



## **CURSO DE BACHAREL EM AGRONOMIA**

# **CICLAGEM DE NUTRIENTES NA BIOMASSA DE FORRAGEIRAS TROPICAIS APÓS O CONSÓRCIO COM MILHO PARA A PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Eduardo de Araújo Guimaraes Junior

**Rio Verde, GO  
2023**

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

**CICLAGEM DE NUTRIENTES NA BIOMASSA DE  
FORRAGEIRAS TROPICAIS APÓS O CONSÓRCIO COM  
MILHO PARA A PRODUTIVIDADE DA SOJA**

**EDUARDO DE ARAÚJO GUIMARAES JUNIOR**

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

Orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa

Rio Verde – GO  
Dezembro, 2023

**EDUARDO DE ARAÚJO GUIMARAES JUNIOR**

**CICLAGEM DE NUTRIENTES NA BIOMASSA DE FORRAGEIRAS  
TROPICAIS APÓS O CONSÓRCIO COM MILHO PARA A  
PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em dia 11 de dezembro de 2023, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Dr. Eduardo Costa Severiano  
Instituto Federal Goiano  
Campus Rio Verde -GO

Ms. Luciana Maria da Silva  
Instituto Federal Goiano  
Campus Rio Verde – GO

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Aparecida de Pinho Costa  
Orientadora  
Instituto Federal Goiano  
Campus Rio Verde – GO

Rio Verde – GO  
Dezembro, 2023

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

GED24c      Guimarães Junior, Eduardo  
                  CICLAGEM DE NUTRIENTES NA BIOMASSA DE PORRAGEIRAS  
TROPICAIS APÓS O CONSÓCIO COM MILHO PARA A  
PRODUTIVIDADE DA SOJA / Eduardo Guimarães Junior;  
orientadora Kátia Aparecida de Pinha Costa. -- Rio  
Verde, 2023.  
                  28 p.

                  TCC (Graduação em Agronomia) -- Instituto Federal  
Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

                  1. Glycine max L. 2. Panicum maximum cv. BRS  
Tamani. 3. Panicum maximum cv. BRS Zuri. 4.  
sustentabilidade. 5. Zea mays. I. Aparecida de Pinha  
Costa, Kátia, 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 (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)            | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)      | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação)  | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Laryse Madeira Bernardo

Matrícula:

201910220024019

Título do trabalho:

Ciclagem de nutrientes na biomassa de forrageiras tropicais após o consórcio com milho para a produtividade da soja

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 09/02/2024

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

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 86/2023 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

### ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 11 de dezembro de 2023, às 16:00 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pela docente Kátia Aparecida de Pinho Costa (orientadora), Luciana Maria da Silva (membro) e Eduardo da Costa Severiano (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “Ciclagem de nutrientes na biomassa de forrageiras tropicais após o consórcio com milho para a produtividade da soja” do estudante Eduardo de Araújo Guimarães Junior, matrícula nº 2019102200240619 do Curso de Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da 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

Documento assinado eletronicamente por:

- Pablo da Costa Gontijo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/01/2024 17:18:31.
- Eduardo da Costa Severiano, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/12/2023 14:57:13.
- Luciana Maria da Silva, 2020202320140044 - Discente, em 12/12/2023 12:59:26.
- Katia Aparecida de Pinho Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/12/2023 12:56:56.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/12/2023. 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: 557008  
Código de Autenticação: a7c9a2f1ec



## **AGRADECIMENTOS**

Quero iniciar meus agradecimentos expressando profunda gratidão aos meus pais Eduardo e Tatiana e minha irmã Fernanda, pela constante dedicação, apoio incondicional e inspiração ao longo desta jornada acadêmica em Agronomia. Agradeço também a todo o corpo docente do IF Goiano e a Instituição, minha segunda casa durante estes anos, por proporcionar um ambiente de aprendizado enriquecedor e por ser o palco onde construí não apenas conhecimento, mas também laços duradouros e experiências inestimáveis.

Estendo meus agradecimentos à minha dedicada orientadora, Kátia Aparecida de Pinho Costa, por sua orientação valiosa e apoio incansável ao longo deste projeto. Um agradecimento ao pessoal do laboratório de forragens, especialmente a Luciana, cujo comprometimento e colaboração foram fundamentais para o êxito deste trabalho. Cada um de vocês contribuiu significativamente, e sou grato pela oportunidade de aprender e crescer com uma equipe tão dedicada.

Aos colegas de faculdade, meu agradecimento por compartilharmos juntos esta jornada. A amizade e apoio de vocês fizeram desta experiência algo inesquecível. Dedico este trabalho também à memória do meu saudoso avô, Antônio Guimarães, que nos deixou em janeiro de 2022. Sua presença e sabedoria marcaram minha vida. Mesmo não estando fisicamente presente, seu legado perdura em minhas conquistas. Agradeço por sua inspiração e por ter sido uma fonte de apoio e amor incondicional. Este trabalho é uma homenagem ao homem extraordinário que ele foi.

## LISTA DE ABREVIACOES

pH	- Potencial hidrogeniônico
cmolc dm <sup>-3</sup>	- Centimol por decmetro cúbico
mg dm <sup>-3</sup>	- Miligrama por decmetro cúbico
g kg	- Gramas por Quilo
kg ha <sup>-1</sup>	- Quilogramas por hectare
K <sub>2</sub> O	- xido de Potássio
DAS	- Dias após a semeadura
t	- Tonelada
L ha <sup>-1</sup>	- Litros por Hectare
g L <sup>-1</sup>	- Gramas por Litro
m <sup>2</sup>	- Metros Quadrados
CaCl <sub>2</sub>	- Cloreto de cálcio
Ca	- Calcio
Al	- Alumínio
K	- Potássio
CTC	- Capacidade de troca de cátions
P	- Fósforo
Cu	- Cobre
Zn	- Zinco
Fe	- Ferro
MO	- Matéria Orgânica



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Precipitações pluviiais e temperaturas mensais registradas durante o período de janeiro de 2021 a março de 2022, em Rio Verde – GO, Brasil..... 11
- Figura 2. Esquema dos sistemas de cultivo: milho em monocultivo (a); forrageiras do gênero *Panicum maximum* em monocultivo (b); milho consorciado com forrageiras do gênero *Panicum* na linha (c) e entrelinha (d) e soja sem biomassa (e)..... 13
- Figura 3. Acúmulo de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c) e enxofre (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)..... 17

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção de biomassa e concentração inicial de nutrientes na biomassa de diferentes sistemas de cultivo, antes da implantação da cultura da soja.....	15
Tabela 2. Altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos, produtividade de grãos da soja sob a biomassa dos sistemas de cultivo do milho, capim-tamani, capim-zuri em monocultivo e consorciados e soja sem cobertura.....	17

## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.1 Descrição da área.....	9
2.2 Delineamento estatístico, tratamentos .....	11
2.3 Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes .....	12
2.4 Implantação da soja na safra 2021/2022 e tratos culturais .....	13
2.5 Avaliação das características agronômicas da soja .....	13
2.6 Análise estatística .....	14
3 RESULTADOS .....	14
4 DISCUSSÃO.....	18
5 CONCLUSÃO.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23

GUIMARAES JUNIOR, Eduardo de Araújo. **Ciclagem de nutrientes na biomassa de forrageiras tropicais após o consórcio com milho para a produtividade da soja.** 2023. 30p Monografia (Curso Bacharelado de Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2023.

**RESUMO:** O consórcio da cultura anual com forrageiras tropicais visando a produção de biomassa para o sistema plantio direto é considerado uma opção promissora para diversidade de cultivos e aumento da produtividade da soja. Sendo assim, objetivou-se avaliar ciclagem de nutrientes na biomassa de forrageiras do gênero *Panicum maximum* após o consórcio com milho para a produtividade da soja. O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da biomassa de cobertura do solo: milho monocultivo, capim-tamani em monocultivo, capim-zuri em monocultivo, milho + capim-tamani na linha, milho + capim-tamani na entrelinha, milho + capim-zuri na linha e milho + capim-zuri na entrelinha. Além de um tratamento adicional de soja sem biomassa de cobertura. Os resultados mostraram que o capim-zuri em monocultivo e consorciado nas duas formas de semeadura proporcionou maior ciclagem de nutrientes, entretanto, ambas as forrageiras podem ser indicadas como plantas de cobertura por influenciarem de forma positiva nas características agrônomicas e produtividade da soja. Os sistemas integrados com forrageiras tropicais para cobertura do solo, mostrou-se como técnica eficiente para ciclagem de nutrientes, pelo maior aproveitamento dos nutrientes do solo e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

**Palavras-chave:** *Glycine max L*, *Panicum maximum* cv. BRS Tamani; *Panicum maximum* cv. BRS Zuri, sustentabilidade; *Zea mays*.

## 1 INTRODUÇÃO

A comercialização, a especialização e a industrialização da agricultura muitas vezes levaram à separação dos subsistemas agrícolas e pecuários, portanto, o reagrupamento é visto como um passo importante para o manejo sustentável na agricultura (Ramankutty et al., 2018). O reagrupamento destes três pilares deve se basear principalmente na diversificação de espécies, ciclagem de nutrientes, e regulação biológica dentro do sistema (Altieri et al., 2012). Esses princípios devem contribuir para algumas das propriedades emergentes esperadas de sistemas agrícolas sustentáveis: autossuficiência, produtividade, eficiência e resiliência (Meuwissen et al., 2019).

Sistemas de produção que preconizam a conservação dos ecossistemas, com a alternância de culturas é de grande importância para melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, visando melhorar sua qualidade estrutural, além de diversificar a renda rural (Garrett et al., 2017; Adetunji et al., 2020). Quando bem geridos, os sistemas integrados aumentam o teor de matéria orgânica nos solos com a intensificação do ciclo de nutrientes, acoplamento dos ciclos de carbono, nitrogênio e fósforo (Martin et al., 2016). Tal aspecto está diretamente relacionado à produção de biomassa, aonde a rotação de culturas possui papel importante no estímulo a microbiota e a saúde do solo (Nunes et al., 2020), sendo assim, a estrutura, funcionalidade do solo e a produção de biomassa em sistemas agrícolas estão intimamente ligadas, pois existe uma relação mútua entre esses fatores (Hao et al., 2020).

Nesse contexto, o sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) é considerado estratégia eficiente, barata e sustentável para a intensificação da produção de alimentos, redução de custos, riscos e conservação dos recursos naturais (Silva et al., 2022). Quando bem manejado, esse sistema facilita múltiplos serviços ecossistêmicos através do aumento do sequestro de carbono, conservação da água e do solo (Maia et al., 2022), maior eficiência no uso de nutrientes (Muniz et al., 2021) e diversificação da produção (Meo-Filho et al., 2022).

Nos últimos anos, as forrageiras do gênero *Panicum* vem sendo utilizadas nos sistemas de integração lavoura-pecuária, pois apresentam alta produção de forragem em comparação com as do gênero *Brachiaria* (Silva et al., 2016). Demonstrando potencial de produção de forragem de qualidade, assegurando bom desempenho animal (Dias et al., 2021), adequada cobertura do solo e produção de biomassa para o sistema de plantio direto (Dias et al., 2020) e acúmulo e liberação de nutrientes no solo para as culturas subsequentes (Muniz et al., 2021). Além disso, a cobertura do solo promove melhorias no solo através dos incrementos na matéria orgânica, proporcionando um ambiente saudável para o desenvolvimento da microbiota do solo,

contribuindo para modificar a respiração do solo, melhorando a saúde do ecossistema e a produção sustentável de alimentos (Ozlu et al., 2022).

Dentre os cultivares de *Panicum maximum*, destaca-se o capim-zuri, que apresenta porte alto, folhas largas, elevada produção de massa seca por hectare, crescimento cespitoso e vigor de rebrota demonstrando seu alto potencial de produção de biomassa (Almeida et al., 2022). Outra forrageira de destaque é o capim-tamani, que apresenta porte baixo, porém com abundância de folhas finas, alto perfilhamento, colmo fino e curto, que contribuem para crescimento mais, garantindo adequada cobertura do solo (Machado et al., 2017).

A escolha do método de semeadura das forrageiras a ser consorciada com a cultura anual também deve ser considerado para o sucesso do sistema de integração, pois este pode influenciar a produção de biomassa para o sistema de plantio direto e a produtividade das culturas (Guarnieri et al., 2019 e Oliveira et al., 2020).

Com isso é de suma importância investigar o desempenho das novas cultivares de *Panicum* e do método adequado para sua semeadura em sistema de integração lavoura-pecuária, visando a produção de biomassa para o plantio direto e seu potencial de ciclagem de nutrientes, este estudo torna-se pertinente. Desta forma, objetivou-se avaliar ciclagem de nutrientes na biomassa de forrageiras do gênero *Panicum maximum* após o consórcio com milho para a produtividade da soja.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Descrição da área**

O experimento descrito foi realizado nas instalações do Instituto Federal Goiano, localizado em Rio Verde – GO, Brasil, durante o intervalo compreendido entre janeiro de 2021 e março de 2022. As atividades transcorreram em uma região geográfica demarcada pelas coordenadas 17° 48' 53" S e 50° 54' 02" W, situada a uma altitude de 748 metros. A área experimental adotada para a condução do estudo caracteriza-se por apresentar um solo classificado como Latossolo Vermelho Acriférico, conforme a taxonomia proposta por Santos et al. (2018).

Ao longo da execução do experimento, foram registrados e analisados os dados relacionados à precipitação, assim como as variações nas temperaturas máxima, média e mínima em uma base mensal, conforme evidenciado na Figura 1. Essa atenção aos dados climáticos contribuiu significativamente para a robustez e validade dos resultados alcançados, fornecendo uma base sólida para as conclusões subsequentes.

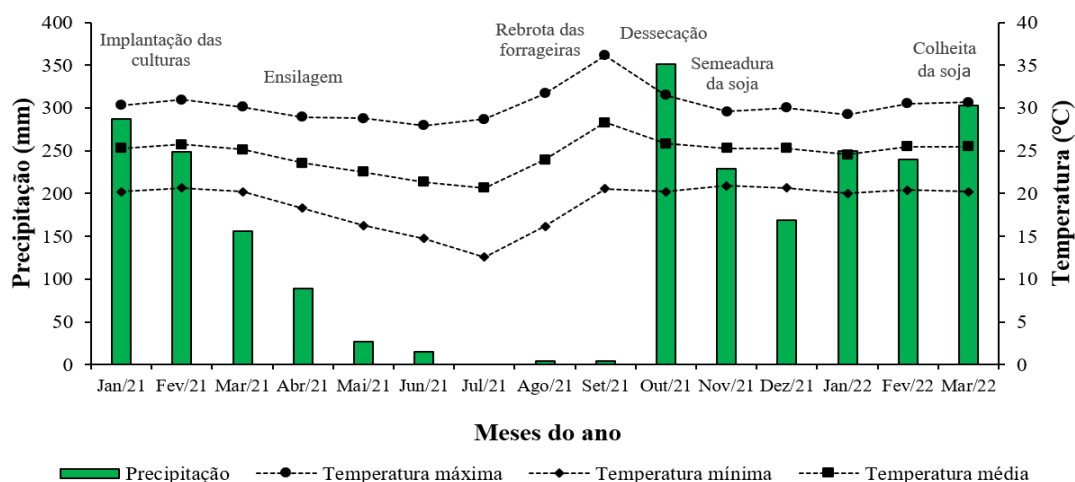


Figura 1. Precipitações pluviais e temperaturas mensais registradas durante o período de janeiro de 2021 a março de 2022, em Rio Verde – GO, Brasil.

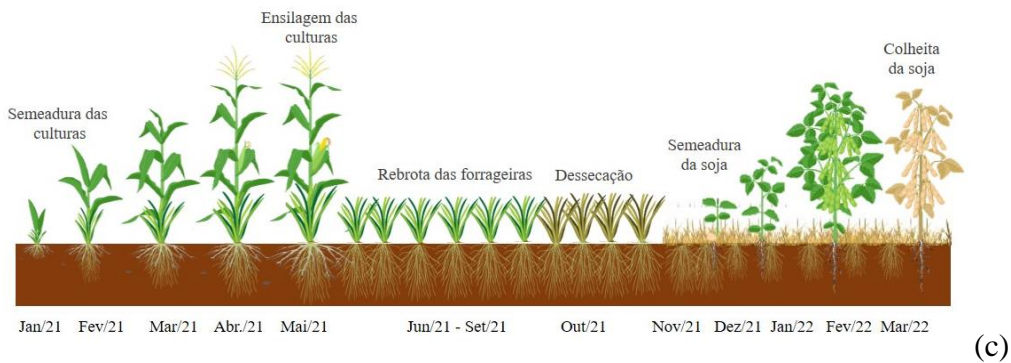
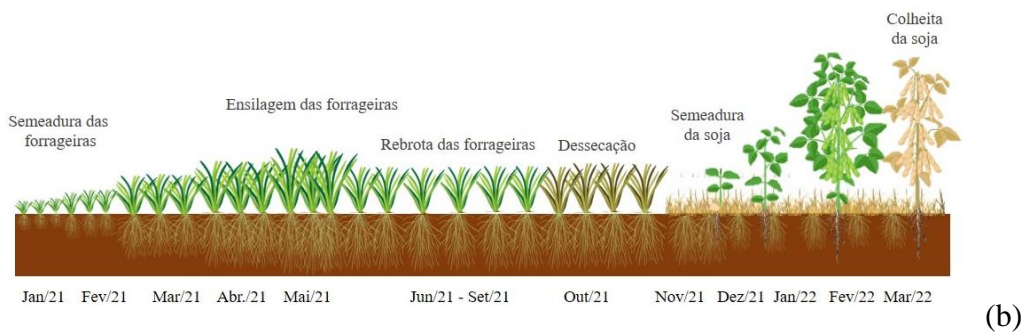
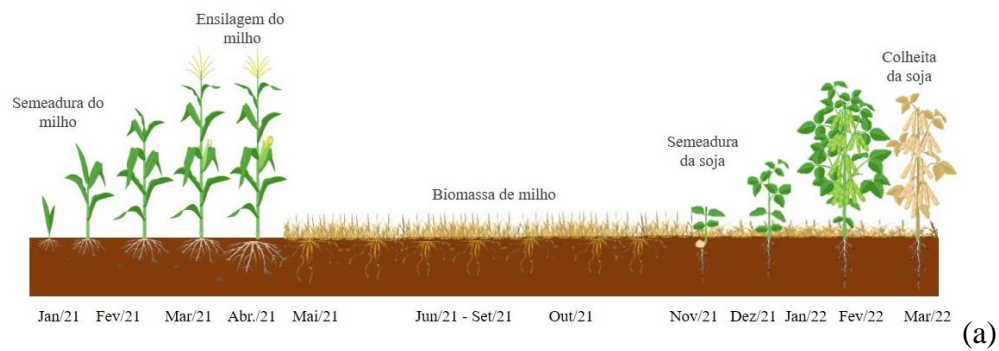
Na primeira etapa da pesquisa, foi realizado o consórcio na linha e na entrelinha do milho com forrageiras do gênero *Panicum* (*Panicum maximum* cv. BRS Tamani e *Panicum maximum* cv. BRS Zuri), para a produção de silagem de sistemas integrados. O híbrido de milho utilizado foi o P4285 (híbrido convencional com elevada estabilidade e sanidade foliar, adequado para a produção de silagem).

No monocultivo e no consórcio, o milho foi semeado a 2 cm de profundidade. Para o consórcio na mesma linha de semeadura as forrageiras do gênero *Panicum* foram semeadas a 6 cm de profundidade, já na entrelinha de semeadura as forrageiras foram semeadas a 0,25 m da linha do milho a 2 cm de profundidade, ambas as formas de semeadura com espaçamento de 0,5 m entre linha de plantio. Cada parcela foi composta por seis linhas de 3,0 m de comprimento. A área útil foi obtida considerando apenas as três linhas centrais, eliminando 0,5 m de cada extremidade.

A colheita do milho e das forrageiras para a produção de silagem foi realizada no dia 05 de maio de 2021. Posteriormente as forrageiras foram conduzidas no período de entressafra (meses de junho a agosto de 2021), com cortes sucessivos, para simulação do pastejo. Em agosto de 2021 foi realizado o último corte das forrageiras, que ficaram em repouso para rebrota. Em outubro de 2021 foi realizada dessecação, visando a formação de biomassa para a cobertura do solo.

## 2.2 Delineamento estatístico, tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos consistiram da biomassa de cobertura do solo: milho monocultivo, capim-tamani em monocultivo, capim-zuri em monocultivo, milho + capim-tamani na linha, milho + capim-tamani na entrelinha, milho + capim-zuri na linha e milho + capim-zuri na entrelinha. Além de um tratamento adicional de soja sem biomassa de cobertura, que ficou em pousio na entressafra, conforme demonstrado na Figura 2. O tratamento da biomassa de milho após o corte para a produção de silagem permaneceu em pousio.





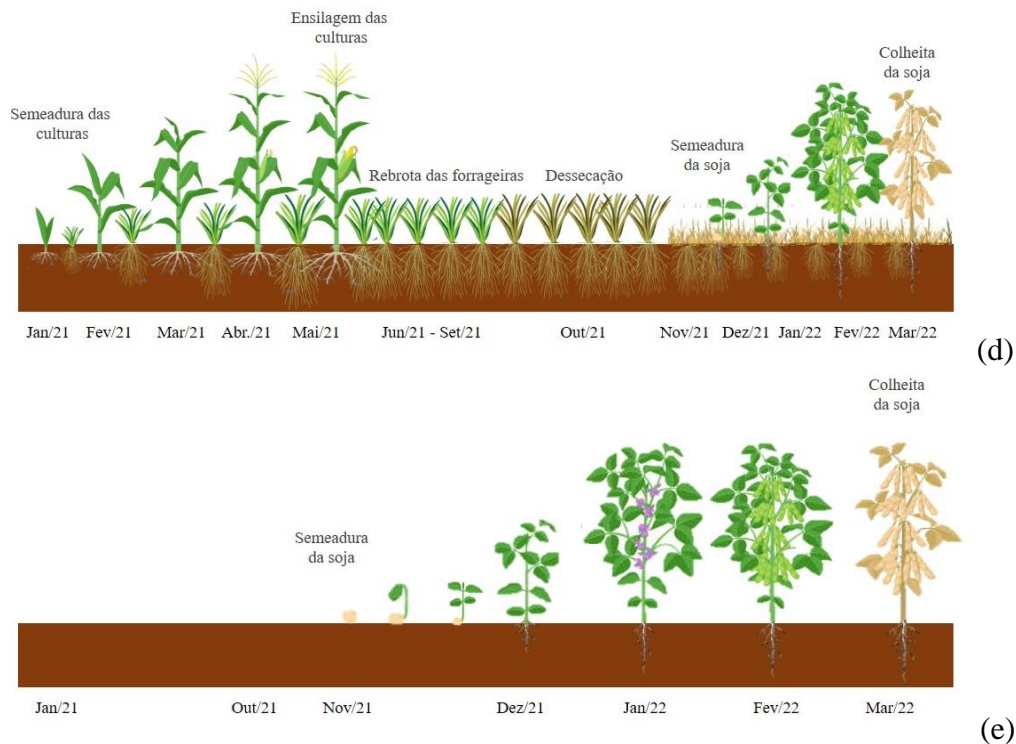


Figura 2. Esquema dos sistemas de cultivo: milho em monocultivo (a); forrageiras do gênero *Panicum maximum* em monocultivo (b); milho consorciado com forrageiras do gênero *Panicum* na linha (c) e entrelinha (d) e soja sem biomassa (e), abrangendo todas as etapas da avaliação.

### 2.3 Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes

Em outubro de 2021 foi realizada a dessecação das forrageiras com a aplicação de herbicida glifosato na dose de  $3 \text{ L ha}^{-1}$  ( $480 \text{ g L}^{-1}$  de ingrediente ativo), com volume de calda de  $150 \text{ L ha}^{-1}$ .

Para quantificar a produção de biomassa, um dia antes da semeadura da soja foi coletando quatro amostras, através de um quadrado de  $0,50 \times 0,50 \text{ m}$  ( $0,25 \text{ m}^2$ ) distribuído aleatoriamente dentro de cada parcela. O material foi cortado rente ao solo, sendo posteriormente pesado e as amostras colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a  $55^\circ\text{C}$  até massa constante, sendo as quantidades extrapoladas para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

A decomposição da biomassa foi avaliada em sacolas confeccionadas em nylon (“*Litter bags*”) com malha de 2 mm de abertura e dimensões de  $25 \times 30 \text{ cm}$  (Thomas & Asakawa, 1993). Quatro bolsas contendo a biomassa das espécies em quantidade proporcional à da biomassa seca produzida por hectare foram depositados em contato direto com o solo. Aos 30, 60, 90 e 120 dias após o manejo da decomposição, retirou-se um “*Litter bag*” de cada parcela, a fim de avaliar a concentração de nutrientes na biomassa remanescente durante o período de 120 dias. 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.

As amostras de biomassa foram moídas em moinho com facas de 1mm, para determinação da concentração de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S) de acordo com a metodologia proposta 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<sup>-1</sup>.

#### **2.4 Implantação da soja na safra 2021/2022 e tratos culturais**

Para determinar as recomendações da adubação para a semeadura da soja, amostras de solo foram coletadas da camada de 0-20 cm e suas propriedades químicas foram as seguintes: pH em CaCl<sub>2</sub>: 5,3; Ca: 2,30 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 1,35 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al: 0,01; Al + H: 4,80 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K: 0,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC: 9,06 em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V: 47,30 % e P (Mehlich): 4,8 mg dm<sup>-3</sup>; Cu: 4,6 mg dm<sup>-3</sup>; Zn: 1,0 mg dm<sup>-3</sup>; Fe: 17,4 mg dm<sup>-3</sup>; MO: 39,8 g kg<sup>-1</sup>. Foi aplicado a lanço uma tonelada por hectare de calcário filler em toda a área experimental.

A soja foi semeada em 29 de outubro de 2021 de forma mecanizada nos diferentes sistemas de cultivo. A variedade utilizada foi a Bônus IPRO 8579, com espaçamento entre linhas de 0,50 m. Na semeadura, foi utilizado 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples), aplicado no sulco de plantio. O potássio não foi aplicado nos tratamentos com biomassa de cobertura do solo, a fim de aproveitar a ciclagem de nutrientes, apenas no tratamento de soja sem biomassa foi aplicado 85 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na fonte de cloreto de potássio. A aplicação de fungicida foi realizada aos 40 dias após a semeadura - DAS (dose de 0,3 L ha<sup>-1</sup> de Piraclostrobina).

#### **2.5 Avaliação das características agronômicas da soja**

As avaliações das características agronômicas da soja foram realizadas em 1 de março de 2022 (123 DAS). Sendo avaliados: altura de plantas e altura de inserção da primeira e da última vagem (medida da distância compreendida entre a superfície do solo e à extremidade apical e entre a superfície do solo à inserção da primeira e última vagem na haste principal, respectivamente); número de vagens por planta (contagem de todas as vagens com grãos em 10 plantas na área útil da parcela, calculando-se a média de vagens por planta), número de grãos por vagem (contagem de todos os grãos por vagem em 10 plantas na área útil da parcela, calculando-se a média de grãos por vagem), peso de mil grãos e produtividade em quilogramas por hectare.

## 2.6 Análise estatística

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

Para calcular a meia-vida ( $t_{1/2}$ ), ou seja, o tempo necessário para decompor 50% da 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 concentração de nutrientes, características agronômicas da soja e produtividade de grãos foram submetidas 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.

## 3 RESULTADOS

Os sistemas de cultivos influenciaram ( $p < 0,05$ ) na produção de biomassa (Tabela 1). A maior produção foi obtida no capim-zuri, seguido do capim-zuri nos sistemas consorciados na entrelinha e linha. Já o milho apresentou menor produção de biomassa para a semeadura direta da soja.

Tabela 1. Produção de biomassa ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e concentração ( $\text{g kg}^{-1}$ ) inicial de nutrientes na biomassa de diferentes sistemas de cultivo, antes da implantação da cultura da soja.

Sistema de cultivo	Biomassa ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ )			
		N	P	K	S
Milho monocultivo	3028 e	8,50 c	1,53 c	8,13 b	2,37 b
Capim-tamani monocultivo	4298 cd	17,60 a	2,46 a	17,81 a	3,58 a
Capim-zuri monocultivo	6527 a	14,80 b	2,35 ab	18,08 a	3,37 a
Milho + capim-tamani na linha	3392 e	14,10 b	2,12 b	15,08 a	2,95 b
Milho + capim-tamani na entrelinha	3873 d	14,56 b	2,23 b	17,59 a	3,26 ab
Milho + capim-zuri na linha	4814 bc	12,80 b	2,17 b	17,12 a	3,14 b
Milho + capim-zuri na entrelinha	5280 b	13,53 b	2,22 b	16,97 a	3,27 ab
Erro padrão média	171,20	0,661	0,0609	0,675	0,161
Pvalor	$p<0,001$	$p<0,001$	$p<0,001$	$p<0,001$	0,0054

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

O capim-tamani apresentou maior concentração de nitrogênio, seguidos dos capins Tamani e Zuri consorciados na linha e entrelinha, que apresentaram resultados semelhantes (Tabela 1). Para o fósforo, potássio e enxofre, apenas o milho em monocultivo diferiu-se ( $p<0,05$ ) das concentrações das forrageiras em monocultivo e consorciadas, com menor valor.

Em relação ao acúmulo de nutrientes, houve influência ( $p<0,05$ ) dos sistemas de cultivos, com redução exponencial até 120 dias para todos os nutrientes (Figura 3). No tempo zero, 30, 60 e 90 dias de decomposição, o capim-zuri em monocultivo e consorciado na linha e entrelinha apresentou maior acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre. Já no tempo de 120 dias, o acúmulo de nutrientes foi semelhante entre os sistemas de cultivo.

Comparando os acúmulos iniciais com os valores atingidos aos 120 dias após a decomposição da biomassa, houve liberação percentual de nitrogênio de 74,5; 81,0; 80,5; 83,2; 78,8; 80,7 e 77,8%; fósforo de 74,5; 78,3; 81,2; 78,9; 78,0; 79,0 e 76,1%; potássio de 94,4; 94,2; 95,7; 94,5; 95,2; 95,9 e 95,1%; e enxofre de 72,0; 82,5; 83,4; 86,4; 84,7; 82,8 e 78,6% na biomassa do milho em monocultivo, capim-tamani em monocultivo, zuri em monocultivo, milho consorciado com capim-tamani na linha, milho consorciado com capim-tamani na

entrelinha, milho consorciado com capim-zuri na linha e milho consorciado com capim-zuri na entrelinha, respectivamente (Figura 3 a, b, c, d).

Em relação ao tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) dos nutrientes, o menor tempo foi obtido para o potássio, sendo de 40 dias para o milho em monocultivo e 33 dias para médias dos sistemas em monocultivo e consorciados das forrageiras, indicando mais rápida taxa de liberação de potássio e com maior porcentagem de liberação, sendo superior a 95% em todas as biomassas. E para todos os nutrientes o milho em monocultivo apresentou maior tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ), com menor taxa de liberação, seguido do capim-zuri em monocultivo e consorciado.

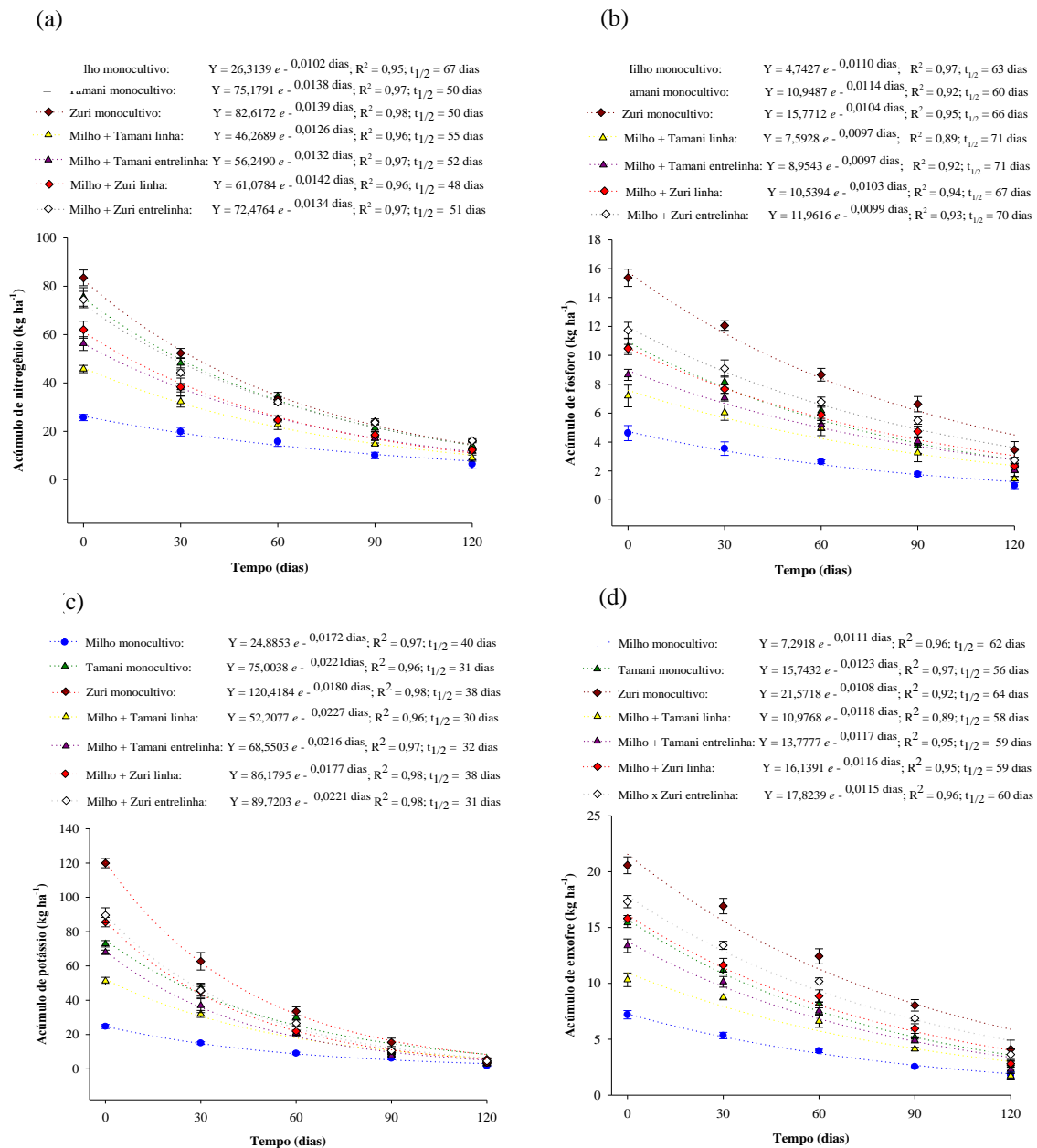


Figura 3. Acúmulo de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c) e enxofre (d) na biomassa dos sistemas de cultivo do milho e cultivares de *Panicum maximum* em monocultivo e consorciados, durante o desenvolvimento da soja (de 0 a 120 dias).

Houve influência ( $p < 0,005$ ) da biomassa dos sistemas de cultivo nas características agrônômicas da soja e produtividade de grãos (Tabela 2). As maiores altura de plantas, inserção da primeira e número de vagem por planta foram obtidas na biomassa dos capins Tamani e Zuri em monocultivo e consorciados, diferenciando-se da soja sem biomassa, que apresentou os menores valores.

Tabela 2. Altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos, produtividade de grãos da soja sob a biomassa dos sistemas de cultivo do milho, capim-tamani, capim-zuri em monocultivo e consorciados e soja sem cobertura.

<b>Sistema de cultivo</b>	<b>Altura plantas (cm)</b>	<b>Inserção 1ª vagem (cm)</b>	<b>Número vagem/planta</b>
Milho monocultivo	91,46 bc	18,33 bc	43,50 bc
Capim-tamani monocultivo	110,83 ab	20,00 ab	48,16 ab
Capim-zuri monocultivo	118,85 a	21,16 a	48,33 a
Milho + capim-tamani na linha	102,23 b	20,60 a	46,00 ab
Milho + capim-tamani na entrelinha	108,50 ab	21,40 a	45,36 ab
Milho + capim-zuri na linha	106,13 ab	19,85 b	47,53 ab
Milho + capim-zuri na entrelinha	115,58 ab	22,15 a	48,00 ab
Soja sem cobertura	86,44 c	16,72 c	41,47 c
Erro padrão média	2,450	0,618	0,955
Pvalor	$P < 0,001$	0,0004	0,0012
	<b>Número grãos/vagem</b>	<b>Massa 1000 grãos (g)</b>	<b>Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
Milho monocultivo	2,0 a	210,65 a	4398 b
Capim-tamani monocultivo	2,3 a	215,33 a	5256 a
Capim-zuri monocultivo	2,3 a	215,31 a	5280 a
Milho + capim-tamani na linha	2,3 a	215,65 a	5021 ab
Milho + capim-tamani na entrelinha	2,3 a	215,00 a	4942 ab
Milho + capim-zuri na linha	2,3 a	222,67 a	5216 ab
Milho + capim-zuri na entrelinha	2,3 a	222,32 a	5549 a
Soja sem cobertura do solo	2,0 a	186,33 b	3708 c
Erro padrão média	0,267	3,005	171,68
Pvalor	0,9255	$P < 0,001$	$P < 0,001$

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Em relação ao número de grãos por vagem (Tabela 2) não houve diferença entre os sistemas de cultivo ( $p > 0,05$ ), mostrando resultados semelhantes. Para a massa de 1000 grãos, apenas a soja sem biomassa diferiu-se dos outros sistemas com menor valor, sendo 16,3% inferior em comparação ao sistemas de cultivos com biomassa de cobertura do solo. E para produtividade de grãos, os maiores rendimentos foram obtidos na biomassa dos sistemas de cultivo dos capins Tamani e Zuri em monocultivo e consorciado, seguido do milho em monocultivo. Já a menor produtividade foi obtida na soja sem biomassa.

#### 4 DISCUSSÃO

A maior produção de biomassa para a semeadura da soja obtida para o capim-zuri, seguido dos sistemas consorciados na linha e entrelinha, deve-se a morfologia dessa forrageira, que apresenta porte alto, elevada produção de massa seca por hectare, crescimento cespitoso, vigor de rebrota e produção de estruturas de suporte como os colmos, demonstrando seu alto potencial de produção de biomassa (Almeida et al., 2022). Além de se desenvolver em épocas com pouca disponibilidade hídrica (Figura 1) e ser adaptado moderadamente a condições de excesso de água (Bonfim-Silva et al., 2022). Resultados semelhantes foram observados por Pereira et al. (2016) que avaliando resíduos culturais do consórcio de milho e forrageiras tropicais dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*, para a semeadura da soja, observaram maior produção total de biomassa após a dessecação para o *Panicum maximum* cv. Tanzânia em monocultivo e consorciado a lanço com milho, pois esta forrageira apresenta maior potencial produtivo em relação às outras forrageiras, além do método de semeadura ter favorecido seu estabelecimento.

Após a rebrota das forrageiras depois da ensilagem, houve três cortes sucessivos entre os meses de junho a agosto. Esse manejo favorece melhor produção de biomassa para a semeadura da soja, visto que o capim-zuri forma muita touceira, principalmente se ficar em crescimento livre no período de entressafra. Após o último corte realizado no mês de agosto as forrageiras apresentaram rebrota rápida no início do período chuvoso, favorecendo a produção de biomassa do tempo zero (Tabela 1) para o sistema de plantio direto da soja.

Com a intensificação dos sistemas de produção estes resultados são de extrema importância, para auxiliar na escolha correta da forrageira para compor o sistema de integração lavoura-pecuária, na qual deve proporcionar boa cobertura de solo (Andrade et al., 2017), desempenho animal satisfatório (Dias et al., 2021), adequada produção de biomassa para o

plantio direto, lenta decomposição dos resíduos vegetais e liberação de nutrientes para atender a demanda da cultura subsequente (Costa et al., 2020; Dias et al., 2020; Muniz et al., 2021). Desta forma, o conhecimento da decomposição da biomassa remanescente, no manejo de um sistema de plantio direto, é fundamental para a adoção de práticas para aumentar a eficiência do sistema (Wenneck et al., 2021). O sucesso do sistema de plantio direto está condicionado a quantidade de biomassa presente na superfície do solo, pois esta favorece o acúmulo de matéria orgânica, proporcionando melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo ao longo dos anos. Além de apresentar grande potencial para aumentar o estoque de carbono e nitrogênio no solo (Torres et al., 2019).

Os resultados observados no presente estudo, desta forma, tornam-se relevantes e auxiliam na tomada de decisão da escolha correta da forrageira, para a região do Cerrado do Brasil Central, que apresenta altas temperaturas no decorrer do ano, e aliado ao período chuvoso durante o ciclo de desenvolvimento da soja (Figura 1), aceleraram a decomposição do material, reduzindo o tempo de permanência da biomassa na superfície do solo (Zagato et al., 2018). Vale ressaltar que no presente estudo a biomassa do capim-zuri, nos diferentes sistemas de cultivo proporcionou maior cobertura do solo até a colheita da soja, demonstrando potencial de assegurar estabilidade de produção e proteção do solo em casos de veranicos, comuns na região.

As maiores concentrações de nitrogênio observados na biomassa do capim-tamani é decorrente da maior proporção de folhas que essa forrageira apresenta, concentrando mais nutrientes e contribuindo assim para maior ciclagem do nitrogênio (Muniz et al., 2021). As menores concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre na biomassa do milho em monocultivo, deve-se ao período prolongado (entressafra) que esse material esteve sobre o solo, contribuindo para que parte desses nutrientes fosse incorporado ao solo ou perdido.

O nitrogênio e o potássio são os nutrientes mais extraídos pelas forrageiras, acumulando mais na biomassa (Costa et al., 2017). Além disso, esses nutrientes são os mais perdidos por lixiviação. Desta forma, as forrageiras tropicais tornam-se benéficas pois através de seu sistema radicular profundo e agressivo, conseguem absorver nutrientes de camadas profundas e liberá-los na superfície do solo beneficiando a cultura subsequente (Baptistela et al., 2020; Costa et al., 2021).

Maiores acúmulos de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre foram observados para o sistema de cultivo do capim-zuri em monocultivo e consorciado na linha e entrelinha, nos tempos 0, 30, 60 e 90 dias de decomposição (Figura 3). A maior produção de biomassa desses tratamentos (Tabela 1) explica esses resultados, onde os nutrientes acumulados foram depositados no solo e supriram as demandas por nutrientes da soja, em especial o nitrogênio,



pois em sua fase inicial, a soja, ainda não apresenta fixação biológica de nitrogênio efetiva (Muniz et al., 2021). Conforme Oliveira Junior et al. (2016) de todo o nitrogênio extraído pela soja (190 a 372 kg ha<sup>-1</sup>) 65 a 85% vem da fixação biológica, já o restante é fornecido pelo solo.

O menor tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) dos nutrientes foi observado para o potássio, pois este nutriente é facilmente liberado do tecido vegetal, devido não fazer parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica da planta, sendo predominantemente cátion livre com alta mobilidade nas plantas, que é facilmente lavado pela água das chuvas, após o rompimento das membranas plasmáticas (Taiz et al., 2017). Liberação acelerada do potássio pela decomposição da biomassa, nos primeiros 30 dias também foram observados nos estudos de Miguel et al. (2018); Baptistela et al. (2020) e Costa et al. (2021).

O potássio apresentou taxa de liberação acima de 95% para todos os sistemas de cultivo com biomassa de cobertura do solo, que aliado ao manejo realizado na semeadura da soja de não aplicação de fertilizante potássico, contribuíram para o maior aproveitamento da ciclagem desse nutriente, sendo o mais absorvido pelas plantas de soja, diminuindo também sua quantidade no sistema, corroborando com as observações realizadas por Dias et al. (2020) e Muniz et al. (2021). Vale ressaltar que no final do ciclo da soja (120 dias), a quantidade remanescente de potássio na biomassa foi inferior a 5% da quantidade total de potássio não liberado, demonstrando a representatividade deste nutriente devolvido ao solo através da biomassa.

O maior tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ), para todos os nutrientes foi observado para o milho em monocultivo seguido do capim-zuri em monocultivo e consorciado. O maior teor de lignina e relação C:N destas culturas, principalmente o milho, conforme relatado anteriormente, contribui para imobilização dos nutrientes, dificultando sua ciclagem/mineralização (Rhodes et al., 2021).

Na perspectiva da ciclagem de nutrientes em sistemas produtivos, a quantidade e a taxa de liberação de nutrientes oriundos de resíduos vegetais deixados por uma cultura, previamente cultivada, são de grande importância para o manejo nutricional da cultura sucessora (Baptistela et al., 2020). Assim, os períodos de demanda por nutrientes das plantas e maior liberação da biomassa devem coincidir (Muniz et al., 2021). A soja acumula a maior parte dos macronutrientes entre 82 e 92 dias de seu desenvolvimento, e a maior taxa de absorção ocorre entre 39 e 58 dias (Carmello e Oliveira, 2006). No presente estudo o tempo de meia vida dos nutrientes foi em média de 53; 66; 34 e 59 dias para o nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre, com liberação acima de 78% aos 120 dias de decomposição, demonstrando o potencial das forrageiras como reserva e suprimento de nutrientes para a cultura da soja.

A ordem decrescente de acúmulo dos nutrientes na biomassa de todos os sistemas de cultivo dos capins Tamani e Zuri em monocultivo ou consorciados foi:  $K > N > S > P$ , reforçando os resultados encontrados por Almeida et al. (2022), em que o K é o nutriente mais acumulado pelos capins Tamani, Quênia e Zuri. Para a biomassa do milho foi:  $N > K > S > P$ . Os nutrientes que apresentaram maiores concentrações acumuladas na biomassa foram o potássio e o nitrogênio. Já o enxofre e o fósforo apresentaram as menores concentrações acumuladas. Estes valores, entretanto, também são indicativos de ciclagem de nutrientes, uma vez que quantidades menores destes nutrientes são requeridas pelas culturas subsequentes.

As maiores altura de plantas, inserção da primeira vagem e número de vagem por planta obtidos nos sistemas de cultivos dos capins Tamani e Zuri em monocultivo e consorciados pode ser decorrente da maior biomassa de cobertura do solo disponíveis nesses sistemas, que contribuiu para maior liberação de nutrientes, visto que essas forrageiras apresentaram maior concentração de nutrientes na biomassa com maior retorno ao sistema (Tabela 1), favorecendo o desenvolvimento da soja. Estes resultados também demonstram que a liberação dos nutrientes em função da decomposição da biomassa, estava sincronizada com a absorção pelas plantas de soja durante o seu ciclo de desenvolvimento, influenciando positivamente nas características agronômicas e produtivas (Costa et al., 2021).

Incrementos nas características agronômicas da soja em sistema integrado de produção utilizando biomassa de forrageiras tropicais também foram observados por Dias et al. (2020); Muniz et al. (2021); Pires et al. (2022). Analisando os nutrientes liberados por plantas de cobertura de *Brachiaria* antes da soja Tanaka et al. (2019) observaram que a presença de biomassa na superfície do solo influencia positivamente o estabelecimento da cultura da soja e a formação de vagens, principalmente em condições climáticas adversas.

A cobertura do solo com resíduos de vegetais, principalmente da combinação de milho e forrageiras promove menor variação de temperatura do solo, preserva a umidade, além de auxiliar na descompactação do solo e fornecer nutrientes à medida que a biomassa das plantas e raízes se decompõem (Calonego et al., 2017). Benefícios as propriedades biológicas do solo também são observados, como aumento da atividade microbiana e supressão de ervas daninhas através de barreiras físicas, competição por luz e nutrientes e efeitos alopáticos, reduzindo a utilização de defensivos agrícolas (Vincent-Caboud et al., 2019), favorecendo assim o melhor estabelecimento e desenvolvimento da soja.

O peso de 1000 grãos é um componente do rendimento da soja, relacionado diretamente a produtividade da cultura. No presente estudo, os maiores valores do peso de 1000 grãos foram obtidos nos sistemas de cultivo com biomassa de cobertura do solo. Também nesses sistemas

foram observadas maiores produtividades de grãos. O sistema de integração lavoura-pecuária é uma técnica promissora e sustentável para a produção de biomassa para sistemas de plantio direto, influenciando positivamente as características produtivas da soja como o aumento da massa de mil grãos, número de vagens por planta e produtividade (Oliveira et al., 2020). Avaliando produção de biomassa de forrageiras dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* em sistema integrado de produção e sua influência na produtividade da soja, Dias et al. (2020), Costa et al. (2021) e Muniz et al. (2021), também observaram aumento da produtividade da soja em função da presença da cobertura do solo.

Os maiores rendimentos de soja estão relacionados a melhorias nas propriedades bioquímicas e biológicas do solo, que são influenciados positivamente pelos sistemas integrados. Pois em áreas de pousio durante a entressafra, o acúmulo de biomassa e absorção de nutrientes pela soja em sucessão é afetado negativamente, principalmente nos anos com condições climáticas desfavoráveis, comprometendo a produtividade da cultura (Soratto et al., 2022). Diante disso, a escolha correta da forrageira e do método de semeadura para compor o sistema de integração lavoura-pecuária com a cultura do milho na segunda safra, visando a produção de biomassa para o plantio direto da soja (primeira safra), otimiza o uso da área, diversifica a produção e reduz a utilização de fertilizantes químicos trazendo maior sustentabilidade aos sistemas agrícolas.

## 5 CONCLUSÃO

O capim-zuri em monocultivo e consorciado nas duas formas de semeadura proporcionou maior produção de biomassa e ciclagem de nutrientes, entretanto, ambas as forrageiras podem ser indicadas como plantas de cobertura por influenciar de forma positiva nas características agrônômica e produtividade da soja.

O sistema de cultivo da soja sem biomassa de cobertura do solo, apresentou menor produtividade.

Os sistemas integrados com forrageiras tropicais para cobertura do solo, mostrou-se como técnica eficiente para produção de biomassa e ciclagem de nutrientes, pelo maior aproveitamento dos nutrientes do solo e contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADETUNJI, A. T.; NCUBE, B.; MULIDZI, R.; LEWU, F. B. Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review. **Soil and Tillage Research**, v. 204, p. 104717, 2020.

ALMEIDA, E. M.; MONTAGNER, D. B.; DIFANTE, G.S.; ARAÚJO, A. R.; SANTANA, J. C. S.; GURGEL, A. L. C.; SCARIOT, C. Growth dynamics and nutrient uptake of panicum maximum under nitrogen fertilisation. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, p. 1-15, 2022.

ALTIERI, M. A.; FUNES-MONZOTE, F. R.; PETERSEN, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. **Agronomy for sustainable development**, v. 32, p. 1-13, 2012.

ANDRADE, C. A. O.; BORGHI, E.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; CAMARGO, F. P.; AVANZI, J. C.; SIMON, J.; SILVA, R. R.; FIDELIS, R. R. Straw production and agronomic performance of soybean intercropped with forage species in no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 861-868, 2017.

BONFIM-SILVA, E. M.; OLIVEIRA, N. P.; MAZERO, H. M.; ALVES, D. J.; OLIVEIRA, J. R.; SILVA, T. J. A. Production and morphophysiological responses of Panicum maximum cv. BRS Zuri to water availability. **Australian Journal of Crop Science**, n.16, v. 11, p. 1203-1211, 2022.

CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P.; RIGON, J. P.; OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31-37, 2017.

CARMELLO, Q. A. C.; OLIVEIRA, F. A. Nutrição de lavouras de soja: situação atual e perspectivas. **Visão Agrícola**, v. 3, n. 5, p. 8-11, 2006.

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

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C.; PARIZ, C. M.; BOSSOLANI, J. W.; PASCOALOTO, I. M.; LIMA, C. G. R.; BONINI, C. S. B.; CASTILHOS, A. M.; CALONEGO, J. C. Soybean yield and nutrition after tropical forage grasses. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 121, n. 1, p. 31-49, 2021.

COSTA, R. R. G. F.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SANTOS, C. B.; ROCHA, A. F. S.; SOUZA, W. F.; BRANDSTETTER, E. V.; CASTRO, W. A. Nutrients cycling and accumulation in pearl millet and Paiaguas palisadegrass biomass in different forage systems and sowing periods. **Revista Scientia Agraria**. v. 18, n. 4, p. 166-178, 2017.

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. 1, p. 1-14, 2021.

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

FERREIRA, 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.

GARRETT, R. D.; NILES, M.; GIL, J.; DY, P.; REIS, J.; VALENTIM, J. Policies for reintegrating crop and livestock systems: a comparative analysis. **Sustainability**, v. 9, n. 3, p. 473, 2017.

GUARNIERI, A.; COSTA, K. A. P.; SEVERIANO, E. C.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, S. S.; SANTOS, C. B. Agronomic and productive characteristics of maize and Paiaguas palisadegrass in integrated production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 1185-1198, 2019.

HAO, H.; WEI, Y.; CAO, D.; GUO, Z.; SHI, Z. Vegetation restoration and fine roots promote soil infiltrability in heavy-textured soils. **Soil and Tillage Research**, v. 198, p. 104542, 2020.

MACHADO, L. A. Z.; CECATO, U.; COMUNELLO, E.; CONCENÇO, G.; CECCON, G. Estabelecimento de forrageiras perenes em consorcio com a soja, para sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 7, p. 521-529, 2017.

MAIA, S. M. F.; MEDEIROS, A. S.; SANTOS, T. C.; LYRA, G. B.; LAL, R.; ASSAD, E. D.; CERRI, C. E. P. Potential of no-till agriculture as a nature-based solution for climate-change mitigation in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 220, p. 105368, 2022.

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

MARTIN, G.; MORAINÉ, M.; RYSCHAWY, J.; MAGNE, M.-A.; ASAI, M.; SARTHOU, J.-P.; DURU, M.; THEROND, O. Crop–livestock integration beyond the farm level: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 3, p. 1-21, 2016.

MEO-FILHO, P.; BERNDT, A.; PEZZOPANE, J. R. M; PEDROSO, A. F.; BERNARDI, A. C. C; RODRIGUES, P. H. M.; BUENO, I. C. S.; CORTE, R. R.; OLIVEIRA, P. P. A. Can Intensified Pasture Systems Reduce Enteric Methane Emissions from Beef Cattle in the Atlantic Forest Biome?. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 2738, 2022.

MEUWISSEN, M.P.M.; FEINDT, P.H.; SPIEGEL, A.; TERMEER, C.J.A.M.; MATHIJS, E.; MEY, Y.; FINGER, R.; BALMANN, A.; WAUTERS, E.; URQUHART, J.; VIGANI, M.; ZAWALIŃSKA, K.; HERRERA, H.; NICHOLAS-DAVIES, P.; HANSSON, H.; PAAS, W.; SLIJPER, T.; COOPMANS, I.; VROEGE, W.; CIECHOMSKA, A.; ACCATINO, F.; KOPAINSKY, B.; POORTVLIET, P.M.; CANDEL, J.J.L.; MAYE, D.; SEVERINI, S.; SENNI, S.; SORIANO, B.; LAGERKVIST, C.J.; PENEVA, M.; GAVRILESCU, C.;

REIDSMAN, P. A framework to assess the resilience of farming systems. **Agricultural Systems**, v. 176, p. 102656, 2019.

MIGUEL, A. S. D. C. S.; PACHECO, L. P.; CARVALHO, Í. C.; SOUZA, E. D.; FEITOSA, P. B.; PETTER, F. A. Phytomass and nutrient release in soybean cultivation systems under no-tillage. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 10, p. 1119-1131, 2018.

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

NUNES, M. R.; KARLEN. D. L.; VEUM, K. S.; MOORMAN. T. B.; CAMBARDELLA, C. A. Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. **Geoderma**, v. 369, p. 114335, 2020.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; PEREIRA, L. R.; DOMINGOS, C. S. Estádios Fenológicos E Marcha De Absorção De Nutrientes Da Soja. **Embrapa Soja**, 2016.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; DE ASSIS, R. L.; SEVERIANO, E. C.; DIAS, M. B. C.; SANTOS, C. B. Agronomic characteristics of soybean under the production and decomposition of sunflower and Paiaguas palisadegrass biomass in different integrated production systems. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 5, p. 788-794, 2020.

OZLU, E.; ARRIAGA, F. J.; BILEN, S.; GOZUKARA, G.; BABUR, E. Carbon footprint management by agricultural practices. **Biology**, v. 11, n. 10, p. 1453, 2022. <https://doi.org/10.3390/biology11101453>

PAUL, E. A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego, Academic Press, p.275, 1989.

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

PIRES, G. C.; DENARDIN, L. G. O.; SILVA, L. S.; FREITAS, C. M.; GONÇALVES, E. C.; CAMARGO, T. A.; BREMM, C.; CARVALHO, P. C. F.; SOUZA, E. D. Soybean yield through soil quality improvements in integrated crop-livestock system in tropical soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-9, 2022.

RAMANKUTTY, N.; MEHRABI, Z.; WAHA, K.; JARVIS, L.; KREMEN, C.; HERRERO, M.; RIESEBERG, L. H. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. **Annual review of plant biology**, v. 69, n. 1, p. 789-815, 2018.

RHODES, A. C.; PLOWES, R. M.; GOOLSBY, J. A.; GASKIN, J. F.; MUSYOKA, B.; CALATAYUD, P. A.; CRISTOFARO, M.; GRAHMANN, E.D.; MARTINS, D. J.; GILBERT, L. E. The dilemma of Guinea grass (*Megathyrsus maximus*): a valued pasture grass and a highly invasive species. **Biological Invasions**, v. 23, n. 12, p. 3653-3669, 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**. Embrapa CNPS, 5 ed. 2018. 356p.

SILVA, J. de L.; RIBEIRO, K.G.; HERCULANO, B.N.; PEREIRA, O.G.; PEREIRA, R.C.; SOARES, L.F.P. Massa de forragem e características estruturais e bromatológicas de cultivares de *Brachiaria* e *Panicum*. **Ciência Animal Brasileira**, v.17, p.342- 348, 2016.

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.



SNEDECOR, G.W; COCHRAN, W.G. Statistical methods, octave ed. Iowa State University Press, 1989.

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

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

TANAKA, K. S.; CRUSCIOL, C. A.; SORATTO, R. P.; MOMESSO, L.; COSTA, C. H.; FRANZLUEBBERS, A. J.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CALONEGO, J. C. Nutrients released by Urochloa cover crops prior to soybean. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, p. 267-281, 2019.

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.

TORRES, J. L. R.; JÚNIOR, J. M.; JÚNIOR, J. S.; VIEIRA, D. D. S.; SOUZA, Z. M.; ASSIS, R. L.; LEMES, E. M. Soil physical attributes and organic matter accumulation under no-tillage systems in the Cerrado. **Soil Research**, v. 57, n. 7, p. 712-718, 2019.

VINCENT-CABOUD, L.; CASAGRANDE, M.; DAVID, C.; RYAN, M. R.; SILVA, E. M.; PEIGNE, J. Using mulch from cover crops to facilitate organic no-till soybean and maize production. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 39, n. 5, p. 1-15, 2019.

WENNECK, G. S.; SAATH, R.; ARAUJO, L. L.; PEREIRA, G. L.; REZENDE, R.; WENNECK, G. S. Decomposition of the remaining straw during soybean growing in the midwestern Paraná, Brazil. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, n. 4, p. 6534, 2021.

ZAGATO, L. Q. S. D.; ARAUJO, L. C.; SANTOS, S. N. A.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; SILVEIRA, O.; SANTOS, A. C. Decomposition of straw resulting from different strategies of recovery of degraded pastures using an integrated crop-livestock system. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 4, p. 1397-1406, 2018.