

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS –
AGRONOMIA - CAMPUS RIO VERDE**

VICTÓRIA SANTOS SOUZA

**DIVERSIFICAÇÃO DO CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA E
SUA INFLUÊNCIA NA CICLAGEM DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE
DA SOJA**

**RIO VERDE - GO
2022**

VICTÓRIA SANTOS SOUZA

**DIVERSIFICAÇÃO DO CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA E
SUA INFLUÊNCIA NA CICLAGEM DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE
DA SOJA**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Curso em Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Prof.^a Dra. Darliane de Castro Santos

**RIO VERDE, GO
2022**



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

Documentos 18/2022 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

DIVERSIFICAÇÃO DO CULTIVO DE PLANTAS DE COBERTURA E SUA INFLUÊNCIA NA CICLAGEM DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Autora: Victória Santos Souza

Orientadora: Dra. Darliane de Castro Santos

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 03 de fevereiro de 2022.

Prof^a. Dra. Darliane de Castro Santos (Presidente)
Prof. Dr. Adriano Jakelaitis (Avaliador interno)
Prof. Dr. Mauricio Roberto Cherubin (Avaliador externo)
Prof. Dr. Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida, Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida - 203405 - Pesquisador das ciências agrárias - Centro Nacional de Pesquisa de Solos Cnps - Embrapa (00348003001273), em 03/02/2022 12:30:43.
- Maurício Roberto Cherubin, Maurício Roberto Cherubin - 2343 - PROFESSORES DE ARQUITETURA E URBANISMO; ENGENHARIA; GEOFÍSICA E GEOLOGIA DO ENSINO SUPERIOR - Universidade de São Paulo (63025530000104), em 03/02/2022 12:30:33.
- Adriano Jakelaitis, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/02/2022 12:28:41.
- Darliane de Castro Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/02/2022 12:28:04.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/01/2022. 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: 351839
Código de Autenticação: 9bdde2744e



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

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

SS0729 Souza, Victória
d Diversificação do cultivo de plantas de cobertura e sua influência na ciclagem de nutrientes e produtividade da soja / Victória Souza; orientadora Darliane de Castro Santos; co-orientador Tiago do Prado Paim. -- Rio Verde, 2022.
59 p.

Dissertação (Mestrado em Pós-Graduação Stricto Sensu, Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Cerrado goiano. 2. Ciclagem de nutrientes. 3. Mix de plantas. 4. Nematoides. 5. Produtividade da soja. I. de Castro Santos, Darliane, orient. II. do Prado Paim, Tiago, co-orient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe Doralina Bispo Santos de Souza, meu pai Izaildo Santos Souza, minha irmã Gracyeli Souza Guarienti e minha sobrinha Marieli, por todo apoio, por terem acreditado em mim, por estarem comigo nessa jornada, cuidando mesmo de longe e me incentivando, amo vocês.

Agradeço ao meu marido Ygor, pela paciência, compreensão e companheirismo.

Agradeço aos meus amigos em especial Aline Bertol, Joice dos Santos, Gabriela Paixão, Vitória Friedrich, Alex Pilatti e Hevrili Pilatti, que estiveram comigo em todos os momentos me apoiando e me fazendo dar risada.

Aos meus amigos de Rio Verde Jaqueline Ferreira, Stéfany Oliveira e Matheus Rodrigues, Jefferson Martins e Jorge Ramalho, que juntos construímos muitas histórias que com certeza lembrarei com muito carinho.

Agradeço em especial, à minha orientadora Dra. Darliane de Castro Santos, por ter me conduzido durante o mestrado e auxiliado na minha evolução, muito obrigada por todos os conselhos, pela paciência, com certeza levarei adiante todos os seus ensinamentos.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Tiago Paim, por todo o suporte durante a pesquisa.

Agradeço aos professores doutores Mauricio Roberto Cherubin, Adriano Jakelaitis e Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida, pela disponibilidade em aceitar fazer parte da banca examinadora. Meu muito obrigada.

Gostaria de agradecer ao Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano – GAPES e ao Grupo Kompier – Fazenda Boa Esperança, a todos os funcionários e estagiários por todo apoio na realização desse trabalho, faço isso em nome do Túlio Gonçalo e Marion Kompier, respectivamente.

Agradeço à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, pela oportunidade deste trabalho.

Quero agradecer também a todos que contribuíram na realização deste trabalho de forma direta ou indireta.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Victória Santos Souza nasceu em Água Boa – MT, em 27 de janeiro de 1997, filha de Doralina Bispo Santos de Sousa e Izaildo Santos Souza. Coursou Agronomia na Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus Nova Xavantina, entre 2015 e 2020. Em 2020 ingressou no IF Goiano – Campus Rio Verde, no programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia, na linha de pesquisa Tecnologias Sustentáveis em Sistemas de Produção e Uso do Solo e Água.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Plantas de cobertura como alternativa de potencializar plantio direto.....	14
2.2. Diversificação do sistema produtivo da soja.....	15
2.3. Combinação de espécies de plantas de cobertura (mix).....	16
2.4. Decomposição de palhada.....	17
2.5. Influência de plantas de cobertura na população de nematoides	18
3. OBJETIVOS.....	19
3.1. Específicos	19
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO I	26
1. Introdução.....	27
2. Material e Métodos.....	28
2.1. Descrição da área do estudo.....	28
2.2. Tratamentos avaliados.....	31
2.3. Condução do experimento.....	31
2.4. Avaliações realizadas	32
2.5. Análise dos dados.....	34
3. Resultados.....	35
3.1. Matéria seca das plantas de cobertura.....	35
3.2. População de plantas	36
3.3. Vagens por planta.....	36
3.4. Massa de mil grãos.....	36
3.5. Rendimentos de grãos	38
3.6. População de nematoide.....	39
3.7. Massa seca e decomposição de biomassa	40
4. Discussão.....	45
5. Conclusões.....	51
6. Agradecimentos	52
7. Referências	53
5. Conclusão geral	58

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo I:

Tabela 1 - Matéria seca total das plantas de cobertura (kg ha^{-1}) avaliadas na safra anterior à semeadura da soja em Montividiu-GO e Rio Verde-GO.....	35
Tabela 2 - Variáveis agronômicas da soja: população de soja (plantas ha^{-1}), número de vagens por planta e massa de mil grãos (g), durante os três anos para Montividiu e Rio Verde.....	37
Tabela 3 - Rendimento da soja sob a biomassa das plantas de cobertura.....	39
Tabela 4 - População de nematoide <i>Pratylenchus</i> no solo e <i>Pratylenchus</i> na raiz, <i>Helicotylenchus</i> no solo e <i>Helicotylenchus</i> na raiz da soja.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1 – Locais de condução do estudo, localizado na fazenda Boa Esperança em Montividiu – GO e Estação Experimental do GAPES (Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano) em Rio Verde - GO, Brasil.....	29
Figura 2 - Dados climáticos mensais de precipitação pluvial e temperatura média durante o período da safra de soja em campo da Fazenda Boa Esperança em Montividiu – GO, A: safra 2018/2019 B: 2019/2020 e C: 2020/2021.....	30
Figura 3 - Dados climáticos mensais de precipitação pluvial e temperatura média durante o período da safra de soja em campo do GAPES (Grupo Associado de Produtores do Sudoeste Goiano) em Rio Verde - GO. A: safra 2018/2019 B: 2019/2020 e C: 2020/2021.	30
Figura 4 - Cronologia da execução dos experimentos.....	31
Figura 5- Velocidade de decomposição da matéria seca das plantas de cobertura durante os 120 dias após a dessecação (DAD) em Rio Verde, média dos três anos de avaliação. Tempo de meia vida ($T_{1/2}$).	41
Figura 6 - Velocidade de liberação dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, tempo de meia vida e taxa de decomposição da biomassa das plantas de cobertura até os 120 DAD, média dos três anos (Continuação).....	44

RESUMO

SOUZA, VICTORIA SANTOS. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, fevereiro de 2022. **Diversificação do cultivo de plantas de cobertura e sua influência na ciclagem de nutrientes e produtividade da soja.** Orientadora: DSc. Darliane de Castro Santos; Coorientador: DSc. Tiago do Prado Paim.

RESUMO – Para o sucesso do sistema de plantio direto é imprescindível que o solo tenha biomassa em quantidade e qualidade. O objetivo do trabalho foi avaliar a produção de biomassa de plantas de cobertura, a dinâmica de decomposição da palhada e supressão de nematoide e o desempenho agrônômico da cultura da soja cultivada em sucessão. O estudo foi conduzido por três anos (2018, 2019 e 2020) em dois locais (Rio Verde - GO e Montividiu - GO). Os tratamentos avaliados foram sistemas de produção de soja semeada sob diferentes biomassas sendo: 1) Mix de plantas de cobertura (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria spectabilis* e *Urochloa ruziziensis*), 2) *Pennisetum glaucum*, 3) Crotalária (*C. spectabilis*), 4) *U. ruziziensis*, 5) *U. brizantha* cv. Marandu e 6) *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás. Foram realizadas as seguintes avaliações: Avaliar a produção de biomassa e a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes das palhadas nos diferentes sistemas de produção com plantas de cobertura e medir a população de nematoides, variáveis agrônômicas e o rendimento da de grãos sobre diferentes palhadas de plantas de cobertura. Os sistemas de produção afetaram a quantidade de matéria seca (MS) produzida, sendo que o *Pennisetum glaucum* e *U. brizantha* cv. *Marandu* obtiveram os maiores valores de MS durante os três anos para Montividiu e Rio Verde, respectivamente. Os menores valores de MS foram para a *C. Spectabilis* sendo de 2.899 e 2.451 kg ha⁻¹, 5.992 e 5.544 kg ha⁻¹ e 1.271 e 823 kg ha⁻¹ primeiro, segundo e terceiro ano para Montividiu e Rio Verde, respectivamente. As plantas de cobertura influenciaram a população de *Helicotylenchus* na raiz da soja somente em Montividiu, em que se observou a menor população na palhada do *Pennisetum glaucum*. O tratamento mix (*C. spectabilis*, *Pennisetum glaucum* e *U. ruziziensis*) aparece como uma opção, quando há intenção de utilizar a *C. spectabilis* no sistema, pois proporcionou maiores quantidade de MS comparada com a *C. spectabilis* solteira. Quanto à velocidade de liberação dos nutrientes, a *C. spectabilis* foi a planta de cobertura apresentou os menores tempos de meia vida, sendo 65 dias para N, 119 dias P, 12 dias para o K, 73 dias para o Ca, 48 dias para o Mg e 178 dias para o S. Em destaque, o tratamento mix (*C. spectabilis*, *Pennisetum glaucum* e *U. ruziziensis*) apresentou tempo de meia vida maior do que a *C. spectabilis*, além de ser o tratamento que proporcionou a

maior produtividade da soja de 5.635 kg ha⁻¹, destacando as vantagens de diversificar espécies de plantas de cobertura por meio do consórcio, para assim, extrair maiores benefícios.

Palavras-chave: Cerrado goiano, Ciclagem de nutrientes, mix de plantas, nematoides, produtividade da soja.

ABSTRACT

SOUZA, VICTORIA SANTOS. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, february 2022. Diversification of cover crop cultivation and the influence on nutrient cycling and soybean yield. Advisor: DSc. Darliane de Castro Santos; Co-Advisor: DSc. Tiago do Prado Paim.

ABSTRACT – For the no-tillage system, it is essential that the soil has crop residues in quantity and quality. The aim of this study was to evaluate the biomass production of cover crops, the dynamics of crop residues decomposition and nematode suppression, and the agronomic performance of soybean cultivated in succession. The study was conducted for three years (2018, 2019 and 2020) in two locations (Rio Verde - GO and Montividiu - GO). The treatments evaluated were soybean production systems sown under different biomasses of cover crops 1) mix (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria spectabilis* and *Urochloa ruziziensis*), 2) millet (*Pennisetum glaucum*), 3) crotalaria (*C. spectabilis*), 4) *U. ruziziensis*, 5) *U. brizantha* cv. Marandu and 6) *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás. The variable evaluated were: the biomass production and the speed of decomposition and release of nutrients from the crop residues, the population of nematodes, agronomic variables and the grain yield on different crop residues of cover plants. The production systems affected the amount of dry matter (DM) produced, with *Pennisetum glaucum* and *U. brizantha* cv. Marandu obtained the highest DM values during the three years for Montividiu and Rio Verde, respectively. The lowest DM values were for *C. Spectabilis*, being 2,899 and 2,451 kg ha⁻¹, 5,992 and 5,544 kg ha⁻¹ and 1,271 and 823 kg ha⁻¹ for the first, second and third years for Montividiu and Rio Verde, respectively. The cover crops influenced the population of *Helicotylenchus* in the soybean root only in Montividiu, where the lowest population was observed in the straw of *Pennisetum glaucum*. The mix treatment (*C. spectabilis*, *Pennisetum glaucum* and *U. ruziziensis*) appears as an option when there is an intention to use *C. spectabilis* in the system, as it provided higher amounts of DM compared to single *C. spectabilis*. As for the speed of nutrient release, *C. spectabilis* was the cover crop with the shortest half-life, being 65 days for N, 119 days for P, 12 days for K, 73 days for Ca, 48 days for the Mg and 178 days for S. The mix treatment (*C. spectabilis*, *Pennisetum glaucum* and *U. ruziziensis*) had a longer half-life than *C. spectabilis*, in addition to being the treatment that provided the highest productivity of 5,635 kg ha⁻¹ of soybean,

highlighting the advantages of diversifying cover plant species through intercropping, in order to extract greater benefits.

Keywords: Cerrado in Goiás, Nutrient cycling, plant mix, nematodes, soybean yield.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Há uma demanda crescente por alimentos, bioenergia e produtos florestais, concomitante a isso, há também necessidade de redução do desmatamento e mitigação da emissão de gases de efeito estufa (Tavanti *et al.*, 2020). Para atender essa demanda é necessário aumentar a eficiência dos sistemas de produção (Martinelli, 2017).

O bioma Cerrado envolve 23,9% do total da área do Brasil e tem papel fundamental para o crescimento econômico (Bustamante *et al.*, 2012). Esse bioma apresenta características como concentração de chuva no verão e seca no inverno, além de altas temperaturas entre 22°C e 27°C em média (Cardoso *et al.*, 2014). Assim, essas características edafoclimáticas do bioma Cerrado combinadas com o manejo convencional do solo favorecem a erosão, diminuição da atividade biológica e baixa taxa de infiltração da água, contribuindo para a redução da produtividade do sistema (Panachuki *et al.*, 2011).

A produção de alimentos por meio de técnicas conservacionistas é um dos grandes pilares para a redução da degradação do solo e otimização da produtividade, como analisado por Brown *et al.* (2018), em que o preparo convencional do solo reduziu o rendimento de grãos de soja e milho em comparação ao sistema de plantio direto. A agricultura conservacionista associada com os princípios do sistema plantio direto contribui para uma agricultura sustentável com o mínimo ou não revolvimento do solo, rotação de culturas com alta diversidade e produção de biomassa, promovendo aumento na qualidade do solo e maior eficiência no uso de nutrientes (Kassam *et al.*, 2019).

As plantas de cobertura são comumente semeadas após a colheita das safras das culturas anuais e fornecem para o sistema de cultivo maior diversidade de espécies. Liebig *et al.*, (2014) observaram que esse aumento da diversidade de espécies promovido pelas plantas de cobertura promoveu safras comerciais com maiores produtividades e mais estáveis em comparação com os sistemas de cultivo menos diversos, além de melhorar a eficiência no uso de nutrientes e água. As plantas de coberturas promovem ganhos na fertilidade do solo e na produtividade da soja (Crusciol *et al.*, 2015; Andrade *et al.*, 2017), supressão de plantas daninhas (Rosario-Lebron *et al.*, 2019) e maior infiltração da água reduzindo o escoamento superficial (Alvarez *et al.*, 2017).

Em virtude disso, é preciso implementar técnicas conservacionistas de manejo do solo a fim de potencializar a produtividade das áreas agrícolas. Uma alternativa é a utilização de plantas de cobertura em segunda safra visando aumentar a diversidade do sistema, além, de maior produção de biomassa para a cultura da soja em sucessão. Com

isso, a hipótese do estudo foi quanto maior a diversidade do sistema maiores serão os benefícios proporcionados pelas plantas de cobertura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Plantas de cobertura como alternativa de potencializar plantio direto

O Brasil é o maior produtor de soja (*Glycine max* (L.) Merr), tendo a produção estimada para safra 2021/2022 de 140,50 milhões de toneladas de soja, com importação de 500 mil toneladas e exportações de 89,31 milhões de toneladas (CONAB, 2022; Hirakuri e Lazzarotto 2014; USDA 2016). A soja era comumente produzida como monocultura durante a década de 1970, quando os sistemas de cultivo anual de apenas uma cultura eram predominantes nas fazendas brasileiras (Batlle-Bayer *et al.*, 2010). Com o avanço da agricultura, o sistema de plantio direto (SPD) foi amplamente adotado nos sistemas de cultivo da soja, e foi baseado em duas safras no mesmo ano agrícola, sendo, soja na 1º safra e milho (*Zea mays*) 2º safra (mais conhecido como safrinha), assim, foi possível semear a soja sobre a palhada do milho (Abrahão e Costa, 2018, Arvor *et al.*, 2012, Spera *et al.*, 2014).

Essa mudança no sistema de cultivo foi impulsionada principalmente pelo aumento dos custos de produção dos sistemas tradicionais, quando o solo ficava por um longo período em pousio, e pelos impactos que essa prática causava para a qualidade do solo (Sá *et al.*, 2014). O fato de conseguir colher duas safras no mesmo ano aumentou a lucratividade potencial do sistema de cultivo, porém, essa intensificação agrícola gera efeitos negativos descritos por Banerjee *et al.*, (2019), colocando em risco a sustentabilidade da produção agrícola.

Como observado em trabalhos de Anghinoni *et al.*, (2021) comparando sistemas de produção com soja em pousio e rotação de culturas em três anos, o sistema em pousio apresentou menor produtividade da soja e menores valores de β -glicosidase. A biologia do solo está diretamente associada com a produção de biomassa das plantas de cobertura, sendo que, a maior produção de biomassa foi no tratamento com soja/braquiária (*Urochloa ruziziensis*) e a menor foi no pousio, esclarecendo a baixa qualidade biológica do solo (Anghinoni *et al.*, 2021).

No tratamento soja seguida de milho houve maior compactação do solo, indicando que esse sistema de cultivo contínuo reduz a sustentabilidade e lucratividade da produção de soja por gerar efeitos negativos na qualidade do solo (Anghinoni *et al.*, 2021). Estudo de Calonego *et al.*, (2017) comparando cultivo com escarificação do solo e coberturas

vegetais, a soja apresentou melhor produtividade sobre plantas de cobertura a partir do segundo ano de cultivo. Já em estudos de Fialho (2020) o maior rendimento de grãos de soja foi observado logo no primeiro ano, indicando que os benefícios das plantas de cobertura vão depender do manejo, bem como da espécie de planta utilizada.

2.2. Diversificação do sistema produtivo da soja

Os sistemas de produção que apresentam menos diversificação de plantas estão propensos a maior fragilidade em relação a pragas, doenças, plantas daninhas e nematoides (Hunt *et al.* 2019). Assim, sistemas menos diversificados tendem a ter estagnação dos rendimentos e aumento dos custos de produção se tornando ineficientes e insustentáveis, como exemplo sistemas de sucessão soja-milho (Wang *et al.* 2019).

Para contornar os obstáculos supracitados a alternativa é a utilização de plantas de cobertura que apresentem alta produção de matéria seca (Costa *et al.*, 2021). Crusciol *et al.*, (2016), testando método de semeadura (sulco, a lanço e no estágio V4 do milho) de forrageiras em consórcio com milho, concluiu que forrageiras semeadas no sulco e a lanço produziram mais biomassa, no entanto, independentemente da forragem e do método de semeadura o consórcio produziu a quantidade de biomassa em relação à monocultura de milho.

Thioye *et al.*, (2022) comparando sistema de produção convencional com a presença de planta de cobertura (*Vicia faba* Roth) e ausência, observaram maior abundância de biomassa microbiana, bacteriana e fúngica nos tratamentos contendo plantas e cobertura. Dias-Arieira *et al.*, (2021) constataram em seus estudos que altos teores de matéria orgânica foram correlacionados com menor número de *Pratylenchus* e que a maior produtividade da soja foi associada ao sistema soja-*Urochloa*, em contraste a menor produtividade em soja-milho, além desse sistema aumentar a população de *Pratylenchus*. Ainda destacam que, sistemas de cultivo como soja-cana-de-açúcar e soja-pousio aumentaram os números de *Helicotylenchus* e *Xiphinema*.

Um exemplo emblemático da importância da diversificação do sistema produtivo para qualidade do solo é o experimento de longa duração da fundação MT, iniciado em 2008. Nesse experimento estão sendo avaliados sistemas de pousio, sucessão e rotação de culturas. A produtividade da soja apresentou diferença estatística somente a partir da safra 2014/2015, depois de um veranico, sendo que o tratamento soja/pousio apresentou produtividade de 29 sacas ha⁻¹, enquanto no tratamento soja/*Urochloa*, a produtividade

de grãos foi de 59 sacas ha⁻¹ (Mendes *et al.*, 2017), mostrando que quanto mais o sistema for diversificado maior a estabilidade de produção.

Em experimentos realizados por Tiemann *et al.*, (2015) e Mendes *et al.*, (2017) analisando sistemas de rotação de culturas verificaram que ao aumentar a diversidade de plantas em rotação melhorou as comunidades biológicas do solo, com efeitos positivos na matéria orgânica. Os tratamentos contendo planta de cobertura como a *Urochloa* apresentaram teores de matéria orgânica 50% mais elevados do que no tratamento soja seguido de pousio.

2.3. Combinação de espécies de plantas de cobertura (mix)

Segundo Holmes *et al.* (2017) o sucesso para a combinação de espécies (mix) de plantas de cobertura está intimamente ligado as características morfológicas e funcionais de cada espécie utilizada, já que quanto mais características divergentes melhor para o sistema.

As leguminosas são conhecidas por sua fixação biológica de N atmosférico por meio de suas relações simbióticas (Kaye *et al.*, 2019) e são amplamente utilizadas no mix com um dos objetivos de suprimento de N para a safra comercial subsequente (Thorup-Kristensen *et al.*, 2003). Gramíneas forrageiras como Braquiárias (*Urochloa spp.*), Panicum (*Megathyrsus spp.*), Sorgo e Milheto possuem um sistema radicular bastante agressivo, capaz de explorar o perfil do solo, assim, promovendo descompactação biológica (Calonego *et al.*, 2017). Contudo, forrageiras como do gênero Panicum e *Urochloa* se mostram promissoras para utilização como plantas de cobertura (Correia, 2016). *Panicum* e *Urochloa* são largamente utilizadas durante a entressafra no Cerrado, quando a precipitação é baixa, pois estas apresentam alta tolerância ao estresse hídrico, além da capacidade das raízes em alcançar profundidade, absorvendo nutrientes das camadas mais profundas do solo (Correia, 2016).

Como visto por Sodré *et al.* (2022), estudando a produtividade da soja sobre a palhada de *Urochloa ruziziensis*, *U. brizantha* cv. Marandu e sorgo cultivados em consorcio e solteiro, obtiveram maiores produtividades da soja nos tratamentos que incluía a *U. ruziziensis*. Já em estudos de Fiorini *et al.*, (2022) observaram que os resíduos das plantas de cobertura do mix podem afetar negativamente a produtividade da soja, se esses possuírem alta relação C:N. Os mix de plantas de coberturas precisam ser planejados a fim de gerar palhadas que também contenham baixa relação C:N, ao invés

de apenas focar na alta taxa de produção de biomassa. Por esta razão, devem ser preferidas misturas de espécies de plantas de cobertura incluindo leguminosas.

A mistura de espécies de não leguminosas com leguminosas pode interferir no teor de Nitrogênio (N) da biomassa vegetal acima do solo de várias maneiras, e isso irá depender da espécie em estande puro tomado como referência. Como visto em estudos de Finney *et al.*, (2016), Kaye *et al.*, (2019), Tribouillois *et al.*, (2016), White *et al.*, (2016) e (2017) as misturas contendo pelo menos uma leguminosa produziram teor de N da biomassa maior comparado à quando utilizado somente espécies não leguminosas.

2.4. Decomposição de palhada

A dinâmica de liberação dos nutrientes e o tempo de permanência dos resíduos vegetais sobre o solo em sistema de plantio direto (SPD) são preceitos imprescindíveis para o sucesso do SPD, já que esse sistema depende da capacidade da planta de cobertura em gerar/manter matéria seca suficiente para cobrir o solo, principalmente durante a entressafra (Kliemann *et al.*, 2006).

Devido as condições edafoclimáticas do bioma Cerrado, como baixa fertilidade e pH, (Crusciol *et al.*, 2015) inverno seco, verão quente e com altas precipitações (Alvares *et al.*, 2013), faz com que o estabelecimento das plantas de cobertura como segunda safra seja dificultada (Nunes *et al.*, 2021). Essas condições também promovem rápida decomposição da palhada, assim, reduzindo a matéria orgânica do solo gerando efeitos negativos na qualidade do solo (Pariz *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2010; Jensen *et al.*, 2020).

A biomassa atua como reservatório de nutrientes, que ao decorrer do processo de decomposição serão disponibilizados para as próximas culturas (Costa *et al.*, 2021), porém, a velocidade da decomposição e liberação de nutrientes será diferente conforme a origem da biomassa, proveniente de plantas leguminosas ou gramíneas. Crusciol *et al.* (2016), estudando a velocidade de decomposição de gramíneas forrageiras, observaram, que aos 120 dias após a dessecação do Marandu, Braquiária (*U. ruziziensis*) *Panicum maximum* cv. Tanzânia e *Panicum maximum* cv. Áries todas já tinham liberado mais de 80% dos macronutrientes N, P, K, Mg.

Ferreira (2019) avaliando a velocidade de decomposição de gramíneas e leguminosas, observaram que o consórcio de milho com Braquiária (*U. brizantha* cv. BRS Paiáguas) e milho em monocultivo, apresentaram maior tempo de meia-vida, em contraste, com a crotalária que apresentou menor tempo para decomposição. No entanto, quando avaliado a produtividade da soja, o tratamento que teve maior produtividade foi

sobre a palhada de crotalária (Fialho, 2020). Confirmando que o sucesso do sistema está intimamente ligado ao objetivo proposto.

2.5. Influência de plantas de cobertura na população de nematoides

Os nematoides são componentes dominantes da comunidade do solo (van den Hoogen *et al.*, 2020) e são capazes de responder rapidamente as mudanças de manejo do solo. Devido a essa sensibilidade, os nematoides podem ser usados como indicadores da qualidade do solo (Neher, 2001; van den Hoogen *et al.*, 2020).

Os fitonematoides são considerados parasitas obrigatórios, já que dependem do tecido vivo da planta para alimentação, desenvolvimento e reprodução. Na ausência de um hospedeiro, muitas espécies possuem a habilidade em entrar em estado de dormência, há também plantas como a *Crotalária spectabilis* que impedem a reprodução do nematoide, interrompendo o ciclo do mesmo Lordello (1973).

Em consequência da indisponibilidade de cultivares de soja resistentes e dos problemas que os nematocidas podem causar, as práticas de rotação e sucessão no cultivo da soja se torna primordial. Para diminuir a população de nematoides é aconselhável utilizar plantas que sejam não hospedeiras ou hospedeiras desfavoráveis, no entanto, a ampla gama de nematoides dificulta a seleção de espécies vegetais para composição de esquemas de rotação ou sucessão (Goulart, 2008).

As plantas de cobertura exercem grande influência na população de nematoides, estudos em casa de vegetação testam a capacidade de diferentes plantas de cobertura em multiplicar *P. brachyurus* (Inomoto *et al.*, 2006; Machado *et al.*, 2007; Inomoto, 2011; Queiróz *et al.*, 2014). Estes estudos indicam que a *Crotalaria spectabilis* Roth, *C. breviflora* DC. e *C. ochroleuca* G. Don são as plantas de cobertura que mais reduzem a população de *P. brachyurus*, com fatores de reprodução (R) iguais ou próximos de zero. Seguido de algumas cultivares de milho (*Pennisetum americanum* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.), além do guandu (*Cajanus cajan* L.), aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) com $R < 1$.

Como hospedeiros favoráveis, tem-se a maior parte dos híbridos de milho *Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.), além de gramíneas forrageiras perenes, como *Urochloa ruziziensis* (R. Germ & Evrard), *U. brizantha* (Stapf) e *Panicum* spp. L. No entanto, em condições de campo os efeitos destas espécies sobre a reprodutividade

dos nematoides podem ser diferentes, devido aos fatores edafoclimáticos e principalmente, se as plantas forem cultivadas em consórcio (Costa *et al.*, 2014).

Fialho (2020) observou que os cultivos em monocultura tendem a favorecer espécies de determinados gêneros de fitonematoides. Nesse trabalho, a palhada de milho apresentou maiores populações de *Helicotylenchus* sp. e *Pratylenchus* sp. em comparação as demais palhadas. Silva *et al.*, 2018, estudando populações de nematoides *Pratylenchus brachyurus*, *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines* observaram que a rotação de culturas com *Crotalaria spectabilis*, *C. ochroleuca* e *C. breviflora* ocasionou redução da população de nematoides comparado com o cultivo sucessivo de soja após milho.

Corroborando com Fialho (2020), Debiasi *et al.*, 2016 encontram as maiores populações de *P. brachyurus* nos tratamentos milheto, braquiária ruziziensis, pousio, milho e capim-marandu e menores populações *C. spectabilis*, *C. ochroleuca*, *C. juncea* e *C. spectabilis* + milheto. Machado *et al.*, 2022, analisando diferenças na comunidade de nematoides observaram que as áreas de cultivo mínimo e plantio direto eram mais semelhantes, sendo que a comunidade de nematoide se diferenciou mais para o cultivo convencional. Além disso, o plantio direto apresentou riqueza maior em espécies de organismos, comparado as áreas de plantio mínimo e convencional.

3. OBJETIVOS

Avaliar a produção de biomassa de plantas de cobertura, a dinâmica de decomposição da palhada e supressão de nematoide, e o desempenho agrônômico da cultura da soja cultivada em sucessão.

3.1. Específicos

- Avaliar a produção de biomassa e a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes das palhadas nos diferentes sistemas de produção com plantas de cobertura.
- Medir a população de nematoides, variáveis agrônômicas e o rendimento de grãos sobre diferentes palhadas de plantas de cobertura.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrahão, G.M., Costa, M.H., 2018. Evolution of rain and photoperiod limitations on the soybean growing season in Brazil: The rise (and possible fall) of double-cropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257, 32-45.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.031>

Alvares, C.A., Stape, J.L., Serntelhas, P.C., Goncalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Z.* 22, 711–728.
 DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

Assmann, T.S; Soares, A.B; Assmann A.L; Huf, F.L; Lima, R.C., 2017. Adubação de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). *Palestras: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4.* Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 67–84. ISBN - 978-85-99584-10-1. Disponível em: <
<http://www.utfpr.edu.br/patobranco/estrutura-universitaria/diretorias/dirgrad/departamentos/dagro/publicacoes/cbsipaeilpsb>>

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., 2017. Straw production and agronomic performance of soybean intercropped with forage species in no-tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 861-868. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017001000005>

Aryor, D., Meirelles, M., Dubreuil, V., Bégué, A., Shimabukuro, Y.E., 2012. Analyzing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. *Applied Geography*, 32, 702-713. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.007>

Anghinoni, G., Anghinoni, F.B.G., Tormena, C.A., Braccini, A.L., Mendes, I.C., Zancanaro, L., Lal, R., 2021. Conservation agriculture strengthen sustainability of Brazilian grain production and food security. *Land Use Policy*. 108, 105591.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105591>

Batle-Bayer, L. Batjes, N.H., Bindraban, P.S., 2010. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 137, 47-58. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.02.003>

Banerjee, S., Walder, F., Büchi L., Meyer, M., Held, A.Y, Gattinger, A., Keller, T., Charles, R., Van der Heijden, M.G.A., 2019. Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. *ISME J.* 13, 1722-1736. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0383-2>

Calonego, C.J., Raphael, P.A.J., Oliveira, N.L.R., Rosolem, A.C., 2017. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. *European Journal of Agronomy*. 85, 31–37.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.001>

Calonego, C.J., Raphael, P.A.J., Oliveira, N.L.R., Rosolem, A.C., 2017. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and

occasional chiseling. *European Journal of Agronomy*, 85, 31–37.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.001>

Correia, N.M., Gomes, L.J.P., 2016. Soybean oversowing with *Urochloa brizantha* and *Panicum maximum* and the straw formation in a no-tillage system *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 37, 1209-1218. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n3p1209>

Crusciol, C.A.C, Nascente, A.S., Borghi, E., Soratto, R.P., Martins, P.O., 2015. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. *Agronomy Journal*, 107, 6. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0603>

Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Moraes, A., Souza, E.D., Sulc, R.M., Lang, C.R., Flores, J.P.C., Lopes, M.L.T., Silva, J.L.S., Conte, O., Wesp, C.L., Levien, R., Fontaneli, R.S., Bayer, C., 2010. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 88, 259–273. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9360-x>

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 4 quarto levantamento, janeiro. 2022.

Costa, N. R., Andreotti, M., Crusciol, C. A. C., Pariz, C. M., Bossolani, J. W., Pascoaloto, I. M., Calonego, J. C., 2021. Soybean yield and nutrition after tropical forage grasses. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 121, 31–49. <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10157-2>

Costa, N.R., Andreotti, M., Crusciol, C.A.C., 2021. Soybean yield and nutrition after tropical forage grasses. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 121, 31–49. <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10157-2>

Costa, M.J.N. da, Pasqualli, R.M., Prevedello, R., 2014. Efeito do teor de matéria orgânica do solo, cultura de cobertura e sistema de plantio no controle de *Pratylenchus brachyurus* em soja. *Summa Phytopathologica*. 40, 63-70.
<https://doi.org/10.1590/S0100-54052014000100009>

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento: Perspectiva agropecuária, 2021. < www.conab.gov.br > (visitado em 19/09/2021)

Dias-Arieira, C.R., Ceccato, F. J., Marinelli, E.Z., Vecchi, L. B., Arieira, G. de O., Santana-Gomes, S. de M., 2021. Correlations between nematode numbers, chemical and physical soil properties, and soybean yield under different cropping systems. *Rhizosphere*, 19, 100386. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100386>

Goulart, A.M.C., 2008. Aspectos gerais sobre nematoides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*). Planaltina: Embrapa Cerrados, 30p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 219).

Fialho, A.R., 2020. Sistemas de produção de soja em sucessão a culturas anuais de cobertura. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde.

Fiorini, A., Remelli, S., Boselli, R., Mantovi, P., Ardeni, F., Trevisan, M. Menta, C., Tabaglio, V., 2022. Driving crop yield, soil organic C pools, and soil biodiversity with selected winter cover crops under no-till. *Soil and Tillage Research*. 217, 105283. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105283>.

Finney, D. M., White, C. M., & Kaye, J. P., 2016. Biomass production and carbon/nitrogen ratio influence ecosystem services from cover crop mixtures. *Agronomy Journal*, 108, 39–52. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0182>.

Hirakuri, M.H.; Lazzarotto, J.J., 2014. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, (Embrapa Soja. Documentos Embrapa, 349).

Hunt N.D., Hill J.D., Liebman M. 2019. Cropping system diversity effects on nutrient discharge, soil erosion, and agronomic performance. *Environmental Science Technology*. 53, 1344-1352. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02193>

Holmes, A.A., Thompson, A.A., Wortman, S.E., 2017. Species-specific contributions to productivity and weed suppression in cover crop mixtures. *Agronomy Journal*, 109(6), 2808-2819. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0309>

Inomoto, M.M., 2011. Avaliação da resistência de 12 híbridos de milho a *Pratylenchus brachyurus* *Tropical Plant Pathology*. 36, 308-312. Doi: 10.1590/S1982-56762011000500006

Inomoto, M.M.; MOTTA, L.C.C.; BELUTI, D.B.; MACHADO, A.C.Z., 2006. Reação de seis adubos verdes a *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus* *Nematologia Brasileira*, v.30, p.39-44.

Jensen, E.S., Carlsson, G., Hauggaard-Nielsen, H. 2020. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: a global-scale analysis. *Agronomy Sustainable Development*, 40, 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>

Kliemann, H.J., Braz, A.J.B.P., Silveira, P.M., 2006. Decomposition rates of cover crop residues on a Dystrophic Oxisol. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36, 21–28. <
<https://www.proquest.com/docview/1373542102?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>>

Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., 2019. Global spread of conservation agriculture. *Int. J. Environ. Stud.* 76, 29-51. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>

Kaye, J., Finney, D., White, C., Bradley, B., Schipanski, M., Alonso-Ayuso, M., Hunter, M., Burgess, M., Mejia, C., 2019. Man-aging nitrogen through cover crop species selection in the U.S. mid-Atlantic. *PLOS ONE*, 14, e0215448. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215448>

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

Lordello, L. G. E. Nematoides das plantas cultivadas. 2. ed. São Paulo: Nobel, 197p. 1973

Martinelli, G.C., 2017. Sistemas agroflorestais biodiversos: uma análise sob a perspectiva ambiental e econômica. Dissertação (Mestrado em agronegócios) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS. 109.

Machado, A.C.Z.; Motta, L.C.C.; Siqueira, K.M.S. de; Ferraz, L.C.C.B.; Inomoto, M.M. Host status of green manures for two isolates of *Pratylenchus brachyurus* in Brazil. *Nematology*, v.9, p.799-805, 2007. <https://doi.org/10.1163/156854107782331153>

Mendes, I.C., Sousa, D.M.G., Reis, Junior, F.B., Kappes, C., Ono, F.B., Semler, T.D., Zancanaro, L., Lopes, A.A.C., 2017. Qualidade biológica do solo: Por que e como avaliar. *Boletim de Pesquisa da Fundação MT*. 1.ed. Rondonópolis: Fundação MT, 1, 98-105.

Nunes, P.A.A., Laca, E.A., Carvalho, P.C.F., Li, M, Souza Filho W., Kunrath, T.R., Martins, A.P., Gaudin, A., 2021. Livestock integration into soybean systems improves long-term system stability and profits without compromising crop yields. *Sci Rep* 11:1649. Doi: 10.1038/s41598-021- 81270-z

Neher, D.A. 2001. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*. 33, 161-168.

Pereira, F.C.B.L, Mello, L. M.M. de, Pariz, C.M., Mendonça, V.Z. de, Yano, É.H., Miranda, E.E.V. de, Crusciol, C.A.C., 2016. Autumn maize intercropped with tropical forages: crop residues, nutrient cycling, subsequent soybean and soil quality. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 40, 1-20. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150003>

Pariz, C.M., Costa, C., Crusciol, C.A.C., Meirelles, P.R.L., Castilhos, A.M., Andreotti, M., Costa, N.R., Martello, J.M., Souza, D.M., Protes, V.M., Longhini, V.Z., Franzluebbbers, A.J., 2017. Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 108, 35–54. Doi:10.1007/ s10705-016-9821-y

Queiróz, C. de A., Fernandes, C.D., Verzignassi, J.R., Valle, C.B. do, Jank, L., Mallmann, G., Batista, M.V., 2014. Reação de acessos e cultivares de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* à *Pratylenchus brachyurus* *Summa Phytopathologica*. 40, 226-230. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1899>

Sá, J.C., Tivet, F., Lal, R., Briedis, C., Hartman, D.C., Santos J.Z., Santos, J.B., 2014. Long-term tillage systems impact on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*. 136, 38–50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.09.010>

- Spera, S.A., Cohn, A.S., VanWey, L.K., Mustard, J.F., Rudorff, B.F.,Risso, J., Adami, M., 2014. Recent cropping frequency, expansion, and abandonment in Mato Grosso, Brazil had selective land characteristics. *Environmental Research Letters*, 9, 6. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/6/064010>
- Sodré, Joilson *et al.*, 2022. Intercropping sorghum and grasses during off-season in Brazilian Cerrado. *Scientia Agricola*, 79. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0284>
- Tavanti, R.F.R., Montanari, R., Panosso, A.R., La Scala, N., Neto, M.C., Freddi, O. S., Gonzáles, A.P.; Carvalho, M.A.C., Soares, M. B., Tavanti, T. R., Galindo, F. S., 2020. What is the impact of pasture reform on organic carbon compartments and CO₂ emissions in the Brazilian Cerrado, *Catena*, 194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2020.104702>
- Tiemann, L.K., Grandy, A.S., Atkinson, E.E., Marinspiotta, E., Mcdaniel, M.D., 2015. Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. *Ecology Letters*, 18, 761-771. <http://doi.org/10.1111/ele.12453>.
- Tribouillois, H., Cohan, J. P., Justes, E., 2016. Cover crop mix-tures including legume produce ecosystem services of nitrate cap-ture and green manuring: Assessment combining experimentation and modelling. *Plant and Soil*, 401, 347–364. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2734-8>
- Thioye B, Legras M, Castel L, Hirissou F, Chaftar N, Trinsoutrot-Gattin I., 2022. Understanding Arbuscular Mycorrhizal Colonization in Walnut Plantations: The Contribution of Cover Crops and Soil Microbial Communities. *Agriculture*. 12(1):1. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010001>
- Thorup-Kristensen, K., Magid, J., & Jensen, L. S., 2003. Catch crop and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy*, 79, 227–302. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)79005-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)79005-6)
- USDA. United States Department of Agriculture. Market and Trade Data: Production, Supply and Distribution (PS&D).
- Van den Hoogen, J.; Geisen, S.; Wall, D.H., 2020. A global database of soil nematode abundance and functional group composition. *Nature Scientific Data* 7,103. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0437-3>
- White, C. M., DuPont, S. T., Hautau, M., Hartman, D., Finney, D. M., Bradley, B., LaChance, J. C., & Kaye, J. P., 2017. Managing trade-offs between nitrogen supply and retention with cover crop mixtures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 237, 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.016>
- White, C. M., Finney, D. M., Kemanian, A. R., & Kaye, J. P., 2016. A model-data fusion approach for predicting cover crop nitrogen supply to corn. *Agronomy Journal*, 108, 2527–2540. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.05.0288>
- Wang, T., Jin, H., Kasu, B.B., Jacquet, J., Kumar, S., 2019. Soil conservation practice adoption in the Northern Great Plains: Economic versus stewardship motivations.

Journal of Agricultural Resource Economics, 44, 404-421.
<https://doi.org/10.22004/ag.econ.287989>

CAPÍTULO I

(Normas de acordo com a revista Agricultural Systems).

Diversificação do cultivo de plantas de cobertura e sua influência na ciclagem de nutrientes e produtividade da soja

Resumo

CONTEXTO: Os sistemas de produção que apresentam menor diversificação de plantas estão propensos a maior fragilidade em relação a pragas, doenças e nematoides reduzindo a qualidade do solo e conseqüentemente diminuindo a produtividade do sistema.

OBJETIVO: Avaliar a produção de biomassa de plantas de cobertura, a dinâmica de decomposição da palhada e supressão de nematoide e o desempenho agrônômico da cultura da soja cultivada em sucessão.

MÉTODOS: O estudo foi conduzido por três anos (2018, 2019 e 2020) em dois locais (Rio Verde, GO e Montividiu, GO). Os tratamentos avaliados foram sistemas de produção de soja semeada sob diferentes biomassas sendo: 1) mix de plantas de cobertura (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria spectabilis* e *U. ruziziensis*), 2) *Pennisetum glaucum*, 3) Crotalária (*C. spectabilis*), 4) *U. ruziziensis*, 5) *U. brizantha* cv. Marandu e 6) *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás. Foram realizadas as seguintes avaliações: Avaliar a produção de biomassa e a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes das palhadas nos diferentes sistemas de produção com plantas de cobertura e mesurar a população de nematoides, variáveis agrônômicas e o rendimento da de grãos sobre diferentes palhadas de plantas de cobertura.

RESULTADOS E CONCLUSÕES: Os sistemas de produção afetaram a quantidade de matéria seca (MS) produzida, sendo que o *Pennisetum glaucum* e *U. brizantha* cv. Marandu obtiveram os maiores valores de MS durante os três anos para Montividiu e Rio Verde, respectivamente. Os menores valores de MS durante os três anos foram para a *C. spectabilis*. Em Montividiu houve diferença estatística para população de *Helicotylenchus* na raiz da soja em que a menor população foi na palhada do *Pennisetum glaucum*. Quanto à velocidade de liberação dos nutrientes, a *C. spectabilis* foi a planta de cobertura apresentou os menores tempos de meia vida, sendo 65 dias para N, 119 dias P, 12 dias para o K, 73 dias para o Ca, 48 dias para o Mg e 178 dias para o S. Em destaque, o tratamento mix (*C. spectabilis*, *Pennisetum glaucum* e *U. ruziziensis*) apresentou tempo de meia-vida maior do que a *C. spectabilis*, além de ser o tratamento que proporcionou a maior produtividade da soja de 5.635 kg ha⁻¹, destacando as vantagens de diversificar

espécies de plantas de cobertura por meio do consórcio, para assim, extrair maiores benefícios.

Keywords: Cerrado goiano, nematoides, mix de plantas, Ciclagem de nutrientes, produtividade da soja.

Destaques

A maior diversidade de espécies consorciadas proporciona qualidade na biomassa.

A maior produtividade da soja na média geral dos três anos foi sobre a biomassa do mix de plantas de cobertura em Rio Verde e em Montividiu do *Pennisetum glaucum*.

O tratamento mix apresentou alta concentração de macronutrientes e liberação gradativa durante o ciclo da soja durante os três anos.

1. Introdução

O bioma Cerrado envolve 23,9% do total da área do Brasil e é caracterizado por dois períodos bastante distintos, sendo um com alta concentração de chuva no verão e o outro com inverno seco, além de altas temperaturas durante todo o ano entre 22°C e 27°C em média (Bustamante *et al.*, 2012, Cardoso *et al.*, 2014, Mendonça *et al.*, 2015 e Castro *et al.*, 2017). Assim, as características edafoclimáticas do bioma Cerrado, combinadas com o manejo convencional do solo favorecem erosão, diminuição da atividade biológica e perda de matéria orgânica, pela alta taxa de decomposição da biomassa, que contribui para a redução da produtividade do sistema (Panachuki *et al.*, 2011, Almeida *et al.*, 2016 e Carvalho *et al.*, 2021). Um fator importante para implantação do plantio direto é a identificação de plantas de cobertura adaptáveis às secas da entressafra, já que, essas plantas devem ser capazes de produzir quantidades de matéria seca na superfície do solo suficientes até a semeadura da safra comercial (Carvalho *et al.*, 2009, 2012).

As plantas de cobertura são um dos pilares para uma agricultura de conservação, pois aumentam a diversificação de produção no sistema (Duru *et al.*, 2015). As plantas de coberturas são semeadas no período entre as safras comerciais e podem fornecer ampla gama de serviços ecossistêmicos. Um dos benefícios das plantas de cobertura são o aumento da taxa de entrada de biomassa no solo, que promove o acúmulo de matéria orgânica (Blanco-Canqui e Ruis, 2020), melhora a estrutura do solo e comunidade biológica (Fiorini *et al.*, 2018 e Menta *et al.*, 2020). No entanto, a magnitude dos benefícios providos pelas plantas de coberturas está intimamente ligada a espécie utilizada no sistema.

Gramíneas como *Pennisetum glaucum*, *Urochloa ruziziensis* e *Urochloa brizantha* são espécies com rápido estabelecimento, alta produção de fitomassa e eficientes na ciclagem de nutrientes (Teixeira *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2016). As leguminosas por sua vez, imprimem melhor qualidade para a palhada, sendo incluídas isoladas ou consorciadas com gramíneas (Chieza *et al.*, 2017). Entre as plantas de coberturas supracitadas, o *Pennisetum glaucum* e a *Crotalaria spectabilis* são destaques para a redução da população de nematoides *Meloidogyne javanica*, *M. incognita* e *Pratylenchus brachyurus* (Machado *et al.*, 2007, Inomoto, Asmus 2010, Debiasi *et al.*, 2016 Ferreira *et al.*, 2020).

Maiores valores de produtividade da soja são observados em sistemas de cultivo sob biomassa de plantas de cobertura como *Urochloa ruziziensis* e consórcio de *Urochloa ruziziensis*, *Pennisetum glaucum* e *C. spectabilis* quando comparadas a produtividades em sistemas convencionais de sucessão soja-milho (Volsi *et al.*, 2021; Fialho, 2020). *U. brizantha* cv. Marandu e *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás apresentaram maior potencial de formação de agregados do solo (Paiaguás filho *et al.*, 2021).

A fim de otimizar o plantio direto em áreas de rápida decomposição de biomassa, é essencial que se conheça o potencial de produção de matéria seca, a capacidade de supressão de nematoides das plantas de cobertura, bem como, sua dinâmica de decomposição e de liberação de nutrientes, de modo que, proporcione maiores rendimentos para a soja. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar a produção de biomassa de plantas de cobertura, a dinâmica de decomposição da palhada e supressão de nematoide e o desempenho agrônômico da cultura da soja cultivada em sucessão.

2. Material e Métodos

2.1. Descrição da área do estudo

O estudo foi conduzido por três anos (2018, 2019 e 2020) em dois locais sendo um localizado no município de Rio Verde, GO, em área experimental do GAPES (Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano) e o outro local na fazenda Boa Esperança no município de Montividiu, GO (figura 1).

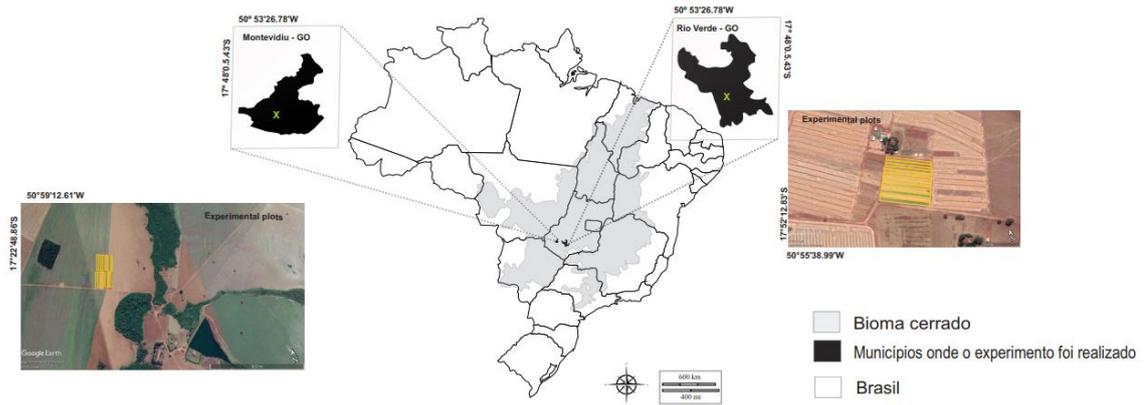


Figura 1 – Locais de condução do estudo, localizado na fazenda Boa Esperança em Montividiu – GO e Estação Experimental do GAPES (Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano) em Rio Verde - GO, Brasil.

Com relação às características do solo antes da implantação do experimento: pH (CaCl₂) 5,0; matéria orgânica (MO) 18,7 g dm⁻³; P (Mehlich-1) 3,2 mg dm⁻³; H + Al, K, Ca, Mg: 3,6; 0,11; 1,41 e 0,54 cmolc dm⁻³, respectivamente; saturação por base 36%, com granulometria de 52,0 % de areia, 40,5 % de argila, 7,5 % silte referente a área de Rio Verde-GO. Em Montividiu-GO os teores foram pH (CaCl₂) 5,4; matéria orgânica (MO) 15,8 g dm⁻³; P (Mehlich-1) 22,4 mg dm⁻³; H + Al, K, Ca, Mg: 2,7; 0,09; 1,31 e 0,85 cmolc dm⁻³, respectivamente; saturação por base 54%, com granulometria de 75,5% de areia, 19,5% de argila e 5 % de silte. Adotando os critérios propostos por Köppen (1931), o clima é classificado como savana tropical com invernos secos e verões chuvosos (Aw) com média precipitação anual superior a 1.600 mm (Figuras 2 e 3).

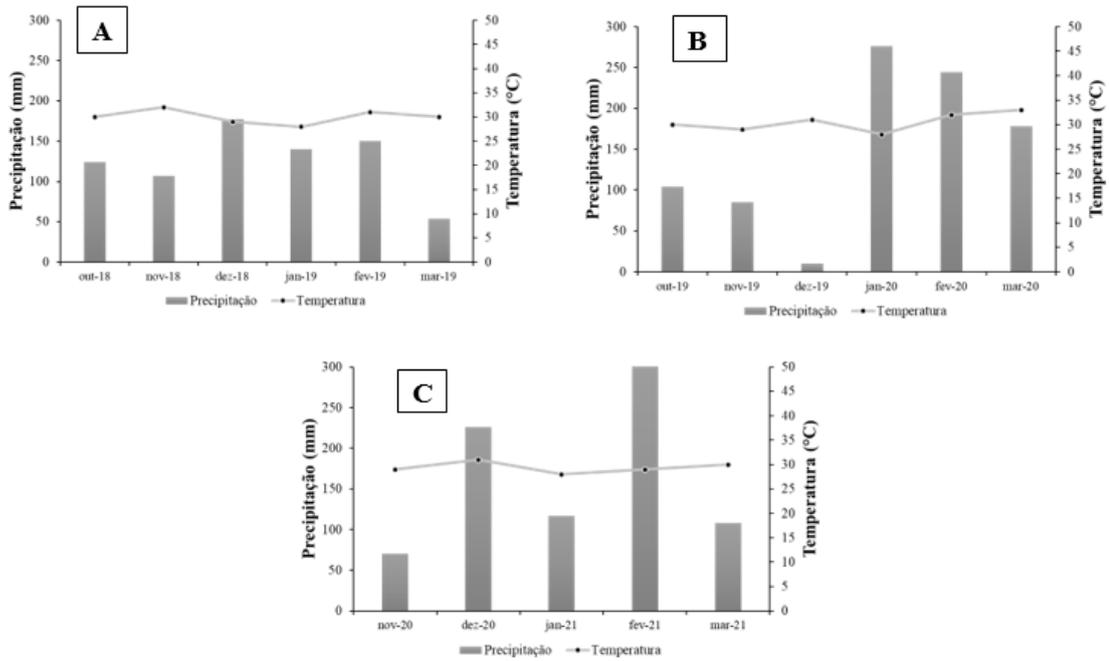


Figura 2 - Dados climáticos mensais de precipitação pluvial e temperatura média durante o período da safra de soja em campo da Fazenda Boa Esperança em Montividiu – GO, A: safra 2018/2019 B: 2019/2020 e C: 2020/2021.

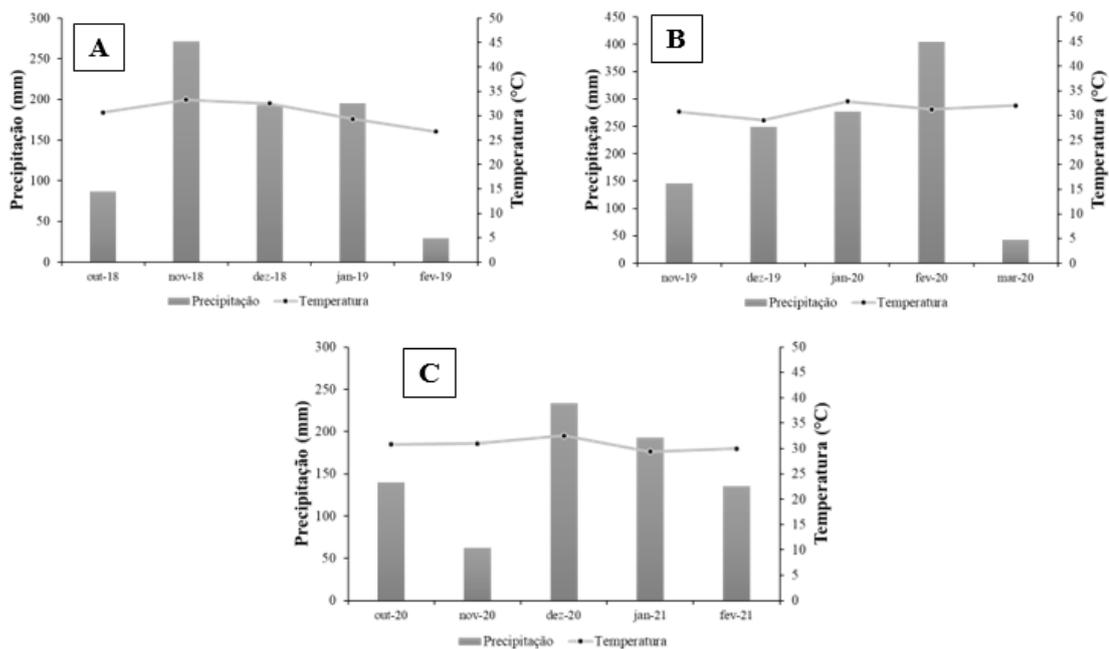


Figura 3 - Dados climáticos mensais de precipitação pluvial e temperatura média durante o período da safra de soja em campo do GAPES (Grupo Associado de Produtores do Sudoeste Goiano) em Rio Verde - GO. A: safra 2018/2019 B: 2019/2020 e C: 2020/2021.

2.2. Tratamentos avaliados

Os tratamentos foram dispostos em faixas de 30mx50m, perfazendo a área de 1500 m², cada tratamento foi alocado de maneira aleatória dentro do ensaio experimental (Figura 1). Anterior à implantação do trabalho a área era de pasto degradado. Os tratamentos avaliados foram sistemas de produção de soja semeada sob diferentes biomassas sendo: 1) mix de plantas de cobertura (*Pennisetum glaucum*, *Crotalaria spectabilis* e *U. ruziziensis*), 2) *Pennisetum glaucum*, 3) Crotalária (*C. spectabilis*), 4) *U. ruziziensis*, 5) *U. brizantha* cv. Marandu e 6) *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás (Figura 4).

A figura 4 representa a cronologia de execução dos tratamentos avaliados. As plantas de cobertura foram sempre implantadas em safra anterior à semeadura da soja. As semeaduras das plantas de cobertura foram realizadas em 13/03/2018, 09/03/2019 e 17/03/2020 em Rio Verde e 22/02/18, 08/03/2019 e 11/03/2020 em Montividiu.

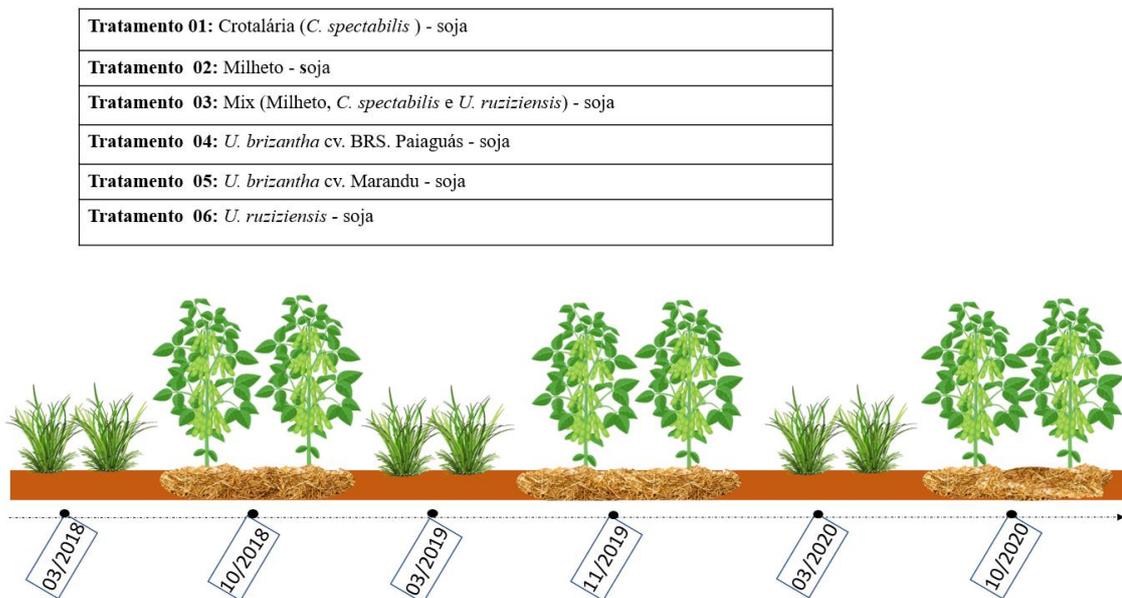


Figura 4 - Cronologia da execução dos experimentos.

2.3. Condução do experimento

Com relação às taxas de semeadura foram adotadas: 800 pontos de valor cultural (PVC) por hectare para as espécies de *Urochloa*, 20 kg ha⁻¹ para *Crotalaria spectabilis* e 20 kg ha⁻¹ para *Pennisetum glaucum*. Já para o Mix de plantas de cobertura (*Pennisetum glaucum*, *C. spectabilis* e *U. ruziziensis*) foram adotadas as seguintes taxas de semeadura: 400 pontos de valor cultural por hectare para a *U. ruziziensis*, 10 kg de sementes de

Pennisetum glaucum por hectare e 10 kg de sementes de *Crotalaria spectabilis* por hectare.

Em Rio Verde foi realizado um manejo de roçagem (2018 e 2019) e rolagem com utilização de rolo faca (2020) das plantas de cobertura sempre no mês de julho, anterior à semeadura da soja. Em Montividiu foi realizado o manejo de roçagem (2018) e rolagem com utilização de rolo faca (2019 e 2020) também no mês de julho. Esse manejo foi realizado visando facilitar a semeadura da soja na safra posterior.

Foi realizada a dessecação das plantas de cobertura anterior à semeadura da soja nos dias 29/09/2018, 05/09/2019 e 14/08/2020 para Rio Verde e 26/09/2018, 20/09/2019 e 30/09/2020 para Montividiu. As dessecações foram realizadas com aplicação do herbicida glifosato na dosagem de 2,5 L ha⁻¹.

Em Rio Verde foi realizada, em todos os anos, uma adubação a lanço com 8 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O visando todo o sistema de produção e realizada sempre antes do cultivo de soja. Em Montividiu foi realizada uma adubação a lanço, em todos os anos, com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O visando todo o sistema de produção e realizada sempre antes do cultivo de soja, assim como ocorreu em Rio Verde-GO. O manejo de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado conforme a necessidade das culturas.

A semeadura da soja foi realizada nos dias 19/10/2018 usando a variedade Syn15640 IPRO com 20 sementes/m, em 04/11/2019 a variedade Brasmax Bônus IPRO com 13 sementes/m e em 17/10/2020 a variedade Brasmax Foco IPRO com 14 sementes/m em Rio Verde.

Já em Montividiu a semeadura da soja foi realizada em 27/10/2018 com a variedade ST 797 IPRO com 14 sementes/m e variedade Brasmax Bônus IPRO com 13 sementes/m em 25/10/2019 e 05/11/2020. A colheita foi realizada nas datas 07/02/2019, 12/03/20 e 19/02/21 em Rio Verde e 07/03/2019, 05/03/2020 e 16/03/2021 em Montividiu. Em todos os anos e locais as sementes foram inoculadas de acordo com a recomendação técnica.

2.4. Avaliações realizadas

Foram realizadas em todos os anos avaliação da biomassa das plantas de cobertura aos 117 dias, 121 dias e 113 dias após a semeadura em 2018, 2019 e 2020, respectivamente, em Rio Verde. Já em em Montividiu foram de 135 dias, 121 dias e 116 dias após a semeadura em 2018, 2019 e 2020, respectivamente.

As plantas de cobertura foram cortadas com roçadora mecânica rente ao solo, foi coletada toda a biomassa em 1 m² e, assim foi obtido o peso total da biomassa na área amostrada. Foram amostrados 12 pontos por tratamento. Após coletar a biomassa foi retirada uma subamostra que foi acondicionada em saco de papel pesada e levada à estufa de circulação forçada de ar (55°C) por 72 h e pesada novamente para obtenção da matéria seca, para posteriormente ajustar o peso total úmido obtido em campo para a quantidade de matéria seca em kg ha⁻¹.

Após a dessecação (DAD) das plantas de cobertura foi avaliado a velocidade de decomposição utilizando o método das bolsas de decomposição “*Litter bags*” (Silva *et al.*, 1997; Espíndola *et al.*, 1998). Essas bolsas foram confeccionadas em nylon com área interna de 0,06 m². Foram distribuídas oito bolsas para cada tempo (30, 60, 90 e 120 DAD) de forma aleatória para cada tratamento avaliado. Essa avaliação foi realizada somente em Rio Verde. O material coletado dos *Litter bags* foi seco em estufa de circulação forçada de ar (55°C) durante 72 horas e pesado para determinação da matéria seca remanescente por diferença de pesagem (tabela 5). Depois, as amostras do material vegetal foram moídas para determinação da concentração de macronutrientes (Malavolta *et al.*, 1997) (tabela 7).

Para descrever a decomposição da fitomassa e a liberação dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), utilizou-se o modelo matemático $matéria\ seca = y \cdot e^{-a \cdot número\ de\ dias}$, em que y é a quantidade inicial de matéria seca ou de nutriente inicial, a é a taxa de decomposição da biomassa, multiplicado pelo número de dias pretendido (Thomas e Asakawa, 1993). Assim, foi calculado também o valor de meia vida da biomassa que expressa o período necessário para que metade dos resíduos se decomponha ou para que metade dos nutrientes contidos nos resíduos seja liberada.

Aos 70 dias após à sementeira, seguindo a metodologia de Jenkins (1964) e Coolen (1972), foi realizada coleta de solo e raiz para análise de nematoide, sendo que em Montividiu foi realizada no segundo e terceiro ano e em Rio Verde no primeiro e terceiro ano.

A avaliação de população de plantas de soja foi feita por meio da contagem de plantas no momento da colheita, na área colhida, sendo 2 linhas de soja com 3 metros de comprimento e 12 repetições. Para as variáveis agronômicas foi realizada a contagem de vagens por planta e rendimento de grãos da soja coletados 12 pontos aleatórios nas faixas sendo compostos por duas linhas de soja de três metros de comprimento para cada tratamento. Após isso, foi mensurada a umidade e massa de mil grãos em cada tratamento.

2.5. Análise dos dados

O software R v. 3.5.1 (R Core Team, 2018) foi utilizado com a função *outlierTest* do pacote *car* (Lenth 2020) para verificar outliers em todos os dados analisados. Os dados de componentes de rendimento da soja foram analisados por modelo linear considerando o efeito de tratamento. A significância dos efeitos foi determinada pela Análise de Variância considerando o erro tipo 3. As médias foram obtidas por quadrados mínimos utilizando o pacote *emmeans* (Lenth 2020).

Para nematoides foram utilizados os dados transformados no modelo linear considerando os efeitos fixos de ano, tratamento, local, e a interação entre tratamento e local. Os outliers foram identificados com *outlierTest* function of *car* package (Fox and Weisberg 2019). Após isso, foi feita a transformação *Tukey ladder of power*, para isso foi utilizado a técnica *transformTukey* (*Tukey's Ladder of Powers transformation*), do pacote *rcompanion*, utilizando o valor fornecido para a transformação, depois disso foi utilizado a ferramenta `type=response`, para transformar os dados com as médias originais. As médias foram obtidas pelo método dos quadrados mínimos e comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quanto os dados de biomassa foram analisados na forma de proporção na composição da matéria seca bem como na quantidade do nutriente disponível em quilogramas por hectare. Para obtenção das médias em cada dia da coleta e a comparação entre tratamentos foi aplicado um modelo linear misto considerando o efeito fixo de tratamento, dias e ano bem como a interação entre estes; e o efeito aleatório de cada repetição as médias foram obtidas por quadrados mínimos com o pacote *emmeans*. Para análise da velocidade de decomposição e compreensão da dinâmica de liberação de nutrientes foram submetidos a análise de modelos não lineares utilizando o pacote *nlme*. O modelo não linear foi o seguinte: $y_i = y_0^{1-a} \cdot e^{-a \cdot dias}$ considerando os tratamentos como efeito aleatórios sobre os parâmetros y_0 e a , em que y é a quantidade inicial de matéria seca ou de nutriente inicial e a é a taxa de decomposição da biomassa.

O tempo de meia-vida foi calculado pela fórmula: $MV = 0.693/a$. Foi realizada a análise de variância das variáveis y_0 , a e MV considerando os efeitos de tratamento e ano e a interação destes, realizando a comparação de médias conforme as demais variáveis.

3. Resultados

3.1. Matéria seca das plantas de cobertura

Houve interação ($P < 0,05$) entre os tratamentos, na Tabela 1 estão os dados de matéria seca das plantas de cobertura. Em Montividiu a planta de cobertura que apresentou maior produção de matéria seca no primeiro ano foi o milheto (*Pennisetum glaucum*) com 9.145 kg ha⁻¹. Esse cenário se prolongou durante os outros dois anos, *Pennisetum glaucum* com 12.237 kg ha⁻¹ no segundo ano e 7.517 kg ha⁻¹ no terceiro ano. Os tratamentos contendo as forrageiras e mix não apresentaram diferença estatística.

Em Rio Verde a *U. brizantha* cv. Marandu apresentou os maiores valores de matéria seca durante os três anos, sendo 7.527, 10.619 e 5.248 kg ha⁻¹ primeiro, segundo e terceiro ano, respectivamente.

A *C. spectabilis* apresentou os menores valores de matéria seca em ambos os locais durante os três anos, para o primeiro ano com 2.899 kg ha⁻¹ e 2.451 kg ha⁻¹, segundo ano com 5.992 kg ha⁻¹ e 5.544 kg ha⁻¹ e terceiro ano 1.271 kg ha⁻¹ e 823 kg ha⁻¹ para Montividiu e Rio Verde, respectivamente.

Tabela 1 - Matéria seca total das plantas de cobertura (kg ha⁻¹) avaliadas na safra anterior à semeadura da soja em Montividiu-GO e Rio Verde-GO.

Ano ¹	Tratamento	Local	
		Montividiu	Rio Verde
1	Mix ²	4845±575 ³ bc	6176±455 ab
	<i>Pennisetum glaucum</i>	9145±451 a	6470±451 ab
	<i>C. spectabilis</i>	2899±575 c	2451±451 c
	<i>U. ruziziensis</i>	5729±455 b	5650±459 b
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	5743±451 b	7527±455 a
	<i>U. brizantha</i> cv. BRS Paiaguás	5286±451 b	6875±451 ab
2	Mix ²	7938±524 bc	9269±454 ab
	<i>Pennisetum glaucum</i>	12237±446 a	9563±446 ab
	<i>C. spectabilis</i>	5992±524 c	5544±446 c
	<i>U. ruziziensis</i>	8822±454 b	8743±461 b
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	8836±446 b	10619±451 a
	<i>U. brizantha</i> cv. BRS Paiaguás	8379±446 b	9968±446 ab
3	Mix ²	3217±524 bc	4548±451 ab
	<i>Pennisetum glaucum</i>	7517±446 a	4842±446 ab
	<i>C. spectabilis</i>	1271±524 c	823±446 c
	<i>U. ruziziensis</i>	4101±451 b	4022±455 b
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	4115±446 b	5899±453 a
	<i>U. brizantha</i> cv. BRS Paiaguás	3658±446 b	5248±446 ab

¹Ano 1= 2018; Ano 2 = 2019; Ano 3= 2020; ²Mix de plantas de cobertura (*Urochloa ruziziensis*, milheto e *C. spectabilis*); ³Média±Erro padrão da média, sendo que médias seguidas da mesma letra na coluna não diferenciam entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade, a comparação é feita entre os tratamentos dentro de cada ano.

3.2. População de plantas

A população de plantas de soja para o primeiro e segundo ano não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos em Montividiu. No terceiro ano, a biomassa que resultou em população de plantas maior de soja foram *U. ruziziensis* e Crotalária. Já em Rio Verde houve diferença na população da soja para o primeiro e terceiro ano, sendo a crotalária e *Pennisetum glaucum*, respectivamente as biomassas que resultaram na maior população de planta (Tabela 2).

3.3. Vagens por planta

Para a variável vagem por planta a biomassa que proporcionou a soja maiores quantidades de vagens por planta no primeiro ano foi o Mix (*Pennisetum glaucum*, *U. ruziziensis* e *C. spectabilis*) e *U. brizantha* cv. Marandu em Montividiu, já em Rio Verde não houve diferença estatística. No segundo ano foram *Pennisetum glaucum* para Montividiu, *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás e *U. ruziziensis* para Rio Verde. No terceiro ano o *Pennisetum glaucum* e *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás foram as biomassas que proporcionaram maiores valores de número de vagens por planta em Montividiu e Rio Verde, respectivamente (Tabela 2).

3.4. Massa de mil grãos

Quanto a variável massa de mil grãos no primeiro ano não houve diferença estatística para Montividiu, já para Rio Verde a biomassa que promoveu menor massa de mil grãos da soja no primeiro ano foi o *Pennisetum glaucum* (172 g). No segundo ano, não houve diferença estatística entre os tratamentos para ambos os locais. No terceiro ano em Montividiu as biomassas do Mix (*Pennisetum glaucum*, *U. ruziziensis* e *C. spectabilis*), *Pennisetum glaucum*, *U. ruziziensis* e *U. brizantha* BRS Paiaguás apresentaram os maiores valores de massa de mil grãos, já em Rio Verde foram *U. ruziziensis*, *U. brizantha* cv. Marandu e *U. brizantha* BRS Paiaguás. (Tabela 2).

Tabela 2 - Variáveis agronômicas da soja: população de soja (plantas ha⁻¹), número de vagens por planta e massa de mil grãos (g), durante os três anos para Montividiu e Rio Verde.

Variáveis	Ano ¹	Tratamento	Local	
			Montividiu	Rio Verde
População de soja (plantas ha ⁻¹)	1	Mix ²	234.722±6.239 ³ a	423.940±6.517 ab
		<i>Pennisetum glaucum</i>	230.556±6.239 a	411.111±6.239 bc
		<i>C. spectabilis</i>	235.556±6.239 a	440.833±6.239 a
		<i>U. ruziziensis</i>	243.611±6.239 a	405.278±6.239 bc
		<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	219.091±6.517 a	386.667±6.239 cd
		<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	235.555±6.239 a	379.722±6.239 d
	2	Mix ²	192.000±6.835 a	215.152±6.517 a
		<i>Pennisetum glaucum</i>	180.833±6.239 a	223.637±6.517 a
		<i>C. spectabilis</i>	173.333±6.835 a	200.556±6.239 a
		<i>U. ruziziensis</i>	185.000±6.239 a	213.333±6.239 a
		<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	183.889±6.239 a	221.667±8.823 a
		<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	190.556±6.239 a	217.222±6.239 a
	3	Mix ²	220.556±6.239 b	283.056±6.239 bc
		<i>Pennisetum glaucum</i>	215.000±6.239 b	321.945±6.239 a
		<i>C. spectabilis</i>	256.111±6.239 a	232.500±6.239 c
		<i>U. ruziziensis</i>	245.833±6.239 a	286.667±6.517 bc
		<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	210.278±6.239 b	288.056±6.239 b
		<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	217.500±6.239 b	276.667±6.239 bc
Número de vagens por planta	1	Mix ²	70,2±3,19 a	28,0±1,84 a
		<i>Pennisetum glaucum</i>	49,0±4,51 b	25,9±1,84 a
		<i>C. spectabilis</i>	52,8±3,19 b	29,8±1,84 a
		<i>U. ruziziensis</i>	48,0±3,19 b	29,0±1,84 a
		<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	72,7±3,69 a	29,7±1,84 a
		<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	49,0±3,19 b	29,7±1,84 a
	2	Mix ²	53,5±3,19 b	45,2±3,19 ab
		<i>Pennisetum glaucum</i>	70,5±3,19 a	46,8±3,19 ab
		<i>C. spectabilis</i>	53,2±3,19 b	47,2±3,19 ab
		<i>U. ruziziensis</i>	54,2±3,19 b	56,8±3,19 a
		<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	55,0±3,19 b	43,8±3,19 b
		<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	56,5±3,19 b	57,2±3,19 a
	3	Mix ²	46,8±1,84 c	44,9±1,84 ab
		<i>Pennisetum glaucum</i>	61,2±1,84 a	38,0±1,84 bc
		<i>C. spectabilis</i>	49,0±1,84 c	37,8±1,84 bc
		<i>U. ruziziensis</i>	52,5±2,02 bc	36,4±1,84 c
		<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	47,5±1,92 c	44,2±1,84 ab
		<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	58,7±1,84 ab	47,8±1,84 a

Tabela 2 - Variáveis agronômicas da soja: população de soja (plantas ha⁻¹), número de vagens por planta e massa de mil grãos (g), durante os três anos para Montividiu e Rio Verde. (Continuação).

Massa de mil grãos (g)	1	Mix ²	133±2,28 a	173±2,28 a
		<i>Pennisetum glaucum</i>	138±2,28 a	172±2,28 b
		<i>C. spectabilis</i>	137±2,28 a	181±2,28 a
		<i>U. ruziziensis</i>	144±3,53 a	173±2,28 a
		<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	139±2,28 a	174±2,28 a
		<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	139±2,28 a	178±2,28 a
		Mix ²	206±2,63 a	211±2,38 a
	2	<i>Pennisetum glaucum</i>	205±2,63 a	211±2,63 a
		<i>C. spectabilis</i>	208±2,49 a	205±2,28 a
		<i>U. ruziziensis</i>	206±2,28 a	204±2,38 a
		<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	203±2,63 a	209±3,53 a
		<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	208±2,28 a	206±2,28 a
		Mix ²	186±2,38 a	169±2,28 ab
	3	<i>Pennisetum glaucum</i>	185±2,28 a	172±2,28 ab
		<i>C. spectabilis</i>	175±2,28 b	165±2,28 b
		<i>U. ruziziensis</i>	188±2,28 a	176±2,28 a
		<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	165±2,38 c	176±2,28 a
		<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	190±2,28 a	176±2,28 a

¹Ano 1= 2018; Ano 2 = 2019; Ano 3= 2020; ²Mix de plantas de cobertura (*Urochloa ruziziensis*, milho e *C. spectabilis*); ³Média±Erro padrão da média, sendo que médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferenciam entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.5. Rendimentos de grãos

No primeiro ano em Montividiu, a menor produtividade da soja (3.201 kg ha⁻¹) foi obtido quando cultivada em sucessão a *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás, enquanto a maior produtividade foi obtida sobre biomassa do mix (3.763 kg ha⁻¹). No segundo ano em Montividiu, a menor produtividade da soja (3.431 kg ha⁻¹) foi obtido em sucessão a *U. brizantha* cv Marandu, enquanto a maior produtividade foi sobre biomassa do *Pennisetum glaucum* (4.428 kg ha⁻¹). No terceiro ano não houve diferença estatística entre as biomassas na produtividade da soja em Montividiu (Tabela 3).

Em Rio Verde, o panorama tende a ser semelhante a Montividiu, sendo que no primeiro ano a soja apresentou maior produtividade cultivada em sucessão a *C. spectabilis* (5.720 kg ha⁻¹) seguido do mix (5.125 kg ha⁻¹). No segundo ano o maior rendimento de grãos da soja foi sobre a biomassa do mix (6.259 kg ha⁻¹). No terceiro ano, a soja sobre a biomassa do *Pennisetum glaucum* se destacou produzindo 2.298 kg ha⁻¹ a mais do que nos outros anos agrícolas.

Tabela 3 - Rendimento da soja sob a biomassa das plantas de cobertura.

Ano ¹	Tratamento	Local	
		Montividiu	Rio Verde
1	Mix ²	3.763±129 ³ a	5.125±124 b
	<i>Pennisetum glaucum</i>	3.488±135 ab	3.469±151 c
	<i>C. spectabilis</i>	3.432±124 ab	5.720±129 a
	<i>U. ruziziensis</i>	3.163±191 ab	3.938±129 c
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	3.290±143 ab	3.888±135 c
	<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	3.201±135 b	3.976±135 c
2	Mix ²	3.926±151 abc	6.259±135 a
	<i>Pennisetum glaucum</i>	4.428±151 a	5.615±143 b
	<i>C. spectabilis</i>	3.791±143 bc	5.538±124 b
	<i>U. ruziziensis</i>	3.694±151 bc	5.298±124 b
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	3.431±151 c	5.575±175 b
	<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	4.183±135 ab	5.738±124 ab
3	Mix ²	4.380±124 a	5.520±143 ab
	<i>Pennisetum glaucum</i>	4.698±129 a	5.767±129 a
	<i>C. spectabilis</i>	4.736±124 a	4.918±135 c
	<i>U. ruziziensis</i>	4.514±124 a	5.228±124 bc
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	4.718±124 a	4.884±135 c
	<i>U. brizantha</i> BRS Paiaguás	4.444±124 a	5.230±129 bc

¹Ano 1= 2018; Ano 2 = 2019; Ano 3= 2020; ²Mix de plantas de cobertura (*Urochloa ruziziensis*, milho e *C. spectabilis*); ³Média±Erro padrão da média, sendo que médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferenciam entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.6. População de nematoide

Quanto a população de nematoide (Tabela 4), não houve diferença estatística para população de *Pratylenchus* no solo e na raiz, em ambos os locais de estudo. Para *Helicotylenchus* na raiz da soja houve diferença estatística entre os tratamentos apenas para Montividiu, sendo que a soja sobre a biomassa de *U. ruziziensis* se destacou com a maior população (3,5). A menor população de *Helicotylenchus* na raiz da soja foi no tratamento contendo *Pennisetum glaucum* com 0,4 e *U. brizantha* cv. Marandu com 0,6. A variável *Helicotylenchus* no solo não houve diferença estatística para ambos os locais.

Tabela 4 - População de nematoide *Pratylenchus* no solo e *Pratylenchus* na raiz, *Helicotylenchus* no solo e *Helicotylenchus* na raiz da soja.

Variável	Tratamento	Local	
		Montividiu	Rio Verde
<i>Pratylenchus</i> solo (100 cm ³ solo)	Mix ¹	0,2±0,4 ² a	1,2±0,3 a
	<i>Pennisetum glaucum</i>	0,2±0,3 a	0,2±0,3 a
	<i>C. spectabilis</i>	0,2±0,3 a	0,4±0,3 a
	<i>U. ruzizensis</i>	0,2±0,3 a	1,4±0,3 a
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	0,2±0,3 a	0,8±0,3 a
	<i>U. brizantha</i> cv. BRS Paiaguás	0,5 ±0,3a	0,1±0,3 a
<i>Pratylenchus</i> raiz (10 g raiz)	Mix	4,6±0,8 a	6,8±0,8 a
	<i>Pennisetum glaucum</i>	2,4±0,8 a	9,5±0,8 a
	<i>C. spectabilis</i>	3,6±0,8 a	7,5±0,8 a
	<i>U. ruzizensis</i>	5,4±0,8a	8,9±0,8 a
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	5,0±0,8 a	7,7±0,8 a
	<i>U. brizantha</i> cv. BRS Paiaguás	5,0±0,8 a	7,4±0,8 a
<i>Helicotylenchus</i> solo (100 cm ³ solo)	Mix	8,6±1,2 a	8,2±1,2 a
	<i>Pennisetum glaucum</i>	6,0±1,2 a	7,5±1,2 a
	<i>C. spectabilis</i>	8,9±1,2 a	10,2±1,2 a
	<i>U. ruzizensis</i>	8,6±1,2 a	9,9±1,2 a
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	6,2±1,2 a	6,4±1,2 a
	<i>U. brizantha</i> cv. BRS Paiaguás	6,8±1,2 a	6,6±1,2 a
<i>Helicotylenchus</i> raiz (10 g raiz)	Mix	1,4±0,7 ab	2,5±0,7 a
	<i>Pennisetum glaucum</i>	0,3±0,7 b	1,8±0,7 a
	<i>C. spectabilis</i>	2,1±0,7 ab	1,2±0,7 a
	<i>U. ruzizensis</i>	3,5±0,7 a	2,9±0,7 a
	<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	0,6±0,7 b	2,4±0,7 a
	<i>U. brizantha</i> cv. BRS Paiaguás	1,6±0,7 ab	1,5±0,7 a

¹Mix de plantas de cobertura (*Urochloa ruzizensis*, milho e *C. spectabilis*); ²Média±Erro padrão da média, sendo que médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferenciam entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.7. Massa seca e decomposição de biomassa

Para a produção de matéria seca das plantas de cobertura durante os 120 dias após a dessecação (DAD) média dos 3 anos de avaliação (Figura 5), a *C. spectabilis* apresentou a menor quantidade de matéria seca inicial com 1.846 kg ha⁻¹. Aos 30 DAD a *C. spectabilis* segue apresentando os menores valores (1.344 kg ha⁻¹) seguida dos tratamentos *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás (2.111 kg ha⁻¹) *U. brizantha* cv. Marandu (2.382 kg ha⁻¹), *U. ruzizensis* (2.497 kg ha⁻¹) e *Pennisetum glaucum* (2.266 kg ha⁻¹). O maior valor de matéria seca foi para o tratamento mix (2.545 kg ha⁻¹). Após os 30 DAD,

todos os tratamentos se igualaram, exceto, a *C. spectabilis* que foi a planta de cobertura com a menor quantidade de matéria seca, até os 120 DAD (Figura 5).

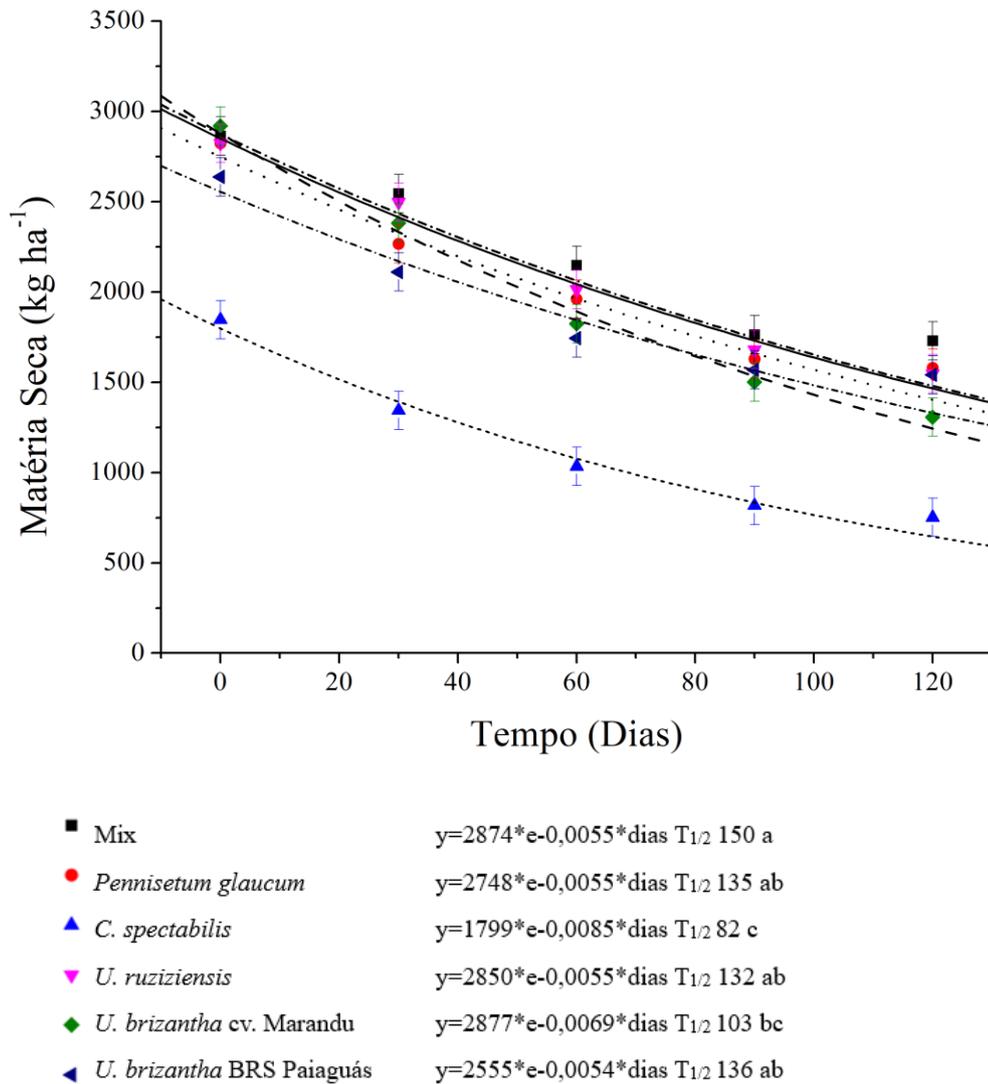


Figura 5- Velocidade de decomposição da matéria seca das plantas de cobertura durante os 120 dias após a dessecação (DAD) em Rio Verde, média dos três anos de avaliação. Tempo de meia vida (T_{1/2}).

Os tratamentos não apresentaram diferença estatística para variável matéria seca inicial, exceto, para a *C. spectabilis* que apresentou a menor matéria seca inicial (1.799 kg ha⁻¹). Para essa variável, a *C. spectabilis* foi a que apresentou a maior taxa de decomposição, os menores valores de taxa de decomposição foram para os tratamentos mix, *Pennisetum glaucum*, *U. ruziziensis* e *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás.

A *C. spectabilis* foi a planta de cobertura que apresentou o menor tempo de meia vida dos resíduos (T_{1/2}), sendo de 82 dias, ou seja, em 82 dias a metade dos nutrientes

contidos no vegetal já terão sido liberados. Os tratamentos que apresentaram maiores tempo de meia-vida foram mix (*U. ruziziensis*, *Pennisetum glaucum*, *C. spectabilis*) (150 dias), *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás (136 dias), *Pennisetum glaucum* (135,3 dias) e *U. ruziziensis* (132,3 dias) (Figura 5).

O pico de liberação desses nutrientes ocorreu nos primeiros 30 dias. O nitrogênio é um dos nutrientes mais extraídos pelas plantas, no entanto, aos 120 DAD já havia sido liberado mais de 60% do N dos resíduos (Figura 6).

As plantas de cobertura que apresentaram as maiores quantidades de N inicial foi a *U. brizantha* cv. Marandu (310 kg ha⁻¹), *C. spectabilis* (290 kg ha⁻¹), *U. ruziziensis* (273 kg ha⁻¹) e *U. brizantha* cv. Paiaguás 260 kg ha⁻¹. A menor quantidade de N inicial foi encontrado na matéria seca do *Pennisetum glaucum* com 233 kg ha⁻¹, não diferindo do mix (257 kg ha⁻¹). Aos 30 dias, o mix conseguiu se equiparar aos outros tratamentos, já que esse teve liberação mais lenta. Esse cenário percorre até os 120 dias, sendo os tratamentos *U. brizantha* BRS Paiaguás (195 kg ha⁻¹) *U. ruziziensis* (182 kg ha⁻¹), mix (171 kg ha⁻¹) e *U. brizantha* cv. Marandu (157 kg ha⁻¹) com os maiores valores de N, e a *C. spectabilis* (93 kg ha⁻¹) com o menor valor, não diferindo do *Pennisetum glaucum* (131 kg ha⁻¹).

A maior quantidade inicial de K foi na matéria seca da *U. ruziziensis* com 421 kg ha⁻¹, em contraste a menor quantidade foi para *C. spectabilis* com 304 kg ha⁻¹. Após os 60 DAD não foi possível observar diferença estatística para a quantidade de nutrientes contido na matéria seca das plantas de cobertura.

A maior quantidade de Ca foi para a *C. spectabilis* com 183 kg ha⁻¹, e a menor para o *Pennisetum glaucum* (130,3 kg ha⁻¹). Os valores de Ca na matéria seca demoram a decair, sendo que, aos 30 DAD o tratamento contendo *C. spectabilis* foi a que mais decaiu, assim, passando de o que tinha maiores quantidades para o menor até 120 dias.

As menores quantidades iniciais de macronutrientes na matéria seca são do P, S e Mg. Sendo que, para o P os maiores valores iniciais foram para a matéria seca de *U. brizantha* cv. Marandu (27,79 kg ha⁻¹), *Pennisetum glaucum* (25,83 kg ha⁻¹) e *U. ruziziensis* (25,12 kg ha⁻¹) e o menor para a crotalária com 17,51 kg ha⁻¹. Aos 120 DAD, os maiores valores de P são para a matéria seca das forrageiras *U. ruziziensis* (19,83 kg ha⁻¹), *U. brizantha* cv. Marandu (18,64 kg ha⁻¹) e *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás (24,09 kg ha⁻¹), em segundo o mix (18,44 kg ha⁻¹) e *Pennisetum glaucum* (17,36 kg ha⁻¹) e por último a *C. spectabilis* com os menores valores de P (8,48 kg ha⁻¹).

O tratamento que apresentou maior valor inicial de S foi a *U. brizantha* cv. Marandu com 48,12 kg ha⁻¹ e o menor valor foi para a *C. spectabilis* 21,41 kg ha⁻¹. Para o Mg, a matéria seca que apresentou maior quantidade foi *U. brizantha* cv. Marandu (102,8 kg ha⁻¹) e o menor a *C. spectabilis* com 44,8 kg ha⁻¹. Tanto para o S quanto para o Mg, após 60 DAD, os tratamentos não apresentam mais diferença estatística, exceto, para a *C. spectabilis* que continua tendo os menores valores de S e Mg.

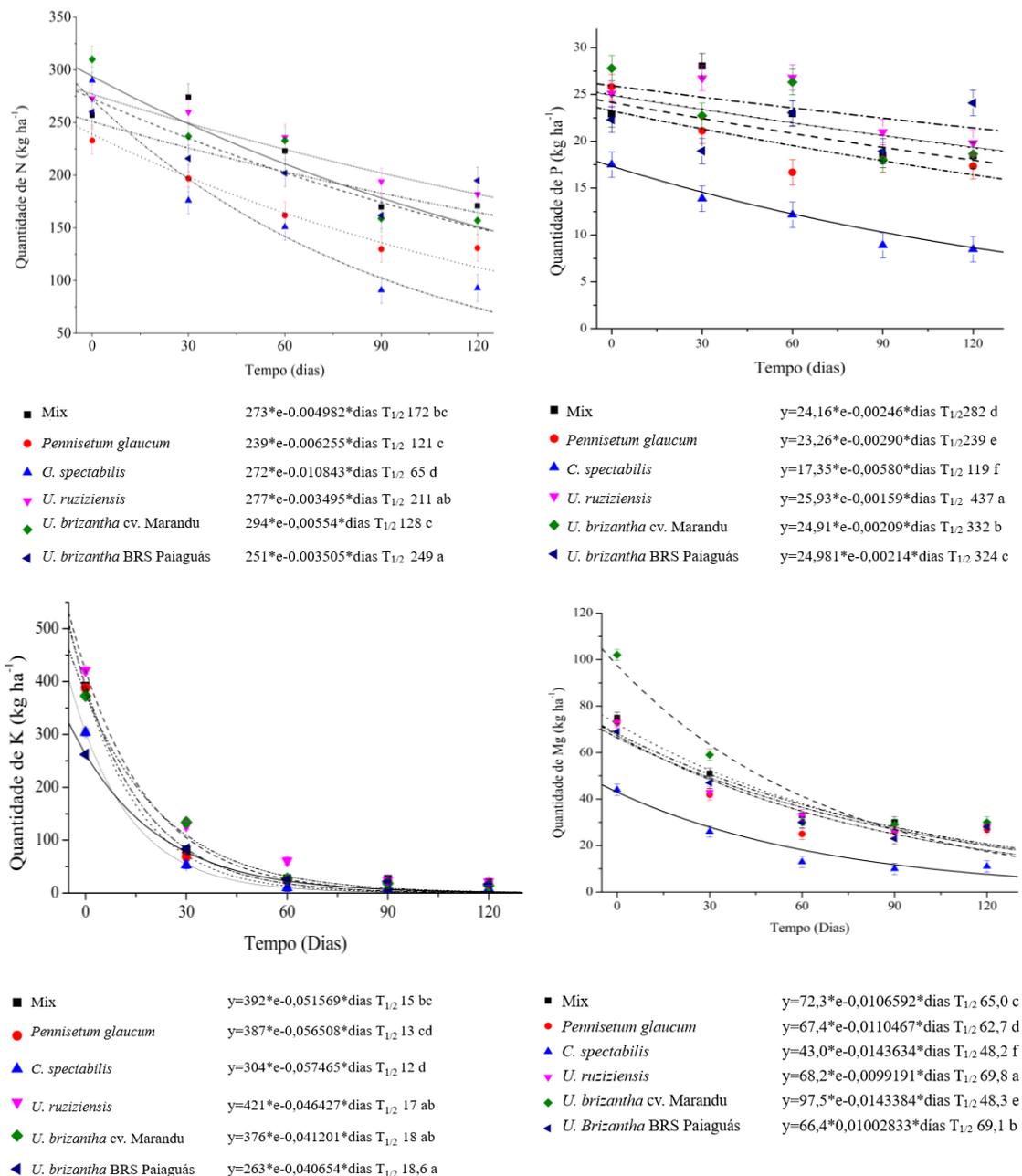


Figura 6 - Velocidade de liberação dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, tempo de meia-vida e taxa de decomposição da biomassa das plantas de cobertura até 120 DAD, média dos três anos.

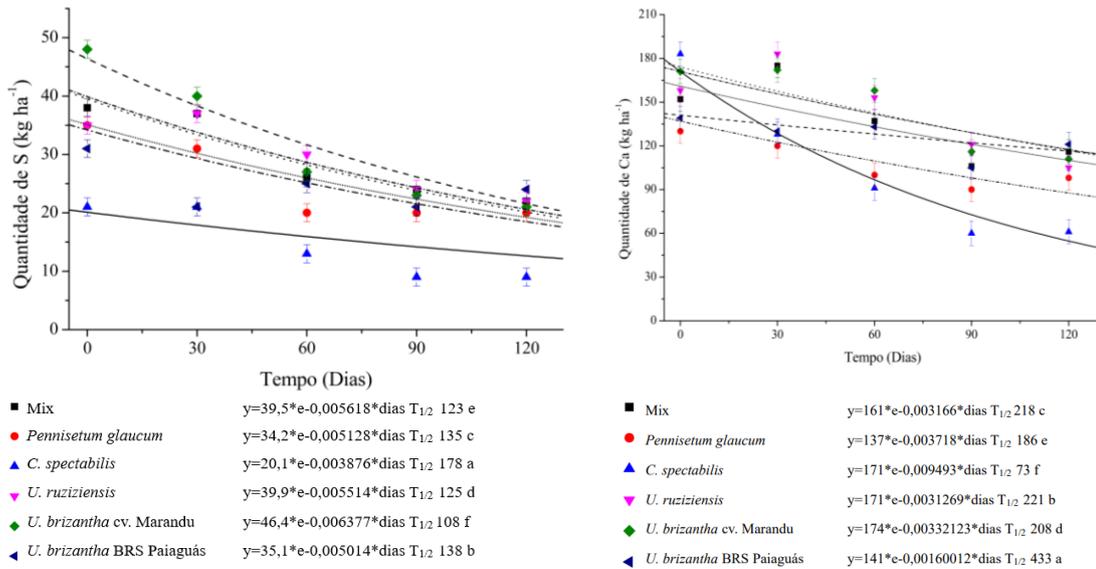


Figura 6 - Velocidade de liberação dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, tempo de meia-vida e taxa de decomposição da biomassa das plantas de cobertura até aos 120 DAD, média dos três anos (Continuação).

O tratamento que apresentou maior teor inicial de N foi *U. brizantha* cv. Marandu com taxa de liberação de N intermediária em relação aos outros tratamentos (0,0054), juntamente com o *Pennisetum glaucum* (0,0625) e mix (0,00498). A crotalária foi a planta de cobertura que teve maior taxa de liberação (0,01084) indicando que libera mais rápido o N em relação as outras espécies utilizadas no experimento. A *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás e *U. ruziziensis* foram os tratamentos com a menor taxa de liberação de N. Quanto ao tempo de meia-vida do N na matéria seca das plantas de cobertura o maior tempo de meia-vida foi para *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás (249,4 dias) e *U. ruziziensis* (211,6 dias) (Figura 6).

A *U. ruziziensis* apresentou maior teor de P na matéria seca inicial (25,93 kg ha⁻¹), por outro lado, a crotalária foi a que apresentou o menor teor (17,35 kg ha⁻¹). Quanto a taxa de liberação de P, a crotalária liberou mais rapidamente o P, enquanto as forrageiras apresentaram liberação mais lenta. Para a variável tempo de meia-vida, a *U. ruziziensis* apresentou o maior tempo para liberar metade do P sendo de 437 dias (Figura 6).

Os menores teores iniciais de K foram para *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás (264 kg ha⁻¹) e crotalária (304 kg ha⁻¹), os outros tratamentos não houve diferença significativa. Para a taxa de liberação de K as forrageiras e o mix liberam mais lentamente, enquanto a crotalária e *Pennisetum glaucum* tem liberação mais rápida. O mesmo ocorre para a meia-vida do K, sendo as forrageiras e o mix com maior tempo de meia-vida e a *C. spectabilis* e *Pennisetum glaucum* com os menores (Figura 6).

Os tratamentos crotalária (171 kg ha⁻¹), *U. ruziziensis* (171 kg ha⁻¹), *U. brizantha* cv. BRS Marandu (174 kg ha⁻¹) apresentaram maior teor inicial de Ca. No entanto, para taxa de liberação e tempo de meia-vida as forrageiras e o mix seguem sendo os tratamentos com liberação mais lenta em relação a *C. spectabilis* e o *Pennisetum glaucum* (Figura 6).

O maior teor inicial de Mg foi da *U. brizantha* cv. BRS Marandu (97,5 kg ha⁻¹), a maior taxa de liberação foi a da crotalária seguida pela *U. brizantha* cv. BRS Marandu, o mesmo ocorre para o tempo de meia-vida em que a crotalária e a *U. brizantha* cv. BRS Marandu demoram 48 dias para liberar metade do Mg da matéria seca. O maior teor de S na matéria seca foi para *U. brizantha* cv. BRS Marandu 46 kg ha⁻¹, e com a menor velocidade de liberação e tempo de meia-vida (Figura 6).

4. Discussão

4.1 Produção de biomassa de plantas de cobertura, decomposição e ciclagem de nutrientes

Os sistemas de produção afetaram a quantidade de matéria seca (MS) produzida, sendo o *Pennisetum glaucum* a planta de cobertura que obteve os maiores valores de MS (Tabela 1). Isso pode ser pelo rápido estabelecimento e crescimento do *Pennisetum glaucum* em comparação com as outras plantas de cobertura do estudo. Corroborando com estudos de Pacheco *et al.*, (2017), em que o *Pennisetum glaucum* 60 dias após a colheita da soja (DAS) foi a planta de cobertura que apresentou maior MS de 6.550 kg ha⁻¹, e os valores encontrados no estudo foram de 9.633 e 6.958 kg ha⁻¹ Montividiu e Rio Verde, respectivamente.

Durante os três anos a *U. brizantha* cv. Marandu se destacou na produção de MS em Rio Verde. Pacheco *et al.*, (2017) observaram aumento da MS da *U. ruziziensis* após 156 DAS, devido a capacidade de rebrota, após a chuva, destacando o potencial de produção de MS das gramíneas. Devido ao ciclo das plantas de cobertura terem sido menor neste estudo (abaixo de 135 dias), pode ter influenciado no potencial de produção de MS pelas forrageiras. No entanto, valores de produção de matéria seca de *U. ruziziensis* na região do Cerrado goiano durante a safrinha corroboram com os deste trabalho 5.400 kg ha⁻¹, 6.000 kg ha⁻¹ e 7.852 kg ha⁻¹ (Pacheco *et al.*, 2008, Torres *et al.*, 2005 e Pacheco *et al.*, 2017).

Os menores valores de MS durante os três anos foram para a *C. spectabilis* estes resultados convergem com Pacheco *et al.*, (2017) que comparando a produção de MS entre gramíneas e leguminosas encontraram os menores valores para as leguminosas *C. spectabilis* (4.175 kg ha⁻¹) e *C. breviflora* (3.003 kg ha⁻¹).

A maioria dos benefícios gerados pelas plantas de cobertura, inclui a entrada de matéria orgânica do solo, conservação de água, retenção de nutrientes e proteção do solo, para isso, o sistema depende da quantidade e qualidade de biomassa produzida pelas plantas de cobertura (Wanic *et al.*, 2019). Assim, o sistema de produção contendo plantas de cobertura que otimizem a produção de biomassa é fundamental em regiões que ocorrem a rápida decomposição dos resíduos como no bioma Cerrado. Com isso, o *Pennisetum glaucum* e a *U. brizantha* cv. Marandu se mostraram mais adequadas para as condições edafoclimáticas do bioma Cerrado, pois tiveram as maiores produção de MS durante os três anos. O tratamento mix (*C. spectabilis*, *Pennisetum glaucum* e *U. ruziziensis*) aparece como opção, quando tem a intenção de utilizar a *C. spectabilis* no sistema, já que ele produziu maiores quantidade de MS comparada com a *C. spectabilis* solteira.

Paye *et al.*, (2022) avaliando consórcios entre espécies de plantas de cobertura, observaram que os consórcios triplos entre gramíneas, brassicas e leguminosas e o consórcio duplo entre gramíneas e leguminosas produziram maior biomassa em média em ambos os anos do que o tratamento que continham apenas gramíneas e brassicas. Portanto, a falta de uma espécie complementar adequada, como uma leguminosa reduziu a produção de MS do sistema. Convergindo com os dados deste estudo, em que, a junção de espécies que possuem maior capacidade de produção de MS como o *Pennisetum glaucum* e *U. ruziziensis* associados a outras que possuem menor produção de MS como a *C. spectabilis*, mas, que imprimem qualidade maior a palhada devido ao fornecimento de nitrogênio adicional via fixação biológica de N, resultou em quantidade médias de MS.

No que se refere a taxa de decomposição e tempo de meia-vida da palhada, observou-se que Torres *et al.*, (2005) encontrou tempo de meia-vida para *Crotalaria juncea* de 151 dias estes resultados divergem com Soratto *et al.*, (2012) que encontrou para a *C. spectabilis* tempo de meia-vida de 65 dias após o manejo, neste estudo foi de 82 dias. Contudo a baixa produção de biomassa da *C. spectabiis* após a dessecação encontrado neste trabalho, está relacionada a época que as coberturas foram semeadas e aos manejos adotados, pois coincide com o período seco do ano, com isso, o desenvolvimento das culturas é menor.

As maiores taxas de decomposição da biomassa ocorreram nos primeiros 30 dias para todos as plantas de cobertura, tendo atingidos valores de mix: 319 kg ha⁻¹, *Pennisetum glaucum*: 557 kg ha⁻¹, *C. spectabilis*: 502 kg ha⁻¹, *U. ruziziensis*: 326 kg ha⁻¹, *U. brizantha* cv. Marandu: 537 kg ha⁻¹, *U. brizantha* cv. Paiaguás: 526 kg ha⁻¹ decompostos de MS em 30 DAD. Corroborando com estudos de Soratto et al., (2012) que obteve a maior taxa de decomposição de *Pennisetum glaucum*, *C. spectabilis* e consórcio entre *C. spectabilis* e *Pennisetum glaucum* nos primeiros 18 dias. Pereira et al., (2016) estudando a velocidade de decomposição das gramíneas *U. ruziziensis*, *U. brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Tanzânia, encontraram menor relação lignina/nitrogênio para a *U. ruziziensis*, indicando decomposição acelerada nos primeiros 30 dias DAD.

Neste trabalho, o maior tempo de meia-vida foi para o tratamento *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás de 169 dias seguida do *Pennisetum glaucum* com 156 dias (Figura 6) isso indica que após a colheita da soja ainda será possível encontrar resíduos no solo. A permanência dos resíduos desempenha papel vital na consolidação e manutenção do plantio direto. O sucesso do plantio direto depende fortemente da produção e manutenção de resíduos na superfície do solo (Macedo, 2009). No entanto, como visto por Wanic *et al.*, (2019) deve-se considerar a qualidade do resíduo e não somente a quantidade e permanência no solo, tanto que neste estudo, a soja sobre palhada de *C. spectabilis*, e mix (*C. spectabilis*, *U. ruziziensis* e *Pennisetum glaucum*) foram destaques de produtividade nos dois locais.

O objetivo de consórcio de duas ou mais espécies é reunir as melhores características de cada espécie, a fim de ter um sistema mais completo que consiga fornecer boa ciclagem de nutrientes e proteção para o solo. O tratamento mix (*C. spectabilis*, *U. ruziziensis* e *Pennisetum glaucum*) foi capaz de unir características como alta produção de matéria seca do *Pennisetum glaucum* (9.633 e 6.958 kg ha⁻¹) e *U. ruziziensis* (6.218 e 6.138 kg ha⁻¹), 2.256 kg ha⁻¹ de biomassa aos 120 dias, baixa taxa de decomposição (0.00553) e maior meia-vida dos resíduos de 150 dias. A *C. spectabilis* tem como característica maior velocidade de liberação de nutrientes, mas, devido as características supracitadas da *U. ruziziensis* e *Pennisetum glaucum*, quando no tratamento mix, os nutrientes permaneceram no sistema por mais tempo. Os macronutrientes da biomassa para o tratamento mix foram de 257, 22, 391, 152, 75, 38 de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente (Figura 6).

O alto acúmulo de N e K (acima de 200 e 250 kg ha⁻¹, respectivamente), de maneira geral foi notório. Corroborando com Torres et al., (2005), Boer et al., (2007), Pariz et al., (2011), Pereira et al., (2016) e Pacheco et al., (2017) esses nutrientes são os mais absorvidos e acumulados no tecido vegetal de plantas de cobertura na região do Cerrado. O maior teor inicial de N foi para de *U. brizantha* cv. Marandu 310 kg ha⁻¹ e para K a *U. ruziziensis* com 421 kg ha⁻¹. Os elevados acúmulos de K observados neste estudo, indica que as forrageiras avaliadas extra em grandes quantidades de K do solo, excedendo a quantidade de N, semelhante aos achados de Costa et al., (2010) e Pereira et al., (2016).

A contribuição do K liberado a partir dos resíduos está entre 80 e 90% para gramíneas e leguminosas e, portanto, desempenha papel importante na ciclagem desse nutriente no sistema (Santos et al., 2008). O N extraído pelas plantas aos 120 DAD já havia sido liberado mais de 60%, e para o K aos 60 DAD as plantas de coberturas não apresentaram mais diferença estatística para quantidade de nutrientes contido na matéria seca, resultados semelhantes foram encontrados por Pereira et al., (2016).

Crusciol et al., (2005) enfatizam em seu trabalho, que uma vez fixado em compostos orgânicos, o N fica disponível para ciclagem com isso, a quantidade de N que retorna ao solo na forma de resíduos vegetais é uma parcela considerável do N absorvido pelas plantas subsequentes. Além disso, plantas de cobertura como as do gênero *Urochloa*, têm sistemas radiculares profundos que podem chegar a 1 m de profundidade e, conseqüentemente, podem absorver nutrientes em camadas mais profundas e devolvê-los à superfície do solo (Crusciol et al. 2015).

Já para o Ca, a planta de cobertura que obteve os maiores teores foi a *C. spectabilis* com 183 kg ha⁻¹. Diferente do N e K, para o Ca os teores demoram a decair, no entanto, aos 60 DAD a crotalária apresentava os menores teores de Ca, destacando a sua alta taxa de liberação dos nutrientes (Figura 6). Aos 120 DAD todos se igualaram menos a crotalária que ficou com menor teor.

Os menores teores iniciais de macronutrientes na matéria seca são do P, S e Mg. Sendo a gramínea *U. brizantha* cv. Marandu destaque, com os maiores teores de 27,79 kg ha⁻¹, 48,12 kg ha⁻¹ e 102,8 kg ha⁻¹ para P, S e Mg, respectivamente. O P é o macronutriente que possui maior tempo de meia-vida (Figura 6), sendo que, após 120 DAD a *U. brizantha* cv. Marandu havia liberado apenas 9.15 kg ha⁻¹. A velocidade de liberação dos nutrientes contidos na biomassa pode ser alterada conforme as características edafoclimáticas e a comunidade microbiana (Varela et al., 2017 e N'Dri et

al., 2018). Em contraste com este estudo Pereira et al., (2016) utilizando sistema de irrigação, encontrou que, aos 120 DAD cerca de 80% do P já havia sido liberado.

Oliveira et al. (2014) relata que a maior exigência nutricional da soja inicia por volta dos 30 dias, sendo que, a ordem de maior exigência é N, K, Ca, Mg, P e S. O acúmulo máximo dos nutrientes ocorre entre 82 e 92 dias após semeadura e a maior taxa de absorção dos macronutrientes ocorre entre 42 e 63 dias. Neste estudo, A *C. spectabilis* foi o tratamento que resultou em altas produtividades da soja, esta planta de cobertura foi a que apresentou o menor tempo de meia-vida dos nutrientes, ou seja, menor tempo para liberar a metade dos nutrientes contidos na biomassa, cerca de 65, 119, 12,5, 73, 48 e 178 DAD para N, P, K, Ca, Mg, e S, respectivamente.

Essa característica da *C. spectabilis* ter rápida liberação dos nutrientes da biomassa, pode ter influenciado na demanda inicial de nutrientes da soja, no entanto, no período de maior exigência nutricional (30 dias após a semeadura), quase todos os nutrientes da biomassa já haviam sido liberados (cerca de 120 DAD), diferente do tratamento mix (*Pennisetum glaucum*, *C. spectabilis* e *U. ruziziensis*) que apresentou liberação regulada durante o ciclo da soja.

4.2 Influência da palhada de plantas de cobertura no estabelecimento e produtividade da cultura da soja, e população de nematoides

A biomassa que menos interferiu na população final da soja na média dos três anos foram *U. ruziziensis* para Montividiu e *Pennisetum glaucum* para Rio Verde (Tabela 2). Indicando que a quantidade de MS produzida pelas plantas de cobertura podem influenciar no estabelecimento e crescimento das plantas de soja, já que as plantas de cobertura que produziram menores quantidade de MS em Montividiu como a *C. spectabilis*, mix (*C. spectabilis*, *Pennisetum glaucum* e *U. ruziziensis*) e *U. ruziziensis* e em Rio Verde *C. spectabilis* e *U. ruziziensis* tiveram também média geral de população de planta maiores. Exceção para o *Pennisetum glaucum* em Rio Verde, que foi um dos tratamentos que apresentou grande produção de MS e foi o tratamento com a maior população de plantas.

Em trabalhos de Peter et al., (2021) foi observado que dentro de um intervalo entre a maior e a menor população de soja houve adaptação das plantas ao ambiente, por ocorrer aumento no número de ramificações em cultivos conduzidos em menores densidades, evidenciando a plasticidade fenotípica da soja dentro das densidades utilizadas. Sendo

que o aumento da densidade populacional dentro desse intervalo não afeta o rendimento da soja (Silva *et al.*, 2010; Rodrigues *et al.*, 2011).

Este trabalho mostra que a cultura da soja se adapta a diferentes espécies de plantas de cobertura. Neste estudo, a média do rendimento geral da soja sob biomassa das gramíneas *U. ruziziensis*, *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás, *U. brizantha* cv. Marandu e *Pennisetum glaucum* em Rio Verde e *U. ruziziensis*, e *U. brizantha* cv. Marandu em Montividiu foram menores (Tabela 3).

Os componentes massa de mil grãos e número de vagens por planta não foram afetados pelo componente de rendimento, já que, os tratamentos que apresentaram maior rendimento não foram os mesmo que apresentaram maior número de vagens por planta e peso de mil grãos, exceto para a biomassa do *Pennisetum glaucum* em Montividiu, no qual, a soja apresentou o maior número de vagens por planta e maior rendimento na média dos três anos.

Os sistemas de produção com a inclusão de *Crotalaria* sp. favoreceram o aumento da produtividade da soja, corroborando com trabalhos de Pacheco *et al.*, (2017). Apesar da alta eficiência na fixação biológica da soja, ela pode responder positivamente à disponibilidade de N durante os estágios iniciais de crescimento (Brançalião *et al.*, 2015). Anghinoni *et al.*, (2021) reforça em seu trabalho sobre a importância de um sistema mais diversificado com rotação de culturas para aumentar o rendimento da soja em comparação com sistema de cultivo tradicional soja-milho.

Dentre todas as plantas de coberturas utilizadas, o tratamento mix (*C. spectabilis*, *U. ruziziensis* e *Pennisetum glaucum*) foi destaque, pois a junção de espécies contrastantes fez com que a soja tivesse boa performance durante os três anos, nos dois locais de estudo. Com isso, esse consórcio pode ser indicado para áreas que vão iniciar o plantio direto, pois devido a essa característica de possuir espécies de plantas com funções ecológicas diferentes, ele consegue suprir diferentes demandas do sistema, tais como boa taxa de cobertura (proteção do solo) e também gradativa liberação de nutrientes cicladas na palhada (“nutrição” do solo).

Carneiro *et al.*, (2008) e Anghinoni *et al.*, (2021) observaram que as culturas de cobertura do solo associadas à rotação de culturas têm efeitos positivos na fertilidade do solo, aumento da produção de grãos de soja e da qualidade nutricional (flavonoides e conteúdo de proteína), melhoria da qualidade do solo e lucratividade maior ou semelhante para o agricultor. No entanto, algumas propriedades importantes do solo afetam a qualidade do solo, mas não interferem diretamente na produtividade, para isso, são

necessários mais estudos avaliando aspectos químicos, físicos e biológico do solo (Mitchell *et al.*, 2017).

Quanto a população de *Helicotylenchus* (tabela 4), Dias-Arieira *et al.*, (2021) e Castoldi (2021) encontraram correlação positiva com os teores de matéria orgânica e a acidez potencial (H+Al³). Na prática, a escolha da planta de cobertura que será utilizada no sistema deve levar em consideração o nível de resistência aos nematoides e a incidência de plantas que são parasitadas na área. Aquino (2021) encontrou menor densidade populacionais de *Helicotylenchus* sp. em sistemas com *C. spectabilis*, neste estudo a menor população foi sobre a biomassa do *Pennisetum glaucum*.

As plantas do gênero *Urochloa* possuem resistência a nematoides de galhas e cistos (Dias-Arieira *et al.*, 2003), no entanto, para os nematoides de lesões radicular essas têm se mostrado suscetíveis, com fator de reprodução de *P. brachyurus* próximo de 2, em contraste, mesmo apresentando certa suscetibilidade ainda é menor do que a do milho, que tem fator de reprodução maior que 10 (Uebel *et al.*, 2013, Inomoto *et al.*, 2007; Queiroz *et al.*, 2014). Debiasi *et al.*, (2016) encontram que o cultivo da *C. spectabilis* na entressafra, solteira ou consorciada com o milheto 'ADR 300', reduziram a população e os danos causados por *P. brachyurus* à soja, no entanto neste trabalho não houve diferença significativa entre os tratamentos, necessitando de estudos de mais tempo para acompanhar a evolução da população de nematoides.

Em destaque, o tratamento mix (*C. spectabilis*, *Pennisetum glaucum* e *U. ruziziensis*) apresentou tempo de meia-vida maior do que a *C. spectabilis* de 172, 282,15,5, 218, 65 e 123 DAD para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, além de ser o tratamento que proporcionou a maior produtividade da soja de 5.635 kg ha⁻¹, destacando a vantagens de utilizar espécies contrastantes no consórcio, para assim, extrair maiores benefícios das plantas de cobertura.

5. Conclusões

Ao avaliar a cultura da soja em diferentes sistemas de produção com biomassa de plantas de cobertura, o *Pennisetum glaucum* se destacou com a maior produção de matéria seca (MS) e a soja sob esta biomassa apresentou maior produtividade na média dos três anos em Montividiu. Já em Rio Verde a *U. brizantha* cv. Marandu teve a maior produção de MS, e o maior rendimento foi para a soja sob a biomassa do mix de plantas de cobertura.

Dentre todas as plantas de coberturas utilizadas, o tratamento mix (*C. spectabilis*, *U. ruzizizensis* e *Pennisetum glaucum*) foi destaque, pois este, foi capaz de reunir as melhores características de cada espécie utilizada ou seja, promoveu alta produção de matéria seca, supressão de *Helicotylenchus*, maior produtividade da soja (4.023 e 5.635 kg ha⁻¹ Montividiu e Rio Verde, respectivamente), alta concentração de macronutrientes e liberação gradativa durante o ciclo da soja durante os três anos.

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (**CAPES**) - Código de Financiamento 001. Ao Instituto Federal Goiano, GAPES (Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano) e ao Grupo Kompier, pelo total suporte técnico na condução do estudo.

7. Referências

- Almeida, W. S., Carvalho, D. F., Panachuki, E., Valim, W. C., Rodrigues, S. a., Varella, C. A. A., 2016. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* [online]. v. 51, n. 9, pp. 1110-1119. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900010>
- Ambrosini, V.G., de Almeida, J.L., Alves, L.A., Filippi, D., Flores, J.P.M., Fostim, M.L., Fontoura, S.M.V., Bortoluzzi, E.C., Bayer C., Tiecher T., 2022. Effect of diversified cropping systems on crop yield, legacy, and budget of potassium in a subtropical Oxisol. *Field crops research*, 275, 108342. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108342>.
- Anghinoni, G., Anghinoni, F.B.G., Tormena, C.A., Braccini, A.L., Mendes, I.C., Zancanaro, L., Lal, R., 2021. Conservation agriculture strengthen sustainability of Brazilian grain production and food security. *Land Use Policy*. 108, 105591. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105591>
- Aquino, N.C.R., 2021. Plantas de cobertura e agentes de biocontrole no manejo de nematoides na cultura do milho. *Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí*.
- Bataglia, O. C.; Mascarenhas, H. A. A., 1977. Absorção de nutrientes pela soja. Campinas: Instituto Agrônomo, 36 p. (Boletim Técnico, n. 41).
- Brancalião, S.R.; Aguiar, A.T. de E.; Brancalião, E.M.; Limonta, C.R.; Rossi, C.E.; Cristovão, N.N., 2015. Produtividade e composição dos grãos de soja após o aporte de nitrogênio com o uso de culturas de cobertura em sistema de semeadura direta. *Nucleus*, v.12, p.69-76. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1001>
- Boer CA, Assis RL, Silva GP, Braz AJBP, Barroso ALL, Cargnelutti Filho A, Pires FR., 2007. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 42:1269-76. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000900008>
- Castro, G.F. de, Silva, C.G.M., Moreira, S.G., Resende, A.V. de., 2017. Plantas de cobertura em sucessão ao milho para silagem em condições do Cerrado. *Journal of Bioenergy and Food Science*. 4, 37-49. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v4i1.130>
- Crusciol, C.A.C., Cottica, R.L., Lima, E. do V., Andreotti, M., Moro, E., Marcon, E., 2005. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 40, 161-168. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000200009>
- Crusciol C.A.C., Nascente A.S., Borghi E., Soratto R.P., Martins P.O., 2015. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. *Agronomy Journal* 107:2271–2280. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0603>
- Chieza, E.D., Guerra, J.G.M., Araújo, E. da S., Espíndola, J.A., Fernandes, R.C., 2017. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. *Revista Ceres*. 64, 189-196. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764020012>

Castoldi, G., 2021. Relação de atributos da fertilidade do solo e a população de *Pratylenchus Brachyurus* e *helicotylenchus* sp. na cultura da soja. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia) - Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde.

Debiasi, Henrique *et al.*, 2016. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. Pesquisa Agropecuária Brasileira [online]. 51, 1720-1728. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016001000003>.

De Carvalho, A. M., Bustamante, M. M. C., Alcântara, F. A., Resck, I. S., Lemos, S. S., 2009. Characterization by solid-state CPMAS¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. Soil & Tillage Research, 101, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.08.006>.

De Carvalho, A. M., Coelho, M. C., Dantas, R. A., Fonseca, O. P., Júnior, R. G., Figueiredo, C. C., 2012. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. Crop and Pasture Science, 63(12), 1075–1081. <https://doi.org/10.1071/CP12272>.

De Carvalho, A. M., Ribeiro, L. R. P., Marchão, R. L., de Oliveira, A. D., Pulrolnik, K., & de Figueiredo, C. C., 2021. Chemical composition of cover crops and soil organic matter pools in no-tillage systems in the Cerrado. Soil Use and Management, 00, 1–13. <https://doi.org/10.1111/sum.12746>

Dias-Arieira, C.R., Ferraz, S., Freitas, L.G., Mizobutsi, E.H., 2003. Evaluation of forage grasses to the control of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica* (Nematoda). Acta Scientiarum Agronomy, 25, 473–477. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v25i2.2163>.

Dias-Arieira, C.R., Ceccato, F. J., Marinelli, E.Z., Vecchi, L. B., Arieira, G. de O., Santana-Gomes, S. de M., 2021. Correlations between nematode numbers, chemical and physical soil properties, and soybean yield under different cropping systems. Rhizosphere, 19. 100386. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100386>.

Ferreira, P. S., Torres, J. L. R., Santos, M. A. d., Parolini, R. d. O., & Lemes, E. M., 2020. Host suitability of cover crops for *Meloidogyne javanica* and *M. incognita*. Nematology. 22(6), 659-666. <https://doi.org/10.1163/15685411-00003329>

Mitchell, J.P., Sherestha A., Matheusis K., Scow, K.M, Southard, R.J, Haney, R.L, Schimidt, R. Munk, D.S., Horwath, W.R., 2017. Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA. Soil Tillage Res., 165 (2017), pp. 325-335. Doi: 10.1016/j.still.2016.09.001

Inomoto, M.M., 2011. Avaliação da resistência de 12 híbridos de milho a *Pratylenchus brachyurus* Tropical Plant Pathology. 36, 308-312. doi: 10.1590/S1982-56762011000500006

Inomoto M.M., Asmus G.L., 2010. Host status of graminaceous cover crops for *Pratylenchus brachyurus* Plant Disease. 94, p. 1022 – 1025. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-8-1022>

Macedo M.C.M., 2009. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. Rev Bras Zootec. 38:133-46. doi:10.1590/S1516-35982009001300015

- Machado, A.C. Z, Motta, L.C.C., Siqueira, K.M.S.de., Ferraz, L.C.C.B, Inomoto, M.M., 2007. Host status of green manures for two isolates of *Pratylenchus brachyurus* in Brazil. *Nematology*, v.9, p.799-805. <https://doi.org/10.1163/156854107782331153>
- Mendonça, V.Z. de, Mello, L.M.M. de, Andreotti, M., Pariz, C.M., Yano, É.H., Pereira, F.C.B.L., 2015. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 183-193. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150666>
- N'Dri JK, Guei AM, Edoukou EF, Yeo JG, N'Guessan KK, Lagerlof J (2018) Can litter production and litter decomposition improve soil properties in the rubber plantations of different age in Cte d'Ivoire? *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 111:203–215. <https://doi.org/10.1007/s10705-018-9923-9>
- Pacheco, L.P., Barbosa, J.M., Leandro, W.M., Machado, P.L.O. de A., Assis, R.L. de, Madari, B.E., Petter, F.A., 2011. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 35, 1787-1799. » <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500033>
- Pacheco, L.P., Pires, F.R., Monteiro, F.P., Procopio, S.O., Assis, R.L., Carmo, M.L., Petter, F.A., 2008. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, 43:815-823.
- Pacheco, L.P., Miguel, A.S.D.C.S., Silva, R.G., Souza, E.D., Petter, F. A., Kappes, C., 2017. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, n. 8, 582-591. <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000800003>>.
- Peter, M. Silva, F.L., Medeiros, L.B., Peter, M., Aumonde, T. Z., Pedó, T., 2021. Expression of agronomic characteristics of soybean managed under different sowing times and cultivation densities. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, Vol 120 (2): 1-14 <https://doi.org/10.24215/16699513e075>
- Pariz CM, Andreotti M, Buzetti S, Bergamaschine FA, Ulian NA, Furlan LC, Meirelles PRL, Cavasano FA., 2011. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. 35:2029-37. doi:10.1590/S0100-06832011000600019
- Paye, W.S., Ghimire, R., Acharya, P., Nilahyane, A., Mesbah. A.O., Marsalis, M. A., 2022. Cover crop water use and corn silage production in -semi-arid irrigated conditions. *Agricultural Water Management*, volume 260, 107275. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107275>.
- Pereira, F.C.B.L, Mello, L. M.M. de, Pariz, C.M., Mendonça, V.Z. de, Yano, É.H., Miranda, E.E.V. de, Crusciol, C.A.C., 2016. Autumn maize intercropped with tropical forages: crop residues, nutriente cycling, subsequent soybean and soil quality. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 40, 1-20. » <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150003>
- Queiroz, C.A., Fernandes, C.D., Verzignassi, J.R., Valle, C.B., Jank, L., Mallmann, G., Batista, M.V., 2014. Reação de acessos e cultivares de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* a *Pratylenchus brachyurus*. *Summa Phytopathol*. 40, 226–230. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1899>.

Rodrigues, O., M.C.C. Teixeira, P.F. Bertagnolli, E.R. Costenaro & A.C.P. Kapp., 2011. Rendimento de grãos de soja: efeito do espaçamento e da densidade. Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 81, p. 16. http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp81.htm.

Ribeiro, L.M., Campos, H.D., Neves, D.L., Dias-Arieira, C.R., 2020. Survival of *Pratylenchus brachyurus* under dry soil conditions. *Heliyon* 6, e05075. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05075>.

Salton, J.C., Mercante, F.M., Tomazi, M., Zanatta, J.A., Concencço, G., Silva, W.M., Retore, M., 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 190, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.023>.

Soratto, R.P., Crusciol, C.A.C., Costa, C.H.M., Neto, J.F., Castro, G.S.A., 2012. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milho, cultivados solteiros e consorciados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.10, p.1462-1470.

Santos, S.F.C.B., Souza, H.A., Neto, R.A., Sagrilo, E., Ferreira, A.C., Carvalho, P.S., Brito, L.C.R., Leite, L.F.C., 2021. Soil Microbiological Attributes and Soybean Grain Yield in Succession to Corn Intercropped with Forage in the Maranhão Eastern Cerrado. *Int. J. Plant. Prod.* 15, 669–677. <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00167-z>

Silva, L.S., M.C.C.L. Moura, R.N. Valadares, R.G. Silva, A.F.A., 2010. Seleção de variedades de soja em função da densidade de plantio, na microrregião de chapadinha, nordeste maranhense. *Agropecuária Científica no Semi-Árido* 6 (2): 07-14.

Torres JLR, Pereira MG, Andrioli I, Polidoro JC, Fabian AJ., 2005. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. *Rev Bras Cienc Solo.* 29:609-18. doi:10.1590/S0100-06832005000400013

Torres, J.L.R., Pereira, M.G., Andrioli, I., Polidoro, J.C., Fabian, A.J., 2005. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:609-618.

Teixeira, C.M., Loss, A., Perreira, M.G., Pimental, C., 2012. Nutrient cycling and decomposition of crop residues of four cover crops for soil. *Idesia.* 30, 55-64.» <https://doi.org/10.4067/S0718-34292012000100007>

Telles, T.S., Lourenço M.A.P., Oliveira J.F., Costa G.V., Barbosa G.M.C., 2019. Soil conservation practices in a watershed in Southern Brazil. *An Acad Bras Cienc.* 91 (03). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920180578>

Varela MF, Barraco M, Gili A, Taboada MA, Rubio G (2017) Biomass decomposition and phosphorus release from residues of cover crops under no-tillage. *Agron J* 109:317–326. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0168>

Volsi, B., Eiji Higashi, G., Bordin I., Telles, T.S., 2021. Production and profitability of diversified agricultural systems. *An Acad Bras Cienc.* 93 (2). Doi: 10.1590/0001-3765202120191330

Uebel, M., Garbin, L.F., Silva, R.A., Santos, P.S., 2013. Reação de cultivares de *Brachiaria spp.* a *Pratylenchus brachyurus*. *Connect Online* 10, 1–8. <https://doi.org/10.18312/F1980-7341.n10.2013.54>.

Wanic, M., Zuk-Golaszewska, K., Orzech, K., 2019. Catch crops and the soil environment – a review of the literature. *J. Elem.* 24, 31–45. [Doi:10.5601/jelem.2018.23.3.1638](https://doi.org/10.5601/jelem.2018.23.3.1638)

Torres, J.L.R., Pereira, M.G., Andrioli, I., Polidoro J.C., Fabin, A.J., 2005. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:609-618.

Oliveira Junior, A. de, Castro, C. de, Oliveira, F.A. de, Foloni, J.S.S., 2014. Marcha de absorção e acúmulo de macronutrientes em soja com tipo de crescimento indeterminado. Resumos expandidos da XXXIV Reunião de Pesquisa de Soja - Londrina/PR.

5. Conclusão geral

A utilização de plantas de coberturas são a chave para sistemas produtivos sustentáveis trazendo um sinergismo benéfico entre os componentes, em que a diversificação das culturas beneficia a cultura subsequente e colabora com a sustentabilidade do plantio direto. O consórcio entre espécies de plantas de cobertura é uma alternativa considerável para otimizar a produção de grãos e biomassa. Sendo que a biomassa do tratamento mix (*C. spectabilis*, *U. ruzizizensis* e *Pennisetum glaucum*) proporcionou maiores produtividades para a soja durante os três anos. Estes resultados foram observados ao longo de três safras trazendo robustez nos dados apresentados, mas também abre novas perspectivas de pesquisas a longo prazo. São necessários mais estudos sobre como as plantas de cobertura influenciam nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo durante os anos.