estoques totais de C orgânico e N total (Laroca *et al.*, 2018). Adicionalmente, a presença de leguminosas nos sistemas de cultivo é uma prática promissora que pode reduzir a necessidade de insumos químicos em até 26% sem reduzir a produtividade, diminuindo os efeitos ambientais negativos da produção agrícola (Jensen *et al.*, 2020).

O maior acúmulo de P, nos dois anos, nos sistemas consorciados pode ser justificado, em função da presença do feijão guandu. Leguminosas através de mecanismos associados ao sistema radicular tais como: acidificação da rizosfera, liberação de ácidos orgânicos e atividade de fosfatase podem mobilizar o P lábil do solo e o acumular em sua biomassa (Wang e Lambers, 2020). As interações interespecíficas das diferentes raízes presentes nos sistemas consorciados, impactam positivamente a disponibilidade e absorção do P, devido ao efeito complementar (Zhu *et al.*, 2023). (Chahih *et al.*, 2024) confirmaram em estudo recente, que a presença de leguminosas nos sistemas de cultivo, foi responsável por aumentar o P inorgânico do solo, através da acidificação da rizosfera, durante a fixação do N₂, melhorando a produtividade agrícola e a eficiência de uso da terra.

Nos dois anos de pesquisa, dentre os nutrientes analisados, o potássio apresentou maior taxa de liberação, com valores superiores a 94% e com menor tempo de meia vida ($t_{1/2}$), em todos os sistemas de cultivo (Figura 4a e 4b). A alta taxa de liberação do potássio das diferentes biomassas de cobertura do solo, em especial dos cultivares de *Panicum* em monocultivos e consorciado, está associada ao sistema radicular dessas forrageiras, que é capaz de adquirir K do solo, incluindo o K não trocável e suprir a cultura subsequente, resultando em uma alta taxa de reciclagem desse nutriente, melhorando a eficiência do uso do K no solo (Volf *et al.*, 2023). É importante ressaltar que o K não está associado a nenhuma estrutura nos tecidos vegetais (Taiz *et al.*, 2017), apresentando, portanto, tempo de meia vida curto (média de 36 dias no presente estudo), podendo ser facilmente liberado no solo.

Os sistemas consorciados, também demonstraram maior potencial de acúmulo e liberação de S, Ca e Mg para a cultura da soja ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, em relação aos monocultivos (Figuras 4 e 5). A disponibilidade de enxofre no solo é regulada pela matéria orgânica e os sistemas consorciados com a presença da leguminosa são considerados métodos eficazes para aumentar a matéria orgânica do solo (Kumar *et al.*, 2022), principalmente devido a interação entre as espécies do sistema e a presença do feijão guandu, que devido a sua

maior quantidade de N promove o aumento do carbono orgânico na MO (Sun et al., 2024). Já o Ca e o Mg, constituem compostos iônicos e moléculas solúveis nas plantas, podendo ser facilmente liberados no solo através da decomposição dos resíduos (Dalla Côt et al., 2020).

Desta forma, nossos resultados mostraram que o sistema de plantio direto ao longo dos anos, contribui para maior ciclagem de nutrientes, aumentando o acúmulo de todos os nutrientes analisados, conforme observado nas Figuras 3, 4 e 5, principalmente nos sistemas consorciados, devido a interação entre as espécies do sistema, que em conjunto promovem incrementos na matéria orgânica com maior diversidade biológica e, em consequência, melhorias na fertilidade solo e maior eficiência no uso de nutrientes (Zhu et al., 2024).

Forrageiras tropicais são extremamente importantes nos sistemas de produção, porque reciclam nutrientes do subsolo e fornecem para as safras sucessivas (Dias et al., 2020). O maior acúmulo dos nutrientes, pela soja, ocorre entre 85 e 92 dias após a emergência (estádio de desenvolvimento R5 e R7), conforme demonstrado por Pires et al. (2023). Durante esta investigação, os cultivares de *Panicum* em monocultivo e no consórcio triplo, apresentaram, no primeiro ano tempo de meia vida dos nutrientes de 61; 58; 34; 50; 54 e 59 e no segundo ano de 64; 58; 34; 46; 55 e 63 para N, P, K, S, Ca e Mg, respectivamente, com liberação acima de 70% aos 120 dias de decomposição. Esses resultados demonstram a importância das forrageiras tropicais para o aporte de nutrientes no solo.

Os maiores valores em termos de equivalentes de fertilizantes foram registrados nos sistemas consorciados com os três cultivares de *Panicum* e para o capim-zuri em monocultivo, com economia de fertilizante mineral (Tabela 1), média de 181 kg ha⁻¹ de ureia, 181 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 224 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, para os sistemas consorciados e 188 kg ha⁻¹ de ureia 187 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 229 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio para a biomassa de capim-zuri em monocultivo. Portanto, nossos achados se tornam cruciais para demonstrar a importância da utilização de forrageiras tropicais (em monocultivo ou consorciado) ao longo dos anos para o sistema de plantio direto da soja. Forrageiras tropicais, nos diferentes arranjos de cultivo, conforme os utilizados em nosso estudo, são capazes de absorver nutrientes em camadas profundas do solo e disponibilizá-los para a cultura subsequente (Silva et al., 2023), além disso a complementariedade das culturas nos sistemas consorciados podem promover aumento da matéria orgânica do solo (Augusto et al., 2024), com consequente aumento da ciclagem de nutrientes e redução da entrada de fertilizantes minerais ao longo dos anos (Pariz et al., 2020; Muniz et al., 2021; Silva et al., 2024b).

5. CONCLUSÃO

O consórcio triplo com capim-zuri apresentou maior acúmulo de nutrientes e equivalentes de fertilizantes. No entanto, todos os cultivares de *Panicum maximum* podem ser recomendados para os sistemas integrados, pois proporcionaram ciclagem de nutrientes;

O resíduo do milho em monocultivo apresentou menor acúmulo de nutrientes e retorno de equivalentes de fertilizantes;

Sistemas integrados, que combinam o cultivo de gramíneas e leguminosas são uma estratégia inovadora e eficiente para os sistemas de produção agrícola, em comparação ao sistema de cultivo do milho em monocultivo, com maior ciclagem de nutrientes assegurando maior sustentabilidade agrícola.

6. REFERÊNCIAS

AUGUSTO, J. G.; PAZ, C. C. P.; MENDONÇA, G. G.; MOITINHO, M. R.; MENEGATTO, L. S.; BOLONHEZI, D.; SALLES, M. S. V.; SIMILI, F. F. Integrated crop-livestock versus conventional systems: Effects on the chemical and physical characteristics of an Oxisol. **Grass and Forage Science**, v. 79, p. 254-264, 2024.

BUCKLEY, T. N. How do stomata respond to water status? **New Phytologist**, v. 224, n. 1, p. 21-36, 2019.

CAMARGO, T. A.; ALVES, L. A.; MENDES, I. C.; GASQUES, L. R.; OLIVEIRA, L. G. S.; PIRES, G. C.; ALMEIDA, T. O.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, E. D. Enhancing soil quality and grain yields through fertilization strategies in integrated crop-livestock system under no-till in Brazilian Cerrado. **European Journal of Soil Biology**, v. 121, p. 103613, 2024.

CHRISTENSON, E.; JIN, V. L.; SCHMER, M. R.; MITCHELL, R. B.; REDFEARN, D. D. Soil greenhouse gas responses to biomass removal in the annual and perennial cropping phases of an integrated crop livestock system. **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1416, 2021.

DALLA CÔRT, A. S.; FEITOSA, P. B.; PACHECO, L. P.; GRECO, T. M.; SILVA, I. D. F.; SOUZA, E. D.; SANTOS, L. F.; PETTER, F. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Accumulation and efficiency of nutrient use in crop systems in second crop under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. e01879, 2021.

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

DARDONVILLE, M.; CATARINO, R.; THEROND, O. Sustainability and resilience against climate change provided by a territorial crop-livestock system. **Journal of Cleaner Production**, v. 432, p. 139646, 2023.

DELANDMETER, M.; DE FACCIO CARVALHO, P. C.; BREMM, C.; CARGNELUTTI, C. S.; BINDELLE, J.; DUMONT, B. Integrated crop and livestock systems increase both climate change adaptation and mitigation capacities. **Science of The Total Environment**, v. 912, p. 169061, 2024.

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

DIAS, M. B. C.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; BILEGO, U. O.; VILELA, L.; SOUZA, W. F.; OLIVEIRA, I. P.; SILVA, A. C. G. Cattle performance with Brachiaria and Panicum maximum forages in an integrated crop-livestock system. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 39, n. 2, p. 230-243, 2021.

FENG, C.; DU, G.; ZHANG, Y.; FENG, L.; ZHANG, L.; WANG, Q.; XIANG, W.; BAI, W.; CAI, Q.; SUN, T.; SUN, Z.; ZHANG, L. Maize/Peanut Intercropping Affects Legume Nodulation in Semi-Arid Conditions. **Agronomy**, v. 14, n. 5, p. 951, 2024.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs**. Applied Mathematics, v. 5, p. 2952-2958, 2014.

FARIAS, G. D.; DUBEUX, J. C. B.; SAVIAN, J. V.; DUARTE, L. P.; MARTINS, A. P.; TIECHER, T.; ALVES, L. A.; CARVALHO, P. C. F.; BREMM, C. Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use

efficiency in agricultural lands. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, p. 1-9, 2020.

JENSEN, E. S.; CARLSSON, G.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, n. 1, p. 5, 2020.

KUMAR, U.; CHENG, M.; ISLAM, M. J.; MANIRUZZAMAN, M.; NASREEN, S. S.; HAQUE, M. E.; RAHMAN, M. T.; JAHIRUDDIN, M.; BELL, R. W.; JAHANGIR, M. M. R. Long-term Conservation Agriculture increases sulfur pools in soils together with increased soil organic carbon compared to conventional practices. **Soil and Tillage Research**, v. 223, p. 105474, 2022.

LIMA, J. D. P.; TORINO, A. B.; SILVA, L. M.; NASCIMENTO JÚNIOR, L. F.; BRITO, M. F.; COSTA, K. A. P.; SILVA, B. M.; SEVERIANO, E. Crop-livestock integration improves physical soil, agronomic and environmental aspects in soybean cultivation. **Plants**, v. 12, n. 21, p. 3746, 2023.

LAROCA, J. V. S.; SOUZA, J. M. A.; PIRES, G. C.; PIRES, G. J. C.; PACHECO, L. P.; SILVA, F. D.; WRUCK, F. J.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, L. S.; SOUZA, E. D. Soil quality and soybean productivity in crop-livestock integrated system in no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 1248-1258, 2018.

LEAL, V. N.; SANTOS, D. C.; PAIM, T. P.; SANTOS, L. P.; ALVES, E. M.; CLAUDIO, F. L.; CALGARO JUNIOR, G.; FERNANDES, P. B.; SALVIANO, P. A. P. Economic results of forage species choice in crop–livestock integrated systems. **Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 637, 2023.

LOCALI-PEREIRA, A. R.; BOIRE, A.; BERTON-CARABIN, C.; TABOGA, S. R.; SOLÉ-JAMAULT, V.; NICOLETTI, V. R. Pigeon Pea, an emerging source of plant-based proteins. **ACS Food Science & Technology**, v. 3, n. 11, p. 1777-1799, 2023.

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

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

MESFIN, S.; GEBRESAMUEL, G.; HAILE, M.; ZENEBE, A. Potentials of legumes rotation on yield and nitrogen uptake of subsequent wheat crop in northern Ethiopia. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 2023.

MEUNIER, C.; MARTIN, G.; BARNAUD, C.; RYSCHAWY, J. Bucking the trend: Crop farmers' motivations for reintegrating livestock. **Agricultural Systems**, v. 214, p. 103820, 2024.

NASAR, J.; SHAO, Z.; ARSHAD, A.; JONES, F. G.; LIU, S.; LI, C.; KHAN, M. Z.; KHAN, T.; BANDA, J. S. K.; ZHOU, X.; GAO, Q. The effect of maize–alfalfa intercropping on the physiological characteristics, nitrogen uptake and yield of maize. **Plant Biology**, v. 22, n. 6, p. 1140-1149, 2020.

OLIVEIRA, I. P.; LEANDRO, W. M.; COSTA, K. A. P.; FURTINI NETO, A. E. **Sistema de produção agropecuário sustentável**. Cegraf UFG, 2021. 1526 p.

PARIZ, C. M.; COSTA, N. R.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTILHOS, A. M.; MEIRELLES, P. R. L.; CALONEGO, J. C.; ANDREOTTI, M.; SOUZA, D. M.; CRUZ, I. V.; LONGHINI, V. Z.; PROTES, V. M.; SARTO, J. R. W.; PIZA, M. L. S. T.; MELO, V. F. P.; SEREIA, R. C.; FACHIORLI, D. F.; ALMEIDA, F. A.; SOUZA, L. G. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. An innovative corn to silage-grass-legume intercropping system with oversown black oat and soybean to silage in succession for the improvement of nutrient cycling. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 544996, 2020.

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

PIRES, M. D. F. M.; DE SOUZA, H. A.; MEDEIROS, J. C.; DALLA ROSA, J.; DE MARTINS, R. V. S.; SOBRAL, A. H. S.; SAGRILO, E. Nutrient uptake by soybean plants in succession of cover crops in northeast of Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 54, n. 7, p. 945-963, 2023.

REIS, J. C.; RODRIGUES, G. S.; BARROS, I.; RODRIGUES, R. A. R.; GARRETT, R. D.; VALENTIM, J. F.; KAMOI, M. Y. T.; MICHETTI, M.; WRUCK, F. J.; RODRIGUES FILHO, S.; PIMENTEL, P. E. O.; SMUKLER, S. Integrated crop-livestock systems: A sustainable land-use alternative for food production in the Brazilian Cerrado and Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 283, p. 124580, 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa CNPS, 2018. 356 p.

SERAFIM, M. E.; MENDES, I. C.; WU, J.; ONO, F. B.; ZANCANARO, L.; VALENDORFF, J. D. P.; ZEVIANI, W. M.; PIERANGELI, M. A. P.; FAN, M.; LAL, R. Soil physicochemical and biological properties in soybean areas under no-till systems in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 862, p. 160674, 2023.

SILVA, G. F.; CALONEGO, J. C.; LUPERINI, B. C. O.; CHAMMA, L.; ZANETTI, W. A. L.; BORGHI, E.; PARELLA, R. A. C.; PUTTI, F. F. Nitrogen fertilization in biomass sorghum improves the yield and quality of soybeans grains grown in succession in long-term management systems. **European Journal of Agronomy**, v. 158, p. 127206, 2024.

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

SILVA, J. A. G.; COSTA, K. A. P.; SILVA, L. M.; SEVERIANO, E. C.; SILVA, F. G.;

HABERMANN, E.; MARTINEZ, C. A.; VILELA, L.; SILVA, A. G.; COSTA, A. C.; COSTA, J. V. C. P.; OLIVEIRA, K. J. Integrated systems improve the sustainability of soybean cultivation in the tropical region. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1224530, 2023.

SILVA, J. A. G.; HABERMANN, E.; COSTA, K. A. P.; SILVA, L. M.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, A. C.; SILVA, F. G.; OLIVEIRA, T. C.; DÁRIO, B. M. M.; VILELA, L.; COSTA, J. V. C. P.; MARTINEZ, C. A. Integration crop-livestock system increases the sustainability of soybean cultivation through improved soil health and plant physiology. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 359, p. 108770, 2024c.

SILVA, L. S.; LAROCA, J. V. S.; COELHO, A. P.; GONÇALVES, E. C.; GOMES, R. P.; PACHECO, L. P.; CARVALHO, P. C. F.; PIRES, G. C.; OLIVEIRA, R. L.; SOUZA, J. M. A.; FREITAS, C. M.; CABRAL, C. E. A.; WRUCK, F. J.; SOUZA, E. D. Does grass-legume intercropping change soil quality and grain yield in integrated crop-livestock systems? **Applied Soil Ecology**, v. 170, p. 104257, 2022.

SUN, T.; ZHOU, J.; FU, Y.; WU, L.; ZHANG, T. Soil nitrogen availability mediates the positive effects of intercropping on soil organic carbon at global scales. **Soil and Tillage Research**, v. 239, p. 106063, 2024.

SALINAS-ROCO, S.; MORALES-GONZÁLEZ, A.; ESPINOZA, S.; PÉREZ-DÍAZ, R.; CARRASCO, B.; POZO, A.; CABEZA, R. A. N₂ fixation, N transfer, and land equivalent ratio (LER) in grain legume–wheat intercropping: impact of N supply and plant density. **Plants**, v. 13, n. 7, p. 991, 2024.

SANTOS, C. B.; COSTA, K. A. P.; SOUZA, W. F.; SILVA, A. G.; SILVA, V. C.; OLIVEIRA, I. P.; BRANDSTETTE, E. V. Intercropping of sorghum with Paiaguas palisadegrass in a crop-livestock integration system for pasture recovery. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 7, p. 1072-1080, 2020a.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; DALMAGO, G. A.; CASTRO, R. L.; SANTI, A.; PSSEBOM, T. Economic performance of production systems with crop-livestock integration in no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 2, e6508, 2020b.

SCHUSTER, M. Z.; LUSTOSA, S. B. C.; PELISSARI, A.; HARRISON, S. K.; SULC, R. M.; DEISS, L.; LANG, C. R.; CARVALHO, P. C. F.; GAZZIERO, D. L. P.; MORAES, A. Optimizing forage allowance for productivity and weed management in integrated crop-livestock systems. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, n. 18, p. 1-10, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

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

TAMBURINI, G.; BOMMARCO, R.; WANGER, T. C.; KREMEN, C.; VAN DER HEIJDEN, M. G.; LIEBMAN, M.; HALLIN, S. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. **Science Advances**, v. 6, n. 45, p. eaba1715, 2020.

VOLFF, M. R.; CRUSCIOL, C. A.; KOVAR, J. L.; ROSOLEM, C. A. Unraveling the role of ruzigrass in soil K cycling in tropical cropping systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, p. 1-14, 2023.

WANG, Y.; LAMBERS, H. Root-released organic anions in response to low phosphorus availability: recent progress, challenges and future perspectives. **Plant and Soil**, v. 447, p. 135-156, 2020.

YANG, X.; XIONG, J.; DU, T.; JU, X.; GAN, Y.; LI, S.; XIA, L.; SHEN, Y.; PACENKA, S.; STEENHUIS, T. S.; SIDDIQUE, K. H. M.; KANG, S.; BUTTERBACH-BAHL, K. Diversifying crop rotation increases food production, reduces net greenhouse gas emissions and improves soil health. **Nature Communications**, v. 15, n. 1, p. 198, 2024.

ZHU, Q.; YANG, Z.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; FEI, J.; RONG, X.; PENG, J.; WEI, X.; LUO, G. Intercropping regulates plant-and microbe-derived carbon accumulation by influencing soil physicochemical and microbial physiological properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 364, p. 108880, 2024.

ZHU, S. G.; KIPROTICH, W.; CHENG, Z. G.; ZHOU, R.; FAN, J. W.; ZHU, H.; WANG, W. Y.; WANG, W.; WANG, R. Q.; TAO, H. Y.; XIONG, Y. C. Soil phosphorus availability mediates facilitation dynamic in maize-grass pea intercropping system. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 105867, 2023.