

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

**PLANTAS DE COBERTURA EM CULTIVO SOLTEIRO E EM MIX PARA  
SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA PRODUTIVO**

**VICTÓRIA CAROLINE SOUSA ROSA**  
*Magister Scientiae*

**RIO VERDE**  
**GOIÁS – BRASIL**  
**2025**

**VICTÓRIA CAROLINE SOUSA ROSA**

**PLANTAS DE COBERTURA EM CULTIVO SOLTEIRO E CONSORCIADAS PARA  
SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA PRODUTIVO**

**Orientadora: Prof. Dra. CAMILA JORGE BERNABÉ FERREIRA**

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

**RIO VERDE  
GOIÁS – BRASIL**

**2025**

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

R696p Rosa, Victória Caroline Sousa

Plantas de cobertura em cultivo solteiro e em mix para sustentabilidade do sistema produtivo. / Victória Caroline Sousa Rosa. – 2025.  
38 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Direito, 2024.

1. *Glycine max*. 2. Qualidade solo. 3. Plantio direto. 4. Culturas de cobertura. I. Ferreira, Camila Jorge Bernabé . II. Título.

CDD: 633.2

Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

**VICTÓRIA CAROLINE SOUSA ROSA**

**PLANTAS DE COBERTURA EM CULTIVO SOLTEIRO E EM MIX PARA  
SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA PRODUTIVO**

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

APROVAÇÃO: 06 de junho de 2025.

Documento assinado digitalmente  
 CAMILA JORGE BERNABÉ FERREIRA BRAZ  
Data: 09/06/2025 10:01:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira  
Presidente da Banca Examinadora  
Membro – Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal/UniRV

Documento assinado digitalmente  
 EDUARDO LIMA DO CARMO  
Data: 09/06/2025 13:43:08-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Eduardo Lima do Carmo  
Membro - FA/UniRV

Documento assinado digitalmente  
 EDUARDO DA COSTA SEVERIANO  
Data: 10/06/2025 09:03:27-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Eduardo da Costa Severiano  
Membro Externo – IF Goiano Rio Verde

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, aos meus pais, meus irmãos e meu sobrinho Valentino.

## EPÍGRAFE

“As dificuldades preparam pessoas comuns para destinos extraordinários.” *C.S. Lewis*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar a vida e permitir concluir mais uma etapa importante.

Aos meus pais José Divino Rosa e Rosiene Sousa da Silva e meus irmãos Vinícius Sousa Rosa e Thaís Sousa Cordeiro, por investirem nos meus estudos, por todo apoio e sempre me incentivarem a ir atrás dos meus sonhos.

Ao meu sobrinho Valentino Inácio Sousa, que é o motivo da minha força de todos os dias.

A minha orientadora, Professora Dra. Camila Jorge Ferreira Bernabé, pelos ensinamentos, apoio e orientação.

A Universidade de Rio Verde (UniRV), por ter me proporcionado um ensino de excelência, pelas oportunidades oferecidas que contribuíram para minha vida profissional.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da UniRV, pelos ensinamentos acadêmicos, paciência e dedicação durante as aulas.

Ao Professores Eduardo Severiano e Eduardo Lima, por aceitarem o convite de participar deste momento tão importante na minha formação acadêmica, contribuindo para meu aprendizado mediante a avaliação na banca examinadora da defesa de dissertação.

Ao financiamento concedido pela UniRV através da Taxa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ao Instituto Goiano de Agricultura (IGA), pela oportunidade de realizar o projeto e por toda a estrutura oferecida para a execução dos trabalhos que compuseram a presente obra.

Aos meus amigos que me deram suporte e ânimo durante todo o período de realização do mestrado.

Muito Obrigada!

## **BIOGRAFIA**

VICTÓRIA CAROLINE SOUSA ROSA, filha de José Divino Rosa e Victória Caroline Sousa Rosa, nasceu no município de Rio Verde, Estado de Goiás, aos 19 dias do mês de outubro do ano de 1998.

Em fevereiro de 2016, iniciou no Curso de Engenharia Agrônômica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Durante o período de graduação, participou de projetos de pesquisa na área da Física do Solo e Manejo e Conservação do Solo, sob a orientação do Professor Dr. Eduardo da Costa Severiano. Gradou-se em Engenharia Agrônômica em 26 de agosto de 2021.

Em março de 2023, iniciou no Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, nível de Mestrado, Área de Concentração em Manejo de culturas em sistemas de cultivo, na Universidade de Rio Verde (UniRV), sob orientação da professora Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira.

## SUMÁRIO

|                                  |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| RESUMO .....                     | 10                                  |
| ABSTRACT .....                   | 11                                  |
| INTRODUÇÃO.....                  | 12                                  |
| REVISÃO DE LITERATURA .....      | 14                                  |
| Sistemas conservacionistas.....  | 14                                  |
| Plantas de cobertura.....        | 14                                  |
| Qualidade do solo .....          | 15                                  |
| OBJETIVOS.....                   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| MATERIAL E MÉTODOS.....          | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Área Experimental.....           | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Tratamentos .....                | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Avaliações no campo.....         | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Avaliações no laboratório.....   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Análise estatística .....        | 22                                  |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO .....     | 23                                  |
| CONCLUSÃO.....                   | 34                                  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 35                                  |

## RESUMO

ROSA, V. C. S. **Uso de plantas de cobertura em cultivo solteiro e em mix para sustentabilidade do sistema produtivo.** 2025, 40 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade de Rio Verde, Rio Verde - GO, 2025.

A lucratividade e a sustentabilidade produtiva dos sistemas agrícolas dependem de um conjunto de práticas. O uso de sistemas mais diversificados oferece inúmeras vantagens do ponto de vista da qualidade do solo, sendo a qualidade física considerada o fator-chave para o sucesso dos sistemas produtivos. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi testar diferentes culturas de cobertura, seja em sistemas isolados ou consorciadas de culturas, durante o período de segunda safra para melhorar a qualidade física do solo e os efeitos sob a produtividade da soja como cultura sucessora. Para isso, um experimento de campo foi conduzido em um Latossolo Vermelho Distroférico típico para avaliar 14 diferentes sistemas de cultivo, divididos em: tratamento de pousio, culturas isoladas (milho, milheto, *Brachiaria ruziziensis*, capim Tamani, capim-coracana (*Eleusine coracana*) e *Crotalaria spectabilis*, *C. ochroleuca* e *C. breviflora*) e cinco mixes de culturas. Avaliações das propriedades físicas do solo foram conduzidas tanto em campo quanto em laboratório para determinar a qualidade física do solo, juntamente com a quantificação da produção de cobertura do solo. Posteriormente, foi semeado o mesmo cultivar de soja na área experimental para avaliar o efeito de cada tratamento no desempenho da cultura sucessora. As culturas de cobertura contribuíram para o aumento do teor de biomassa de cobertura, da porcentagem de cobertura do solo e da redução da temperatura do solo. Os mixes reduziram a resistência à penetração na profundidade de 0-10 cm. As crotalárias *C. breviflora* e *C. spectabilis*, milho, milhetos e os mixes 1 (aveia-branca;aveia-preta; crotalária-breviflora e crotalária-ochroleuca), 2 (aveia-branca;aveia-preta;milheto e capim-coracana) e 5 (crotalária-juncea; crotalária-spectabilis; crotalária-breviflora; crotalária-ochroleuca e capim-coracana) aumentaram a infiltração do solo. A presença de mixes de culturas de cobertura aumentou a produtividade da soja em até 36%. Entre os sistemas isolados, milheto e *Crotalaria spectabilis* apresentaram o maior desempenho na produtividade do milho. Os resultados demonstram o uso promissor de culturas de cobertura e misturas para melhorar os sistemas de produção no ambiente do Cerrado.

**Palavras-chave:** *Glycine max.* Qualidade física do solo. Sistema plantio direto.

## ABSTRACT

ROSA, V. C. S. Cover crops isolated and mixed cultivation for sustainability of the production system. 2025, 40 p. Dissertation (Master in Crop Production), Universidade de Rio Verde, Rio Verde - GO, 2023.

Profitability and productive sustainability of agricultural systems depend on a set of practices. The use of more diversified systems offers numerous advantages from the perspective of soil quality, with physical quality considered the key factor for the success of production systems. In this context, the objective of this experiment was to test different cover crops, whether as monocultures or in crop mixtures, during the second season to improve soil physical quality and soybean productivity as a succeeding crop. To achieve this, a field experiment was carried out on a Red Latosol to evaluate 14 different cropping systems, divided into: a fallow treatment, single crops (corn, pearl millet, *Brachiaria ruziziensis*, Tamani grass, finger millet (*Eleusine coracana*), and *Crotalaria spectabilis*, *C. ochroleuca*, and *C. breviflora*), and five crop mixtures. Assessments of soil physical properties were carried out both in the field and in the laboratory to determine soil physical quality, along with measurements of soil cover biomass production. Subsequently, the same soybean cultivar was sown across the experimental area to evaluate the effect of each treatment on the performance of the succeeding crop. Cover crops contributed to an increase in dry matter content, soil cover percentage, and a reduction in soil temperature. The crop mixtures reduced soil penetration resistance at the 0–10 cm depth. *Crotalaria breviflora* and *C. spectabilis*, corn, pearl millet, and mixtures 1, 2, and 5 improved soil infiltration. The presence of cover crop mixtures increased soybean yield by up to 36%. Among the single crop systems, pearl millet and *Crotalaria spectabilis* showed the best performance in corn productivity. The results demonstrate the promising use of cover crops and mixtures to enhance production systems in the Cerrado environment.

**Keywords:** *Glycine max*. Soil physical quality. No-tillage system.

## INTRODUÇÃO

A produção agrícola no Cerrado vem evoluindo a cada safra, sendo a pesquisa científica responsável por vários avanços tecnológicos nesse bioma. Na atualidade, a maior parte das áreas agrícolas do Brasil que envolvem o cultivo de soja, estão sendo exploradas em sistema de sucessão de culturas, na qual adota-se a soja em condições de safra principal (verão) e o milho em segunda safra (safrinha) (GARBELINI *et al.*, 2020). A grande aceitação pelo sistema de sucessão soja-milho por parte dos produtores rurais está relacionada com a maior lucratividade que ambas as espécies apresentam no momento de comercialização. No entanto, a continuidade deste sistema de produção a médio e longo prazo compromete negativamente diversos fatores do ambiente, visto que reduz a diversificação dos microrganismos que compõem o ambiente edáfico, aumenta a pressão de pragas, doenças e plantas daninhas, além de criar limitações físicas no solo para o desenvolvimento das plantas (FREDDI *et al.*, 2017).

Diante dos desequilíbrios provocados pela adoção contínua e exclusiva da sucessão soja e milho, torna-se necessário a implementação de sistemas que envolvam a rotação de culturas, além dos cultivos consorciados. A utilização de plantas de cobertura terá papel preponderante no êxito destas práticas de diversificação de culturas. O conceito de planta de cobertura pode ser definido como aquelas espécies de plantas que têm a finalidade de cobrir o solo, mitigando a erosão hídrica e a lixiviação de nutrientes. Podem ser utilizadas para fins econômicos, como por exemplo: produção de grãos e silagem, entre outros propósitos (LAMAS, 2017).

Na tentativa de buscar um ambiente produtivo mais sustentável e economicamente viável, existe a necessidade da condução de pesquisas, visando identificar as melhores plantas de cobertura para formação de palhada, maior sequestro de carbono e melhoria nas propriedades físico-química-biológicas do solo por meio da ciclagem de nutrientes, produção de raízes e diversificação da microbiota, que contribui para o aumento de produtividade nas culturas sucessoras e para melhor conservação do solo (MACHADO *et al.*, 2021). Entres as propriedades físicas do solo que as plantas de cobertura são capazes de alterar estão a macroporosidade e a resistência do solo à penetração por meio da descompactação biológica (ANSCHAU *et al.*, 2018).

Os mixes de plantas de cobertura referem-se ao cultivo consorciado de mais de duas espécies vegetais de forma associada. Em geral não há a inserção de uma cultura de interesse econômico. Nesta prática objetiva-se explorar os múltiplos benefícios das espécies de gramíneas, leguminosas e não leguminosas que compõem este sistema de policultivo (KOU DAHE *et al.*, 2022). Cada espécie de planta de cobertura tem potencial e benefício específicos, que combinados os mixes podem contribuir para melhorias no ambiente produtivo no bioma Cerrado.

Na seleção da espécie de planta de cobertura, deve-se optar pelas que atendam às necessidades da área de produção e estejam adaptadas as condições edafoclimáticas da região, dando maior destaque ao Cerrado para espécies pertencentes às famílias Poaceae (gramíneas) e Fabaceae (leguminosas) (SILVA *et al.*, 2021). As gramíneas são espécies que podem produzir volumes maiores de biomassa com menor taxa de decomposição, sendo muito eficientes na produção de palhada e aumento da matéria orgânica do solo. Além de possuírem sistema radicular com alto potencial de desenvolvimento superficial favorecendo a atividade de microrganismos do solo e a descompactação. Em contraponto, as leguminosas são conhecidas pela alta capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, produzir boa quantidade de massa verde e serem eficientes em reciclar nutrientes e melhorar características biológicas do solo (SILVA *et al.*, 2021).

A associação de gramíneas e leguminosas, com espécies de outras famílias botânicas pode ainda melhorar os sistemas de produção favorecendo a redução de plantas daninhas, a população de nematoides, a pressão de doenças e pragas, redução no uso de herbicidas, além de melhorar as características físico-química-biológicas do solo (KRUGER *et al.*, 2013; MENNAN *et al.*, 2020; BEAUMELLE *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2021). O uso de plantas de cobertura, isoladas ou consorciadas e em rotação com culturas comerciais pode tornar os sistemas agrícolas do Cerrado mais eficientes e sustentáveis (SILVA *et al.*, 2021). Portanto, estudos relacionados ao uso de plantas de cobertura, especialmente com mistura de espécies, são fundamentais para selecionar as combinações para cada área e região em que serão cultivadas.

Diante deste contexto o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de plantas de cobertura em semeadura isolada ou consorciadas e explorados na segunda safra. Visando proporcionar melhorias da qualidade física do solo, bem como a influência destes cultivos no desempenho agrônômico da soja em sucessão em ambiente de produção no Cerrado brasileiro.

## **REVISÃO DE LITERATURA**

### **Sistemas conservacionistas e os efeitos na sustentabilidade do ambiente de produção**

O sistema de plantio direto (SPD) é uma técnica conservacionista que teve expansão no Brasil a partir dos anos 1990 e tem como um dos pilares a formação de palhada deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo (ALVARENGA, 2001). No Cerrado Brasileiro, o sistema de sucessão soja-milho é o mais adotado, porém alguns problemas podem ser originados por esse sistema de “monocultivo”, tais como o aumento na incidência de pragas e doenças, seleção de plantas daninhas resistentes e produção de palhada insuficiente para a cobertura do solo (BRANDT *et al.*, 2006). Para diminuir os efeitos nocivos do monocultivo o uso de plantas de cobertura na entressafra é uma alternativa, uma vez que proporcionam o recobrimento do solo, ciclagem de nutrientes e asseguram a sustentabilidade por meio da promoção da diversificação da produção agrícola (CALEGARI, 2008).

Para o Cerrado preconiza-se que 10 a 11 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca são suficientes para proporcionar boa cobertura no solo, assegurando a sustentabilidade do SPD (FIDELIS *et al.*, 2003). Contudo, devido as condições climáticas deste bioma, um dos desafios é encontrar espécies que são capazes de fornecer quantidades de matéria seca e com qualidade para garantir a persistência da cobertura em sistema conservacionista (FIDELIS *et al.*, 2003). Timossi *et al.* (2007), ao avaliarem a formação de palhada por braquiárias, concluíram que estas espécies são eficientes na formação de palhada por proporcionarem boa cobertura do solo, impactando também na supressão de plantas daninhas.

Diversos estudos concluíram que ao utilizar diferentes culturas no sistema de rotação com a soja houve incremento na produtividade da oleaginosa subsequente (ALCHARYA *et al.*, 2019; VARGAS *et al.*, 2023). A utilização de diferentes coberturas e a introdução do SPD, após 12 anos causaram alterações positivas nos atributos físicos na camada superficial do solo melhorando a qualidade do ambiente edáfico, principalmente a microporosidade (TORRES *et al.*, 2015).

### **Plantas de cobertura: benefícios e principais espécies para o Cerrado**

As plantas de cobertura podem melhorar as características químicas do solo, por meio do incremento de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes via ciclagem ou mesmo pelo processo de fixação de nitrogênio (N) atmosférico em associação com bactérias. As crotalárias (*Crotalaria* spp.) são capazes de fixar N, além da ciclagem de cálcio (Ca) e fósforo (P). O milheto (*Pennisetum glaucum*) é muito eficiente na ciclagem de N, P e potássio (K) (BRAZ *et al.*, 2004; COLODETTI *et al.*, 2012; MAUAD *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2017).

A quantidade de nutrientes acumulada na palhada depende da espécie utilizada, do estágio fenológico, da produção de matéria seca e da época de semeadura. Boer *et al.* (2007) observaram que o milheto destaca-se como cultura recicladora, com elevado acúmulo de nutrientes, principalmente de N e K. Com o intuito de buscar uma longevidade da palhada, recobrir o solo e suprir os nutrientes reciclados. É interessante a busca por plantas de cobertura que apresentem taxa de decomposição mais lenta, mas que possibilitem a maior liberação possível de nutrientes para o solo, uma vez que será possível ter o benefício da cobertura morta e ao mesmo tempo favorecer o desenvolvimento das culturas anuais em sucessão (PACHECO *et al.*, 2013).

A espécie de planta de cobertura e o método de cultivo (isolado ou em mix) pode promover diferentes intensidades de cobertura do solo, bem como teores nutricionais nas folhas e raízes para as culturas exploradas em sucessão. O sistema de cultivo consorciado de plantas de cobertura promove maior diversificação da fauna e atributos microbiológicos do solo e aumento de C e N na biomassa microbiana (TIEMANN *et al.*, 2015; ALMEIDA *et al.*, 2016). Algeri *et al.* (2018), ao avaliarem a produção de biomassa e cobertura do solo por milheto, braquiária e crotalária (*C. spectabilis*) em cultivos solteiros e consorciadas, concluíram que o milheto e a braquiária cultivadas isoladamente ou em consórcio produzem mais massa seca do que a crotalária. Além de o consórcio das duas espécies proporcionar maior persistência da massa seca recobrando o solo.

Pacheco *et al.* (2017) observaram que a crotalária (*C. spectabilis*), quando cultivada em segunda safra e em comparação com outras espécies de plantas de cobertura, promoveu maior incremento na produtividade da soja cultivada em sucessão. O consórcio entre leguminosas e crucíferas com gramíneas pode resultar em maior produção de fitomassa e menor velocidade de decomposição dos resíduos culturais, em relação ao cultivo destas em culturas isoladas (DONEDA *et al.*, 2013).

## **Qualidade física do solo**

O solo desempenha múltiplas funções, das quais destacam-se: (i) atuação como suporte físico às plantas terrestres; (ii) suprimento dos recursos fundamentais para o desenvolvimento vegetal (água, nutrientes e oxigênio); (iii) fornecimento de habitat a variedade de organismos do solo; (iii) regulação da ciclagem hidrológica e de minerais/nutrientes, com impactos significativos no clima global; (iv) desintoxicação de substâncias orgânicas e inorgânicas, levando à purificação dos recursos hídricos; e (v) resistência à erosão (LAISHRAM *et al.*, 2012). Um solo é considerado de qualidade quando é capaz de funcionar nos limites naturais ou geridos do ecossistema e sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar (ARSHAD e MARTIN, 2002). Dentre os indicadores físicos para avaliar a qualidade do solo estão estrutura, agregação de partículas, densidade, condutividade hidráulica, resistência a penetração, taxa de infiltração de água e porosidade (REICHARD e TIMM, 2012). A densidade do solo está entre os parâmetros físicos mais utilizados na quantificação da qualidade física do solo, podendo mensurar a compactação do solo (LAZANOVA *et al.*, 2007). De acordo com Lima *et al.* (2015) as espécies capim-coracana (*Eleusine coracana*) e *Brachiaria brizantha* destacam-se como promissoras em situação de cultivo em solos compactados podendo ser indicadas como plantas com potencial de atuar na descompactação, influenciando na qualidade física do solo. Franchini *et al.* (2012) observaram que a estrutura do solo, quando avaliada a produtividade de soja no SPD com escarificação trienal, foi o principal fator responsável para a obtenção de maiores produtividades de grãos desta oleaginosa.

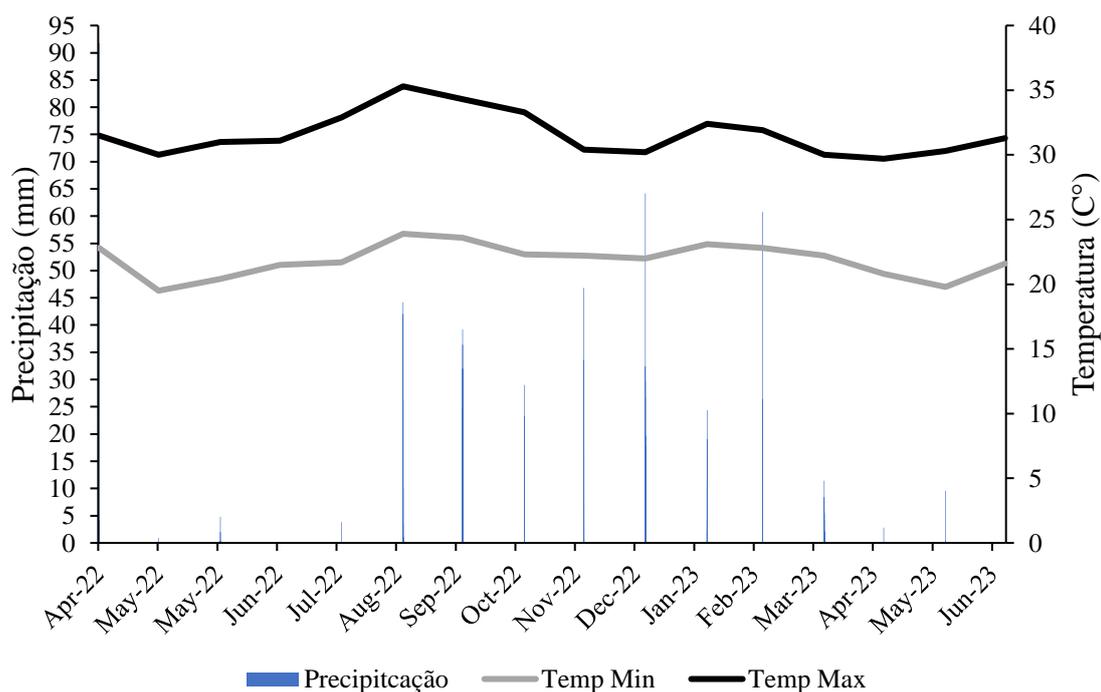
Outro aspecto relevante acerca da qualidade física de um solo refere-se ao teor de matéria orgânica. O alto teor de matéria orgânica resulta em maior índice de estabilidade, alta qualidade do solo e produtividade, enquanto menores teores de matéria orgânica no solo tornam o solo mais suscetível à compactação do solo (WORTMANN e JASA, 2003). De acordo com Cunha *et al.* (2012) ao avaliarem quais atributos são mais impactados em diferentes sistemas de cultivos, os físicos foram mais sensíveis em detectar mudanças na qualidade do solo sob cultivo. A resistência a penetração do solo é um parâmetro importante para ser mensurado porque interfere no desenvolvimento das plantas que têm o crescimento das raízes afetadas, no fluxo, transporte e armazenamento de água e nutrientes, importante para o manejo de áreas, como também, na determinação da qualidade e na classificação dos solos (SILVA *et al.*, 2020).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área Experimental

O experimento foi instalado no campo experimental do Instituto Goiano de Agricultura (IGA), Fazenda “Rancho Velho”, localizado no município de Montividiu (Goiás), nas coordenadas geográficas de latitude 17°25’45,2” S, longitude 51°08’41,76” O e altitude de 863 metros. O experimento foi conduzido nos períodos de segunda safra (safrinha) e posteriormente foi realizado avaliações na safra de soja e na segunda safra de milho, sendo o período de condução entre os meses de abril de 2022 a agosto de 2023.

O clima da região é classificado como Aw (Köppen-Geiger) tropical, com chuvas concentradas no verão (outubro a abril) e um período seco durante o inverno (maio a setembro). Os dados climatológicos durante o período de condução dos experimentos estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Temperatura média e precipitações observadas durante o período de condução a campo do experimento realizado com culturas de cobertura antecedendo a semeadura da soja. Montividiu (GO), 2022/2023.

O solo da área em que foi realizado o experimento é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (SANTOS et al., 2018), de textura franco-argilosa, manejado sob sistema de plantio direto. A constituição mineralógica do solo é basicamente óxidos de ferro e alumínio (MARQUES *et al.*, 2004). Anteriormente a implementação do experimento foi

realizado análise química do solo na camada de 0–20 cm para determinar as recomendações de fertilizantes. Os valores observados foram: pH (CaCl<sub>2</sub>) 5,9; 0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al<sup>+3</sup>; 3,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>+2</sup>; 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>+2</sup>; 0,28 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>; 18,58 mg dm<sup>-3</sup> de P disponível (Mehlich-1); 2,61 % de carbono orgânico (Walkley-Black); 495, 50, e 455 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente.

## **Tratamentos**

O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos ao acaso (DBC), sendo avaliados quatorze tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pelo cultivo isolado e/ou consorciados de diferentes plantas de cobertura, além incluir entre estes tratamentos, um composto pelo cultivo de milho isolado (padrão comercial da região) e um sem o cultivo de nenhuma espécie de interesse econômico (pousio). Na Tabela 1 está apresentado a lista de tratamentos avaliados no experimento, deixando explicitado as espécies que compõem cada um destes, bem como se o cultivo foi realizado de forma isolada ou em mix (consórcio).

As unidades experimentais foram compostas por dimensões de 10 m de largura e 50 m de comprimento, totalizando área bruta de 50 m<sup>2</sup>. A semeadura e incorporação das culturas de cobertura foram realizadas a lanço em 11 de abril de 2022, período correspondente a segunda safra (safrinha). Cada tratamento foi implantado, conforme recomendação para cada cultura, respeitando quantidade de sementes e tratos culturais para cada sistema de cultivo. De forma a padronizar a época de avaliação de todos os tratamentos, as amostragens de solos e avaliações da cobertura do solo foram realizadas antes da semeadura da soja.

**Tabela 1.** Tratamentos de cultivos isolados ou em mixes. Montividiu (GO), 2022/2023.

| Nome comum   | Nome científico   | Família           |
|--|---|-------------------|
| Pousio   | -   | -                 |
| Milho  | <i>Zea mays</i>   | P                 |
| Milheto  | <i>Pennisetum glaucum</i>   | P                 |
| Capim-ruziziensis  | <i>Brachiaria ruziziensis</i>   | P                 |
| Tamani   | <i>Panicum maximum</i>  | P                 |
| Capim-coracana   | <i>Eleusine coracana</i>  | P                 |
| Crotalária-ochroleuca  | <i>Crotalaria ochroleuca</i>  | F                 |
| Crotalária-spectabilis   | <i>Crotalaria spectabilis</i>   | F                 |
| Crotalária-breviflora  | <i>Crotalaria breviflora</i>  | F                 |
| Mix 1: Aveia-branca + aveia-preta + crotalária-breviflora + crotalária-ochroleuca                                  | <i>A. sativa</i> + <i>A. strigosa</i> + <i>C. breviflora</i> + <i>C. ochroleuca</i>                         | P + P + F + F     |
| Mix 2: Aveia-branca, aveia-preta, milheto e capim-coracana   | <i>A. sativa</i> + <i>A. strigosa</i> + <i>P. glaucum</i> + <i>E. coracana</i>                              | P + P + P + P     |
| Mix 3: Crotalária-breviflora e capim-coracana  | <i>C. breviflora</i> + <i>E. coracana</i>   | F + P             |
| Mix 4: Capim-coracana e milheto  | <i>E. coracana</i> + <i>P. glaucum</i>  | P + P             |
| Mix 5: Crotalária-juncea + crotalária-spectabilis + crotalária-breviflora + crotalária-ochroleuca + capim-coracana | <i>C. juncea</i> + <i>C. spectabilis</i> + <i>C. breviflora</i> + <i>C. ochroleuca</i> + <i>E. coracana</i> | F + F + F + F + P |

P = Poaceae; F = Fabaceae.

## Avaliações no campo

Foram analisadas a porcentagem de cobertura do solo, a massa seca da cobertura e a temperatura do solo. A porcentagem de cobertura do solo foi avaliada em duas amostras na área efetiva das parcelas utilizando uma armação de ferro medindo 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>), contendo uma linha com vinte pontos equidistantes marcados. A cobertura foi quantificada quando esses pontos coincidiram com a presença de vegetação. Para determinar a matéria seca da cobertura, o material em cada armação de ferro foi coletado e levado para uma estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir peso constante, e a massa seca foi medida e ajustada para kg ha<sup>-1</sup>. Antes da coleta do material, a temperatura da superfície do solo foi medida usando um termômetro digital.

A condutividade hidráulica do solo saturada foi medida usando a metodologia descrita por Bagarello *et al.* (2004). Para avaliação, foram utilizados cilindros de PVC (0,10 m de diâmetro e 0,25 m de altura), os quais foram inseridos no solo a profundidade de 5 cm. A técnica consiste em aplicar um pequeno volume de água, V, na superfície de um solo confinado por um cilindro (com área de seção transversal A) inserido no solo e medir o tempo a partir da aplicação da água até o instante em que a superfície não esteja mais coberta por água. A condutividade hidráulica saturada foi calculada por meio da equação:

$$K_{sat} = \frac{\Delta\theta}{(1 - \Delta\theta)t_a} \left[ \frac{D}{\Delta\theta} - \frac{D + \left(\frac{1}{\alpha^*}\right)}{\partial\theta} \ln \left( 1 + \frac{(1 - \Delta\theta)D}{\Delta\theta \left(D + \frac{1}{\alpha^*}\right)} \right) \right]$$

Em que  $\Delta\theta$  é a diferença entre o teor de água do solo saturado (ou porosidade total) e o teor inicial de água,  $D = V/A$  é a altura da lâmina de água (m) no início da medição e  $\alpha^*$  é a relação entre  $K_{sat}$  e fluxo matricial potencial, sugerido por Reynolds e Elrick (2002), o qual é definido por um valor constante baseado na textura e na estrutura do solo. Todas as medições foram realizadas utilizando o volume constante de 0,00033 m<sup>3</sup>, conforme proposto por Keller *et al.* (2012).

A diferença entre a umidade do solo saturado e a umidade inicial do solo foi determinada a partir da umidade volumétrica. Com base na textura e na estrutura do solo observada para as condições em que o experimento foi conduzido, utilizou-se um valor de  $\alpha^* = 12 \text{ m}^{-1}$ , conforme indicações de Bagarello *et al.* (2004).

A resistência à penetração do solo (RP) foi avaliada usando um penetrômetro Falker® PLG 1020, medindo até profundidade de 40 cm, dois dias, após chuva suficiente para molhar o perfil do solo próximo à capacidade de campo. Além disso, a umidade do solo foi determinada na camada de 0–20 cm usando um sensor de umidade do solo Falker® HidroFarm HFM2030.

### **Avaliações no laboratório**

Amostras de solo indeformadas foram coletadas em profundidades de 0,0–0,1 m e 0,1–0,2 m. Pequenas trincheiras (0,25 × 0,25 m) foram abertas e duas amostras por parcela foram coletadas usando anéis de aço inoxidável (diâmetro 0,05 m, altura 0,05 m, volume 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>). As amostras foram embrulhadas em papel alumínio, cuidadosamente armazenadas a 4°C e saturadas por ação capilar por 48 h. Elas foram então submetidas a um potencial matricial de -6 kPa usando uma mesa de tensão. A porosidade total (PT) foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa de solo seco (EMBRAPA, 2017) dividido pelo volume total da amostra, conforme a equação 1.

$$(1) PT = (msu - mss) / Vt$$

sendo PT = porosidade total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>); msu = massa de solo saturado (kg); mss = massa de solo seco (kg); Vt = volume total da amostra ou equivalente ao volume do cilindro (m<sup>3</sup>).

A capacidade de campo (CC) ou teor de água, após equilíbrio do solo na tensão de 6 kPa (SEVERIANO *et al.*, 2011) foi determinada como o teor volumétrico de água do solo, após equilíbrio com a tensão de 6 kPa (Equação 2).

$$(2) CC = (msu (-6kPa) - mss) / Vt$$

em que, CC = Capacidade de campo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>); msu (-6 kPa) = massa de solo úmido equilibrado à tensão de 6 kPa (kg); mss = massa de solo seco (kg) e Vt = volume total do cilindro (m<sup>3</sup>).

A capacidade de aeração do solo (CASOLO) foi obtida pelo teor de água na saturação (PT) subtraído do teor de água na tensão de 6 kPa. Ao final, a densidade do solo foi calculada pela razão entre a massa seca do solo e o volume total da amostra, conforme Grossman e Reinsch (2002).

A resistência à penetração foi determinada em cada amostra, após equilíbrio na tensão 6 kPa utilizando um dinamômetro (Model FGV-200XY-SHIMPO) conectado com uma haste em formato de cone (30° de ângulo) e diâmetro basal de 4 mm de acordo com Guedes Filho *et al.* (2014).

## **Avaliações de soja e milho**

A semeadura da soja foi realizada no dia 15 de outubro de 2022, com o cultivar ST 700 I2X<sup>®</sup> pertencente a empresa BASF, em espaçamento entrelinhas de 0,45 m, adotando densidade de sementes recomendada de 14 sementes m<sup>-1</sup>. O cultivar possui a característica de precocidade (grupo de maturação 7.0), de crescimento indeterminado e de alto potencial produtivo. As sementes possuíam tratamento químico de acordo com as recomendações para o cultivar. Fosfato monoamônico (MAP) (80 kg ha<sup>-1</sup>) foi usado no momento da semeadura, e 120 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (KCl) foi usado quando a cultura estava no estágio fenológico V3.

Durante o desenvolvimento da cultura da soja, todas as práticas culturais foram realizadas de acordo com as recomendações, procedendo ao controle de pragas, doenças e plantas daninhas sem deixá-las influenciar o desenvolvimento da cultura. Na maturidade fisiológica, foram avaliados o estande final das plantas e produtividade de grãos (corrigido para 13% de umidade).

Posteriormente, na segunda safra de 2023 foi realizado a semeadura do milho para verificar a persistência dos efeitos das culturas de cobertura. A semeadura do milho foi realizada em 27 de fevereiro de 2023. O híbrido de milho utilizado foi DKB255 PRO4<sup>®</sup> pertencente a empresa Dekalb na densidade de 5 sementes m<sup>-1</sup>. Na colheita da cultura do milho foram realizadas avaliações de altura de plantas e produtividade de grãos (corrigido para 14% de umidade).

## **Análise estatística**

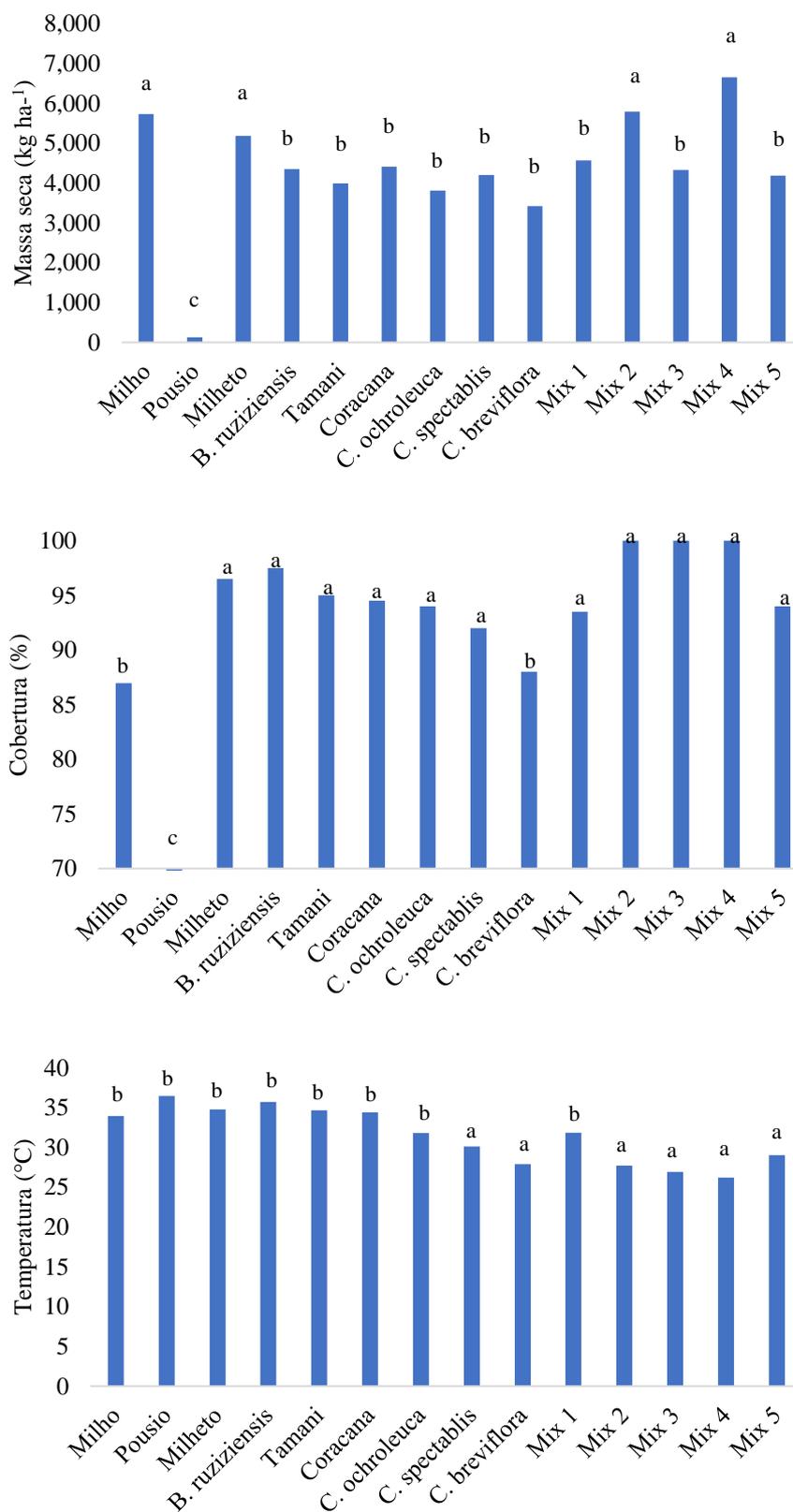
Os dados foram analisados usando o software o software SISVAR (FERREIRA, 2011). A análise de variância (ANOVA) foi realizada usando o teste F, e os efeitos significativos foram analisados posteriormente usando o teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Uma análise de componentes principais (ACP) foi realizada para determinar correlações entre as variáveis e respostas das culturas usando o software R (versão 4.4.6, factorminer e factorextra pacotes).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Qualidade da cobertura vegetal**

A produção de matéria seca foi influenciada pelas culturas de cobertura (Figura 2). Todas as culturas de cobertura produziram mais matéria seca do que o sistema de pousio, ou seja, composto por comunidade infestante em livre crescimento. No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas de cultivo mixes e as culturas isoladas. Vale ressaltar que, no ambiente de produção do Cerrado brasileiro, a produção de matéria seca é de extrema importância devido às taxas de decomposição aceleradas causadas pelas altas temperaturas (SILVA *et al.*, 2019). Além disso, a presença de resíduos culturais nos sistemas de produção contribui para dissipação da compactação do solo causada pelo peso das máquinas agrícolas (MEDEIROS *et al.*, 2024).

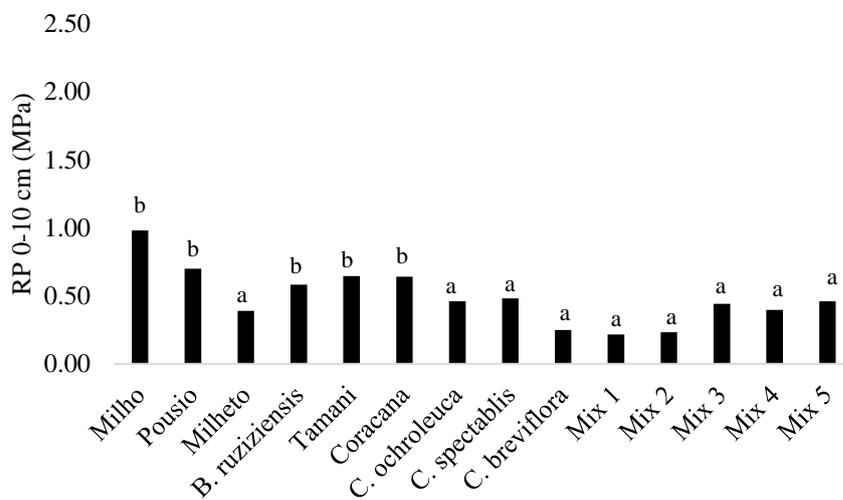
A porcentagem de cobertura do solo também foi maior nos tratamentos com a presença de culturas de cobertura (Figura 2), com todos os tratamentos atingindo cobertura do solo acima de 85%. Essa cobertura aumentada não apenas contribui para redução da emergência de plantas daninhas, mas também diminui significativamente a temperatura do solo (Figura 2). Os mixes de cultivos 2, 3 e 4 apresentaram as menores temperaturas, o que foi diretamente relacionado à cobertura total do solo (100%) fornecida por esses tratamentos. Temperaturas mais amenas do solo contribuem para mitigar os efeitos negativos das altas temperaturas, especialmente durante a fase de estabelecimento da cultura, ao proporcionar um ambiente mais favorável para o crescimento inicial e o desenvolvimento de culturas sucessoras. Por outro lado, temperaturas elevadas afetam negativamente o desenvolvimento das sementes e das raízes, reduzem a atividade microbiana e intensificam as perdas de água por evaporação (FURLANI *et al.*, 2008).

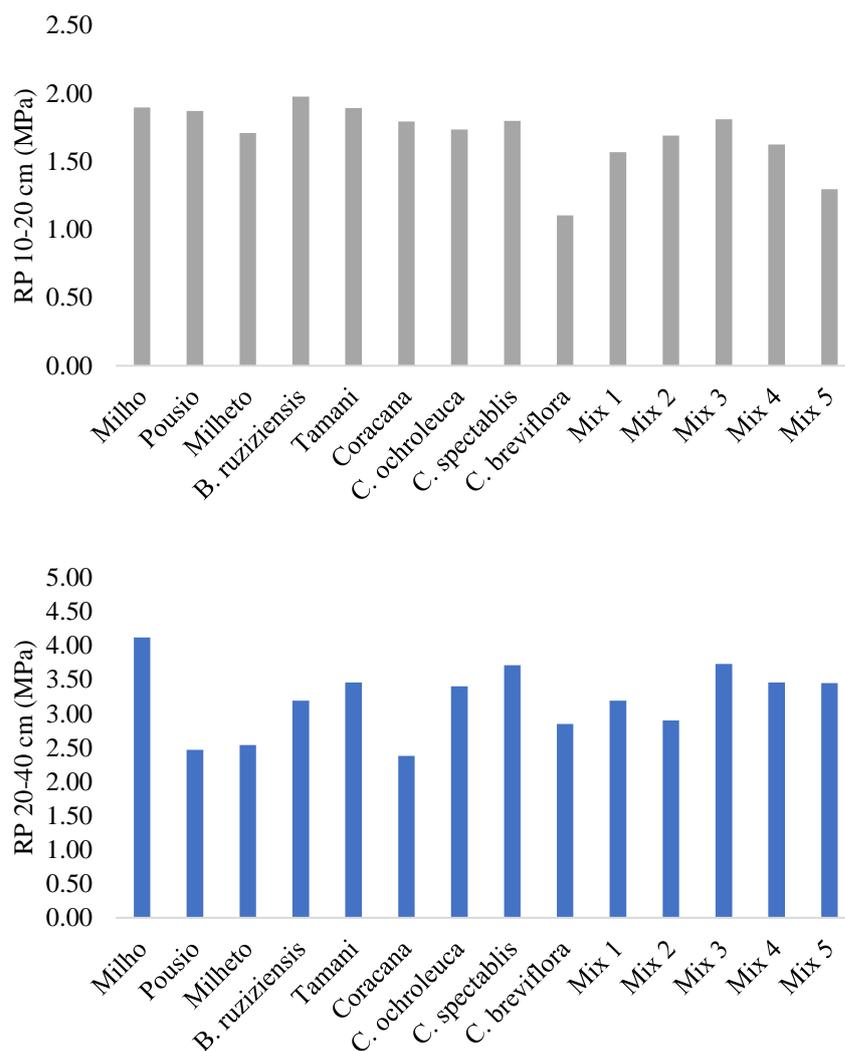


**Figura 2.** Produção de matéria seca (A), cobertura do solo (B) e temperatura do solo (C) sob diferentes culturas de cobertura. Montividiu, Goiás. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Mix 1: Aveia-branca (*Avena sativa*), aveia-preta (*A. strigosa*), *C. breviflora* e *C. ochroleuca*; Mix 2: Aveia-branca, aveia-preta, milheto e capim-

coracana; Mix 3: *C. breviflora* e capim-coracana; Mix 4: Capim-coracana e milho; Mix 5: *C. juncea*; *C. spectabilis*; *C. breviflora*; *C. ochroleuca*; e capim-coracana.

A resistência a penetração do solo na profundidade de 0-10 cm demonstrou resultados contrastantes (Figura 3), uma vez que o cultivo solteiro de milho e das espécies de crotalárias, além de todos os mixes, apresentaram os menores valores de resistência a penetração. A resistência à penetração é indicador direto da compactação do solo, e valores elevados dificultam o crescimento radicular, a infiltração de água e a absorção de nutrientes. Os demais tratamentos (milho, pousio, *B. ruziziensis*, Tamani e Coracana) não diferiram do pousio e tiveram também valores mais elevados, fato que pode ser explicado devido a desuniformidade e plantio mais tardio das plantas de cobertura e conseqüentemente pode ter ocasionado um menor desenvolvimento das plantas e sistema radicular, não contribuindo efetivamente para menores valores de resistência a penetração do solo no primeiro ano. Nas demais profundidades (10-20 e 20-40 cm) não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Isso se deve, provavelmente, à ação combinada de sistemas radiculares distintos.

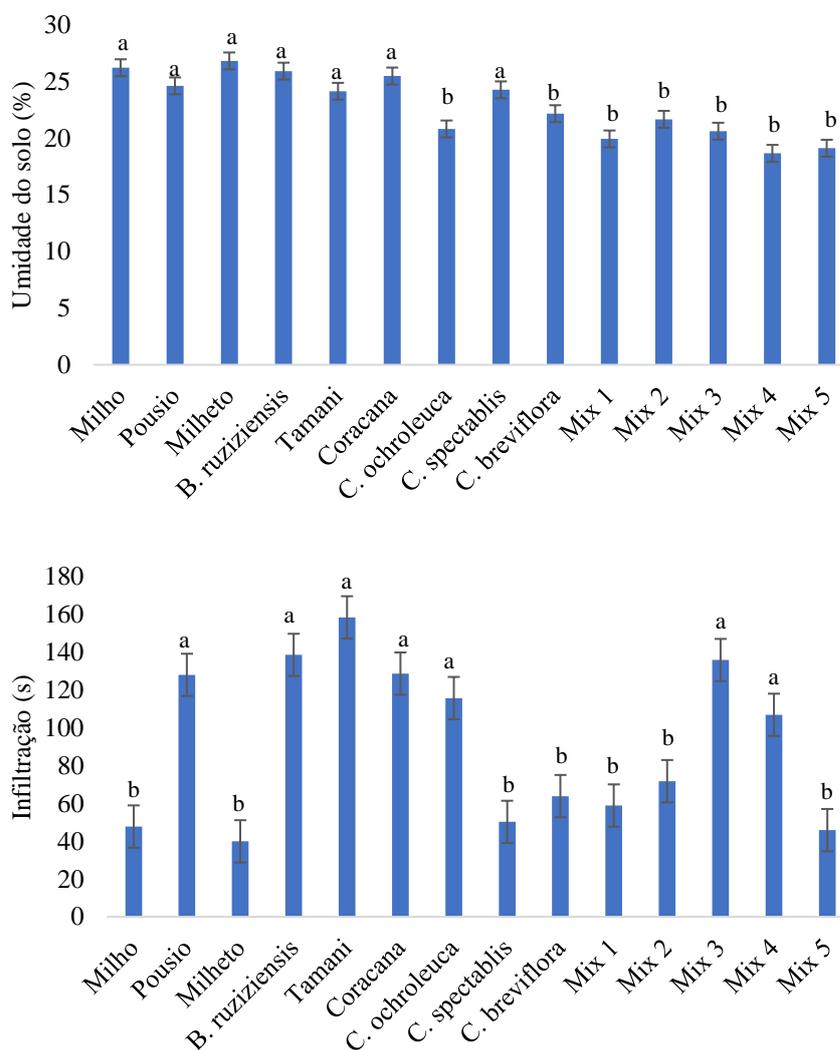




**Figura 3.** Resistência a penetração do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm sob diferentes culturas de cobertura. Montividiu, Goiás. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Mix 1: Aveia-branca (*Avena sativa*), aveia-preta (*A. strigosa*), *C. breviflora* e *C. ochroleuca*; Mix 2: Aveia-branca, aveia-preta, milheto e capim-coracana; Mix 3: *C. breviflora* e capim-coracana; Mix 4: Capim-coracana e milheto; Mix 5: *C. juncea*; *C. spectabilis*; *C. breviflora*; *C. ochroleuca*; e capim-coracana.

Os valores de umidade de solo variaram de 18 a 27%. Os tratamentos com milho, pousio, milheto, *B. ruziziensis*, Tamani, *C. ochroleuca* e *C. spectabilis* apresentaram os maiores valores de umidade do solo, com médias entre 24% e 27%. Todos os mixes e a *C. ochroleuca* apresentaram os menores valores, variando entre 19 e 23%. A eficiência das coberturas vegetais em manter a umidade do solo está relacionada à capacidade de formar cobertura densa e persistente, reduzindo perdas de água por evaporação e favorecendo a infiltração da água (PERES *et al.*, 2010).

Espécies com alta produção de biomassa e boa cobertura tendem a ter bom desempenho em relação a umidade do solo, isto pode explicar o destaque da *B. ruziziensis*, Milheto, Tamani e *Coracana*. Os menores valores de umidade de solo encontrados em todos os mixes podem estar associados à competição entre espécies, baixa adaptabilidade conjunta ou arquitetura foliar que não favorece a proteção do solo. A menor performance de *C. ochroleuca* foi pela limitação na produção de massa e cobertura, que interfere diretamente na manutenção da umidade do solo.

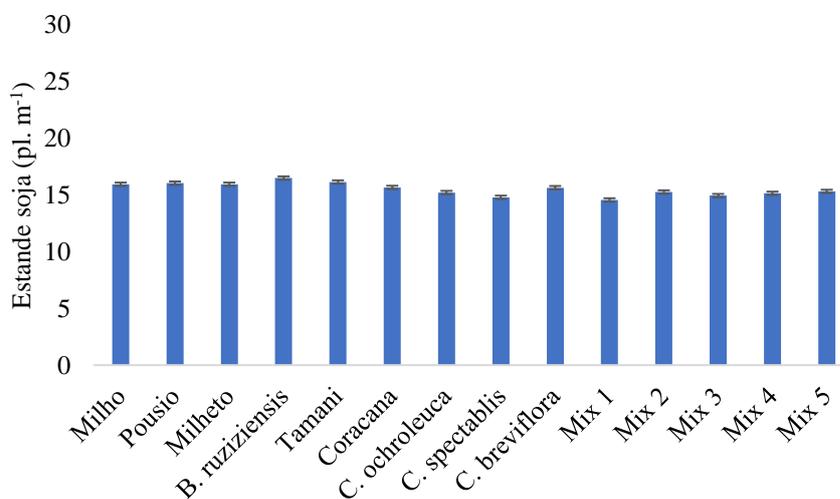


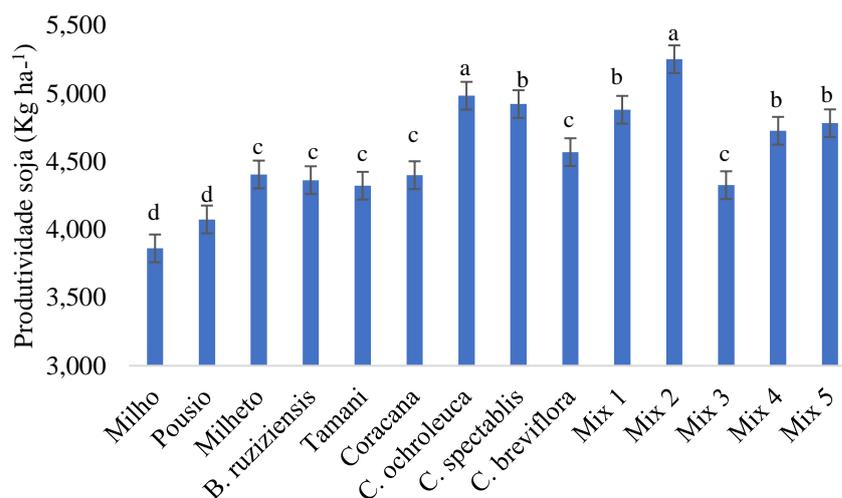
**Figura 4.** Umidade do solo na camada de 0-20 cm (A) e infiltração de água no solo (B) sob diferentes culturas de cobertura. Montividiu, Goiás. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Mix 1: Aveia-branca (*Avena sativa*), aveia-preta (*A. strigosa*), *C. breviflora* e *C. ochroleuca*; Mix 2: Aveia-branca, aveia-preta, milho e capim-coracana; Mix 3: *C. breviflora* e capim-coracana; Mix 4: capim-coracana e milho; Mix 5: *C. juncea*; *C. spectabilis*; *C. breviflora*; *C. ochroleuca*; e capim-coracana.

A Figura 4 apresenta a infiltração de água no solo em diferentes tratamentos de cobertura vegetal. Observa-se que os maiores tempos de infiltração, ou seja, a maior resistência a entrada de água, foram verificados nos tratamentos com pousio, *B. ruziziensis*, Tamani, Coracana, *C. ochroleuca* e nas misturas Mix 3 e 4. Por outro lado, os tratamentos com milho, milheto, *C. spectabilis*, *C. breviflora* e as misturas Mix 1, 2 e 5 apresentaram menores tempos de infiltração, evidenciando menor resistência à entrada da água no solo.

O estande de soja não foi influenciado pelas diferentes culturas de cobertura do solo (Figura 5). Isso sugere que o tipo de cultura antecessora, não impactou negativamente o estabelecimento inicial da soja. Apesar de haver variações na resistência à penetração do solo, elas não apresentaram valores restritivos ao desenvolvimento das culturas, sendo que essas diferenças não foram suficientes para afetar o estande inicial da soja. Possivelmente, as condições de semeadura (como umidade adequada e distribuição hídrica inicial) podem ter sido favoráveis o suficiente para garantir boa emergência, independentemente da resistência do solo.

As menores produtividades de soja foram observadas nos tratamentos pousio e sucessão soja/milho, demonstrando que a simplificação do sistema plantio direto impacta negativamente a qualidade do solo e a produtividade da cultura principal, no caso, a soja. O tratamento com Mix 2, composto por aveia-branca, aveia-preta, milheto e Coracana, aumentou a produtividade da soja em 36% em comparação ao sistema tradicional de sucessão soja/milho. Considerando o preço atual da soja na região de Rio Verde (em 06 de junho de 2025, a R\$ 122,00 a saca de 60 kg), traduzindo em aumento na lucratividade de R\$ 2.830,40 por hectare, mostrando que, além de melhorar a conservação do solo, o ganho de lucratividade para os produtores é significativo.

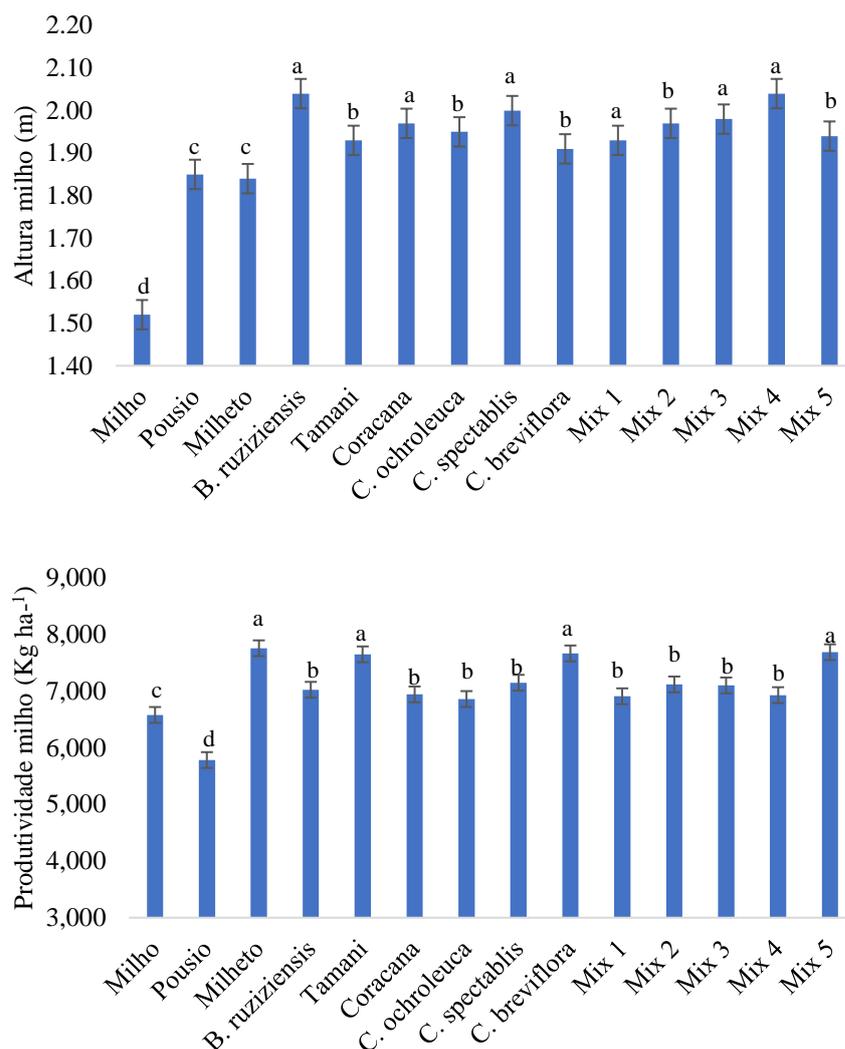




**Figura 5.** Estande de plantas e produtividade de soja sob diferentes culturas de cobertura. Montividiu, Goiás. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Mix 1: Aveia-branca (*Avena sativa*), aveia-preta (*A. strigosa*), *C. breviflora* e *C. ochroleuca*; Mix 2: Aveia-branca, aveia-preta, milheto e capim-coracana; Mix 3: *C. breviflora* e capim-coracana; Mix 4: Capim-coracana e milheto; Mix 5: *C. juncea*; *C. spectabilis*; *C. breviflora*; *C. ochroleuca*; e capim-coracana.

A altura das plantas de milho na safra 2023, após todas as culturas de cobertura e a soja foi significativamente influenciada pelas culturas antecessoras, sendo maiores nos tratamentos com *Brachiaria ruziziensis*, Capim coracana, *C. spectabilis* além dos mixes diversificados, que proporcionaram melhor condição física do solo. Por outro lado, os menores valores foram observados no tratamento pousio e no cultivo de milho sucessivo na safrinha, evidenciando os efeitos negativos do monocultivo e da simplificação do sistema de produção para sucessão soja/milho refletindo em menor cobertura vegetal, qualidade do solo e no desenvolvimento das culturas.

A produtividade do milho na entressafra subsequente à implementação das culturas de cobertura também foi influenciada pelas diferentes culturas de cobertura. O sistema de pousio novamente resultou na menor produtividade, seguido pelo sistema de sucessão soja/milho. Todas as culturas de cobertura superaram o tratamento de sucessão soja/milho em termos de produtividade de milho. O uso de culturas de cobertura isoladas, como milheto, tamani e *C. spectabilis*, resultou nos maiores rendimentos de milho. O milheto é conhecido pelo alto potencial de descompactação do solo e produção de matéria seca, o que provavelmente contribuiu para melhorar o desempenho no sistema de produção (FERREIRA *et al.*, 2023).



**Figura 6.** Altura de plantas e produtividade de milho sob diferentes culturas de cobertura. Montividiu, Goiás. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Mix 1: Aveia-branca (*Avena sativa*), aveia-preta (*A. strigosa*), *C. breviflora* e *C. ochroleuca*; Mix 2: Aveia-branca, aveia-preta, milheto e capim-coracana; Mix 3: *C. breviflora* e capim-coracana; Mix 4: Capim-coracana e milheto; Mix 5: *C. juncea*; *C. spectabilis*; *C. breviflora*; *C. ochroleuca*; e capim-coracana.

Os dados de porosidade total (PT), densidade do solo (DS), capacidade de aeração do solo (CASOLO), capacidade de campo (CC) e resistência à penetração na capacidade de campo (RPcc) estão apresentados na Tabela 2. Verifica-se que os tratamentos com Tamani, *C. ochroleuca*, *C. breviflora* e todos os mixes apresentaram os maiores valores de porosidade total, indicando melhoria na estrutura do solo. Quanto à densidade do solo na profundidade de 0–10 cm, os menores valores foram observados nos tratamentos com milho, *B. ruziziensis*, Tamani e nos mixes 3, 4 e 5 ( $DS \leq 1,04 \text{ Mg m}^{-3}$ ), evidenciando menor compactação nessa camada. Na camada de 10–20 cm, os menores valores de densidade do solo foram registrados nos

tratamentos com milho, *B. ruziziensis*, Tamani, *C. breviflora* e nos mixes 1, 3, 4 e 5, indicando também melhor condição física nessa profundidade.

Por outro lado, os tratamentos com pousio, Coracana e *C. spectabilis* apresentaram os menores valores de porosidade total e as maiores densidades do solo em ambas as profundidades avaliadas, refletindo uma estrutura física do solo menos favorável ao desenvolvimento das plantas.

**Tabela 2.** Propriedades físicas de solo sob diferentes culturas de cobertura. Montividiu, Goiás.

| Tratamento            | PT                             |             | DS                 |             | CASOLO                         |             | CC                             |             | RPcc       |             |
|-----------------------|--------------------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|------------|-------------|
|                       | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> |             | Mg m <sup>-3</sup> |             | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> |             | m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> |             | Mpa        |             |
|                       | 0-10<br>cm                     | 10-20<br>cm | 0-10<br>cm         | 10-20<br>cm | 0-10<br>cm                     | 10-20<br>cm | 0-10<br>cm                     | 10-20<br>cm | 0-10<br>cm | 10-20<br>cm |
| Milho                 | 0.60 b                         | 0.57 b      | 1.06 a             | 1.13 b      | 0.23                           | 0.25        | 0.38                           | 0.32 b      | 1.98 a     | 2.68 b      |
| Pousio                | 0.58 b                         | 0.56 b      | 1.08 b             | 1.11 b      | 0.24                           | 0.23        | 0.34                           | 0.33 b      | 2.30 b     | 3.08 b      |
| Milheto               | 0.57 b                         | 0.59 b      | 1.14 b             | 1.06 a      | 0.23                           | 0.26        | 0.35                           | 0.34 b      | 2.93 b     | 1.50 a      |
| <i>B. ruziziensis</i> | 0.59 b                         | 0.59 b      | 1.03 a             | 1.05 a      | 0.23                           | 0.26        | 0.37                           | 0.34 b      | 1.74 a     | 2.49 b      |
| Tamani                | 0.61 a                         | 0.62 a      | 1.04 a             | 1.03 a      | 0.24                           | 0.29        | 0.38                           | 0.33 b      | 1.66 a     | 1.57 a      |
| Coracana              | 0.55 b                         | 0.57 b      | 1.09 b             | 1.11 b      | 0.21                           | 0.24        | 0.35                           | 0.33 b      | 2.53 b     | 2.36 b      |
| <i>C. ochroleuca</i>  | 0.61 a                         | 0.61 a      | 1.11 b             | 1.10 b      | 0.23                           | 0.24        | 0.38                           | 0.36 b      | 2.50 b     | 2.06 a      |
| <i>C. spectabilis</i> | 0.56 b                         | 0.56 b      | 1.13 b             | 1.14 b      | 0.20                           | 0.22        | 0.37                           | 0.34 b      | 2.76 b     | 2.57 b      |
| <i>C. breviflora</i>  | 0.61 a                         | 0.65 a      | 1.07 b             | 1.01 a      | 0.21                           | 0.24        | 0.41                           | 0.41 a      | 2.10 a     | 1.77 a      |
| Mix 1                 | 0.63 a                         | 0.64 a      | 1.10 b             | 1.02 a      | 0.21                           | 0.27        | 0.43                           | 0.37 a      | 1.99 a     | 1.12 a      |
| Mix 2                 | 0.61 a                         | 0.54 b      | 1.09 b             | 1.14 b      | 0.23                           | 0.21        | 0.38                           | 0.34 b      | 2.21 a     | 3.22 b      |
| Mix 3                 | 0.64 a                         | 0.66 a      | 1.02 a             | 1.02 a      | 0.21                           | 0.28        | 0.43                           | 0.38 a      | 1.03 a     | 1.30 a      |
| Mix 4                 | 0.62 a                         | 0.61 a      | 1.05 a             | 1.14 b      | 0.26                           | 0.28        | 0.37                           | 0.32 b      | 2.06 a     | 2.85 b      |
| Mix 5                 | 0.64 a                         | 0.63 a      | 1.00 a             | 1.05 a      | 0.24                           | 0.23        | 0.40                           | 0.41 a      | 2.52 b     | 1.55 a      |

PT = porosidade total; DS = densidade do solo; CASOLO = capacidade de aeração; CC = capacidade de campo; RPcc = resistência a penetração na capacidade de campo. Médias seguidas de letras diferentes diferem pelo teste de Scott-Knott a 5%. Mix 1: Aveia-branca (*Avena sativa*), aveia-preta (*A. strigosa*), *C. breviflora* e *C. ochroleuca*; Mix 2: Aveia-branca, aveia-preta, milho e capim-coracana; Mix 3: *C. breviflora* e capim-coracana; Mix 4: Capim-coracana e milho; Mix 5: *C. juncea*; *C. spectabilis*; *C. breviflora*; *C. ochroleuca*; e capim-coracana.

Para a capacidade de campo (CC), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos na profundidade de 0–10 cm. Entretanto, na camada de 10–20 cm, houve diferença significativa, destacando-se os tratamentos com *C. breviflora* e os mixes 1, 3 e 5, que apresentaram os maiores valores de CC, variando de 0,37 a 0,41 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Esses resultados indicam que as misturas de plantas de cobertura (mixes) e algumas espécies de crotalária contribuem para a melhoria da estrutura física do solo, favorecendo tanto a infiltração quanto a retenção de água. Esse efeito positivo está relacionado à diversidade dos sistemas radiculares, que promove a formação de bioporos e agregados estáveis, melhorando as condições físicas do solo (SECCO *et al.*, 2023).

A resistência mecânica do solo à penetração é um parâmetro importante para avaliar a compactação, influenciando diretamente o crescimento radicular e a produtividade das culturas. Valores de RPcc superiores a 2,0 MPa são geralmente considerados limitantes ao crescimento das raízes (TORMENA *et al.*, 2007).

Os valores de resistência à penetração na capacidade de campo (RPcc) variaram consideravelmente entre os tratamentos e profundidades (Tabela 2), refletindo as diferenças na estrutura do solo promovidas pelas plantas de cobertura. Na profundidade de 0–10 cm, os menores valores de RPcc foram observados nos sistemas diversificados de Mix 1, 2, 3 e 4 além dos tratamentos milho, *B. ruziziensis* e Tamani. Esses valores indicam menor resistência mecânica à penetração das raízes e maior facilidade para o crescimento radicular e infiltração de água. Em geral, esses tratamentos também apresentaram maiores valores de porosidade total (PT) e menores densidades do solo (DS), confirmando a associação direta entre menor compactação e redução da RP.

Por outro lado, os maiores valores de RPcc na camada superficial foram observados no tratamento pousio e dos cultivos com milho, *C. spectabilis*, Coracana e Mix 5, indicando condição física mais restritiva. Na profundidade de 10–20 cm, os menores valores foram registrados no Mix 1, Mix 3, Mix 5, Tamani e *C. breviflora*. Esses resultados mostram que tanto culturas de cobertura individuais de bom desenvolvimento radicular quanto as misturas diversificadas foram capazes de promover melhorias na estrutura do solo até a camada de 20 cm, contribuindo para a redução da resistência mecânica.

De maneira geral, os tratamentos que combinaram espécies com diferentes arquiteturas e profundidades de sistemas radiculares — como nos mixes 1, 3 e 5 — demonstraram maior eficiência na redução da RPcc, especialmente na camada mais profunda. Isso se deve à maior formação de bioporos, maior atividade biológica e melhor agregação do solo, promovidos pela diversidade de espécies (SECCO *et al.*, 2023).

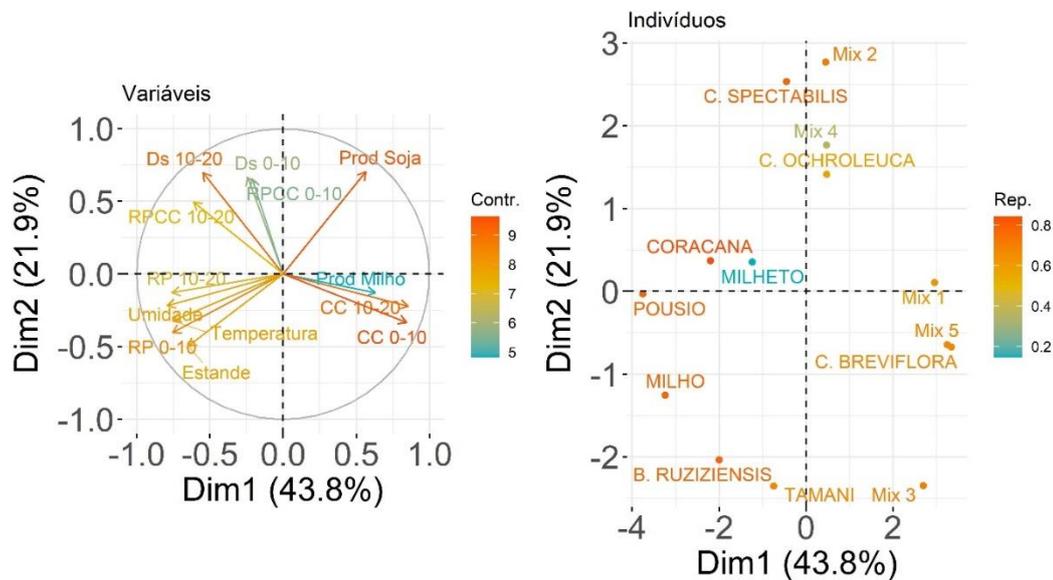
A análise de componentes principais (ACP) permitiu sintetizar as relações entre as propriedades físicas do solo e as produtividades de milho e soja em função dos diferentes sistemas de cobertura utilizados. As duas primeiras dimensões explicaram conjuntamente 65,7% da variabilidade total dos dados, sendo 43,8% na Dimensão 1 e 21,9% na Dimensão 2.

Na projeção das variáveis (Figura 7), observou-se que a produtividade de soja apresentou correlação inversa com a resistência do solo à penetração medida no campo (RP 0-10, RP 10-20), além da temperatura do solo, indicando que ambientes com maior compactação e maiores temperaturas estão associados a menores produtividades.

A distribuição dos tratamentos na ACP mostrou padrões bem definidos. Os sistemas com *Crotalaria ochroleuca*, *C. spectabilis*, Mix 2 e Mix 4 agruparam-se no quadrante positivo da Dimensão 1, diretamente associados às maiores produtividades e melhores condições físicas do solo, evidenciando a eficácia dessas coberturas na melhoria do ambiente edáfico. Por outro lado, os tratamentos milho, pousio, *Brachiaria ruziziensis* e Tamani localizaram-se no quadrante negativo da Dimensão 1, associados às maiores resistências do solo, maior densidade, temperatura elevada e, conseqüentemente, menor desempenho produtivo.

Os tratamentos com Coracana, milheto, Mix 1, Mix 3 e Mix 5 ocuparam posição intermediária, indicando que promoveram melhorias parciais nas condições do solo, mas não tão expressivas quanto os melhores tratamentos.

Esses resultados reforçam que a escolha adequada de espécies de cobertura influencia diretamente as propriedades físicas do solo e a produtividade das culturas subsequentes. A utilização de espécies com elevado volume de raízes pivotantes e fasciculadas, como as crotalárias e os mixes mais diversificados, favorece a descompactação biológica, o incremento de matéria orgânica e a melhoria das condições térmicas e hídricas do solo. Por outro lado, sistemas menos diversificados ou baseados em monocultura tendem a acentuar processos de degradação física, refletindo negativamente na produtividade.



**Figura 7.** Análise de componentes principais das culturas de coberturas relacionadas as propriedades físicas do solo e características agrônômicas (a) e culturas de cobertura (b).

## CONCLUSÃO

As culturas de cobertura contribuíram para o aumento do teor de matéria seca, da porcentagem de cobertura do solo e da redução da temperatura do solo. A presença de mixes de culturas de cobertura aumentou a produtividade da soja em até 36%. Entre os sistemas isolados, milho e *Crotalaria spectabilis* apresentaram o maior desempenho na produtividade do milho. Os mixes reduziram a resistência a penetração na profundidade de 0-10 cm. As crotalárias breviflora e spectabilis, milho, milho e os mixes 1, 2 e 5 aumentaram a infiltração do solo em média 60% em relação ao pousio. Os resultados deste estudo demonstram o uso promissor de culturas de cobertura e misturas para melhorar os sistemas de produção no ambiente do Cerrado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARY, B. S., DODLA, S., GASTON, L. A., DARAPUMENI, M., WANG, J. J., SEPAT, S., BOHARA, H. Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v.195, n.1, p.104430, 2019.
- ALGERI, A; VILAR, C.C; USHIWATA, S.Y; REIS, R.G.E. Produção de biomassa e cobertura do solo por milheto, braquiária e crotalária em cultura pura e consorciados. **Global Science and Technology**, v. 11, p. 112-115, 2018.
- ALMEIDA, D.O.; BAYER, C.; ALMEIDA, H.C. Fauna e atributos microbiológicos de um Argissolo sob sistemas de cobertura no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1140-1147, 2016.
- ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, p. 25-36, 2001.
- ANSCHAU, K. A.; SEIDEL, E. P.; MOTTIN, M. C.; LERNER, K. L.; FRANZISKOWSKI, M. A.; ROCHA, D. H. Physical properties of soil, productivity of agronomic characteristics and productivity of soybean in succession with coverage plants. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.17, n.3, p.293-299, 2018.
- ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.88, p.153-160, 2002
- BAGARELLO, V.; IOVINO, M.; ELRICK, D. Simplified falling-head technique for rapid determination of field-saturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, n.1, p.66-73, 2004.
- BEAUMELLE, L.; AURIOL, A.; GRASSET, M.; PAVY, A.; THIÉRY, D.; RUSCH, A. Benefits of increased cover crop diversity for predators and biological pest control depend on the landscape context. **Ecological Solutions and Evidence**, v.2, 2021.
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1269-1276, 2007
- BRANDT, E.A.; SOUZA, L.C.F. de; VITORINO, A.C.T.; MARCHETTI, M.E. Desempenho agrônomo de soja em função da sucessão de culturas em sistema de plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.869-874, 2006.
- BRAZ, A.J.B.P., SILVEIRA, P.M., KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 2, p.83-87,2004.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema plantio direto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.122, p.18-21, 2008.

COLODETTI, T.V.; MARTINS, L.D.; RODRIGUES, W.N.; BRINATE, S.V.B.; TOMAZ, M.A. Crambe: aspectos gerais da produção agrícola. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia**, v.8, n.14, p.258, 2012.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p: 56- 63, 2012.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; MIOLA, E.C.C.; GIACOMINI, D.A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1714-1723, 2012.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Manual de métodos de análise de solos. 3rd. ed. Rio de Janeiro-RJ: Embrapa Solos, 2017.

FERREIRA D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 1039-1042, 2011.

FIDELIS, R. R.; ROCHA, R. N. C.; LEITE, U. T.; TANCREDI, F. D. Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja. **Bioscience Journal**, v.19, n.1, p.23-31, 2003.

FRANCHINI, J. C.; DEBIAISI. H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; TONON, B.C.; FARIAS J.R.B.; OLIVEIRA, M.C.N.; TORRES E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**. v.137, p.178-185, 2012.

FREDDI, O.S.; TAVANTI, R.F.R.; SOARES, M.B.; ALMEIDA, F.T.C. Physical-chemical quality of a Latossol under direct seeding and soybean-corn succession in the *Cerrado*-Amazonian ecotone. **Revista Caatinga**, v.30, n.4, p.991-1000, 2017.

GARBELINI, L.G.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; BETIOLI JUNIOR, E.; TELLES, T.S. Profitability of soybean production models with diversified crops in the autumn–winter. **Agronomy Journal**, v.112, n.5, p.4092-4103, 2020.

KOUDAHE, K.; ALLEN, S.C.; DJAMAN, K. Critical review of the impact of cover crops on soil properties. **International Soil and Water Conservation Research**, Amsterdam, v.10, n.3, p.343-354, 2022.

KRUGER, D.H.M.; FOURIE, J.C.; MALAN, A.P. Cover crops with biofumigation properties for the suppression of plant-parasitic nematodes: a review. **South African Journal for Enology and Viticulture**, v.34, n.2, p.287, 2013.

LAISHRAM, J.; SAXENA, K. G.; MAIKHURU, R. K.; RAO, K. S. Soil quality and soil health: A review. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v.38, p.19–37, 2012.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007.

LIMA, L.B.; PETTER, F.A.; LEANDRO, W.M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.1064-1071, 2015.

MACHADO, P.L.O.A.; FERREIRA, A.C.B.; MADARI, B.E.; BORIN, A.L.D.C.; SILVA, M.A.S.; CARVALHO, M.T.D.M. Plantas de cobertura e adubos verdes para adaptação da agricultura à mudança do clima e redução da emissão de gases de efeito estufa no Cerrado. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Arroz e Feijão e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento / MAPA**. P82-83. 2021.

MAUAD, M.; GARCIA, R. A.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, R. M. M. F.; GARBIATE, M. V.; COELHO, L. C. F. Matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de Crambe. **Ciência Rural**, v.43, n.5, p.771-778. 2013.

MENNAN, H.; JABRAN, K.; ZANDSTRA, B. H.; PALA, F. non-chemical weed management in vegetables by using cover crops: A review. **Agronomy**, 10, 257; 2020.

PACHECO, L.P.; BARBOSA, J.M.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.; ASSIS, R.L.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.1228-1236, 2013.

PACHECO, L.P.; MIGUEL, A.S. D. C. S.; DA SILVA, R.G.; DE SOUZA, E.D; PETTER, F.A.; KAPPES, C. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, p.582-591, 2017.

PERES, J.G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N.A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.875-886, 2010.

REICHARD, K.; TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 2 ed. **Manole**, São Paulo, 2012.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 4rd. ed. Brasília, DF: **Embrapa Solos**, 2018.

SECCO, D.; BASSEGIO, D.; MARINS, A. C.; VILLA, B.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; SILVA, T. R. B.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. Long-term effects of cover crops on physical-hydric properties of compacted soil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, n. e62390, p. 1-10, 2023.

SILVA, M.A.; NASCENTE, A.S.; FRASCA, L.L.M.; REZENDE, C.C.; FERREIRA, E.A.S.; FILIPPI, M.C.C.; LANNA, A.C.; FERREIRA, E.P.B.; LACERDA, M.C. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v.10, n.12, p.1-11, 2021.

SILVA, M.O.; VELOSO, C.L.; NASCIMENTO, D.L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D.F.; SILVA, K.D.C. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo / Chemical and physical indicators of soil quality. **Brazilian Journal of Development**, v.6, p.47838-47855, 2020.

SILVA, M.S.; OLIVEIRA, G.R.F.; MERLOTI, L.F.; SÁ, M.E. Acúmulo de nutrientes e massa seca produzida por *Crotalaria juncea* cultivada no Cerrado. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, n. 1, p. 26-36, 2017.

TIEMANN, L.K.; GRANDY, A.S.; ATKINSON, E.E.; MARIN-SPIOTTA, E.; McDANIEL, M.D. Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem, v. 18, p. 761-771. **Ecol Lett**. 2015.

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

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um latossolo vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.211-219, 2007.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ASSIS, R.L.; SOUZA, Z.M. Atributos físicos de um Latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.2, p.428-437, 2015.

VARGAS, N.B. **Desempenho agrônomo da soja e qualidade do solo sob rotação e sucessão de culturas em plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, 58 p. 2023.

WORTMANN, C.S.; JASA, P.J. Management to minimize and reduce soil compaction. Cooperative Extension, **Institute of Agriculture and Natural Resources**, University of Nebraska-Lincoln, 2003.