

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Impacto da braquiária na qualidade de solo e na produtividade de milho safrinha
e soja

Mateus Mendes Vilanova e Silva

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2022

Mateus Mendes Vilanova e Silva
Engenheiro agrônomo

Impacto da braquiária na qualidade de solo e na produtividade de milho safrinha e soja
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Silva, Mateus Mendes Vilanova e

Impacto da braquiária na qualidade de solo e na produtividade de milho safrinha e soja / Mateus Mendes Vilanova e Silva. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

50 p.

Dissertação - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Urochloa* spp. 2. *Zea mays* 3. *Glycine max* 4. Qualidade do solo
5. SMAF I. Título

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus;

Aos meus pais Elcio e Rita;

A minha esposa Bruna, pelo companheirismo;

A minha irmã Isabela;

Ao prof. José Laércio Favarin pelo trabalho, dedicação e paciência;

Ao prof. Maurício Roberto Cherubin pela atenção dispensada;

Ao prof. Paulo Cesar Sentelhas (em memória);

Aos colegas do laboratório multiusuário de Produção Vegetal;

Ao Ministério Universidades Renovadas;

A Márcio Soares, Gabriel Fernando, Gabriel Casarotti, Ryan, Laís Souza e Fernando Poltronieri pela amizade e ajuda;

A Felipe Bonini e Borba, pela parceria;

Ao prof. Fernando Dini Andreote, Luis Fernando, Denise e Luana pelo suporte com as análises microbiológicas do solo;

Aos professores Silas Maciel de Oliveira e André Fróes de Borja Reis,

Ao Eng. Agr. Francisco Molon Blanco Neto pela acolhida em Primavera do Leste, Mato Grosso;

À CAPES, pelo suporte financeiro.

EPÍGRAFE

“Os homens da ciência só ajudarão realmente a humanidade se conservarem o sentido da transcendência do homem sobre o mundo e de Deus sobre o homem.”

São João Paulo II - Constituição Apostólica Ex Corde Ecclesiae, 1990

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1 EXPERIMENTO COM MILHO SAFRINHA.....	13
2.1.1 Caracterização da área experimental e manejo	13
2.1.2. Delineamento estatístico e análises químicas, físicas e biológicas de solo	15
2.1.3 Índice de qualidade de Solo - Soil Management Assesment Framework (SMAF). 17	
2.1.4 Balanço hídrico sequencial para a cultura do milho safrinha	18
2.1.5 Atributos das raízes de milho safrinha.....	19
2.1.6 Componentes e produtividade do milho safrinha.....	20
2.2 EXPERIMENTO COM SOJA	20
2.2.1 Caracterização da área experimental e manejo	20
2.2.2 Delineamento estatístico e análises químicas, físicas e biológicas de solo	21
2.2.3 Índice de qualidade de Solo - Soil Management Assesment Framework (SMAF). 21	
2.2.4 Componentes e produtividade de soja	22
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	22
3. RESULTADOS.....	23
3. 1 EXPERIMENTO COM MILHO SAFRINHA.....	23
3.1.1 Indicadores da qualidade de solo.....	23
3.1.2 Balanço hídrico.....	29
3.1.3 Material vegetal – raízes	30
3.1.3.1 Linha de semeadura do milho	30
3.1.3.2 Linha a 11,25 cm da linha de semeadura do milho	30
3.1.3.3 Linha a 22,50 cm da linha de semeadura do milho	31
3.1.4 Material vegetal – parte aérea	32
3.2 EXPERIMENTO COM SOJA	34
3.2.1 Solo	34
3.2.1.1 Solo franco arenoso (12% de argila)	34
3.2.1.2 Solo franco argilo-arenoso (25% de argila)	35
3.2.2 Material vegetal - Parte aérea.....	36
3.2.2.1 Área com solo franco arenoso (12% de argila)	36
3.2.2.2 Área com solo franco argilo-arenoso (25% de argila).....	37
4. DISCUSSÃO.....	39
4.1 EXPERIMENTO COM MILHO SAFRINHA.....	39
4.1.1 Atributos biológicos de qualidade do solo.....	39
4.1.2 Atributos químicos de qualidade do solo.....	40
4.1.3 Atributos físicos de qualidade do solo.....	40
4.1.4 Índice de qualidade do solo - IQS	40
4.1.5 Material Vegetal - raízes.....	41
4.1.6 Material vegetal – parte aérea e sua relação com balanço hídrico e IQS	41

4.2 EXPERIMENTO COM SOJA	42
4.2.1 Índice de qualidade do solo – IQS.....	42
4.2.2 Material vegetal - parte aérea.....	43
5. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS.....	47

RESUMO

Impacto da braquiária na qualidade de solo e na produtividade de milho safrinha e de soja

A qualidade do solo pode ser definida de forma simples como sua capacidade de funcionar, a qual pode ser mensurada por meio de índices. Dentre eles, destaca-se a ferramenta SMAF (*soil management assessment framework*), o qual integra indicadores biológicos, físicos e químicos do solo em um único índice. Este índice de qualidade do solo permite verificar o impacto do manejo adotado sobre o solo e relacioná-lo com a produtividade. No Brasil há vários tipos de manejo agrícola, com destaque para a integração lavoura-pecuária e o consórcio de plantas. Em ambos há um fato em comum – o uso de forrageira tropical do gênero *Urochloa*. Na presente pesquisa foi testada a seguinte hipótese: a inclusão de forrageira no sistema de produção poderá melhorar os atributos físicos e biológicos e, por extensão, o índice de qualidade do solo, com aumento da produtividade agrícola. Para tanto, foram realizados dois experimentos: (i) milho safrinha em semeadura direta sobre braquiária decumbens (sin. *Urochloa decumbens*) comparado ao solo lavrado mecanicamente (Piracicaba-SP) e (ii) soja após dois anos de integração lavoura-pecuária com duas forrageiras (*Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*) (Primavera do Leste-MT). No experimento de milho safrinha constatou maior teor de carbono do solo, carbono da biomassa microbiana e da estabilidade de agregados na camada superficial do solo, a produtividade e o índice de qualidade de solo (SMAF) também foram superiores. No experimento de soja na integração lavoura-pecuária o índice de qualidade de solo (SMAF) não variou com a espécie de forrageira (*Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*), embora a produtividade da soja tenha sido superior sob *Urochloa brizantha*. O presente estudo revelou que a inclusão da forrageira tropical no sistema de produção aumentou a produtividade e a qualidade de solo.

Palavras-chave: *Urochloa* spp., *Glycine max*, *Zea mays*, Qualidade do solo, SMAF

ABSTRACT

Brachiaria impact on soil quality and off-season maize and soybean yield

Soil quality can be defined in a simple way as the capacity of the soil to function, and can be measured through indexes. Among them, the SMAF (soil management assessment framework) stands out, through the integration of biological, physical and chemical indicators in a single index. The use of a soil quality index allows the verification of the management practices impacts on soil quality. In Brasil, there are plenty of management, highlighting crop livestock integration and the intercropping. There is a common point between them- the use of *Urochloa* tropical grasses. The present research aimed to test the following hypothesis: brachiaria inclusion into the production system increases physical and biological attributes, and, by extension, the soil quality index, with positive consequences into maize and soybean yield. Two experiments were performed, one in Piracicaba city, in the state of São Paulo, with off-season maize cultivated in a tilled area and in a no-till area, previously cultivated with brachiaria. The other experiment was performed in Primavera do Leste city, in the state of Mato Grosso, with soybean managed after two years of livestock, in crop-livestock areas cultivated with *Urochloa brizantha* and *Urochloa ruziziensis*. For the Piracicaba experiment, higher values of soil organic carbon, microbial biomass carbon and aggregate stability on the soil shallow layer were observed, for the management after brachiaria. Maize yield and the SMAF soil quality index were also higher for this management. For the Primavera do Leste experiment, there were no differences between managements for the SMAF index. Soybean yield, however, was higher for the management after *Urochloa brizantha*. The present work revealed that the brachiaria inclusion into the system is associated with increases in crop yield and in soil quality.

Keywords: *Urochloa* spp., *Glycine max*, *Zea mays*, Soil quality, SMAF

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados médios de temperatura e precipitação do município de Piracicaba-SP, para o ano agrícola 2019/2020.	13
Figura 2. Fotos das parcelas experimentais no manejo do solo sem lavração, coberto com resíduos de braquiária à esquerda e da parcela em solo lavrado, sem resíduos à direita. Diferença de crescimento no dia 22 de março de 2020.	15
Figura 3. Esquema representativo da trincheira e local de coleta das amostras de solo. CI: cilindro indeformado EA: amostra para a análise da estabilidade de agregados e Q/B: amostra para as avaliações químicas e biológicas.....	15
Figura 4. Representação esquemática das posições de coleta de raízes e as profundidades de amostragem.....	19
Figura 5. Dados médios de temperatura e precipitação do município de Primavera do Leste - MT, para o ano agrícola 2019/2020. Não há dados disponíveis para os meses de julho a novembro de 2019.	20
Figura 6. Área experimental antes da dessecação, com cobertura de <i>Urochloa ruziziensis</i> (identificada como Ruziziensis na figura) e <i>Urochloa brizantha</i> (identificada como Marandu, na imagem) e após o plantio da soja.....	21
Figura 7. Valores de índice SMAF por atributo, para as camadas 0-10 cm e 10-20 cm. SQ: atributos químicos, SF: atributos físicos, SB: atributos biológicos. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	23
Figura 8. Valores de índice de qualidade do solo SMAF integrado, para as camadas 0-10 cm e 10-20 cm. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	27
Figura 9. Balanço hídrico da área do milho safrinha cultivado após revolvimento do solo, sem a presença de resíduos de braquiária.	29
Figura 10. Balanço hídrico da área do milho safrinha cultivado sem lavração do solo, na presença de resíduos de braquiária.	29
Figura 11. Número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e porcentagem de espigas nos dois manejos. B: sem lavração com braquiária e C: com lavração e sem braquiária. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	32
Figura 12. Peso de mil grãos para cada manejo. B: sem lavração com braquiária e C: com lavração e sem braquiária. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	32
Figura 13. Produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), biomassa seca da parte aérea (gramas/planta) e índice de colheita (IC) nos dois manejos avaliados. B: sem lavração com braquiária e C: com lavração e sem braquiária. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	33
Figura 14. Valores de índice SMAF por atributo para as camadas de -10 e 10-20 cm. SQ: atributos químicos, SF: atributos físicos, SB: atributos biológicos. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	34
Figura 15. Valores de índice de qualidade do solo SMAF integrado para as camadas 0-10 e 10-20 cm. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	35
Figura 16. Valores de índice SMAF por atributo para as camadas 0-10 e 10-20 cm. SQ: atributos químicos, SF: atributos físicos, SB: atributos biológicos. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	36
Figura 17. Valores de índice de qualidade do solo SMAF integrado para as camadas de 0-10 e 10-20 cm. Letras diferentes representam diferença estatística pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	36
Figura 18. Número de vagens por planta, biomassa total ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produtividade de soja ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) no cultivo após <i>Urochloa brizantha</i> e após <i>Urochloa ruziziensis</i> . Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	37
Figura 19. Número de vagens por planta, biomassa total ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produtividade de soja ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) após o cultivo da <i>Urochloa brizantha</i> (B) e após a <i>Urochloa ruziziensis</i> (R). Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados das análises químicas e texturais dos solos das áreas experimentais.	14
Tabela 2. Valores dos indicadores de qualidade do solo para as profundidades 0-10 cm e 10-20 cm.....	23
Tabela 3. Valores dos escores SMAF calculados para cada indicador de qualidade do solo para as profundidades 0-10 cm e 20-40 cm.....	23
Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson para os atributos do solo avaliados e produtividade.....	27
Tabela 5. Coeficientes de correlação de Pearson para os atributos do solo avaliados e produtividade.....	28
Tabela 6. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha de semeadura milho, na profundidade de 0-20 cm.....	30
Tabela 7. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha de semeadura do milho, na profundidade de 20-40 cm.....	30
Tabela 8. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha de semeadura do milho, na profundidade de 40-60 cm.....	30
Tabela 9. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha distante 11,25 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 0-20 cm.....	31
Tabela 10. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha distante 11,25 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 20-40 cm.....	31
Tabela 11. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha distante 11,25 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 40-60 cm.....	31
Tabela 12. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radiculares relativos à linha distante 22,50 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 0-20 cm.	31
Tabela 13. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radiculares relativos à linha distante 22,50 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 20-40 cm.....	31
Tabela 14. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radiculares relativos à linha distante 22,50 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 40-60 cm.....	31
Tabela 15. Valores dos indicadores de qualidade do solo para as profundidades 0-10 cm e 10-20 cm.....	34
Tabela 16. Valores dos escores SMAF calculados para cada indicador de qualidade do solo para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.....	34
Tabela 17. Valores dos indicadores de qualidade do solo para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.....	35
Tabela 18. Valores dos escores SMAF calculados para cada indicador de qualidade do solo para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.....	35

1. INTRODUÇÃO

Durante décadas as pesquisas na área de qualidade do solo concentraram-se em taxas de erosão e valores toleráveis de perda anual de solo para fins de avaliação de práticas de manejo agrícola (Andrews et al., 2004). Contudo, a partir dos anos 90, a qualidade do solo passou a ser estudada de maneira mais ampla. Qualidade do solo agrícola diz respeito à sua capacidade de realizar funções ou serviços ecossistêmicos, por exemplo, em relação ao fluxo e contenção de água, retenção e ciclagem de nutrientes, filtragem de substâncias tóxicas e manutenção da biodiversidade (Karlen et al., 1997).

A estimativa de um índice de qualidade do solo objetivou estender essa abordagem a fim de avaliar os impactos do manejo do solo em suas funções. A qualidade do solo pode ser quantificada, dentre outras, por meio da ferramenta SMAF (Soil Management Assessment Framework). Essa ferramenta fornece um índice de qualidade obtido a partir da seleção de indicadores físicos, químicos e biológicos do solo, interpretação dos valores por intermédio de algoritmos e a integração dos valores isolados em um único índice, o qual varia entre zero e um (Andrews et al., 2004). Dessa forma, o SMAF pode ser utilizado para estimar os impactos das práticas de manejo agrícola nas funções do solo e em sua qualidade.

Desenvolvida nos EUA, a ferramenta supracitada já foi testada para o ambiente brasileiro, com trabalhos envolvendo diferentes texturas de solo e manejos agrícolas, tais quais mudança de uso da terra (floresta-pastagem-canavial), lavração do solo, emprego de fertilizantes, manejo de remoção de palha de cana de açúcar, sistema de semeadura direta, sistemas de integração lavoura-pecuária. Esses trabalhos concluíram que o SMAF é uma ferramenta válida para uso nos ambientes de produção no Brasil, oferecendo suporte nas tomadas de decisão relacionadas a práticas de manejo sustentáveis por parte de produtores, técnicos, consultores (Cherubin et al., 2017; Cherubin et al., 2016; Cherubin et al., 2021; Luz et al., 2019; Lisboa et al., 2019).

Dentre os vários manejos de solo merece destaque no Brasil o sistema de produção que integra a agricultura e pecuária, também denominado lavoura-pecuária, no qual é usado gramíneas do gênero *Urochloa* (braquiárias) tanto para consumo animal como pastagem como geração de palha para o plantio direto. Esse sistema pode ser definido como rotação, consorciação e/ou sucessão de sistemas agrícolas e pecuários na propriedade rural, de modo sinérgico, com benefício para ambos (Alvarenga e Noce, 2005). Assim, tanto a produção agrícola quanto a pecuária se beneficiam, seja pela reforma da pastagem, disponibilidade de maior janela de pastejo, maior ganho de peso ou pela geração de palha, indispensável ao sistema de plantio direto. Os benefícios são múltiplos: aumento do estoque de carbono ou do teor de matéria orgânica do solo; diminui a taxa de erosão; melhora as propriedades físicas do solo, a exemplo da estrutura e estabilidade de agregado, com benefício à recarga e dinâmica hídrica e ciclagem de nutrientes; tem-se maior atividade biológica do solo; contribui para o controle de plantas daninhas (Blanco-Canqui et al., 2015; Gichangi et al., 2016; Razuk, 2002; Silva et al., 2011; Brandan et al., 2017; de Oliveira et al., 2020).

O sistema de integração lavoura-pecuária é adotado no Brasil desde os anos 30 (Zimmer et al., 2012), com plantio de forrageiras em consórcio com espécies anuais ou depois das mesmas. A partir dos anos 60, o sistema foi implantado em maior escala, com a intensificação da mecanização agrícola e abertura de novas áreas, principalmente no cerrado. Da década de 1980 em diante cabe mencionar as novas técnicas propostas para fim de manejo da integração lavoura-pecuária, com o objetivo de proporcionar a recuperação de pastagem degradada (Sistemas Barreirão e Santa Fé). No sistema Barreirão, o arroz de sequeiro é consorciado com a braquiária, enquanto no Santa Fé o consórcio é feito entre milho e espécies do gênero *Urochloa* (Zimmer et al., 2012; Kluthcouski et al., 2000; Kluthcouski et al., 1991).

Além dos sistemas consorciados, existem aqueles que envolvem cultivo de pastagem em sucessão às culturas anuais (Sistema São Mateus). Nesse caso, após a correção química do solo, a braquiária é semeada na estação das águas, e o pastejo inicia 60 a 70 dias após a emergência. Logo após o início das chuvas do ano seguinte, a pastagem é dessecada e semeia-se a soja. No final do ciclo, depois da colheita da oleaginosa, faz-se uma nova semeadura de braquiária. A partir de então, a gramínea tropical é utilizada como pastagem pelos próximos dois anos, seguida de nova semeadura de soja, estabelecendo ciclos de pastagem-oleaginosa (Salton et al., 2013).

Isto posto, pode-se inferir que os sistemas de integração lavoura-pecuária em ambiente tropical, por meio do consórcio ou sucessão de culturas, pode recuperar as pastagens degradadas e incrementar a qualidade física e biológica do solo, bem como controlar a erosão na área de lavoura. Ainda, produz forragem e grãos para a alimentação animal na estação seca, diminui a dependência de insumos externos à propriedade e reduz os custos da pecuária e da agricultura (Alvarenga e Noce, 2001).

Os sistemas de integração lavoura-pecuária (Santa Fé, Barreirão e São Mateus) envolvem o plantio de grãos e, dentre eles, os mais cultivados no Brasil são a soja e o milho. Com relação à cultura da soja, estima-se que na safra 2020/2021 foram semeados 38,3 milhões de hectares (CONAB, 2021) com produção de 133,8 milhões de toneladas, isso significa cerca da metade da produção total de grãos do país, dos quais 85,6 milhões são destinados para a exportação.

O milho é cultivado no Brasil principalmente na segunda safra no ambiente tropical, em sucessão à soja, podendo ser consorciado com a braquiária. Estima-se que a área plantada na safra 2020/2021 foi cerca de 19 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 14 milhões de hectares foram de segunda safra ou safrinha (CONAB, 2021).

Do ponto de vista agrônomico, ambas as culturas têm limitações para seu manejo em sistema de semeadura direta. A cultura da soja produz poucos resíduos, uma vez que o índice de colheita médio varia entre 40 e 50% e, principalmente, porque os resíduos da parte aérea tem relação entre carbono e nitrogênio (C/N) inferior a 20, facilmente degradável pela ação dos organismos decompositores. O milho possui um índice de colheita médio de 50%, mas a relação C/N é superior a 50, portanto a taxa de degradação é bem mais lenta (Pedersen & Lauer, 2004; Hay, 1995; Gentry et al., 2001; Lorenz et al., 2010). Ambos os resíduos não propiciam uma cobertura uniforme do solo, a soja pela rápida taxa de degradação e o milho por ser representado principalmente por colmos. Apesar de a soja e o milho não proporcionarem uma boa proteção do solo, merece destaque a capacidade do milho produzir maior quantidade de biomassa de raízes dentro do solo (Mengel & Barber, 1974). Esta maior quantidade de biomassa incorporada naturalmente no solo é benéfica para a agricultura tropical e subtropical, pois é fonte de C-oxidável para a biologia do solo, pode diminuir os danos propiciados pela compactação e contribuir efetivamente para a retenção de carbono.

Visto que a inserção da forrageira tropical (gênero *Urochloa*) no sistema de produção, como acontece na integração lavoura-pecuária, fornece uma grande quantidade de resíduos sobre e dentro do solo (Razuk, 2002), muitas funções ecossistêmicas acontecem e são benéficas à agricultura (Blanco-Canqui et al., 2015).

A presente pesquisa objetivou avaliar o impacto da adoção da forrageira tropical sobre os indicadores físicos, biológicos e índice de qualidade de solo, assim como os mesmos influenciam a produtividade das culturas de soja (safra principal) e milho segunda safra, anteriormente denominada de safrinha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Experimento com milho safrinha

2.1.1 Caracterização da área experimental e manejo

O experimento foi instalado no município de Piracicaba-SP, no campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP (22° 42' 30" Latitude Sul, 47° 38' 00" Longitude Oeste e 546 m de altitude), clima Cfa de acordo com a classificação de Köppen e Geiger. Os registros climatológicos gerados pelo posto meteorológico da ESALQ/USP durante o ano agrícola 2019/2020, no qual se deu o experimento, estão apresentados na figura 1.

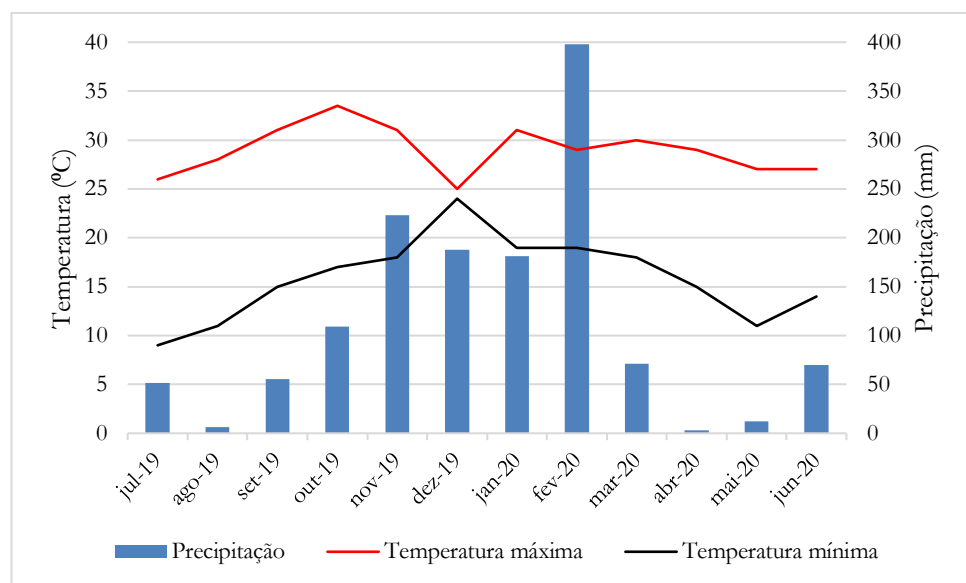


Figura 1. Dados médios de temperatura e precipitação do município de Piracicaba-SP, para o ano agrícola 2019/2020.

O experimento foi instalado em áreas com manejo de solo distintos. Em uma das áreas o solo era lavrado anualmente (revolvimento mecânico), embora não tenha sido cultivado na safra principal de 2019/2020, a qual permaneceu em pousio até a semeadura do milho safrinha, objeto da presente pesquisa em 2020. Na outra área, o solo não era lavrado há mais de cinco anos, anterior a 2015/16, o qual permanecia cultivado com braquiária (*Urochloa decumbens*) remanescente do consórcio milho-braquiária decumbens, com cerca de 8 toneladas de massa seca de resíduos por hectare. Durante os últimos cinco anos a forrageira era roçada e os resíduos permaneciam sobre o solo, a fim de preservar um dos fundamentos do sistema plantio direto.

O solo das duas áreas experimentais é classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (Solos, 2006). Os resultados das análises químicas e físicas (textura) dos primeiros 0,2 m de profundidade estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Resultados das análises químicas e texturais dos solos das áreas experimentais.

Determinações	Unidades	Resultados
pH CaCl ₂	-	5,3
MO	g.dm ⁻³	14,0
Fósforo (P)	mg.dm ⁻³	11,0
Enxofre (SO ₄ ²⁻)	mg.dm ⁻³	<10,0
Potássio (K)	mmolc.dm ⁻³	1,5
Cálcio (Ca)	mmolc.dm ⁻³	13,5
Magnésio (Mg)	mmolc.dm ⁻³	5,5
Alumínio (Al)	mmolc.dm ⁻³	<0,02
Acidez potencial (H+Al)	mmolc.dm ⁻³	19,0
Soma de Bases (SB)	mmolc.dm ⁻³	20,5
Capacidade Troca Cátions (CTC)	mmolc.dm ⁻³	39,5
Saturação por bases (V%)	%	52,0
Boro (B)	mg.dm ⁻³	0,3
Cobre (Cu)	mg.dm ⁻³	0,8
Ferro (Fe)	mg.dm ⁻³	49,5
Manganês (Mn)	mg.dm ⁻³	8,7
Zinco (Zn)	mg.dm ⁻³	3,6
Areia	g.kg ⁻¹	800,5
Silte	g.kg ⁻¹	40,0
Argila	g.kg ⁻¹	159,5

Os solos das áreas experimentais foram corrigidos com calcário, com base no método da saturação por bases a 70% (Raij et al., 1997). Em seguida, procedeu-se a dessecação das plantas daninhas presentes nas áreas com a aplicação de 3 L/ha de glifosato (37% m/v de equivalente ácido de N-phosphonomethylglycine) realizada 30 dias antes da semeadura do milho. A fim de evitar uma nova infestação de plantas daninhas, dentre as quais a braquiária, foram realizadas mais duas dessecações: uma com os mesmos 3 L/ha de glifosato e outra com 1,5 L/ha de 2,4-D (67% m/V de equivalente ácido de 2,4-D), ambas realizadas 7 dias antes da semeadura.

O milho (*Zea mays*) híbrido P3754 PWU (Pioneer sementes) foi semeado no dia 05 de fevereiro de 2020, com semeadora-adubadora de 5 linhas, espaçadas de 0,45 m entre linhas e 3 sementes por metro (66.667 sementes/ha). Na adubação de semeadura foram aplicados 30 kg/ha de N, 60 kg/ha de P₂O₅ e 50 kg/ha de K₂O e em cobertura aplicou-se 90 kg/ha de N e 20 kg/ha de K₂O, considerando uma produtividade esperada entre 6 e 8 toneladas por hectare (Raij et al., 1997). O manejo de plantas daninhas, doenças e pragas foi realizado a fim de reduzir os danos bióticos.

Na figura 2 estão apresentadas duas ilustrações, na qual pode-se notar a diferença de desenvolvimento do milho segunda safra semeado em fevereiro de 2020. Nos dois sistemas de produção avaliados na presente pesquisa: semeadura direta sobre resíduos de braquiária (à esquerda) e em solo lavrado mecanicamente, sem resíduos sobre o solo (à direita).



Figura 2. Fotos das parcelas experimentais no manejo do solo sem lavração, coberto com resíduos de braquiária à esquerda e da parcela em solo lavrado, sem resíduos à direita. Diferença de crescimento no dia 22 de março de 2020.

2.1.2. Delineamento estatístico e análises químicas, físicas e biológicas de solo

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos: milho semado sob palhada de *Urochloa decumbens* e milho semado de forma convencional com lavração do solo, com cinco repetições cada. Para fins de determinação do índice de qualidade do solo pelo método SMAF (Andrews et al., 2004) foram considerados os seguintes indicadores: (a) químicos - teores de P, K e pH em água, (b) físicos - densidade do solo e estabilidade dos agregados e (c) biológicos - carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana e atividade da enzima beta-glucosidase.

As coletas foram efetuadas em cinco trincheiras de 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m das respectivas áreas experimentais. Do lado de cada trincheira foi coletado a 0,1 m de profundidade um cilindro indeformado, o qual fora vedado com filme plástico. Com uma espátula foi feito um pequeno degrau, aproveitando o espaço deixado pela amostra cilíndrica retirada, e nas suas laterais extraíu-se amostras semi-deformadas para análise da estabilidade de agregados (acondicionadas em potes plásticos) e amostras deformadas para análises químicas e biológicas (transferidas para sacos plásticos com respiradouro de papel). O mesmo procedimento foi adotado para as amostras coletadas entre 0,1 e 0,2 m de profundidade, conforme ilustrado na figura 3.

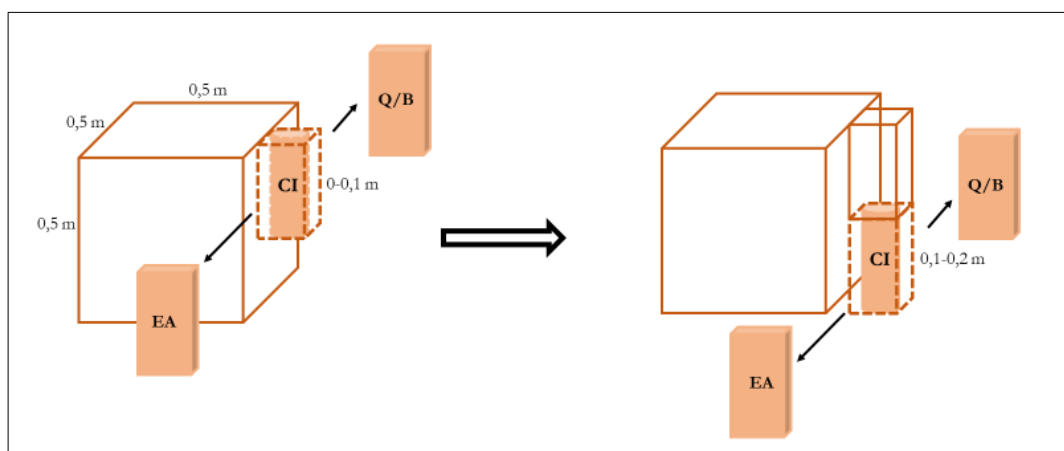


Figura 3. Esquema representativo da trincheira e local de coleta das amostras de solo. CI: cilindro indeformado EA: amostra para a análise da estabilidade de agregados e Q/B: amostra para as avaliações químicas e biológicas.

Após a coleta, os materiais foram armazenados e encaminhados para as devidas análises, conforme descrito a seguir: (i) teor de P: foram transferidos 2,5 mL de solo para um frasco plástico de 80 mL de cada amostra, adicionados 25 mL de água e uma bolinha de vidro, e após tampado o frasco, o mesmo foi agitado por 15 min. Após agitação, retirou-se a esfera de vidro e acrescentou-se 2,5 mL de resina trocadora de íons na mistura, o frasco novamente foi tampado e agitado por mais 16 h em agitador de movimento circular horizontal a 220 rpm. Em seguida, com auxílio de jato de água, o conteúdo dos frascos foi transferido para peneira com malha de 0,4 mm e, posteriormente, passado em um funil colocado sobre frasco de 100 mL contendo 50 mL de uma solução de NH_4Cl 0,8 M em HCl 0,2 M. As suspensões foram deixadas em repouso por 30 min e então agitadas por 1 h a 220 rpm. Posteriormente, 4 mL dos extratos obtidos foram diluídos em 16 mL de solução diluída de molibdato de amônio, realizando-se, após 15 min, a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 720 nm ou de 885 nm. Os mesmos procedimentos foram adotados para as soluções padrão de trabalho (Raij et al., 2001).

(ii) teor de K: a preparação das amostras seguiu o mesmo procedimento adotado para a determinação do teor de P. Contudo, os extratos obtidos após adição de 50 mL de uma solução de NH_4Cl 0,8 M em HCl 0,2 M foram lidos em espectrofotômetro de chama, juntamente com as soluções padrão de trabalho (Raij et al., 2001).

(iii) pH em água: foram pesadas 10 g de amostra de terra fina seca ao ar e armazenadas em copo plástico de 100 mL, e a seguir acrescentaram-se 25 mL de água destilada no mesmo recipiente. Após agitação por 60 s, seguida de repouso por 1 h, e nova agitação para homogeneização, o eletrodo do potenciômetro foi inserido na solução para a leitura do valor de pH (Teixeira et al, 2017).

(iv) densidade do solo: retirou-se o filme plástico que envolvia os cilindros e com uma faca procedeu-se a “toalete”, em que o solo contido no cilindro foi nivelado com as bordas nos dois lados. A seguir, as amostras foram encaminhadas para estufa a 105 °C por 72 h e, depois, submeteu-se as mesmas à determinação da massa, da qual descontou-se dos cilindros metálicos, de modo a obter-se a massa de solo seco. Essa última foi dividida pelo volume do cilindro para determinar a densidade de solo (Teixeira et al, 2017).

(v) estabilidade de agregados: amostras de solo foram passadas em peneiras de 8mm, destorroando-se levemente o solo para não compactar o mesmo. As amostras foram, depois, armazenadas novamente nos potes plásticos. Em seguida, colocou-se 50 g de solo de cada pote em cilindro metálico com fundo forrado de tela de tecido presa com elástico, e devidamente identificado. Esses conjuntos foram colocados em uma bandeja contendo uma fina camada de água para estabilização à capacidade de campo e, posteriormente, à saturação, em razão do potencial matricial e osmótico. Em seguida, água foi colocada na cuba do equipamento tipo Yoder MA 148/3, até que metade do seu nível estivesse preenchido, e dois conjuntos de peneiras (2000-250-53 μm -fundo), foram imersas na água. Foi adicionada água até o nível da malha da peneira superior de um dos conjuntos. As amostras saturadas foram transferidas para as peneiras, e o equipamento foi ajustado para agitar 10 min a uma rotação de 30 rpm, ao fim do qual o conteúdo de cada peneira foi colocado em potes plásticos identificados e levados à estufa a uma temperatura de 40 °C até a evaporação completa da água. As amostras secas foram submetidas à pesagem das frações dos macroagregados grandes (>2000 μm), macroagregados pequenos (250-2000 μm), microagregados (53-250 μm) e partículas de silte e argila (<53 μm) (Elliot, 1986).

(vi) teor de carbono orgânico total: alíquotas de 1 cm^3 de solo de cada amostra foram transferidos para recipiente cilíndrico, onde adicionou-se 10 mL de solução de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,667 m e ácido sulfúrico 0,5 M. Essa mistura foi posteriormente submetida à agitação em um agitador com movimento circular-horizantal a 180 rpm por 10 min. Após repouso de 1 hora foram adicionados à solução 50 mL de água procedendo-se, no dia seguinte, a leitura do

sobrenadante no colorímetro, com filtro de transmissão máxima de 650 nm e o cálculo dos resultados a partir da seguinte expressão:

$$MO = -256,4 \log T + 512,4$$

em que: MO corresponde à matéria orgânica ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) e T representa o valor da transmitância (%).

O carbono orgânico total foi obtido por meio da equação descrita a seguir:

$$MO = COT \times 1,724 \text{ ou } COT = MO/1,724$$

em que: COT corresponde ao teor de carbono orgânico total ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$), e o valor 1,724 é um fator de correção usado para a conversão dos valores de carbono orgânico total (COT) em teor de matéria orgânica (MO), segundo Bemmelen (Raij et al., 2001).

(vii) carbono na biomassa microbiana: alíquotas de 25 g de solo seco por amostra foram adicionadas a béquer e depositadas em dessecador contendo outro béquer com 25 mL de clorofórmio para a fumigação das amostras por 24 h. Outros 25 g de solo seco foram pesados por amostra, contudo, sem fumigação. 8 mL do extrato fumigado e não fumigado foram pipetados para tubos digestores, acrescidos de 2 mL de dicromato de potássio e 15 mL da mistura de duas partes de ácido sulfúrico 18,4 M e uma parte de ácido fosfórico 19,2 M para a digestão durante 30 min a 100 °C em banho maria. Depois de esfriar, o conteúdo dos tubos foi transferido para Erlenmeyer de 125 mL juntamente com 7 gotas do indicador ferroína, e na sequência titulados com sulfato ferroso amoniacal padronizado (solução inicial verde com ponto final vermelho intenso). A determinação da biomassa microbiana foi feita com base na fórmula (Vance et al., 1987) apresentada a seguir:

$$BC = (Cf - Cnf)/Kc$$

em que: BC corresponde ao valor do carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g}/\text{g}$ de solo), Cf consiste no volume de sulfato ferroso consumido no solo fumigado, Cnf representa o volume consumido do mesmo sal no solo não fumigado e Kc é o coeficiente de eficiência de extração.

(viii) atividade da enzima beta-glucosidase: as amostras de solo foram passadas em peneira de 2 mm e, posteriormente, uma alíquota de 1 g da mesma foi transferida para Erlenmeyer de 50 mL, à qual foi adicionada 0,25 mL de tolueno, 4 mL de MUB pH 6 e 1 mL de solução de PNG, agitado e levado a incubador a 37 °C. Após uma hora de incubação, acrescentou-se 1 mL de solução de CaCl_2 0,5 M e 4 mL de solução tampão THAM (0,1 M, pH 12), agitou-se o frasco e filtrou-se a suspensão do solo em papel de filtro Whatman n2v. A intensidade da cor amarela do filtrado foi lida com espectrofotômetro a 410 nm e o respectivo conteúdo de *p*-nitrofenol foi calculado com base em um gráfico de calibração. Os procedimentos foram repetidos para obtenção dos controles, com a exceção de que a solução PNG foi acrescentada após a incubação, antes da filtragem (Tabatabai, 1994).

2.1.3 Índice de qualidade de Solo - Soil Management Assesment Framework (SMAF)

Para a determinação do índice de qualidade de solo foram usados oito indicadores: densidade, estabilidade dos agregados, teor de fósforo e potássio, pH em água, carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana e atividade beta-glucosidase. Esses indicadores de qualidade foram selecionados segundo os critérios propostos por Andrews et al. (2004), os quais selecionaram de quatro a oito indicadores, desde que os três atributos do solo (físicos,

químicos e biológicos) fossem representados. Para o cálculo do índice de qualidade, os valores dos indicadores foram transformados por meio de algoritmos em notas de zero a um, considerando-se os fatores próprios do solo, clima, relevo, cultura e métodos analíticos.

Para o teor de matéria orgânica do solo foi utilizado o fator 4 (baixo teor), para a classe textural, empregou-se o fator 2 (textura média) e em relação à classe climática adotou-se o fator 1 (≥ 170 graus-dia, ≥ 550 mm de precipitação). Em relação ao teor de óxidos de ferro, aplicou-se o fator 2 (Latosolos) e sobre a estação de coleta foi utilizado o fator 3 (outono). Para a classe mineralógica aplicou-se o fator 3 (argilas 1:1 e óxidos de ferro e alumínio), em relação à região adotou-se o fator 2 (regiões úmidas) e quanto à cultura aplicou-se o fator 32 (milho-grão). Para a declividade utilizou o fator 2 (2 a 5% de declividade), sobre o método de análise de fósforo disponível no solo aplicou o fator 5 (resina trocadora de ânion) e, finalmente, para a classe de intemperismo empregou-se o fator 2 (elevado intemperismo).

O índice de qualidade do solo (IQS) foi obtido a partir do método aditivo simples, integrando em uma única nota os valores dos índices dos indicadores físicos, químicos e biológicos.

$$IQS = \sum_{i=1}^n NI / n$$

em que: IQS corresponde ao índice de qualidade do solo, NI refere-se ao valor da nota do indicador e n representa o número de indicadores usados.

O índice de qualidade de solo calculado foi subdividido em atributo físico (densidade e estabilidade de agregados), químico (teor de P, K e pH H_2O) e biológico (atividade da enzima beta-glucosidase, carbono orgânico total e carbono da biomassa microbiana), a fim de avaliar a contribuição individual de cada atributo para o valor do IQS.

2.1.4 Balanço hídrico sequencial para a cultura do milho safrinha

O cálculo do balanço hídrico sequencial para a cultura de milho foi realizado segundo a metodologia proposta por Thornthwaite & Mather (1955), com intervalo de dez dias (decendial). Para tanto, utilizou uma planilha Excel já programada para essa finalidade (Rolim et al., 1998).

A planilha foi alimentada com o valor da capacidade de armazenamento de água ($ARM = CAD$) de 30 mm, a qual é o produto entre a profundidade efetiva das raízes de milho (0,5 m) e o valor do armazenamento de água em solos de textura grossa (60 mm/m de solo ou 0,6 mm/cm de solo) (Doorembos & Kassam, 1994). Foi inserido também o valor da latitude do município de Piracicaba (-22,73, expressa em graus decimais), bem como o valor de I , obtido a partir da fórmula apresentada a seguir:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 T_n)^{1,514}$$

em que: I corresponde ao índice que expressa o nível de calor disponível na região (unidade de I) e T_n representa a temperatura média do mês n ($^{\circ}C$).

Também foi adicionado à planilha o valor de a , calculado de acordo com a equação apresentada a seguir:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239$$

em que: a é uma função de I , também representa um índice térmico regional

A evapotranspiração do milho em solo lavrado (ETC) foi obtida pelo produto entre o valor da evapotranspiração potencial (ETP) de cada decêndio e o coeficiente K_c , variável com o estágio fenológico da cultura (Doorenbos & Kassam, 1994). A evapotranspiração do milho em solo sem lavração ou semeadura direta (ETCsd) foi obtida pelo produto entre a evapotranspiração potencial, coeficiente K_c e um fator de correção f_c (100% da superfície protegida com resíduos vegetais de braquiária), conforme equações apresentadas abaixo. O fator de correção (0,808) corresponde ao quociente entre o K_c da cultura do feijoeiro em solo 100% coberto ($K_c = 1,01$) e descoberto ($K_c = 1,25$) (Andrade et al., 2002).

$$ETC = K_c \times ETP \text{ (solo lavrado)}$$

$$ETCsd = K_c \times ETP \times f_c \text{ (solo sem lavração)}$$

em que: ETC corresponde a evapotranspiração de cultura para solo lavrado (mm), ETCsd expressa a evapotranspiração de cultura para solo sob semeadura direta, K_c representa o coeficiente de cultura, ETP diz respeito à evapotranspiração potencial (mm) e f_c representa o fator de correção do K_c para solo não lavrado, protegido pela presença de resíduos ($1,01/1,25 = 0,808$).

2.1.5 Atributos das raízes de milho safrinha

Quando as lavouras estavam no estágio VT (pendoamento) foi realizada a coleta de raízes com sonda de 5 cm de diâmetro interno, em três locais (P) em relação à planta nas parcelas experimentais: P1 na linha de plantio, com a borda da sonda em contato com a planta; P2 perpendicular a P1 a 11,25 cm de distância e P3 na entrelinha a 22,5 cm de distância de P1. Foram feitas cinco amostragens (repetições) por parcela em três profundidades para cada ponto: A, nos primeiros 0,2 m, B na camada entre 0,2 m e 0,4 m e C na profundidade entre 0,4 m e 0,6 m, conforme se vê na figura 4.

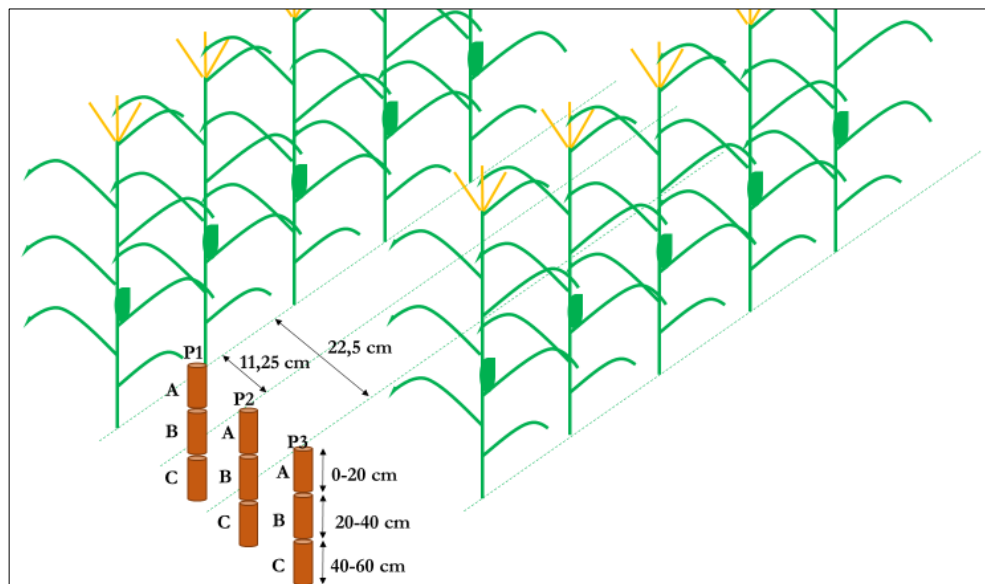


Figura 4. Representação esquemática das posições de coleta de raízes e as profundidades de amostragem

Após a coleta, as amostras de solo mais raízes foram lavadas para separação dos fragmentos radiculares e, posteriormente, armazenadas em tubos falcon com água. Esses fragmentos foram escaneados e as imagens processadas pelo software WhinRhizo, a fim de determinar a área superficial (cm^2), o volume (cm^3) e o comprimento (cm) das raízes. Depois desse procedimento, as amostras de raízes foram submetidas à secagem em estufa a 65°C por 72 h para obtenção da massa seca de raízes.

2.1.6 Componentes e produtividade do milho safrinha

As coletas do material vegetal foram realizadas no dia 26 de junho de 2020, quando o milho estava no estágio R6 (maturidade fisiológica). Coletaram-se espigas de duas linhas de 4,5 m de comprimento e 5 repetições de cada tratamento para realizar as avaliações biométricas: (i) número de grãos por fileira, (ii) número de fileiras por espiga e (iii) produtividade de grãos. A produtividade por hectare (kg/ha) foi estimada a partir da massa de grãos com 13% de umidade. Nessas mesmas linhas, foram colhidas quatro plantas para a determinação da biomassa seca total e o índice de colheita, após a secagem do material em estufa a 65 °C e pesagem da planta junto com a espiga e, depois, dos grãos. O índice de colheita foi obtido pelo quociente entre a massa seca de grãos e a massa seca total (grãos mais parte aérea), sem considerar a massa de raízes. O índice de colheita indica a partição de fotoassimilados entre a parte vegetativa e reprodutiva (Singh e Stoskopf, 1971).

2.2 Experimento com soja

2.2.1 Caracterização da área experimental e manejo

As coletas foram realizadas em lavoura comercial de soja, localizada no município de Primavera do Leste-MT, na Fazenda Suspiro (14°52'52" Latitude Sul, 54°6'21" Longitude Oeste e 687 m de altitude), com clima Aw segundo a classificação de Köppen e Geiger. Os registros climatológicos obtidos no portal do Instituto Nacional de Meteorologia para o ano agrícola de 2019/2020, relativo ao período experimental, encontram-se na figura 5.

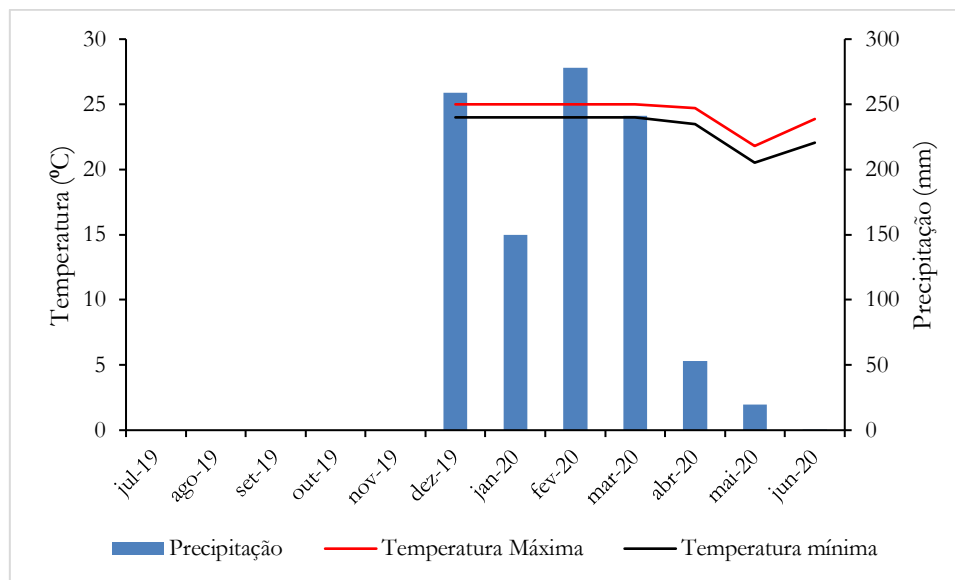


Figura 5. Dados médios de temperatura e precipitação do município de Primavera do Leste - MT, para o ano agrícola 2019/2020. Não há dados disponíveis para os meses de julho a novembro de 2019.

As áreas experimentais situavam-se em um dos talhões da fazenda Suspiro, manejado sob sistema de semeadura direta, anteriormente cultivado com pastagem durante dois anos (lavoura-pecuária) para fins de pastejo. Na parte do talhão em que cultivou *Urochloa ruziziensis* havia cerca de 3 toneladas de massa seca de resíduos por hectare sobre o solo, enquanto na parte cultivada com *Urochloa brizantha* tinha cerca de 6 toneladas de massa seca de resíduos por hectare sobre o solo. As forrageiras foram cultivadas em solo com duas texturas distintas: (i) 12% de argila (franco

arenoso) e (ii) 25% de argila (franco areno-argiloso). Os resultados da análise química do solo encontram-se na tabela 2.

O cultivar de soja semeado foi Msoy 8372, com 15 kg/ha de N, 80 kg/ha de P₂O₅ e 13 kg/ha de K₂O na semeadura, seguidos uma cobertura com 100 kg/ha de K₂O, dividida em duas aplicações. O manejo de pragas, plantas daninhas, doenças, bem como a correção do solo e as adubações foram realizadas pelo corpo técnico da fazenda, seguindo os padrões da região.



Figura 6. Área experimental antes da dessecação, com cobertura de *Urochloa ruziziensis* (identificada como Ruziziensis na figura) e *Urochloa brizantha* (identificada como Marandu, na imagem) e após o plantio da soja.

2.2.2 Delineamento estatístico e análises químicas, físicas e biológicas de solo

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos: (i) soja semeada após dois anos de pastagem de *Urochloa brizantha* em solo franco arenoso, (ii) soja semeada após dois anos de pastagem de *Urochloa brizantha* em solo franco argilo-arenoso, (iii) soja semeada após dois anos de *Urochloa ruziziensis* em solo franco arenoso e (iv) soja semeada após dois anos de *Urochloa ruziziensis* em solo franco-argilo arenoso, com cinco repetições. As coletas e análises de solo seguiram o mesmo padrão descrito para o experimento com milho safrinha.

2.2.3 Índice de qualidade de Solo - Soil Management Assessment Framework (SMAF)

Os indicadores e metodologias empregadas na obtenção do IQS foram os mesmos utilizados para o experimento realizado em Piracicaba-SP. Contudo, os fatores empregados foram diferentes, uma vez que se trata de outra localidade.

Com relação ao teor de matéria orgânica do solo, utilizou-se o fator 4 (baixo teor de matéria orgânica). Para classe textural, empregou-se o fator 2 (textura média). Para a classe climática, usou o fator 1 (≥ 170 graus dia, ≥ 550 mm de precipitação). Com relação ao teor de óxidos de ferro, aplicou-se o fator 2 (solos das áreas experimentais pertencem à classe dos Latossolos). Para a estação de coleta, utilizou o fator 2 (verão), para a classe mineralógica o fator 3 (argilas 1:1 e óxidos de ferro e alumínio). Quanto à região, adotou-se o fator 2 (regiões úmidas), para cultura usou o fator 113 (soja, solos arenosos). Com relação à declividade, utilizou o fator 2 (2 a 5% de declividade), para o método de análise de fósforo no solo, aplicou o fator 5 (resina trocadora de ânion) e, por fim, quanto à classe de intemperismo, usou o fator 2 (elevado intemperismo).

2.2.4 Componentes e produtividade de soja

As coletas de material vegetal foram realizadas para as quatro áreas descritas acima, quando a soja estava no estágio R8. Foram coletadas plantas de duas linhas de 4,5 m com cinco repetições por tratamento, a fim de realizar as avaliações biométricas (número de vagens por planta, número de grãos por vagem) e produtividade final, a partir da massa de grãos corrigida à 13% de umidade (kg/ha). Nessas mesmas linhas, foram colhidas 4 plantas para determinar a biomassa seca total, após secagem do material em estufa a 65 °C e pesagem da planta junto com as vagens e, depois, os grãos.

2.4 Análise Estatística

Antes das análises, todos as observações foram submetidas a teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados. Se necessário, os dados foram apropriadamente transformados a fim de obter a distribuição normal dos dados utilizando os valores indicados pelo teste de homocedasticidade de Box–Cox (Box and Cox, 1964). Análises de variância (ANOVA) foi utilizada para checar os efeitos do manejo de solo sobre a cultura do milho, considerando um delineamento experimental aleatório, com cinco repetições (Cherubin et al., 2016; Freitas et al., 2017; Signor et al., 2018). Todas as análises foram executadas no software estatístico SAS.

3. RESULTADOS

3.1 Experimento com milho safrinha

3.1.1 Indicadores da qualidade de solo

Os resultados dos valores dos indicadores de qualidade de solo, índices SMAF calculados para cada indicador e índices SMAF por atributo (físico, químico e biológico) e geral (IQS - índice de qualidade de solo) encontram-se nas tabelas e figuras abaixo, para as diferentes profundidades amostrais estudadas, bem como as correlações entre os diferentes indicadores, escores e produtividade de milho.

Tabela 2. Valores dos indicadores de qualidade do solo para as profundidades 0-10 cm e 10-20 cm.

		INDICADORES DE QUALIDADE									
Prof. (cm)	MANEJO	BIOLÓGICOS			QUÍMICOS			FÍSICOS			
		COS %	Beta-G mg.(kg.h) ⁻¹	CBM mg.kg ⁻¹	pH -	K mg.dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	Ds Mg.m ⁻³	EA %		
0-10	Pós braquiária	1,16 a	34,06 a	615,00 a	5,60 a	62,56 b	14,60 a	1,52 a	47,20 a		
0-10	Convencional	0,78 b	13,46 a	316,00 b	5,72 a	90,71 a	15,80 a	1,60 a	33,47 b		
10-20	Pós braquiária	0,58 b	3,95 a	547,00 a	5,30 b	31,30 a	8,60 a	1,74 a	54,83 a		
10-20	Convencional	0,66 a	1,69 b	462,00 a	5,90 a	28,10 a	11,80 a	1,70 a	38,29 b		

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$). COS – Carbono do solo; Beta-G - Atividade da beta glucosidase; CBM - Carbono da biomassa microbiana; Ds - Densidade do solo; EA - Estabilidade de agregados.

Tabela 3. Valores dos escores SMAF calculados para cada indicador de qualidade do solo para as profundidades 0-10 cm e 20-40 cm.

		ESCORE SMAF POR INDICADOR								
Prof. (cm)	MANEJO	BIOLÓGICOS			QUÍMICOS			FÍSICOS		
		COS	Beta-G	CBM	pH	K	P	Ds	EA	
0-10	Pós braquiária	0,89 a	0,13 a	1,00 a	0,89 a	0,83 a	0,96 a	0,55 a	0,99 a	
0-10	Convencional	0,57 b	0,04 a	0,99 a	0,92 a	0,98 a	0,97 a	0,43 a	0,92 b	
10-20	Pós braquiária	0,33 b	0,03 a	1,00 a	0,74 b	0,52 a	0,60 b	0,28 a	1,00 a	
10-20	Convencional	0,43 a	0,02 a	0,80 a	0,96 a	0,50 a	0,90 a	0,32 a	0,97 a	

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$). COS – Carbono do solo; Beta-G - Atividade da beta glucosidase; CBM - Carbono da biomassa microbiana; Ds - Densidade do solo; EA - Estabilidade de agregados.

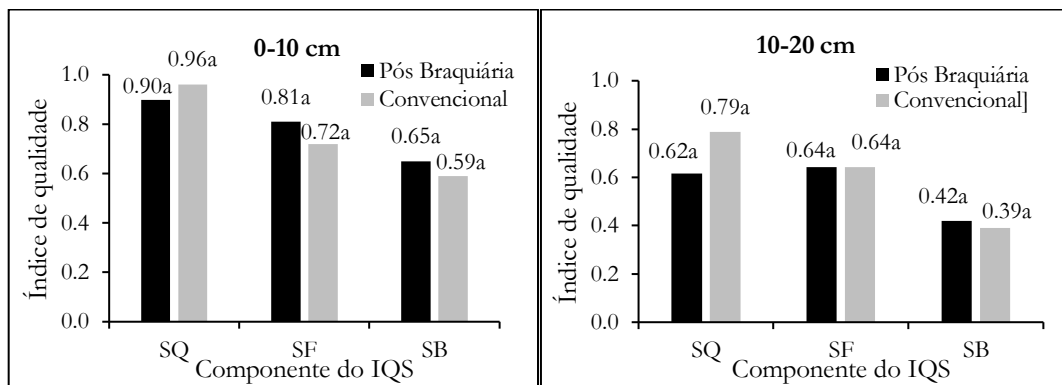


Figura 7. Valores de índice SMAF por atributo, para as camadas 0-10 cm e 10-20 cm. SQ: atributos químicos, SF: atributos físicos, SB: atributos biológicos. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

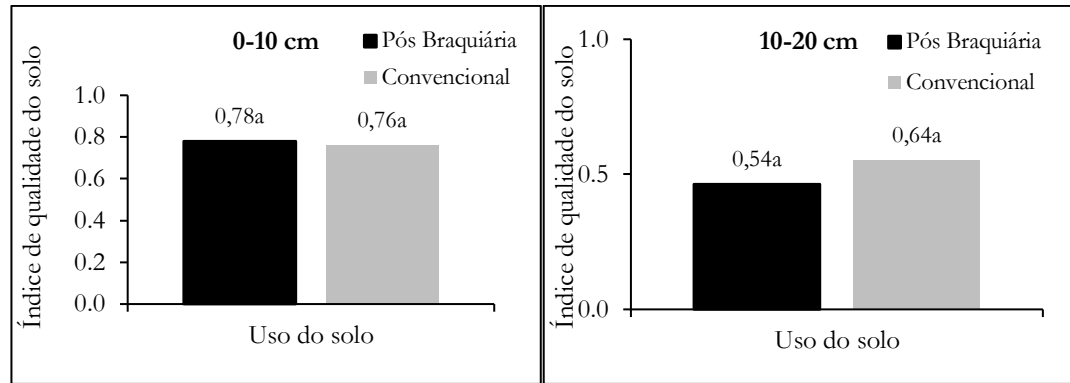


Figura 8. Valores de índice de qualidade do solo SMAF integrado, para as camadas 0-10 cm e 10-20 cm. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson e valores de p para os atributos do solo avaliados e produtividade.

	Escore Biológico	Indicadores Químicos	Indicadores Físicos	Indicadores Biológicos	IQS	Produtividade
Escore Estabilidade de Agregados	0,3109	-0,1946	-0,0703	0,3138	0,1631	0,4967
p	0,3819	0,5901	0,8470	0,3772	0,6525	0,1738
Escore CBM	0,3038	-0,3254	0,0435	0,3036	0,1782	0,3155
p	0,4267	0,3928	0,9115	0,4270	0,6465	0,4466
Escore pH	0,4137	0,5076	0,0629	0,4122	0,6594	-0,1685
p	0,2347	0,1342	0,8631	0,2365	*0,0381	0,6648
Escore P	0,1897	0,5557	-0,0568	0,1874	0,3674	0,0598
p	0,5997	0,0953	0,8762	0,6043	0,2963	0,8786
Escore Ds	-0,4210	-0,4398	0,9697	-0,4181	-0,0909	0,4766
p	0,2981	0,2755	*<,0001	0,3027	0,8305	0,2795
Escore BG	0,7733	0,1063	-0,1715	0,7738	0,5075	0,5580
p	*0,0145	0,7854	0,6591	0,0144	0,1631	0,1184
Escore K	-0,1520	0,7546	-0,7805	-0,1520	-0,4288	-0,4005
p	0,6750	*0,0117	*0,0077	0,6751	0,2163	0,2855
Escore químico	0,1298	0,9999	-0,6070	0,1286	0,0775	-0,4286
p	0,7290	<,0001	0,0628	0,7234	0,8315	0,2498
Escore físico	-0,2750	-0,6085	1,0000	-0,2744	0,2494	0,4089
p	0,4416	0,0619	<,0001	0,4429	0,4871	0,2745
Escore biológico	100000	0,1341	-0,2757	1,0000	0,8053	0,6475
p		0,7119	0,4407	<,0001	*0,0049	0,0594
Indicadores químicos	0,1341	100000	-0,6075	0,1329	0,0813	-0,4233
p	0,7119	0,0625		0,7144	0,8233	0,2562
Indicadores físicos	-0,2750	-0,6075	100000	-0,2750	0,2493	0,4119
p	0,4470	0,0625		0,4420	0,4873	0,2707
Indicadores biológicos	1,0000	0,1329	-0,2750	100000	0,8054	0,6495
p	<,001	0,7144	0,4420		0,0049	0,0584
IQS	0,8053	0,0813	0,2493	0,8054	100000	0,6403
p	*0,0049	0,8233	0,4873	*0,0049		0,0632
Produtividade	0,6475	-0,4233	0,4119	0,6495	0,6403	100000
p	0,0594	0,2562	0,2707	0,0584	0,0632	

* representa diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 5. Coeficientes de correlação de Pearson para os atributos do solo avaliados e produtividade.

	Escore biológico	Indicadores químicos	Indicadores físicos	Indicadores biológicos	IQS	Produtividade
COS	0,5366	-0,2419	0,1574	0,5400	0,5342	0,8439
p	0,1098	0,5006	0,6639	0,1071	0,1117	*0,0042
EA	0,3554	-0,8593	-0,1497	0,3596	0,1922	0,5087
p	0,3135	0,8134	0,6798	0,3073	0,5947	0,1619
CBM	0,4371	-0,5551	0,1917	0,4417	0,3212	0,8784
p	0,2394	0,1207	0,6211	0,2338	0,3992	*0,0041
Ph	0,3812	0,5446	-0,0474	0,3795	0,5589	-0,2821
p	0,2771	0,1035	0,8965	0,2794	0,093	0,462
Ph	0,3808	0,6185	-0,1740	0,3793	0,4880	0,2853
p	0,2776	0,0566	0,6305	0,2796	0,1524	0,4566
Ds	0,4699	0,4106	-0,9692	0,4659	0,1274	-0,4882
p	0,24	0,3122	*<0,0001	0,2446	0,7636	0,2663
BG	0,7415	-0,2299	-0,1196	0,7424	0,4672	0,6586
p	*0,0222	0,9532	0,7592	0,022	0,2047	0,0537
K	-0,1930	0,7183	-0,8168	-0,1941	-0,5116	-0,5894
p	0,5932	*0,0193	*0,0039	0,591	0,1306	0,0949
Escore COS	0,5624	-0,3705	0,2794	0,5653	0,5993	0,91843
p	0,096	0,2919	0,4342	0,0885	0,0671	*0,0005

* representa diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

3.1.2 Balanço hídrico

Os balanços hídricos das áreas cultivadas com milho segunda safra em solo lavrado (manejo convencional), sem braquiária, e em solo não lavrado na presença de braquiária encontram-se nas figuras 10 e 11, nas quais foram apresetados os valores de excedente e déficit hídrico para decêndios durante o período experimental.

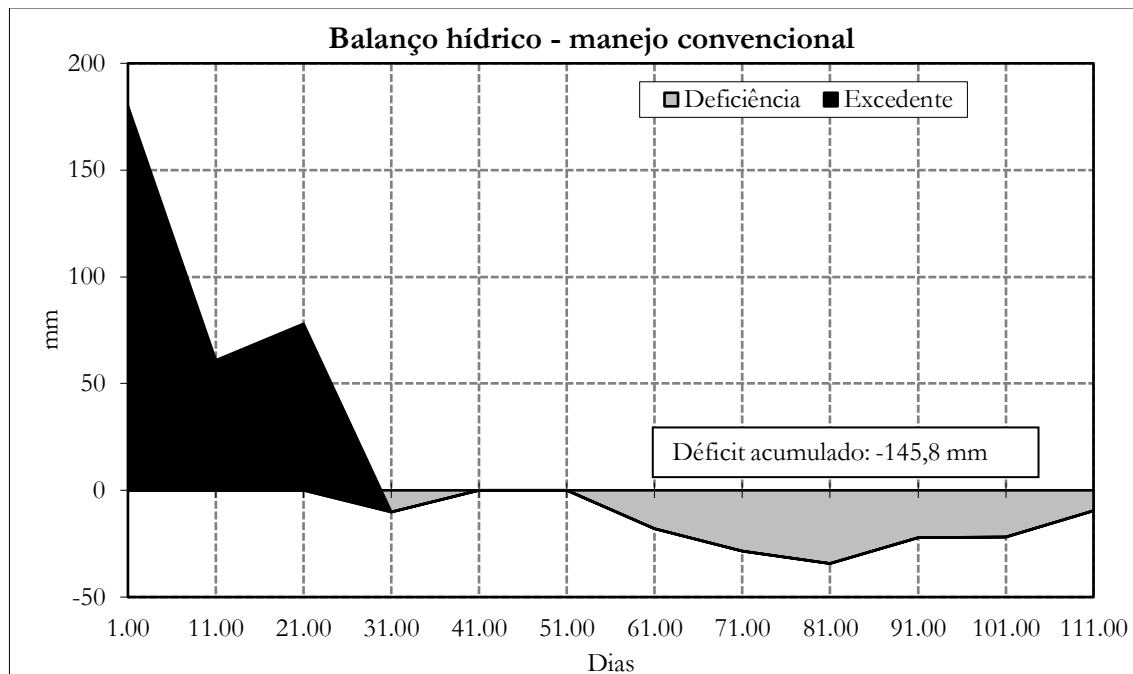


Figura 9. Balanço hídrico da área do milho safrinha cultivado após revolvimento do solo, sem a presença de resíduos de braquiária.

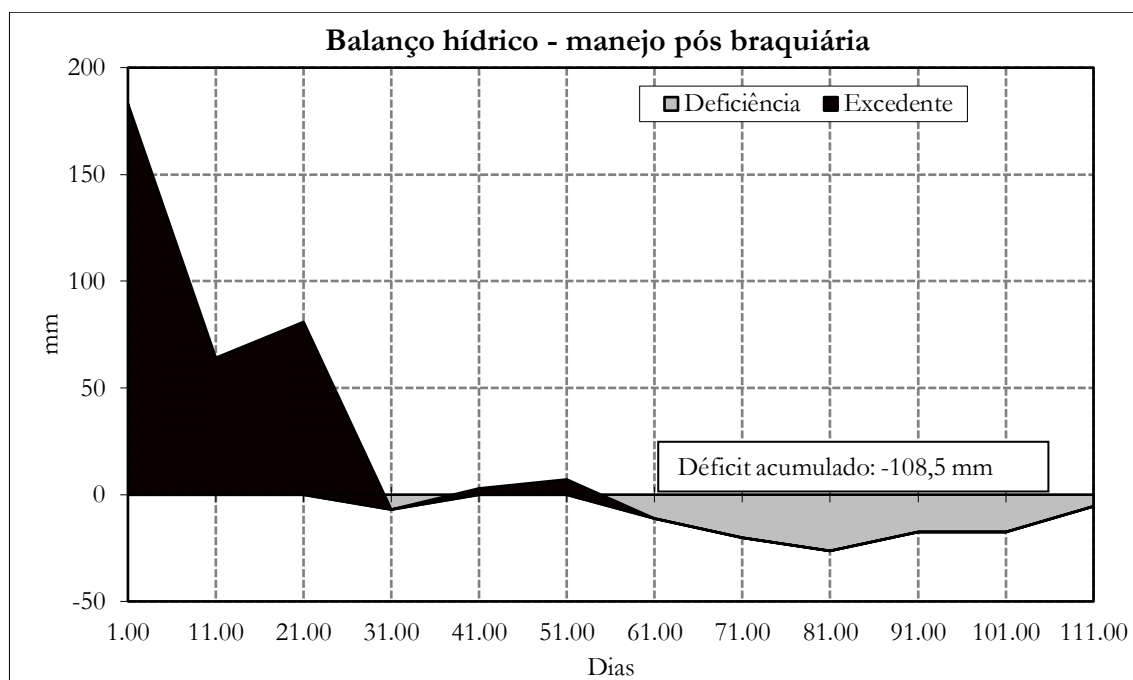


Figura 10. Balanço hídrico da área do milho safrinha cultivado sem lavração do solo, na presença de resíduos de braquiária.

3.1.3 Material vegetal – raízes

3.1.3.1 Linha de semeadura do milho

Os resultados de massa seca, comprimento, área superficial e volume de raízes coletados nos pontos na linha de semeadura do milho (Ponto P1 da figura 4) para as diferentes profundidades encontram-se expressos nas tabelas a seguir. Nelas pode-se observar que para a profundidade de 0,2 m houve diferença estatística entre os manejos quanto à massa, área superficial e volume, sendo que o manejo após braquiária proporcionou maiores valores para essas medidas. Contudo, para medida de comprimento não se observou diferença significativa entre os dois manejos.

Para a profundidade de 0,2 a 0,4 m, não foi obtida diferença entre as medidas de desenvolvimento radicular para os dois manejos. Na profundidade de 0,4 a 0,6 m foram registrados maiores valores de massa seca, comprimento e área superficial para as medidas relativas ao manejo convencional, entretanto, para o volume radicular não foi observada diferença significativa.

Tabela 6. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha de semeadura milho, na profundidade de 0-20 cm.

Manejo	Massa seca (g)	Comprimento (cm)	Área Superficial (cm ²)	Volume (cm ³)
Pós braquiária	0,96a	1.107,42a	240,11a	4,21a
Convencional	0,76b	772,54a	152,76b	2,46b

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 7. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha de semeadura do milho, na profundidade de 20-40 cm.

Manejo	Massa seca (g)	Comprimento (cm)	Área Superficial (cm ²)	Volume (cm ³)
Pós braquiária	0,08a	111,32a	23,84a	0,42a
Convencional	0,05a	98,41a	19,84a	0,32a

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 8. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha de semeadura do milho, na profundidade de 40-60 cm.

Manejo	Massa seca (g)	Comprimento (cm)	Área Superficial (cm ²)	Volume (cm ³)
Pós braquiária	0,02 b	71,71 b	11,66 b	0,16 a
Convencional	0,03 a	124,64 a	20,79 a	0,28 a

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

3.1.3.2 Linha a 11,25 cm da linha de semeadura do milho

Para os pontos de coleta localizados na linha distante 11,25 cm da linha de semeadura de milho (ponto P2 da figura 4) não foram observadas diferenças significativas para os valores de massa seca, comprimento, área superficial e volume entre os dois manejos, conforme expresso nas tabelas abaixo.

Tabela 9. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha distante 11,25 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 0-20 cm.

Manejo	Massa seca (g)	Comprimento (cm)	Área Superficial (cm ²)	Volume (cm ³)
Pós braquiária	0,08a	235,43a	33,29a	0,38a
Convencional	0,06a	255,72a	30,63a	0,30a

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 10. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha distante 11,25 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 20-40 cm.

Manejo	Massa seca (g)	Comprimento (cm)	Área Superficial (cm ²)	Volume (cm ³)
Pós braquiária	0,05a	97,49a	5,61a	0,59a
Convencional	0,02a	93,87a	4,19a	0,44a

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 11. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radicular relativos à linha distante 11,25 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 40-60 cm.

Manejo	Massa seca (g)	Comprimento (cm)	Área Superficial (cm ²)	Volume (cm ³)
Pós braquiária	0,07a	121,96a	22,84a	0,35a
Convencional	0,02a	54,11a	8,46a	0,11a

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

3.1.3.3 Linha a 22,50 cm da linha de semeadura do milho

Para os pontos de coleta localizados na linha distante 22,50 cm da linha de semeadura de milho (ponto P3 da figura 4) também não foram observadas diferenças significativas para os valores de massa seca, comprimento, área superficial e volume entre os dois manejos, conforme expresso nas tabelas abaixo.

Tabela 12. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radiculares relativos à linha distante 22,50 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 0-20 cm.

Manejo	Massa seca (g)	Comprimento (cm)	Área Superficial (cm ²)	Volume (cm ³)
Pós braquiária	0,10a	314,73a	38,69a	0,39a
Convencional	0,10a	301,01a	29,30a	0,23a

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 13. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radiculares relativos à linha distante 22,50 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 20-40 cm.

Manejo	Massa seca (g)	Comprimento (cm)	Área Superficial (cm ²)	Volume (cm ³)
Pós braquiária	0,03a	47,63a	8,59a	0,13a
Convencional	0,03a	85,40a	12,77a	0,16a

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 14. Massa seca, comprimento, área superficial e volume radiculares relativos à linha distante 22,50 cm da linha de semeadura do milho, na profundidade de 40-60 cm.

Manejo	Massa seca (g)	Comprimento (cm)	Área Superficial (cm ²)	Volume (cm ³)
Pós braquiária	0,03a	56,62a	9,13a	0,12a
Convencional	0,02a	61,12a	9,24a	0,11a

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

3.1.4 Material vegetal – parte aérea

A biometria das espigas diferiu para número de fileiras de grãos por espiga e número de grãos por fileira, em que ambas foram maiores para o manejo após braquiária. A porcentagem de espigas abortadas, por sua vez, foi significativamente maior para o manejo convencional e o peso de mil grãos foi maior para o manejo após braquiária, conforme explicitado nas figuras 12 e 13.

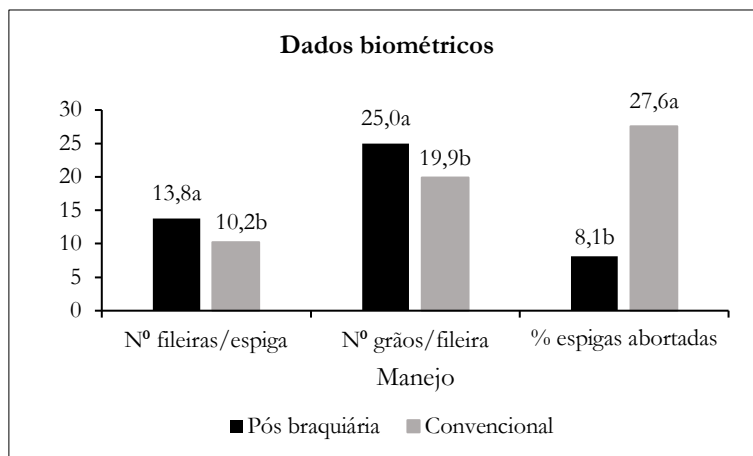


Figura 11. Número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira e porcentagem de espigas nos dois manejos. B: sem lavração com braquiária e C: com lavração e sem braquiária. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

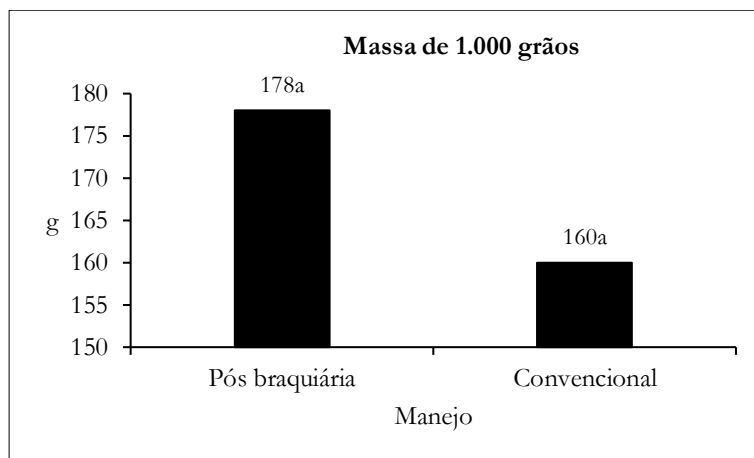


Figura 12. Massa de mil grãos para cada sistema de manejo: B: sem lavração com braquiária e C: com lavração e sem braquiária. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Houve diferença de produtividade de grãos em razão do manejo, de forma que o manejo pós braquiária foi mais produtivo. Para o mesmo manejo houve maior produção de biomassa seca da parte aérea em relação ao manejo convencional. Não houve diferença significativa entre os manejos para índice de colheita. Esses resultados estão expressos na figura 14.

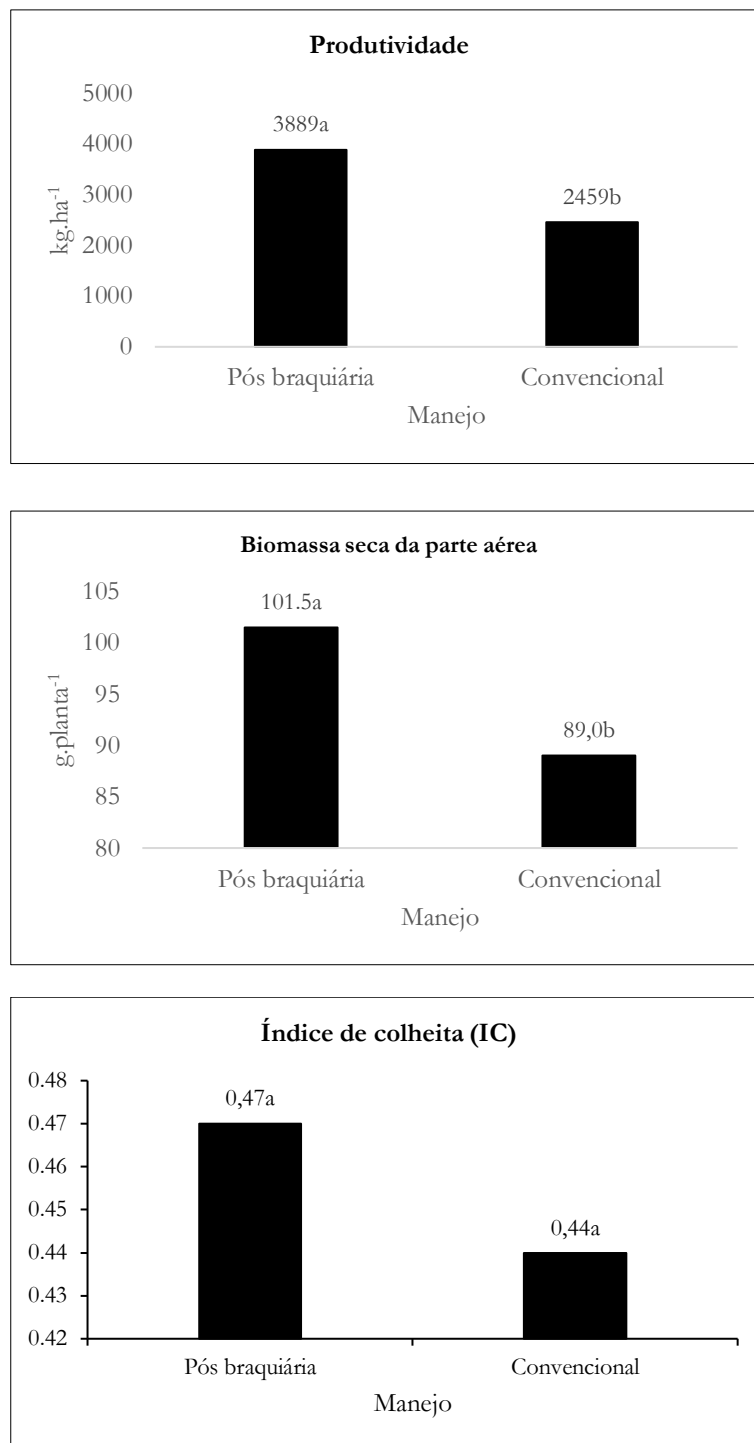


Figura 13. Produtividade (kg.ha⁻¹), biomassa seca da parte aérea (gramas/planta) e índice de colheita (IC) nos dois manejos avaliados. B: sem lavração com braquiária e C: com lavração e sem braquiária. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

3.2 Experimento com soja

3.2.1 Solo

Os resultados dos valores dos indicadores de qualidade de solo, índices SMAF calculados para cada indicador e índices SMAF por atributo (físico, químico e biológico) e geral (IQS - índice de qualidade de solo) encontram-se nas tabelas e figuras abaixo, para as diferentes profundidades amostrais estudadas.

3.2.1.1 Solo franco arenoso (12% de argila)

Tabela 15. Valores dos indicadores de qualidade do solo para as profundidades 0-10 cm e 10-20 cm.

		INDICADORES DE QUALIDADE								
Profundidade e(cm)	Manejo	BIOLÓGICOS			QUÍMICOS			FÍSICOS		
		COS	Beta-G	CBM	pH	K	P	Ds	EA	
		%	mg/kg/h	mg/Kg	-	mg/dm ³		Mg/m ³	%	
0-10	Pós <i>U. brizantha</i>	0,94 a	31,79 a	290,00 a	6,12 a	33,63 a	26,8 a	1,63 a	54,18 a	
0-10	Pós <i>U. ruziziensis</i>	0,88 a	29,44 a	280,00 a	5,92 a	37,54 a	23,2 a	1,68 a	58,06 a	
10-20	Pós <i>U. brizantha</i>	0,68 a	7,90 a	250,00 a	5,46 a	22,68 a	17,5 a	1,67 a	50,01 a	
10-20	Pós <i>U. ruziziensis</i>	0,70 a	3,38 a	270,00 a	5,56 a	32,06 a	15,4 a	1,69 a	57,84 a	

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$). COS - Carbono do solo; Beta-G - Atividade da beta glucosidase; CBM - Carbono da biomassa microbiana; Ds - Densidade do solo; EA - Estabilidade de agregado.

Tabela 16. Valores dos escores SMAF calculados para cada indicador de qualidade do solo para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

		ESCORE SMAF POR INDICADOR								
Profundidade (cm)	Manejo	BIOLÓGICOS			QUÍMICOS			FÍSICOS		
		COS	Beta-G	CBM	pH	K	P	Ds	EA	
0-10	Pós <i>U. brizantha</i>	0,76 a	0,10 a	0,99 a	0,98 a	0,58 a	1,00 a	0,38 a	0,99 a	
0-10	Pós <i>U. ruziziensis</i>	0,70 a	0,09 a	0,99 a	0,97 a	0,61 a	1,00 a	0,33 a	1,00 a	
10-20	Pós <i>U. brizantha</i>	0,44 a	0,03 a	1,00 a	0,86 a	0,43 a	0,97 a	0,33 a	0,99 a	
10-20	Pós <i>U. ruziziensis</i>	0,48 a	0,02 a	1,00 a	0,88 a	0,52 a	0,93 a	0,33 a	1,00 a	

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$). COS - Carbono do solo; Beta-G - Atividade da beta glucosidase; CBM - Carbono da biomassa microbiana; Ds - Densidade do solo; EA - Estabilidade de agregado.

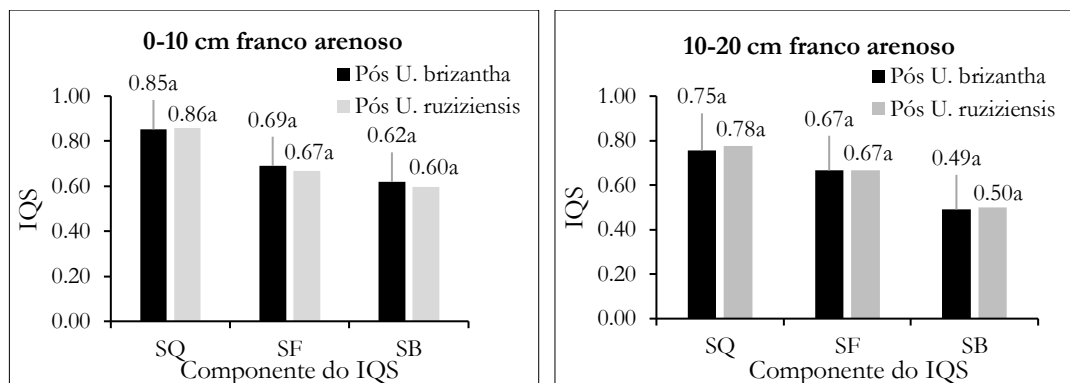


Figura 14. Valores de índice SMAF por atributo para as camadas de -10 e 10-20 cm. SQ: atributos químicos, SF: atributos físicos, SB: atributos biológicos. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

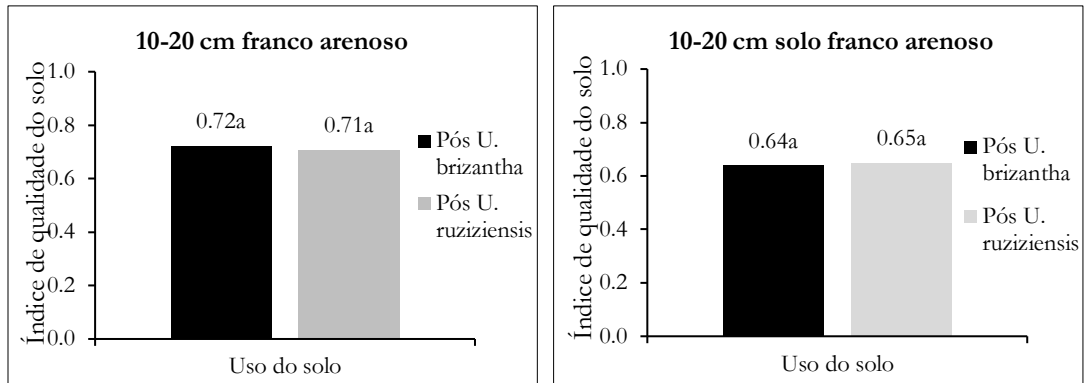


Figura 15. Valores de índice de qualidade do solo SMAF integrado para as camadas 0-10 e 10-20 cm. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

3.2.1.2 Solo franco argilo-arenoso (25% de argila)

Tabela 17. Valores dos indicadores de qualidade do solo para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

		INDICADORES DE QUALIDADE							
Profundidade (cm)	Manejo	BIOLÓGICOS			QUÍMICOS			FÍSICOS	
		COS	Beta-G	CBM	pH	K	P	Ds	EA
		%	mg/kg/h	mg/kg	-	mg/dm ³		Mg/m ³	%
0-10	Pós U. brizantha	1,22 a	36,16 a	334,00 a	6,16 a	44,57 a	43,80 a	1,57 a	77,89 a
0-10	Pós U. ruziziensis	1,00 a	37,10 a	254,00 a	5,86 a	44,57 a	26,60 a	1,65 a	78,51 a
10-20	Pós U. brizantha	0,81 a	8,96 a	292,00 a	5,64 a	22,68 a	20,00 a	1,63 a	76,21 a
10-20	Pós U. ruziziensis	0,84 a	7,78 a	214,00 a	5,78 a	33,63 a	19,00 a	1,74 a	68,58 b

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$). COS - Carbono do solo; Beta-G - Atividade da beta glucosidase; CBM - Carbono da biomassa microbiana; Ds - Densidade do solo; EA - Estabilidade de agregado.

Tabela 18. Valores dos escores SMAF calculados para cada indicador de qualidade do solo para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

		ESCORE SMAF POR INDICADOR							
Profundidade (cm)	MANEJO	BIOLÓGICOS			QUÍMICOS			FÍSICOS	
		COS	Beta-G	CBM	pH	K	P	Ds	EA
0-10	Pós U. brizantha	0,90 a	0,15 a	1,00 a	0,93 a	0,69 a	1,00 a	0,46 a	1,00 a
0-10	Pós U. ruziziensis	0,78 a	0,17 a	0,96 a	0,91 a	0,69 a	0,96 a	0,35 a	1,00 a
10-20	Pós U. brizantha	0,60 a	0,03 a	1,00 a	0,93 a	0,42 a	0,99 a	0,41 a	1,00 a
10-20	Pós U. ruziziensis	0,63 a	0,03 a	0,97 a	0,95 a	0,56 a	0,97 a	0,29 a	1,00 a

Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$). COS - Carbono do solo; Beta-G - Atividade da beta glucosidase; CBM - Carbono da biomassa microbiana; Ds - Densidade do solo; EA - Estabilidade dos agregados.

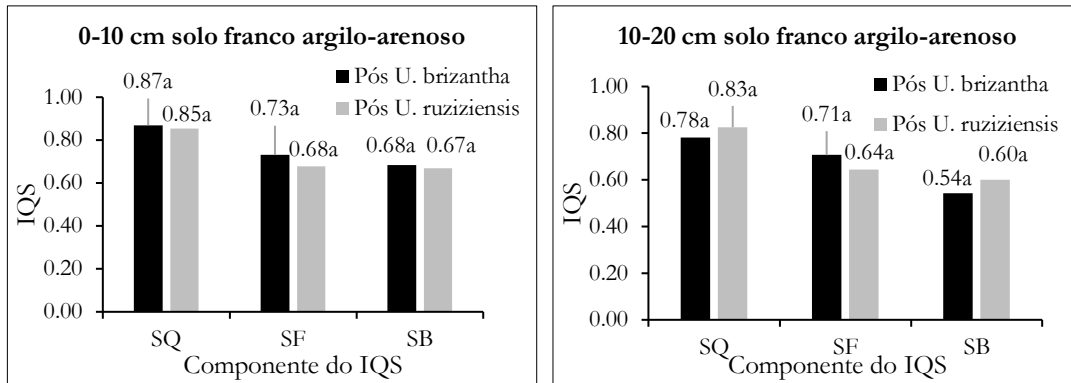


Figura 16. Valores de índice SMAF por atributo para as camadas 0-10 e 10-20 cm. SQ: atributos químicos, SF: atributos físicos, SB: atributos biológicos. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

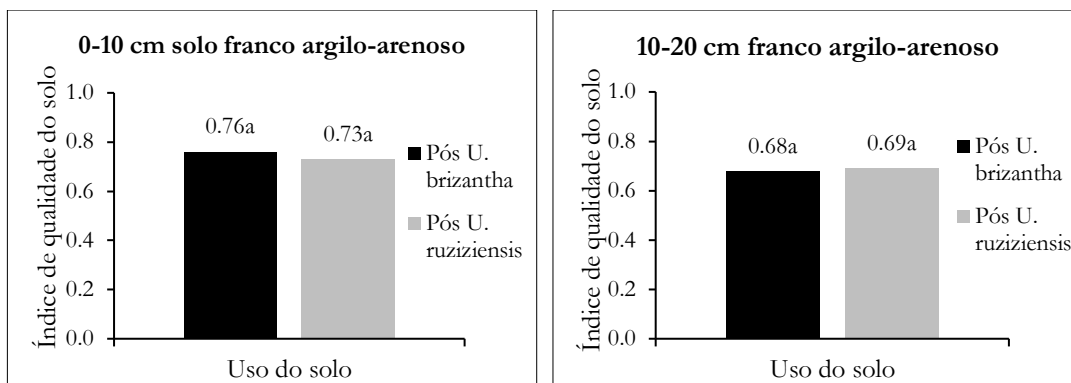


Figura 17. Valores de índice de qualidade do solo SMAF integrado para as camadas de 0-10 e 10-20 cm. Letras diferentes representam diferença estatística pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

3.2.2 Material vegetal - Parte aérea

3.2.2.1 Área com solo franco arenoso (12% de argila)

O número de vagens por planta foi maior para o manejo pós *Urochloa brizantha* em comparação ao manejo pós *Urochloa ruziziensis*, sem diferença entre os manejos para número de grãos por vagem. Com relação à biomassa total e produtividade de grãos, ambos foram maiores no cultivo sobre a *Urochloa brizantha*. Esses resultados encontram-se descritos na figura 23.

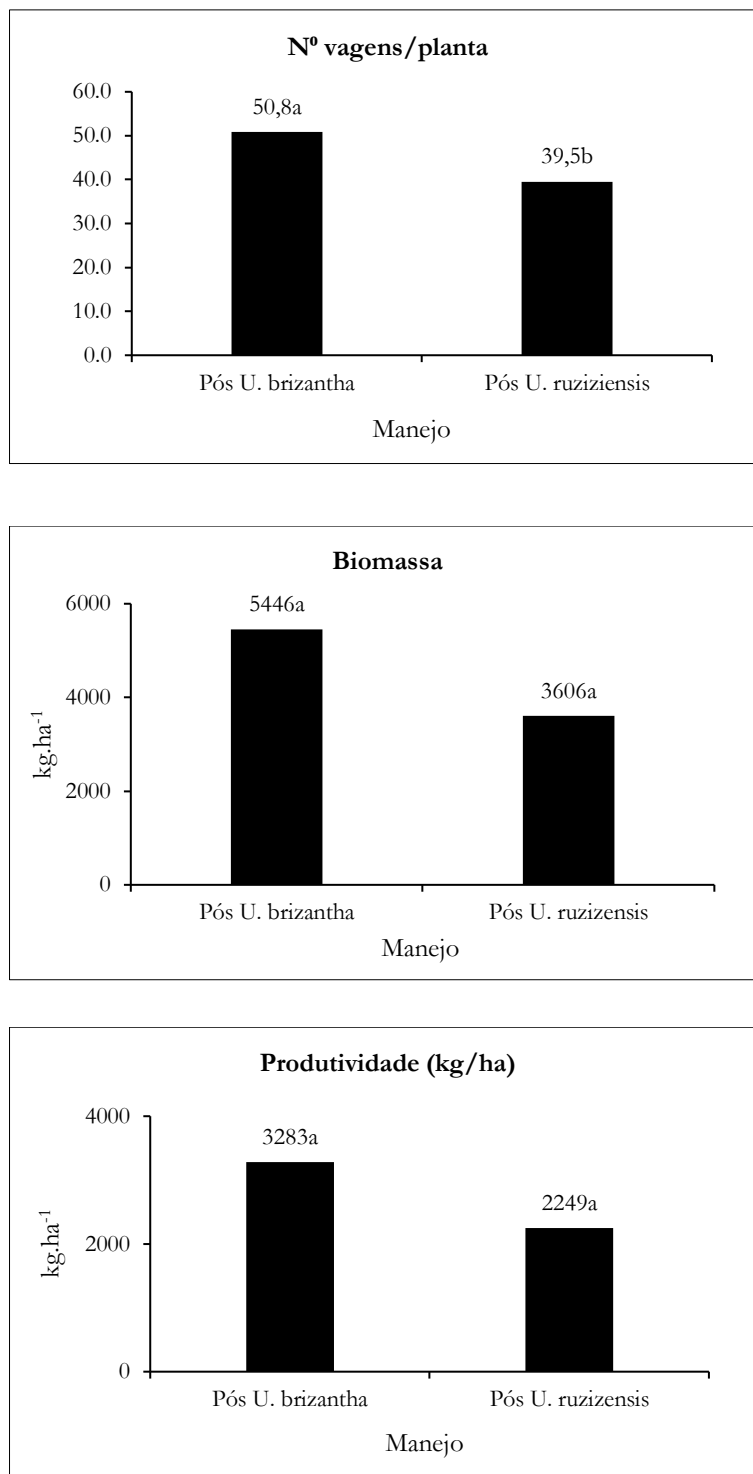


Figura 18. Número de vagens por planta, biomassa total (kg.ha⁻¹) e produtividade de soja (kg.ha⁻¹) no cultivo após *Urochloa brizantha* e após *Urochloa ruziziensis*. Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

3.2.2.2 Área com solo franco argilo-arenoso (25% de argila)

Houve diferença estatística significativa para número de vagens por planta entre os dois manejos, com o manejo após *Urochloa brizantha* registrando valores superiores ao manejo após *Urochloa ruziziensis*. Não foi observada diferença entre manejos com relação ao número de grãos por vagem, contudo, para biomassa total e produtividade de

grãos, o cultivo após *Urochloa brizantha* apresentou maiores valores em comparação ao cultivo após *Urochloa ruziziensis*, conforme figura 24 abaixo.

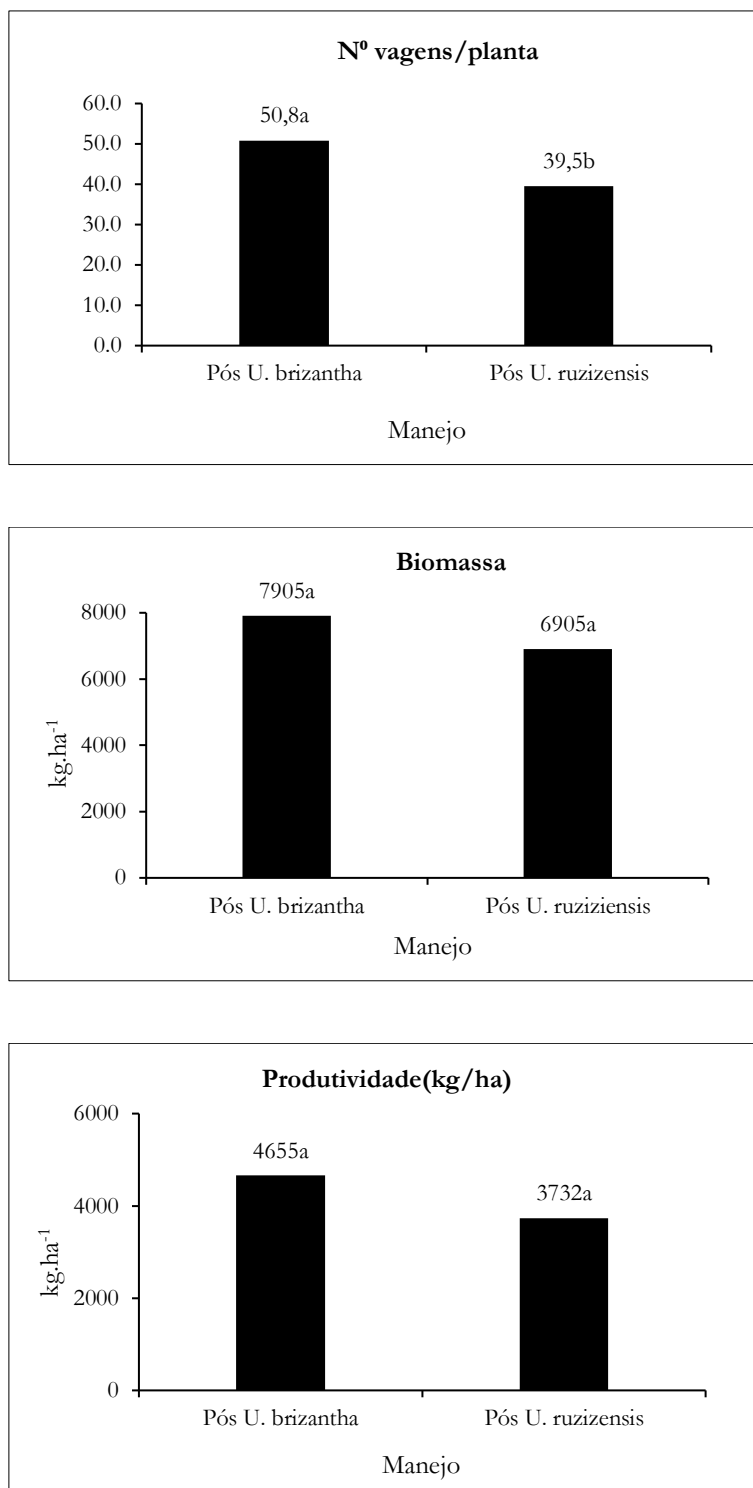


Figura 19. Número de vagens por planta, biomassa total (kg.ha⁻¹) e produtividade de soja (kg.ha⁻¹) após o cultivo da *Urochloa brizantha* (B) e após a *Urochloa ruziziensis* (R). Letras diferentes representam diferença pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

4. DISCUSSÃO

4.1 Experimento com milho safrinha

4.1.1 Atributos biológicos de qualidade do solo

Atributos biológicos de qualidade de solo merecem destaque pela sua comprovada sensibilidade em traduzir mudanças de manejo a curto prazo em alterações na qualidade do solo (Nunes et al., 2020). Essa afirmação da literatura é constatada no presente trabalho, em que para a profundidade de zero a dez centímetros, com relação aos atributos biológicos, houve diferenças entre os valores para carbono orgânico do solo (COS) e carbono na biomassa microbiana (CBM), não havendo diferença para os valores de atividade da enzima beta-glicosidase. Os índices SMAF foram sensíveis o suficiente para expressar essas diferenças.

Mudanças na dinâmica de carbono orgânico do solo são altamente correlacionadas ao uso da terra. Diversos trabalhos apontam aumentos dos estoques de carbono e nitrogênio na biomassa microbiana relacionados à adoção de práticas conservacionistas, como plantio direto (Nicoloso et al., 2021; Babujia et al., 2010). Somado a isso, uma série de estudos apontam reduções nos valores de COS da ordem de 30 a 80%, quando florestas ou pastagens são convertidas em áreas agrícolas (Wiesmeier et al., 2019). Sistemas agrícolas envolvendo rotação de culturas geralmente resultam em maiores teores de COS que sistemas baseados em monocultivo, dado que os resíduos culturais são precursores do COS (Jarecki and Lal, 2003). Sendo assim, o valor de carbono orgânico do solo mais elevado para o manejo pós braquiária pode ser explicado pelo aporte de carbono fornecido pelas raízes da forrageira tropical, que pode produzir de 5 a 12 vezes mais biomassa no sistema radicular que na parte aérea (Razuk, 2002).

O valor de carbono na biomassa microbiana, por sua vez, maior para o manejo pós braquiária, é uma consequência do maior teor de carbono orgânico no sistema. Com maior aporte de carbono no solo, houve um estímulo ao crescimento microbiano, traduzido em maiores valores de carbono na biomassa microbiana (Cardoso & Andreote, 2016). Além disso, é sabido que operações de cultivo, como aquelas realizadas no preparo de solo em sistemas de plantio convencional, são responsáveis pelos decréscimos dos teores de COS em solos sob esse tipo de manejo (Dalal and Mayer, 1986), dada a exposição da matéria orgânica ao oxigênio, resultando em sua queima pela respiração aeróbica dos microrganismos do solo. O plantio convencional reduz os teores superficiais de COS e carbono na biomassa microbiana quando comparados a sistemas de semadura direta (Doran and Smith, 1987). Dessa forma, como destacado por Nicoloso et al., 2021, os aumentos nos teores de carbono no solo para sistemas conservacionistas se dão tanto pelo maior aporte de matéria orgânica promovida pela adoção de práticas como a manutenção de palhada, rotação de culturas e não revolvimento do solo quanto pela redução das perdas de carbono antes observadas nos sistemas convencionais.

Além disso, no presente trabalho observou-se correlação positiva entre produtividade de milho e teor de carbono orgânico do solo, e entre produtividade e carbono na biomassa microbiana. Esses resultados estão de acordo com a literatura (Lal, 2020; Nunes et al., 2018; Wulanningtyas et al., 2021) que além de retratar o impacto da matéria orgânica do solo na produtividade das culturas, relatam impacto do carbono orgânico no solo com a qualidade do mesmo, como também foi observado no presente trabalho (Lal, 2016).

Na profundidade de dez a vinte centímetros, o padrão do teor de carbono inverteu-se, havendo maior teor de carbono orgânico no solo para o manejo convencional. Essa observação pode ser explicada pelas operações de cultivo (arações, gradagens), que, ao revolverem o solo, também acabam por incorporar os resíduos orgânicos superficiais no perfil do solo, dentro dos limites de sua profundidade de trabalho. Com essa incorporação, os teores de carbono subsuperficiais são elevados em relação à manejos sem revolvimento, como o manejo pós braquiária. O

índice SMAF foi sensível o suficiente para detectar essa diferença entre os valores de COS (Angers & Eriksen-Hamel, 2008; Tian et al., 2010).

4.1.2 Atributos químicos de qualidade do solo

Para a profundidade de zero a dez centímetros, a diferença observada entre os teores de potássio não foi suficiente para que houvesse alterações significativas no índice relativo a esse nutriente. Para os demais, não houve diferenças significativas tanto para os indicadores quanto para os índices.

Na profundidade de dez a vinte, por sua vez, observou-se diferença entre os valores de pH, bem como para os índices SMAF relativos a esse indicador. Essa diferença pode ser explicada também pelas operações de preparo de solo, que incorporam o calcário à profundidade de trabalho e acabam por corrigir acidez do solo mais profundamente que a calagem superficial. No manejo pós braquiária a prática da calagem foi realizada de forma superficial, e sabendo-se que o calcário é um corretivo com baixa solubilidade e mobilidade no perfil de solo, não houve correção de acidez efetiva para profundidades maiores que dez centímetros (Dick, 1983; Ismail et al., 1994).

4.1.3 Atributos físicos de qualidade do solo

Com relação aos atributos físicos de qualidade do solo, para a profundidade de zero a dez centímetros, houve diferença estatística significativa para os valores de estabilidade dos agregados (EA), bem como para seu índice SMAF correspondente. Para densidade do solo (Ds), não foi observada diferença significativa entre os valores tanto do indicador quanto do índice SMAF.

Aumento na diversidade de culturas no sistema de produção é apontado como um fator de aumento no estoque de carbono orgânico do solo em função do aumento da deposição de biomassa radicular, diversidade microbiana e estabilidade dos agregados (Tiemann et al., 2015). O maior teor de carbono orgânico do solo (COS), e consequentemente, maior teor de substâncias orgânicas responsáveis pela agregação do solo (como a glomalina), explicam o maior valor de estabilidade de agregados para o solo sob manejo pós braquiária. Essas substâncias atuam como agente cimentante entre as partículas do solo, aumentando seu grau de agregação, bem como sua estabilidade (Cardoso & Andreote, 2016; Vasconcellos et al., 2013). Além disso, as operações de cultivo contribuem para o decréscimo na estabilidade dos agregados observada no manejo convencional (Wiesmeier et al., 2019; Tisdall and Oades, 1980). Valores mais elevados de estabilidade de agregados implicam ainda em maior resistência do solo à erosão.

Com relação à profundidade de dez a vinte centímetros, foi observado maior valor de estabilidade dos agregados para o manejo pós braquiária, o que pode ser explicado pelo mesmo raciocínio explanado acima para a estabilidade dos agregados na camada de 0-10 cm. Contudo, o índice SMAF não foi sensível o suficiente para detectar essa diferença.

4.1.4 Índice de qualidade do solo - IQS

Com relação ao o índice geral IQS, observou-se que o solo sob manejo pós braquiária performou a 78% de seu potencial máximo, enquanto o solo sob manejo convencional a 76%. Mesmo não sendo observada diferença estatística para o índice de qualidade, olhando para os resultados de produtividade, pode-se notar a importância da inclusão da braquiária nos sistemas conservacionistas, como cultura associada ao aumento da qualidade do solo, em especial de seus atributos biológicos. Além disso, pode-se inferir que a ferramenta SMAF foi adequada para identificar alterações na qualidade do solo, principalmente em seus atributos biológicos, em função de mudanças de manejo.

A grande capacidade da braquiária em adicionar carbono ao solo, devido a elevada produção de biomassa de raízes (Razuk, 2002), aumenta a superfície da rizosfera, definida por Hiltner (1904) como a interface das raízes das plantas com o solo ou a área ao redor das raízes das plantas habitada pela comunidade microbiana, influenciada pelos exsudatos radiculares (Cardoso & Andreote, 2016). Dessa forma, a planta “molda” o perfil da população microbiana na rizosfera, devido aos exsudatos específicos que libera, resultando em uma população microbiana aumentada, porém menos diversa que no restante do solo. Essa microbiota está relacionada à fenômenos como supressão de doenças, visto que o aumento do seu crescimento origina uma microbiota estável, impedindo uma multiplicação mais intensiva de patógenos (Maron et al., 2011; Mendes et al., 2011). Após a dessecação da braquiária no sistema, seus restos culturais de raízes e parte aérea são fonte de carbono ao solo, aumentando seus níveis de matéria orgânica, que é composta por resíduos em diferentes estágios de decomposição, microrganismos e restos vegetais não decompostos (Cardoso & Andreote, 2016). Além de atuar na supressão de doenças e pragas (como os nematoides), a matéria orgânica no solo está relacionada a maior agregação entre suas partículas, conforme citado acima, maior capacidade de retenção de água pelo solo, além de ser responsável por incrementos na capacidade de troca de cátions em solos tropicais (Reeves, 1997).

4.1.5 Material Vegetal: raízes

Os maiores valores de massa radicular, área superficial e volume para o manejo pós braquiária em relação ao manejo convencional no ponto P1 0-20 cm podem ser justificados pela maior umidade do solo na camada mais superficial naquele sistema, devido à menor evaporação de água do solo provocada pela temperatura mais baixa do solo sob palhada. Essa observação corrobora com os resultados obtidos por Dwyer et al. (1996), que observaram sistema radicular mais superficial para milho cultivado sob sistema de semeadura direta que para milho cultivado sob sistemas convencionas, dado a maior umidade do solo sob plantio direto nos primeiros 50 cm. Dados semelhantes também foram obtidos por Qin et al. (2006), em que a densidade do comprimento radicular foi maior nos tratamentos sob plantio direto que naqueles sob plantio convencional para uma profundidade de 5 cm, embora esse indicador tenha sido maior para plantio convencional considerando-se todo o perfil do solo.

Os maiores valores de massa seca, comprimento e área superficial radiculares observados para o ponto P1 na profundidade de 40-60 cm para o manejo convencional sugerem uma resposta da planta ao estresse hídrico mais acentuado que aquele observado para o manejo pós braquiária. Esse aprofundamento do sistema radicular é um mecanismo de proteção da planta contra a seca (Souza et al., 2016), o que está de acordo com o aumento na massa radicular abaixo de 60 cm após período de estresse hídrico severo observado por Kondo et al. (2000).

4.1.6 Material vegetal: parte aérea em razão do balanço hídrico e IQS

Foi observado maior número de fileiras por espiga e maior número de grãos por fileira para o milho cultivado no manejo pós braquiária. O menor número de espigas abortadas no manejo pós braquiária pode ser explicado pelo menor déficit hídrico observado sob esse manejo. Esse déficit foi registrado quando a cultura se encontrava na fase de pendramento, período crítico de necessidade hídrica da mesma (Bergamaschi et al., 2004), como pode ser observado nas figuras 10 e 11, cerca de 60 dias após a semeadura. Dessa forma, a forte deficiência hídrica sofrida pelo milho no manejo convencional explica o elevado índice de abortamento de espigas nesse manejo.

Houve maior produtividade de grãos e de biomassa seca de parte aérea para o milho no manejo pós braquiária, associadas a diferença no déficit hídrico e qualidade do solo entre os dois tratamentos. Foi observado menor valor de déficit hídrico para o manejo pós braquiária em relação ao manejo convencional, -105,8 mm e -145,8 mm,

respectivamente. Essa diferença pode ser explicada pela presença de camada de palha que recobria 100% da superfície do solo no milho manejado após a gramínea frente ao solo descoberto do manejo convencional. A presença de cobertura morta sobre o solo diminui a incidência de raios solares sobre o mesmo, diminuindo sua temperatura superficial, reduzindo assim a evaporação de água armazenada no solo, e conseqüentemente, a evapotranspiração (Andrade et al., 2002). Essa redução na evapotranspiração também justifica o maior valor de excedente hídrico registrado para o manejo pós braquiária.

A diferença de produtividade do milho entre os manejos foi de 1430 kg/ha, enquanto a diferença entre os valores de déficit hídrico foi de 40 mm. O valor do quociente dessas diferenças é de 35,7 kg/ha/mm, ou seja, a cada déficit hídrico a mais em Litro/m² (mm) produziu 35,7 kg a menos de milho/ha. Decréscimos de 17,7 kg/ha/mm (Ortegui et al., 1994), 31,8 kg/ha/mm (Farré et al., 2006) e 9,1 kg/ha/mm (Karam, 2003) são relatados em trabalhos avaliando estresse hídrico na cultura do milho. Dessa forma, pode-se sugerir que a redução na produtividade do milho no presente trabalho pode estar associada a outros fatores além do déficit hídrico, como a qualidade do solo, dado que os valores de redução de produtividade por mm de déficit observados são superiores aos relatados na literatura.

Somado a isso, o maior índice de carbono orgânico no solo e carbono na biomassa microbiana de 0 a 10 centímetros observado para o manejo pós braquiária também contribui para os maiores números de fileiras e grãos por fileira, menores taxas de abortamento de espigas e conseqüentemente, maior produtividade do milho nesse manejo, em relação ao milho cultivado de forma convencional.

Dentre os indicadores que compõem o IQS, houve diferença para carbono orgânico no solo, carbono na biomassa microbiana e estabilidade dos agregados, com incrementos desses valores no solo manejado após braquiária. Maiores valores de carbono orgânico no solo contribuem para aumento da capacidade de troca catiônica do mesmo, o que aumenta a capacidade do solo em reter e disponibilizar nutrientes para as plantas (Brady & Weil, 2009), e ainda aumenta os níveis de retenção de água pelo mesmo. Valores mais elevados de carbono na biomassa microbiana revelam maior população microbiana no solo sob manejo integrado, o que pode ser relacionado a uma maior resiliência do solo, que é a sua capacidade de retornar a um estado inicial após sofrer uma perturbação (Vezzani & Mielniczuk, 2009; Elke & Andreote, 2016). Maiores teores de carbono orgânico resultam em melhor estabilidade dos agregados do solo, indicando menor susceptibilidade do mesmo à erosão (Le Bissonais, 1996).

4.2 Experimento com soja

4.2.1 Índice de qualidade do solo – IQS

Não foram observadas diferenças significativas entre valores dos indicadores e índices SMAF para as diferentes espécies de braquiária estudadas e diferentes manchas de solo, bem como para os valores de IQS integrado. Isso pode ser explicado por uma quantidade e qualidade de resíduos (palha e sistema radicular) semelhante entre as espécies *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruzizjensis*, conforme observado por de Souza e Soratto, 2012, Aidar et al., 2000 e Crusciol, 2009. Esses autores relataram produções de matéria seca de palha da ordem de 8 a 20 toneladas por hectare, resultados do cultivo integrado de milho e *Urochloa ruzizjensis* e milho e *Urochloa brizantha*. Outros autores, contudo, observaram diferentes valores de produção de massa de palha entre as espécies forrageiras, com superioridade observada para a espécie *Urochloa brizantha* em comparação à *Urochloa ruzizjensis*, cultivadas de forma não consorciada (Tanaka et al., 2019).

4.2.2 Material vegetal: parte aérea

Foi observada maior produtividade de grãos e maior quantidade de vagens por planta para a soja manejada após *Urochloa brizantha*, em relação à soja cultivada após *Urochloa ruziziensis*, para ambas as manchas de solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Tanaka et al., 2019, que relacionaram maior número de vagens e maior produtividade da soja em sucessão à *Urochloa brizantha* que à *Urochloa ruziziensis* com a maior quantidade de palha produzida pela primeira espécie citada, como pode ser verificado na figura 6, o que teria favorecido o estabelecimento da cultura e a produção de vagens sob condições climáticas desfavoráveis nos períodos críticos de desenvolvimento da soja. Esses resultados diferem dos obtidos por Balbinot Junior et al., 2017, que não observaram diferenças de produtividade para soja cultivada após *Urochloa brizantha* e após *Urochloa ruziziensis*. Essa constatação também foi feita pelos pesquisadores Nascente et al. (2012), não havendo diferenças de produtividade para a soja cultivada em sucessão à *Urochloa brizantha* e em sucessão à *Urochloa ruziziensis*.

Isto posto, foi levantada a hipótese de que o diferencial observado na produção de soja possa ser devido a outro fator afetado de forma diferente pelas espécies de braquiária, como a população de nematoides. Foi observado pelo engenheiro agrônomo responsável pelo manejo da fazenda, que a soja manejada após *Urochloa brizantha* apresentou menos sintomas de ataque por nematoides da espécie *Pratylenchus brachiurus* em relação à soja cultivada após *Urochloa ruziziensis*. Isso seria devido a um possível valor de fator de reprodução do nematoide inferior para *Urochloa brizantha* em relação à *Urochloa ruziziensis*. Alguns dados da literatura, entretanto, não confirmam essa afirmativa, pois revelam que não há diferenças significativas entre os fatores de reprodução de *Pratylenchus brachiurus* para as espécies em questão (Queiroz et al., 2014; Uebel et al., 2013). Por outro lado, Debiasi et al., 2016 observaram menor número de nematoides por grama de raízes de soja aos 90 dias após semeadura, quando do seu cultivo após *Urochloa brizantha*, em comparação ao cultivo após *Urochloa ruziziensis*. Ainda assim, esses valores não foram acompanhados por diferenças em produtividade.

5. CONCLUSÃO

A inclusão da forrageira tropical no sistema de produção aumentou a produtividade do milho de segunda safra em Piracicaba, assim como o carbono orgânico no solo e o carbono na biomassa microbiana. Existe correlação positiva entre esses indicadores de qualidade do solo com a produtividade do milho. O carbono orgânico do solo é um bom indicador de qualidade do solo, bem como do potencial de produção agrícola.

Na integração lavoura-pecuária, obteve-se maior produtividade de soja quando cultivada na área antes ocupada pela espécie *Urochloa brizantha*, nas duas texturas de solo do estudo. Contudo, a ausência de efeito sobre a qualidade do solo nas duas espécies de forrageira (*Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*) não permite estabelecer a relação de causa e efeito entre a produtividade e a qualidade de solo (IQS).

REFERÊNCIAS

- Alvarenga RC, Noce MA (2005) Integração lavoura-pecuária. Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 47:1-16
- Andrade RDS, Moreira JA, Stone LF, Carvalho, JDA (2002) Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6:35-38
- Andrews SS, Karlen DL, Cambardella CA (2004) The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal* 68:1945-1962
- Angers DA, Eriksen-Hamel NS (2008) Full-inversion tillage and organic carbon distribution in soil profiles: A meta-analysis. *Soil Science Society of America Journal* 72: 1370-1374
- Babujia LC, Hungria M, Franchini JC, Brookes PC (2010) Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. *Soil Biology and Biochemistry* 42:2174-2181
- Balbinot Junior AA, Santos JCFD, Debiasi H, Yokoyama AH (2017) Contribution of roots and shoots of *Brachiaria* species to soybean performance in succession. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 52:592-598
- Bergamaschi H, Dalmago GA, Bergonci JI, Bianchi CAM, Müller AG, Comiran F, Heckler BMM (2004) Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 831-839
- Blanco-Canqui H, Shaver TM, Lindquist JL, Shapiro CA, Elmore RW, Francis CA, Hergert GW (2015) Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy journal* 107: 2449-2474
- Box GEP, Cox DR (1964) An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 26:211-243.
- Brady NC, Weil RR (2009) Elementos da natureza e propriedades dos solos. Bookman Editora
- Cardoso E, Andreote FD (2016) *Microbiologia do Solo [Recursos Eletrônicos]*
- Cherubin MR, Karlen DL, Franco AL, Tormena CA, Cerri CE, Davies CA, Cerri CC (2016) Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. *Geoderma* 267:156-168
- Cherubin MR, Tormena CA, Karlen DL (2017) Soil quality evaluation using the soil management assessment framework (SMAF) in Brazilian oxisols with contrasting texture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 41
- Cherubin MR, Bordonal RO, Castioni GA, Guimarães EM, Lisboa IP, Moraes LAA, Menandro LMS, Tenelli S, Cerri CEP, Karlen DL, Carvalho, JLN (2021). Soil health response to sugarcane straw removal in Brazil. *Industrial Crops and Products* 163
- CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos-safra 2020/21, n. 5. Quinto levantamento 8:1-94
- Dalal RC, Mayer R J (1986) Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Soil Research* 24:281-292
- da Luz FB, da Silva VR, Mallmann FJK., Pires CAB, Debiasi H, Franchini JC, Cherubin MR (2019) Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 281:100-110
- Debiasi H, Franchini JC, Dias WP, Ramos Junior EU, Balbinot Junior AA (2016) Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51(10):1720-1728
- de Oliveira SM, Dias DS, de Borja Reis AF, Cruz SCS, Favarin JL (2020) Vertical stratification of K uptake for soybean-based crop rotation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 117:185-197
- Dick WA (1983) Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Science Society of America Journal* 47: 102-107

- Doorenbos J, Kassam AH (1994) Efeito da água no rendimento das culturas. Estudos FAO - Irrigação e Drenagem 33 (Traduzido por Gheyi, H.R. et al. - UFPB)
- Doran JW, Smith MS (1987) Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. Soil fertility and organic matter as critical components of production systems 19:53-72
- Dwyer LM, Ma BL, Stewart DW, Hayhoe HN, Balchin D, Culley JLB, McGovern M (1986) Root mass distribution under conventional and conservation tillage. Canadian Journal of Soil Science 76: 23-28
- Elliott E T (1986) Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. Soil science society of America journal 50:627-633
- Farre I, Faci JM (2006) Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. Agricultural water management 83:135-143
- Freitas RDCAD, Popin GV, Milori DMBP, Signor D, Drumond MA, Cerri CEP (2017) Soil Organic Matter Quality in *Jatropha* spp. Plantations in Different Edaphoclimatic Conditions. Revista Brasileira de Ciência do Solo 41
- Gentry LE, Below FE, David MB, Bergerou JA (2001) Source of the soybean N credit in maize production. Plant and Soil 236: 175-184
- Hay RKM (1995) Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. Annals of applied biology 126: 197-216
- Hiltner L (1904) Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie und unter besonderer Berücksichtigung der Grundungung and Brache. Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft 98: 59-78
- Ismail I, Blevins RL, Frye WW (1994) Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields. Soil Science Society of America Journal 58 193-198
- Jarecki MK, Lal R (2003) Crop management for soil carbon sequestration. Critical Reviews in Plant Sciences 22:471-502
- Lisboa IP, Cherubin MR, Satiro LS, Siqueira-Neto M., Lima RP, Gmach MR, Wienhold BJ, Schmer MR, Jin VL, Cerri, C. E. (2019). Applying Soil Management Assessment Framework (SMAF) on short-term sugarcane straw removal in Brazil. *Industrial Crops and Products*, 129, 175-184.
- Karam F, Breidy J, Stephan C, Roupel J (2003) Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. Agricultural Water Management 63:125-137
- Kluthcouski J, Pacheco AR, Teixeira SM, Oliveira AT (1991) Renovação de pastagens de cerrado com arroz. I- Sistema Barreirão. EMBRAPA-CNPAP. Documentos 33:1-20
- Kluthcouski J, Cobucci T, Aidar H, Yokoyama LP, Oliveira IP, Costa JLS, Silva, JG, Vilela L, Barcellos AO, Magnabosco CU (2000) Sistema Santa Fé-Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas plantio direto e convencional. Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica 38:1-27
- Kondo M, Murty MVR, Aragonés DV (2000) Characteristics of root growth and water uptake from soil in upland rice and maize under water stress. Soil Science and Plant Nutrition 46: 721-732
- Lal R (1988) Soil degradation and the future of agriculture in sub-Saharan Africa. Journal of soil and water conservation 43:444-451
- Lal R (2016) Soil health and carbon management. Food and Energy Security 5:212-222
- Lal R (2020) Soil organic matter content and crop yield. Journal of Soil and Water Conservation 75:27A-32A
- Le Bissonnais YL (1996) Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of soil science 47(4): 425-437
- Lorenz AJ, Gustafson TJ, Coors JG, De Leon N (2010) Breeding maize for a bioeconomy: A literature survey examining harvest index and stover yield and their relationship to grain yield. Crop Science 50: 1-12

- Maron JL, Marler M, Klironomos JN, Cleveland CC (2011) Soil fungal pathogens and the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology letters* 14: 36-41
- Mendes R, Kruijt M, De Bruijn I, Dekkers E, van der Voort M, Schneider JH, Raaijmakers JM (2011) Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. *Science* 332: 1097-1100
- Mengel DB, Barber SA (1974) Development and Distribution of the Corn Root System Under Field Conditions. *Agronomy Journal* 66: 341-344
- Nascente AS, Crusciol CAC (2012) Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47:187-192
- Nicoloso RS, Rice CW (2021) Intensification of no-till agricultural systems: An opportunity for carbon sequestration. *Soil Science Society of America Journal* 85:1395-1409
- Nunes MR, van Es HM, Schindelbeck R, Ristow AJ, Ryan M (2018). No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma* 328:30-43
- Nunes MR, Karlen DL, Veum KS, Moorman TB, Cambardella, CA (2020). Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma* 369
- Otegui ME, Andrade FH, Suero EE (1995). Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research* 40:87-94
- Pedersen P, Lauer JG (2004). Response of soybean yield components to management system and planting date. *Agronomy Journal*, 96: 1372-1381
- Pereira AR, Angelocci LR, Sentelhas PC (2007). *Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas*. Apostila. USP/ESALQ
- Qin R, Stamp P, Richner W (2006). Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland. *Soil and Tillage Research* 85: 50-61
- Queiróz CDA, Fernandes CD, Verzignassi JR., Valle CBD, Jank L, Mallmann G, Batista MV (2014). Reação de acessos e cultivares de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* à *Pratylenchus brachyurus*. *Summa Phytopathologica* 40(3): 226-230
- Raj B., Andrade JCD, Cantarella H, Quaggio J.A (2001). *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*. Campinas, Instituto Agronômico
- Raj B., Cantarella H., Quaggio J.A., Furlani A.M.C (1997). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas (IAC. Boletim Técnico, 100)
- Razuk R.B. (2002). *Avaliação do sistema radicular de acessos de Brachiaria brizantha e suas relações com atributos químicos e físicos do solo*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
- Reeves D.W. (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43: 131-167
- Rolim G.S., Sentelhas P.C., Barbieri V. (1998). Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria 6:133-137
- Salton J.C., Kichel N.A., Arantes M., Kruker J.M., Zimmer A.H., Mercante F.M., Almeida R.G. (2013). Sistema São Mateus-Sistema de integração lavoura-pecuária para a região do bolsão sul-matogrossense. *Embrapa Agropecuária Oeste*. Comunicado técnico 186:1-6
- Signor D, Deon, MDI, Camargo, PBD, Cerri CEP (2018). Quantity and quality of soil organic matter as a sustainability index under different land uses in Eastern Amazon. *Scientia Agricola* 75:225-232
- Singh ID, Stoskopf NC (1971). Harvest index in cereals 1. *Agronomy Journal* 63:224-226
- Solos E (2006). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*

- Souza TCD, Magalhães PC, Castro EMD, Duarte VP, Lavinsky AO (2016) Corn root morphoanatomy at different development stages and yield under water stress. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51:330-339
- Tabatabai MA (1994) Soil enzymes. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Microbiological and Biochemical Properties* 5:775-833
- Tanaka KS, Crusciol CA, Soratto RP, Momesso L, Costa CH, Franzluebbbers AJ, Junior AO, Calonego JC (2019) Nutrients released by Urochloa cover crops prior to soybean. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 113:267-281
- Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG (2017) *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Embrapa
- Thorntwaite CW, Mather JR (1955) *The water balance*. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Inst. of Technology
- Tian SZ, Ning TY, Wang Y, Li HJ, Zhong WL, Li ZJ (2010) Effects of different tillage methods and straw-returning on soil organic carbon content in a winter wheat field. *The journal of applied ecology* 21: 373-378
- Tiemann LK, Grandy AS, Atinson EE, Marin-Spiotta E, McDaniel MD (2015) Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. *Ecology letters* 18:761-771
- Tisdall JM, Oades JM (1980). The effect of crop rotation on aggregation in a red-brown earth. *Soil Research* 18:423-433
- Uebel M, Garbin LF, Silva RA, Santos PS (2014) Reação de cultivares de *Brachiaria* spp. a *Pratylenchus brachyurus*. *Connection Line-Revista Eletrônica do UNIVAG* 10
- Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry* 19:703-707
- Vasconcellos RL, Bonfim JA, Baretta D, Cardoso EJ (2016) Arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein as potential indicators of soil quality in a recuperation gradient of the Atlantic forest in Brazil. *Land Degradation & Development* 27: 325-334
- Vezzani F.M., Mielniczuk J. (2009). Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33(4): 743-755
- Wiesmeier M, Urbanski L, Hobbey E, Lang B, von Lützov M, Marin-Spiotta E, Wesemael B, Rabot E, Ließ M, Garcia-Franco N, Wollschläger U, Vogel HJ, Körgel-Knabner I (2019) Soil organic carbon storage as a key function of soils-a review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* 333:149-162
- Wulanningtyas HS, Gong Y, Li P, Sakagami N, Nishiwaki J, Komatsuzaki M (2021) A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. *Soil and Tillage Research* 205
- Zimmer AH, Almeida RG, Bungenstab DJ, Kichel AN (2012) Integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: histórico e perspectivas para o desenvolvimento sustentável. VII Congresso Latinoamericano de Sistemas Agroflorestais para a Produção Pecuária Sustentável 666-670