

**PLANTAS DE COBERTURA NA RENOVAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR -
INFLUÊNCIA NO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E DESENVOLVIMENTO DA
CANA**

por

FABIO JUNIOR MASSON

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos.

Nova Andradina – MS

Fevereiro – 2024

**PLANTAS DE COBERTURA NA RENOVAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR -
INFLUÊNCIA NO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E NO DESENVOLVIMENTO
DA CANA**

por

FABIO JUNIOR MASSON

Comitê de Orientação:

Romano Roberto Valicheski, Prof. Dr. – IF Goiano

Wagner Henrique Moreira, Prof. Dr. – IFMS

Sihelio Júlio Silva Cruz – Prof. Dr – IF Goiano

MP713p Masson, Fabio Junior
PLANTAS DE COBERTURA NA RENOVAÇÃO DA CANA-DE-
AÇÚCAR - INFLUÊNCIA NO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E NO
DESENVOLVIMENTO DA CANA / Fabio Junior Masson;
orientador Romano Roberto Valicheski; co-orientador
Wagner Henrique Moreira. -- Rio Verde, 2024.
41 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado Profissional em
Bioenergia e Grãos) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Rio Verde, 2024.

1. Adubação verde. 2. Manejo do solo. 3. Renovação
da área. 4. Atributos químicos e físicos do solo. 5.
Nutrição da cana. I. Valicheski, Romano Roberto,
orient. II. Moreira, Wagner Henrique, co-orient.
III. Título.



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

Ata nº 6/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA Nº 73 (SETENTA E TRÊS)
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ao primeiro dia do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 08h00min (Oito horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada de forma virtual, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **FABIO JUNIOR MASSON**, discente do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Dissertação que, em 30 min, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIOENERGIA E GRÃOS**, na área de concentração Agroenergia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBG da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos resultados em revista científica de circulação nacional, após a implementação das modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Romano Roberto Valicheski	IF Goiano – Campus Iporá	Presidente
Sihelio Julio Silva Cruz	IF Goiano – Campus Iporá	Membro interno
Sidinei Leandro Klocner Stürmer	IF Catarinense - Campus Rio do Sul	Membro externo
Wagner Henrique Moreira	Instituto Federal do Mato Grosso do Sul - Campus Nova Andradina	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- Wagner Henrique Moreira, Wagner Henrique Moreira - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (1), em 01/02/2024 11:00:51.
- SIDINEI LEANDRO KLÖCKNER STÜRMER, SIDINEI LEANDRO KLÖCKNER STÜRMER - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Catarinense (1), em 01/02/2024 10:58:41.
- Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/02/2024 10:53:21.
- Romano Roberto Valicheski, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/02/2024 10:49:58.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/01/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 564158
Código de Autenticação: b096fa5314



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

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

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

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

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Fabio Junior Masson

Matrícula:

2021202331540032

Título do trabalho:

PLANTAS DE COBERTURA NA RENOVAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR INFLUÊNCIA NO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E NO DESENVOLVIMENTO DA CANA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

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

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(s) referido(s) autor(es) declara:


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

Nova Andradina -MS

26 / 05 / 2024

Local

Data


Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



Documento assinado digitalmente

ROMANO ROBERTO VALICHESKI

Data: 28/05/2024 17:20:39-0300

Verifique em: <https://validar.ifl.gov.br>



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

Documentos 34/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PLANTAS DE COBERTURA NA RENOVAÇÃO DA CANA-DE-ACÚCAR – INFLUÊNCIA NOS ATRIBUTOS DO SOLO, ESTADO NUTRICIONAL E DESENVOLVIMENTO DA CANA.

Autor: Fabio Junior Masson
Orientador: Romano Roberto Valicheski

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADO em 01 de fevereiro de 2024.

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Sidinei Leandro Klocner
Stürmer
Avaliador externo - IF Catarinense
Campus Rio do Sul
Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Wagner Henrique Moreira
Avaliador externo - Instituto Federal
do Mato Grosso do Sul Campus Nova
Andradina

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Sihelio Julio Silva Cruz
Avaliador interno - IF Goiano
Campus Iporá
Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski
Presidente da Banca - IF Goiano
Campus Iporá

Documento assinado eletronicamente por:

- Sihelio Julio Silva Cruz, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 06/06/2024 19:08:40.
- Romano Roberto Valicheski, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 06/06/2024 19:03:55.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/01/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 564156
Código de Autenticação: 6bf3cc0f1d



Documento assinado digitalmente
gov.br WAGNER HENRIQUE MOREIRA
Data: 12/06/2024 08:28:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
gov.br SIDINEI LEANDRO KLOCKNER STURMER
Data: 12/06/2024 21:49:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

A coordenação do Programa de Mestrado Profissional em Bioenergia e Grãos do IFGO/IFMS a qual permitiu o meu aperfeiçoamento acadêmico.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Romano Roberto Valicheski – IFGoiano e Prof. Dr. Wagner Henrique Moreira – IFMS por tamanha contribuição e disponibilidade de orientações ao longo do mestrado, com troca de experiências incríveis e exitosas.

A Usina Energética Santa Helena de Nova Andradina/MS a qual auxiliou para que o estudo de caso fosse possível.

Aos meus avós Maria e avô (in-memorian) que foram as bases em minha formação de vida.

Ao Prof. Me. Daniel Duarte pelo incentivo ao ingressar no mestrado.

A Deus.

SUMÁRIO

Página

CAPÍTULO1 – Considerações Gerais.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
CAPÍTULO 2 – Plantas de cobertura na renovação da cana - influência nos atributos do solo, nutrição e desenvolvimento da cana	12
CHAPTER 2 - Cover crops in sugarcane renewal - influence on soil attributes, nutrition and sugarcane development.....	12
INTRODUÇÃO.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma Poaceae cultivada desde a pré-história. Provavelmente seu centro de origem é a Polinésia, de onde suas espécies foram disseminadas por todo o Sudeste Asiático, sendo criado em Papua Nova Guiné e Java (Indonésia) um moderno centro de diversidade desta cultura (Cheavegatti et al. 2011).

É uma planta de clima tropical, cultivada entre as latitudes 35° Norte e 35° Sul, onde o Brasil se configura como maior produtor, seguido pela Índia e pela China. Conforme dados da CONAB (2022), a safra 2021/22 no Brasil foram cultivados 8,34 milhões de hectares, produzindo 578,7 milhões de toneladas de colmos, resultando na produção 41,2 milhões de toneladas de açúcar e de 29,7 bilhões de litros de etanol. Dentre os estados brasileiros, São Paulo lidera a produção no país, respondendo por 54,1% da quantidade de colmos produzida na safra 2020/21, bem como pela produção de 14,3 bilhões de litros de etanol (48,4% da produção nacional) e 26,0 milhões de toneladas de açúcar, que equivale a 63,2% da produção brasileira (CONAB, 2022). Mato Grosso do Sul também vem se destacando na produção, sendo o quarto maior produtor nacional, cultivando na safra 2022/2023 630,1 milhões de hectares e produzindo 42.066,6 milhões de toneladas de colmo.

Apesar desta cultura ser considerada de ciclo longo, as áreas cultivadas necessitam ser renovadas periodicamente. Dependendo das condições produtivas da lavoura, esta renovação ocorre a cada 5 ou 6 cortes, sendo o preparo do solo ainda realizado de forma convencional com o uso de aração e gradagem em grande parte das áreas cultivadas. Este revolvimento excessivo do solo em parte é realizado com o intuito de eliminar a compactação do solo, devido o tráfego de máquinas (principalmente na colheita mecanizada) frequentemente

observado nas áreas cultivadas. Este revolvimento acentuado do solo associado a ausência de palhada em sua superfície, além de contribuir para dispersão dos agregados do solo e favorecer a oxidação da matéria orgânica de forma mais acelerada, acaba influenciando negativamente seu o espaço poroso, e conseqüentemente, sua capacidade de infiltração e retenção de água. Considerando que a renovação de muitas áreas coincide com períodos de elevada precipitação pluviométrica, acaba também favorecendo o escoamento superficial da água das chuvas, resultando em severos problemas de erosão hídrica do solo.

Para amenizar estes danos e reduzir os custos com a renovação das áreas cultivadas com cana, o plantio de um ciclo de soja tem sido realizado por alguns produtores, proporcionando melhor aproveitamento do talhão, proteção ao solo e geração de renda. Outra prática que vem se intensificando nas áreas de renovação é o cultivo de plantas de cobertura após o preparo do solo, conhecido também como “adubação verde” sendo uma alternativa para mitigar os efeitos negativos do revolvimento intenso do solo durante seu preparo, uma vez que, o cultivo destas espécies ,além de proporcionar produção de fitomassa para proteção do solo, possibilita aporte de C e nitrogênio no sistema de produção, favorece para a ciclagem de nutrientes reduzindo as perdas por lixiviação, bem como contribui para que ocorra a descompactação biológica do solo, uma vez que muitas destas espécies possuem sistema radicular agressivo e bem desenvolvido e profundidade.

Apesar da grande diversidade de espécies vegetais que podem ser utilizadas como plantas de cobertura antecedendo a cana, devido a insuficiente quantidade de sementes produzidas e a dificuldade na logística de aquisição das sementes destas espécies, as mais utilizadas tem sido o milheto (*Pennisetum glaucum*), a crotalária juncea (*Crotalaria juncea*) e braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), uma vez que são adaptadas as condições climáticas e de solo da região, sendo facilmente encontradas nos estabelecimentos agropecuários locais.

O cultivo destas espécies antecedendo a implantação da cana tem se mostrado promissor, pois em condições adequadas apresentam elevada produção de fitomassa, contribuindo para maior sustentabilidade do sistema produtivos. Apesar da braquiaria, crotalária e milheto serem espécies amplamente conhecidas na região, poucos estudos ainda foram desenvolvidos considerando seu cultivo em áreas de renovação de cana visando melhor entender seus efeitos nos atributos do solo, bem como na cana-de-açúcar. Assim este trabalho teve por objetivo avaliar a influência que a implantação destas espécies em área de renovação de cana-de-açúcar proporciona nos atributos químicos e físicos do solo, bem como no estado nutricional e desenvolvimento da cana, buscando identificar a mais promissoras para ser inseridas no sistema produtivo desta cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A cana-de-açúcar é uma cultura que tem se destacado no estado de Mato Grosso do Sul, sendo cultivados na safra 2022/2023 630,1 mil hectares, com produtividade média de 66,7 t.ha⁻¹ e produção total de 42.066,6 milhões de toneladas de colmo (CONAB, 2022). Já na safra 2021/2022, foram cultivados no estado 653,7 mil hectares, produzindo 45.419,5 milhões de toneladas, 7,3 milhões de toneladas a menos que a produção obtida na safra 20/21, que foi de 45.426,8 milhões de toneladas (Costa, 2021). Esta redução de 9,6 toneladas por hectares na produtividade está associada a fatores climáticos, dentre os quais destaca-se período de estiagem prolongado durante o ciclo da cultura, bem como a ocorrência de geadas nos meses junho e julho, impactando negativamente o desenvolvimento dos colmos nas plantas.

Deste modo quando se fala das condições climáticas, principalmente quanto a ocorrência de estiagens, não é possível controlar ou amenizar seus efeitos no atual sistema de produção da cana de açúcar. Porém com a adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo no processo de renovação das lavouras, os efeitos da falta de água para as plantas podem ser mitigados, uma vez que há melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

No Brasil as áreas com cana-de-açúcar tradicionalmente são renovadas utilizando-se manejo convencional (aração e gradagem), resultando em intensa desagregação do solo na camada de 0,0-0,40 m de profundidade, e conseqüentemente, em perdas substanciais de carbono do solo (Bordonal et al., 2018; Weiler et al., 2019), mudanças na temperatura e no estado da água disponível do solo (Awe et al., 2020).

Nas áreas onde o preparo do solo na renovação da cana é feito de forma convencional, as mesmas ficam mais propensas à recompactação pelo sucessivo de tráfego de máquina (Júnnyor et al., 2019), especialmente em solos pobres em carbono orgânico e com alto teor de

umidade (Bonetti et al., 2017). Estudos indicam que os benefícios do preparo convencional do solo são pouco persistentes nas áreas com cana-de-açúcar, desaparecendo nos primeiros anos de produção (Cherubin et al., 2016), fato que vem limitando o desenvolvimento das plantas, e por consequência, sua produção (Bordonal et al., 2018). Assim no sistema produtivo da cana-de-açúcar, apesar dos esforços quanto a adoção da mecanização e colheita sustentáveis, a degradação física do solo resultante do uso intensivo de máquinas é uma das principais causas que limitam a sua produtividade (Esteban et al., 2019; Guimarães Júnnyor et al., 2019; Farhate et al. 2022), comprometendo a sustentabilidade deste sistema de produção (Bordonal et al., 2018).

Nos últimos 15 anos, a área de cana-de-açúcar brasileira aumentou em 33%, mas o rendimento da cultura está abaixo do seu potencial, permanecendo estagnado em 72 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2019). A estagnação da produtividade coincide com a adoção gradativa do sistema de colheita mecanizada, intensificando o tráfego de máquinas pesadas nos canaviais, e conseqüentemente, as forças compressivas aplicadas na superfície do solo, resultando em muitas situações, na compactação e degradação da qualidade estrutural do solo (Júnnyor et al., 2019).

Historicamente o preparo convencional do solo, envolvendo aração e gradagem até 0,40m de profundidade é feito antes do plantio da cana-de-açúcar visando aliviar a compactação do solo. No entanto, este revolvimento intensivo do solo resulta na oxidação mais acelerada da matéria orgânica (Silva-Olaya et al., 2013), reduzindo a estabilidade dos agregados do solo, afetando negativamente seu espaço poroso (Pires et al. 2017), tornando-o mais propenso à recompactação pelo sucessivo de tráfego de máquinas (Júnnyor et al., 2019).

Neste contexto, uma alternativa para mitigar os efeitos negativos deste manejo seria o uso de plantas de cobertura antecedendo a renovação do canavial (Tenelli et al., 2019), uma vez que além de proporcionar a produção de fitomassa (palhada) para proteção e aporte de C e

nitrogênio ao solo (Blanco e Ruis, 2018, Bordonal, 2018, Souza et al. 2019), favorece a ciclagem de nutrientes e a descompactação biológica devido desenvolvimento agressivo do sistema radicular de muitas espécies (Farhate et al. 2022),.

Também pode se associar esta prática ao uso de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e promotoras de crescimento das plantas, como *Bacillus*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, as quais podem ser utilizadas tanto na cultura principal (cana), bem como nas espécies vegetais utilizadas como plantas de cobertura. Deste modo, a escolha de fazer uso de plantas de cobertura na renovação de lavouras de cana-de-açúcar se constitui em uma estratégia para melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, podendo no decorrer do tempo, resultar em incrementos no teor de matéria orgânica do solo e contribuir efetivamente para a sustentabilidade do sistema produtivo.

Considerando a grande diversidade de espécies de plantas de cobertura que podem ser utilizadas para este propósito, na busca de maior sustentabilidade e menor impacto ambiental no cultivo da cana-de-açúcar, torna-se relevante identificar e conhecer as mais promissoras quanto a produção de fitomassa, aporte de C e N ao sistema produtivo, bem como as melhorias que proporcionam nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, seus efeitos no desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar, e no estado nutricional da cultura.

Dentre as espécies mais utilizadas como plantas de cobertura na região destaca-se o milheto (*Pennisetum glaucum*), a crotalária (*Crotalaria juncea*) e braquiária (*Brachiaria ruziziensis*), uma vez que são adaptadas as condições climáticas e de solo, possuem custo de aquisição relativamente baixo, e são facilmente encontradas em grande quantidade para comercialização nos estabelecimentos agropecuários locais, as quais podem ser cultivadas de forma solteira ou consorciadas (Bertolino et al. 2021).

Para Timossi et al. (2007), a *Brachiaria ruziziensis* tem se destacado pela sua adaptabilidade a solos de baixa fertilidade, fácil estabelecimento e considerável produção de

biomassa durante o ano, proporcionando excelente cobertura vegetal do solo. Já o milheto - *Pennisetum glaucum* (L.) por ser considerada uma planta de cobertura pouco exigente em fertilidade, é muito utilizada para formação de palhada, sendo bem aceita em toda região, principalmente em áreas com solos de baixa fertilidade e susceptíveis a déficit hídrico e altas temperaturas (Bertolino et al. 2021). Esta gramínea, além de elevada produção de fitomassa, proporciona uma a formação de uma palhada com maior relação C/N, o que a torna mais resistente a degradação microbiana, permanecendo por maior período na superfície do solo (Delazeri et al. 2020). Devido seu sistema radicular agressivo, que pode alcançar mais de 2,0 m de profundidade, o milheto é eficiente na ciclagem de nutrientes (Teixeira et al. 2011, Souza et al. 2019), absorvendo elementos que foram lixiviados para camadas mais profundas do solo durante o cultivo da cana-de-açúcar, e liberando-os na superfície do solo, após a decomposição de sua palhada. Por outro lado, a crotalária, apresenta palhada com menor relação C/N e ser mais facilmente degradada pela ação dos microrganismos do solo a mesma possui elevado potencial de produção de fitomassa pela parte aérea (Delazeri et al. 2020; Bertolino et al. 2021), sendo eficiente na fixação biológica de nitrogênio atmosférico, o que a torna interessante quando se visa incrementar o aporte de nitrogênio no sistema produtivo.

Bertolino et al. (2021), testando formas consorciadas e solteira de cultivo de *Crotalária spectabilis* e milheto, obtiveram para a crotalária quando solteira, produção de fitomassa seca pela parte aérea superior a 7 toneladas por hectare, o que demonstra o potencial promissor desta espécie como planta de cobertura. Para esses autores além da elevada produção de palhada pela parte aérea, outra característica que torna esta espécie vegetal com elevado potencial como planta de cobertura é seu sistema radicular pivotante, proporcionando melhorias nos atributos físicos do solo e aporte de matéria orgânica em profundidade, além de contribuir para elevar os teores de nitrogênio no solo.

Atualmente sabe-se que sistemas de produção com manejo conservacionista do solo como o Sistema de Plantio Direto, conforme espécies forrageiras, há elevado potencial de sequestrar o CO₂ atmosférico (Zolin et al. 2021), vindo a ser uma alternativa promissora para melhorar a sustentabilidade do sistema produtivo, porém diante da diversidade de espécies forrageiras e da possibilidade de formas de cultivos (solteiro e consorciados), tem-se muito ainda a evoluir neste sentido. Conforme acordo de Paris, como compromisso mundial para combater as mudanças climáticas, o Brasil se propõe a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 37% para 2025 e 43% para 2030, em relação a 2005 (Leão, et al. 2021). Assim para atingir essa meta, torna-se eminente a ampliação do uso de práticas e manejos com baixa emissão de carbono, sendo o uso de plantas de cobertura uma prática que pode vir a contribuir para este propósito.

Considerando os solos do bioma Cerrado, predominantemente oxídicos e com baixa capacidade de troca de cátions, sistemas que proporcionam maior aporte de carbono (C) ao solo, melhorando seus atributos químicos e físicos a mantê-los produtivos, tornam-se fundamentais, uma vez que estes, são altamente dependentes de adição de matéria orgânica, que é marcadamente influenciada pelo uso e pelas espécies de plantas de cobertura que compõem o sistema produtivo.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Awe G.O.; J.M. Reichert & E. Fontanela. 2020.** Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage. *Soil and Tillage Research*, 196:104447. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104447>.
- Blanco-Canqui, H. & S.J. Ruis. 2018.** No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* v. 326, p.164–200. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>.
- Bertolino, K.M., G.R.B. Duarte, G.M.P.V. Vasconcelos & É.P. Botrel. 2021.** Desempenho de crotalária consorciada com milho na produção de biomassa. *ForScience*, v. 9, n. 1, e00895. <https://doi.org/10.29069/forscience.2021v9n1.e895>
- Bonetti, J.A., I. Anghinoni, M.T. Moraes, & J.R. Fink. 2017.** Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. *Soil and Tillage Research*. v. 174, p.104–112. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.06.008>.
- Bordonal, R.O., J.L.N. Carvalho, R. Lal, E.B. Figueiredo, B.G. Oliveira & N. La Scala. 2018.** Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x>.
- Cheavegatti-Gianotto, A., Abreu, H. M. C. de, Arruda, P., Bessalho Filho, J. C., Burnquist, W. L., Creste, S. 2011.** Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. *Tropical Plant Biology*, 4, 62-89. <https://doi.org/10.1007/s12042-011-9068-3>
- Cherubin, M.R., A.L.C. Karlen Franco, C.A. Tormena, C.E.P. Cerri, C.A. Davies & C.C. Cerri. 2016.** Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. *Geoderma* v.267, p.156–168. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.004>.
- CONAB – 2022.** Companhia Nacional de Abastecimento - Acompanhamento da safra brasileira – Cana-de-açúcar. Acompanhamento da safra 2022-2023. Brasília: n. 2. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/43933_4c496920bffc9bfb45deb447d553a497. Acesso em: 19 maio 2021.
- CONAB – 2019.** Acompanhamento da safra Brasileira de Cana-de- açúcar - Quarto levantamento. v. 5, p. 1–75.
- Costa, F.S. 2021.** Análise mensal da safra de cana de açúcar, CONAB Pecuária Oeste, 2p. (Análise Mensal Setembro/2021).
- Delazeri, J.V.S., F.C.A. Valadão, D.D.V. Junior, B. Herklotz, L.R. Bertocello, J.L. Silva & A.O. Vieira. 2020.** Desempenho agrônomico de milho e crotalária cultivados em sistemas solteiro e consorciado: *Ciência del suelo*, v.38, n.2, p.212-223.
- Esteban D.A., Z.M. Souza, C.A. Tormena, L.H. Lovera, E.S. Lima I.N. Oliveira & N.P. Ribeiro. 2019.** Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest. *Soil and Tillage Research*. 187:60-71. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.015>

- Farhate, C.V.V., Z.M. Souza, M.R. Cherubin, L.H. Lovera, I.N. Oliveira, W.S. Guimarães Júnnyor & N.L. Scala Junior. 2022.** Soil physical change and sugarcane stalk yield induced by cover crop and soil tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 46: e0210123. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210123>
- Guimarães Júnnyor W.S., E. Diserens, I.C. De Maria, C.F. Araújo-Junior, C.V.V. Farhate & Z.M.S. Souza. 2019.** Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. *Science of The Total Environment*. v. 681. p. 424-34. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.009>
- Júnnyor, W.S.G., E. Diserens, I.C. De Maria, C.F. Araujo-Junior, C.V.V. Farhate & Z.M.S. Souza. 2019.** Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. *Science of The Total Environment*. v. 681, p. 424–434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.009>.
- Leão. A., A. Fortes, C.A. Zolin, J. Mangueira, M.A.A. Colmanetti & S.V. Cuadra. 2021.** Recuperação de Solos Degradados no Cerrado - Alternativas para produção sustentável. 32p. ISBN: 978-85-60797-33-2.
- Pires, L.F., J.A.R. Borges, J.A. Rosa, M. Cooper, R.J. Heck, S. Passoni & W.L. Roque. 2017.** Soil structure changes induced by tillage systems. *Soil and Tillage Research*. 165, 66–79. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.010>.
- Silva-Olaya, A.M., C.E.P. Cerri, N. La Scala Jr, C.T.S. Dias & C.C. Cerri. 2013.** Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. *Environmental Research Letters* v.8, 015014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015014>.
- Souza, F.G.; V.F., Melo; W.F., Araújo; T.H.C. Araújo. 2019.** Losses of soil, water, organic carbon and nutrients caused by water erosion in different crops and natural savannah in the northern Amazon. *Revista Ambiente & Água*, v. 14 n. 1, e2126. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2126>.
- Teixeira, M.B., A. Loss, M.G. Pereira & C. Pimentel. 2011.** Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo: *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 867-876.
- Tenelli, S., O.R. Bordonal, L.C. Barbosa, & J.L.N. Carvalho. 2019.** Can reduced tillage sustain sugarcane yield and soil carbon if straw is removed? *BioEnergy Research*. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09996-3>.
- Timossi, P.C., J.C. Durigan & G.J. Leite. 2007.** Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 4, p.617-622. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400012>
- Weiler D.A., V.J. Moro, G.O. Awe, D.M.S. Oliveira, C.E.P. Cerri, J.M. Reichert & S.J. Giacomini. 2019.** Carbon balance in sugarcane areas under different tillage systems. *BioEnergy Research*. v. 12. p.778-788. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10002-z>.

Zolin, C.A.; E.S. Matos, C.A.S. Magalhães, J. Paulino, R. Lal, S.T. Spera & M. Behling.
2021. Short-term effect of a crop-livestock-forestry system on soil, water and nutrient loss
in the Cerrado-Amazon ecotone. *Acta Amazonica*, v. 51, n. 2, p.1102-112.
<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392202000391>

CAPÍTULO 2 - PLANTAS DE COBERTURA NA RENOVAÇÃO DA CANA - INFLUÊNCIA NOS ATRIBUTOS DO SOLO, NUTRIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA CANA

RESUMO: Na renovação das áreas de cana-de-açúcar, o excessivo revolvimento do solo associado a ausência de cobertura vegetal tem levado a degradação do solo. O uso de plantas de cobertura antecedendo a implantação da cana é uma alternativa promissora para reduzir esta degradação, no entanto, pouco se conhece sobre seus efeitos no solo, bem como desenvolvimento e nutrição da cana. Objetivou-se em uma área de renovação de cana-de-açúcar, avaliar a influência que o cultivo de milho – *Pennisetum glaucum*, crotalária juncea – *Crotalaria juncea* e braquiária – *Brachiaria ruziziensis* antecedendo a implantação da cana proporciona nos atributos químicos e físicos do solo, bem como no desenvolvimento e estado nutricional da cana. O cultivo destas espécies foi eficiente em melhorar os atributos físicos do solo e químicos do solo até 0,4m de profundidade, proporcionando menor resistência mecânica do solo a penetração, maior macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Também proporcionou teores mais elevados de Ca, Mg e potássio no solo, com destaque para o milho, denotando a eficiência do mesmo como reciclador de K. Quanto ao aspecto nutricional e desenvolvimento da cana, contribuiu para elevar o teor de fósforo, bem como de nitrogênio (após milho) e de enxofre, ferro e manganês, (após crotalária), resultando na emissão de mais perfilhos.

Palavras-chave: Adubação verde, Manejo do solo, Renovação da cana, Atributos químicos e físicos do solo, Nutrição da cana

CHAPTER 2 - COVER PLANTS IN CANE RENEWAL - INFLUENCE ON SOIL ATTRIBUTES, NUTRITION AND CANE DEVELOPMENT

ABSTRACT: In the renewal of sugarcane areas, excessive soil disturbance associated with the absence of vegetation cover has led to soil degradation. The use of cover crops prior to sugarcane implantation is a promising alternative to reduce this degradation, however, little is known about its effects on the soil, as well as sugarcane development and nutrition. The aim of this study was to evaluate the influence that the cultivation of pearl millet – *Pennisetum glaucum*, crotalaria – *Crotalaria juncea* and brachiaria – *Brachiaria ruziziensis* prior to sugarcane implantation has on the chemical and physical attributes of the soil in a sugarcane renewal area, as well as on the development and nutritional status of sugarcane. The cultivation of these species was efficient in improving the physical and chemical attributes of the soil up to 0.4 m depth, providing lower soil mechanical resistance to penetration, greater macroporosity, microporosity and total porosity. It also provided higher levels of Ca, Mg and potassium in the soil, especially millet, denoting its efficiency as a K recycler. As for the nutritional aspect and sugarcane development, it contributed to raise the phosphorus content, as well as of nitrogen (after millet) and sulphur, iron and manganese (after crotalaria), resulting in the emission of more tillers.

Keywords: Green manuring, Soil management, Sugarcane renewal, Chemical and physical soil attributes, Sugarcane nutrition.

INTRODUÇÃO

Na safra 21/22 foram cultivados 653,7 mil hectares de cana de açúcar no estado do Mato Grosso do Sul, sendo produzidas 45.419,5 milhões de toneladas (CONAB, 2022). Apesar do montante produzido, nesta safra houve uma redução na produtividade de 9,6 toneladas por hectare, totalizando 7,3 milhões de toneladas quando comparado com a safra 20/21.

A cana-de-açúcar, no Brasil é tradicionalmente cultivada no manejo convencional do solo, com o uso frequente de aração e gradagem até a camada de 0,00-0,40 m de profundidade, (Bordonal *et al.*, 2018; Weiler *et al.*, 2019), afetando também a temperatura do solo e a quantidade de água disponível para as plantas (AWE *et al.*, 2015; SCARPARE *et al.* 2019).

No cultivo da cana-de-açúcar, apesar dos últimos anos ter se priorizado a adoção da mecanização em praticamente todo o processo produtivo, com ênfase na colheita mecânica de cana crua, a degradação física do solo resultante do uso intensivo de máquinas é uma das principais causas que vem limitando sua produtividade (White e Johnson, 2018; Esteban *et al.*, 2019; Guimarães Júnnyor *et al.*, 2019; Farhate *et al.*, 2022), comprometendo a sustentabilidade e a produtividade deste sistema de produção (BORDONAL *et al.* 2018).

Neste contexto, uma alternativa para mitigar os efeitos negativos deste manejo é o uso de plantas de cobertura antecedendo a renovação do canavial (Tenelli *et al.*, 2019; Farhate *et al.*, 2022), uma vez o cultivo destas espécies, além de proporcionar a produção de fitomassa (palhada) para proteção e aporte de C e nitrogênio ao solo (Blanco e Ruis, 2018, Bordonal *et al.*, 2018), favorece a ciclagem de nutrientes e a descompactação biológica (Silva *et al.*, 2010), pois muitas delas possuem sistema radicular com desenvolvimento agressivo, atingindo camadas mais profundas do solo (FARHATE *et al.*, 2022).

A *Brachiaria ruziziensis* tem se destacado pela sua adaptabilidade a solos de baixa fertilidade (Timossi *et al.*, 2007), fácil estabelecimento e considerável produção de biomassa durante o ano (Soares *et al.*, 2021), proporcionando excelente cobertura vegetal do solo.

O milheto - *Pennisetum glaucum* (L.) também é considerado uma espécie pouco exigente em fertilidade (Pacheco *et al.*, 2017) e bem aceita em toda região (Nascente *et al.*, 2013; Nascente e Stone, 2018), sendo muito utilizada para formação de palhada, principalmente em áreas susceptíveis a déficit hídrico e altas temperaturas (BERTOLINO *et al.*, 2021).

Além do elevado potencial de produção de fitomassa pela parte aérea, esta gramínea proporciona uma palhada com maior relação C/N, o que a torna mais resistente a degradação microbiana, permanecendo por maior período na superfície do solo (DELAZERI *et al.*, 2020).

Além disso, possui sistema radicular vigoroso e profundo (Silva *et al.* 2017), favorecendo a descompactação do solo e a ciclagem de nutrientes (Teixeira *et al.*, 2011), possibilitando que elementos perdidos por lixiviação para camadas mais profundas do solo durante o cultivo da cana-de-açúcar, sejam absorvidos e liberados na superfície do solo durante a decomposição de sua palhada.

Já a crotalária, por ser uma leguminosa, apresenta palhada com menor relação C/N (Nascente e Stone, 2018), resultando na formação de uma fitomassa mais facilmente degradada pela ação dos microrganismos do solo. No entanto, esta espécie possui elevado potencial de produção de matéria seca pela parte aérea (Delazeri *et al.*, 2020; Bertolino *et al.*, 2021), sendo eficiente na fixação biológica de nitrogênio atmosférico, aporte de nitrogênio no solo antecedendo a implantação da cana-de-açúcar. Bertolino *et al.* (2021), Além da elevada produção de palhada pela parte aérea, segundo estes autores, outra característica importante desta espécie como planta de cobertura é seu sistema radicular pivotante, proporcionando melhorias nos atributos físicos do solo e aporte de matéria orgânica em profundidade.

Assim este trabalho teve por objetivo avaliar a influência que o cultivo de diferentes espécies de plantas e cobertura em área de renovação de cana-de-açúcar proporciona nos atributos químicos e físicos do solo, bem como no estado nutricional e desenvolvimento da cana, buscando identificar a mais promissora, quando se visa a sustentabilidade do sistema produtivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um talhão agricultável da Usina Santa Helena, localizado no município de Nova Andradina - MS, coordenadas geográficas de 21°59'52"S e 53°25'35"W. Conforme classificação de Köppen, a região possui um clima Cfa, sendo subtropical úmido, mesotérmico, com inverno brando e verão quente. Segundo dados históricos dos últimos 5 anos, na região o período mais frio do ano foi de maio a junho, com temperatura média próximo a 20 °C e o período mais quente, de novembro a fevereiro, com temperatura média em torno de 25 °C (Figura 1A). Quanto ao regime pluviométrico na Fazenda Santa Helena, na safra 2022/2023; janeiro, março, junho e outubro foram os meses em que ocorreu maior disponibilidade de chuvas, as quais ficaram acima da média histórica dos últimos 11 anos, resultando em um balanço hídrico com água excedente, por outro lado, os períodos de abril a maio, julho a setembro e novembro a fevereiro, a quantidade de chuvas foi inferior à média histórica, resultando em déficit hídrico (Figura 1 B), remetendo na

necessidade da adoção de manejos que favoreçam para uma maior manutenção de água no solo.

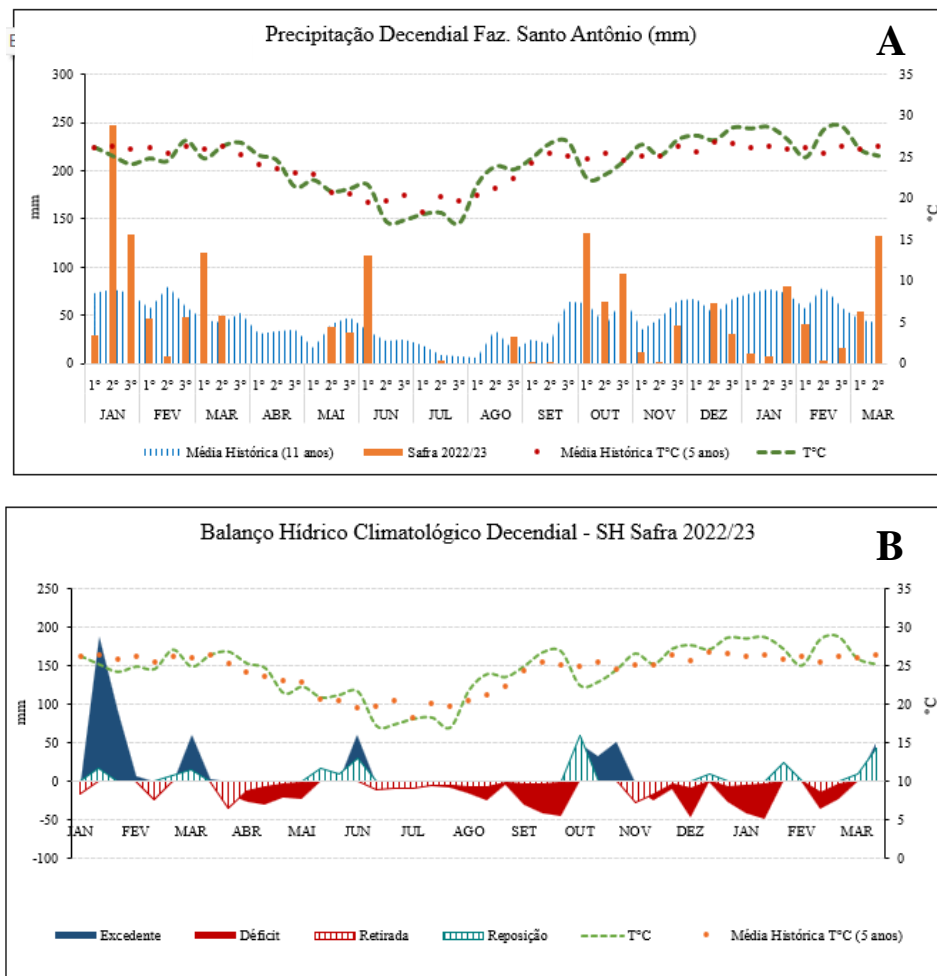


Figura 1. Média pluviométrica dos últimos 11 anos e distribuição das chuvas na safra 2022/2023 na região (A) e balanço hídrico na Fazenda Santa Helena na safra 2022/2023 (B). Nova Andradina-MS. 2022.

A gleba do talhão utilizada para implantar este experimento possui 8,46 hectares. Neste talhão o cultivo da cana já vem sendo efetuado a 20 anos. Durante a sistematização foram construídas curvas de nível para evitar a erosão do solo. Por ser uma área de renovação da cana, para padronização dos atributos físicos do solo inicialmente foi realizado uma coleta de amostras de solo na camada de 0,0-0,20m para análise química. Posteriormente, conforme laudos laboratoriais, foi feito a aplicação de calcário ($3,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) + gesso ($1,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), seguido de uma aração até 0,45m de profundidade e de uma gradagem leve para nivelar o solo.

Antecedendo a semeadura das plantas de cobertura, foram coletadas amostras deformadas de solo com quatro repetições nas camadas de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade para realização da análise química (Tabela 1) e determinação da composição

granulométrica do solo, que revelou teores de 840 g.kg⁻¹ de areia, 10 g.kg⁻¹ de silte e 150 g.kg⁻¹ de argila para as camadas de 0,0 – 0,20 e 0,20 – 0,40m de profundidade, sendo o solo classificado como de textura franco arenosa.

Tabela 1. Atributos químicos do solo nas camadas de 0,0-0,20 e 0,20 – 0,40m antes da semeadura das plantas de cobertura no início da implantação do experimento. Nova Andradina-MS. 2022.

	pH	M.O.	P	S	Ca	Mg	K	Al	H+Al	CTC	V
Profundidade	(CaCl ₂)	(g.dm ³)	----mg.dm ³ ---		-----mmol.c.dm ³ -----						--%--
0,0 – 0,20m	6,0	10,4	24,1	4,8	8,5	5,3	0,7	0,0	11,9	26,3	55,0
0,20 – 0,40m	6,2	10,2	28,7	5,2	8,0	4,6	0,6	0,0	8,7	21,9	60,0

Por ser um experimento a campo em uma área de produção da usina, o mesmo foi organizado em faixas com quatro repetições. Cada faixa de cultivo possui uma área de aproximadamente 2,11 hectares, na qual cultivou-se de forma solteira as plantas de cobertura crotalária – *Crotalaria spectabilis*, milheto – *Pennisetum glaucum* e braquiária – *Urochloa ruziziensis* (syn. *Brachiaria ruziziensis*). Como controle, foi mantido uma faixa sem o cultivo de plantas de cobertura.

Na sequência em 22/12/2021, efetuou-se a lança a semeadura das espécies de plantas de cobertura, utilizando para o milheto 30,0 kg.ha⁻¹ de sementes e para a crotalária e a baquiária 15,0 kg.ha⁻¹ de sementes por hectare. Após a distribuição das sementes, foi realizada uma gradagem leve para possibilitar melhores condições de germinação, uma vez que o solo possui textura franco arenosa. Também neste momento foi coletado amostra de solo nas camadas de 0,0-0,20m e 0,20-0,40m para determinação dos atributos químicos do solo no início do período experimental.

A quantificação da fitomassa das plantas de cobertura foi feita 90 dias após sua semeadura. Para determinação de cada ponto amostrado, foi lançado ao acaso uma estrutura de madeira com 1 m², coletando-se posteriormente toda a parte aérea das plantas inseridas nesta área. Em seguida determinou-se a massa fresca da parte aérea de cada espécie de planta de cobertura, bem como retirou-se uma amostra representativa desta massa vegetal, a qual foi acondicionada em sacos de papel e colocada em estufa a 65°C até peso constante, sendo posteriormente determinado em balança de precisão a massa seca. Conforme dados obtidos, para o milheto houve uma produção de fitomassa seca pela parte aérea de 4,24 t.ha⁻¹, para a crotalária de 6,25, t.ha⁻¹ e para a braquiária de 4,75 t.ha⁻¹.

Na sequência em 07/04/2022, seguindo o protocolo da Usina, foi realizado o plantio da cana-de-açúcar nas parcelas experimentais. Utilizou-se o espaçamento de 1,5m entre linhas, sendo os sulcos abertos até 0,25m de profundidade. Antecedendo a distribuição dos toletes de cana, como adubação de base foi aplicado no interior dos sulcos de plantio 6,0 t.ha⁻¹ de torta de filtro + 0,5 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico + 4,0 t.ha⁻¹ de esterco de frango. Visando o controle inicial de pragas e doenças, também foi aplicado inseticida a base de Fipronil na dosagem de 0,3 kg.ha⁻¹ de produto comercial + nematicida a base de *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* na dosagem de 0,3 kg.ha⁻¹ do produto comercial + fungicida a base de Azoxistrobina na dosagem de 0,25 L.ha⁻¹.

No decorrer do período inicial de desenvolvimento da cana planta, como não houve incidência acentuada de pragas ou doenças, como tratamentos fitossanitários para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas, foi seguido as recomendações para o manejo da cultura na região. Considerando o desenvolvimento da cana-de-açúcar, seis meses após o plantio (em 20/10/2022) realizou-se a avaliação dos seguintes atributos biométricos: altura das plantas, número de folhas completamente desenvolvidas por broto e número perfilho por ponto amostral. Como unidade amostral, considerou-se 2,0m lineares de sulco determinado ao acaso dentro de cada parcela experimental, com quatro repetições.

Neste momento também foi determinado a resistência mecânica do solo a penetração até 0,30m de profundidade com penetrometro de haste metálica marca Falker, Modelo PenetroLOG - PLG1020. Também, considerando uma distância de 0,3m do sulco de plantio da cana, foi coletado amostra indeformadas de solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30m de profundidade para determinação da densidade do solo, macro, micro e porosidade total, umidade na capacidade de campo e capacidade de retenção de água no solo. Nestas mesmas camadas e mantendo-se a distância de 0,30m da linha de plantio, também foi coletado amostras deformadas de solo para análise química, sendo estas enviadas para o laboratório para determinação do pH, teores de Ca, Mg, Al, K, P, H+Al, CTC, saturação por Al e saturação por bases.

Visando avaliar o estado nutricional da cana planta, também foi determinado o teor de clorofila no terço final da folha n⁺³ com um clorofilometro marca Falker, modelo ClorofiLOG 1030. Na sequência, em cada ponto amostral coletou-se amostra de folhas (20 folhas n⁺³ por ponto amostral), sendo estas enviadas ao laboratório para determinação dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S e dos micronutrientes Cu, B, Fe, Mn e Zn. A folha n⁺³ por ser a primeira

plenamente desenvolvida na planta da cana-de-açúcar, foi considerada como a que melhor representaria sua condição nutricional frente aos tratamentos avaliados.

Após coleta e tabulação, todos os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do Teste F a 5%, e quando detectado efeito significativo dos tratamentos, comparou-se as médias pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa SASM-Agri.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de cobertura afetaram os atributos físicos do solo. Para a espaço poroso do solo, maiores valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total foi observado nas parcelas cultivadas com milheto, sendo superior ao das parcelas com crotalária (Tabela 2). Ao se comparar os valores da porosidade do solo após o cultivo do milheto, com os observados para a testemunha e após o cultivo de crotalária e braquiária, estes foram respectivamente 6,1; 8,05 e 9,5% superior para a macroporosidade, 8,05; 18,2 e 13,3 % superior para a microporosidade e 6,8; 16,9 e 11,2 % superior para a porosidade total, indicando que o milheto, nas condições em que foi desenvolvido o experimento, foi eficiente e melhorar o espaço poroso do solo.

Este maior espaço poroso do solo pode estar associado ao seu desenvolvimento do sistema radicular mais agressivo (Bertolino *et al.*, 2021), principalmente nas camadas mais superficiais do solo, pois por ser fasciculado, muitas destas raízes ao sofrerem o processo de decomposição acabam sendo transformadas em macroporos, contribuindo assim para uma maior infiltração de água (PACHECO *et al.*, 2017).

Além disso, uma maior porosidade contribui para uma melhor troca gasosa do solo e na redução de sua resistência mecânica a penetração, afetando positivamente o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, e conseqüentemente, para um melhor aproveitamento de água e nutrientes disponíveis no solo (SOARES *et al.*, 2021).

Nas parcelas com milheto os valores mais elevados do espaço poroso do solo também contribuíram para uma menor densidade do solo (DS.), e conseqüentemente, em menor valor de resistência mecânica do solo a penetração (Tabela 2), melhorando estes atributos físicos no solo para o desenvolvimento das plantas.

Já para resistência mecânica a penetração, esta redução foi de respectivamente 29,75; 15,6 e 42,1%. Estes resultados corroboram com os publicados por Silva *et al.* (2017), que ao

avaliar o efeito de diferentes plantas de cobertura cultivadas de forma solteira e consorciada nos atributos físicos do solo, obtiveram para o milho.

Tabela 2 Efeito isolado das espécies de plantas de cobertura e das profundidades de coleta para macroporosidade (Mac.), microporosidade (Mic.), porosidade total (PT.), densidade do solo (DS.), umidade gravimétrica (UG.), umidade volumétrica (UV.) e resistência mecânica do solo a penetração (RP.). Nova Andradina-MS. 2022.

	Mac.	Mic.	PT.	DS.	UG.	UV.	RP.
	-----m ³ m ⁻³ -----			Mg m ⁻³	-----m ³ m ⁻³ -----		KPa
Braquiária	0,341 ab	0,205 ab	0,544 b	1,665 a	0,126 b	0,210 b	1241,7 ab
Crotalária	0,316 b	0,193 b	0,509 b	1,593 a	0,125 b	0,198 b	1033,8 ab
Milho	0,377 a	0,236 a	0,613 a	1,561 b	0,160 a	0,248 a	872,3 b
Testemunha	0,354 ab	0,217 ab	0,571 ab	1,591 a	0,142 ab	0,225 ab	1506,7 a
0,0 – 0,10 m	0,375 a	0,215	0,590 a	1,499 b	0,149	0,223	319,8 c
0,10 – 0,20 m	0,346 ab	0,212	0,558 ab	1,638 ab	0,136	0,222	1019,2 b
0,20 – 0,40m	0,319 b	0,211	0,530 b	1,671 a	0,130	0,216	2151,7 a

OBS. médias seguidas da mesma letra (coluna) indicam não existir diferença pelo Teste de Tukey ao nível de 5,0 % de probabilidade.

Esta redução na densidade do solo é um indicativo que o milho está contribuindo para tornar o solo fisicamente melhor para o desenvolvimento da cana, uma vez que em condições similares de umidade do solo, com o incremento da densidade, há um aumento na resistência mecânica a penetração das raízes (Soares *et al.*, 2021), dificultando o desenvolvimento das mesmas. Para Silva *et al.* (2022), dentre os atributos físicos do solo, a densidade do solo é de extrema importância, pois, através dela é possível caracterizar fisicamente a estrutura do solo, além de constituir um forte indicador do grau de compactação.

Quanto umidade gravimétrica (UG.) e umidade volumétrica (UV.) do solo na sua capacidade de campo, maiores valores também foram observados após o cultivo milho (Tabela 2), fato associado a maior microporosidade do solo, que possibilitou maior retenção de água. Considerando que durante o ciclo da cana-de-açúcar é comum a ocorrência de veranicos como observado na safra 2022/2023 (Figura 1B), a maior capacidade de retenção de água pode contribuir na mitigação dos efeitos da falta de água para a cana-de-açúcar nos períodos de estiagem (Scarpate *et al.*, 2019), porém este volume de água retida no solo pode não estar disponível para cultura, caso microporos sejam de diâmetro muito reduzido. Assim o cultivo plantas de cobertura como o milho, por possuir sistema radicular fasciculado e bem desenvolvido, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (Silva *et al.*, 2017), por aumentar sua macroporosidade e microporosidade, pode contribuir para aumentar a capacidade de infiltração da água no solo, bem como aumentar o volume de água disponível para as plantas.

Considerando que grande parte das raízes das plantas de cobertura localizavam-se na camada mais superficial do solo, este fato possivelmente proporcionou condições para que uma maior macroporosidade e porosidade total fosse observada na camada de 0,0-0,10m de profundidade (Tabela 2), reduzindo nas camadas mais profundas. Este maior espaço poroso do solo contribuiu para redução da densidade do solo, bem como para resistência mecânica a penetração nesta camada, tornando-a mais propícia para o desenvolvimento da cana. Para Soares *et al.* (2019), os benefícios oriundos das plantas de cobertura sobre os atributos físicos do solo são decorrentes do aumento da porosidade do solo, redução dos danos ocasionados pelo impacto da gota de chuva sobre a superfície do solo, aumento do teor de matéria orgânica (Teixeira *et al.*, 2011; Zolin *et al.*, 2021) e das funções microbianas no solo, sendo mais expressivos na cama mais superficial do solo (TENELLI *et al.* 2019).

O efeito benéfico das plantas de cobertura na resistência a penetração do solo pode ser melhor visualizado quando os dados são analisados a cada 0,05 m de profundidade (Figura 2). De modo geral, para RP considera-se o valor de 2000 KPa como limitante ao crescimento radicular e à produtividade da maioria das culturas (Silva *et al.*, 2010), até mesmo da cana-de-açúcar (Otto *et al.*, 2011).

Assim na testemunha, observou-se valor muito próximo a este limite crítico já a 0,20m de profundidade, e superiores, em camadas mais profundas do solo. Por outro lado, nas parcelas com plantas de cobertura, os valores máximos observados ficaram próximo a 1550 KPa.

Os menores valores de RP nas parcelas onde se cultivou as plantas de cobertura podem estar associados ao efeito benéfico que o desenvolvimento do seu sistema radicular ocasionou ao solo, favorecendo para uma maior atividade microbiana (Tenelli *et al.*, 2019) e estruturação do solo (White e Johnson, 2018), possibilitando que a cana-de-açúcar, quanto implantada após as plantas de cobertura, tenha melhores condições para o desenvolvimento do seu sistema radicular, uma vez que permite que maior volume de solo seja explorado pelas raízes, e conseqüentemente, que tenha uma maior absorção de água e nutrientes (SCARPARE *et al.* 2019).

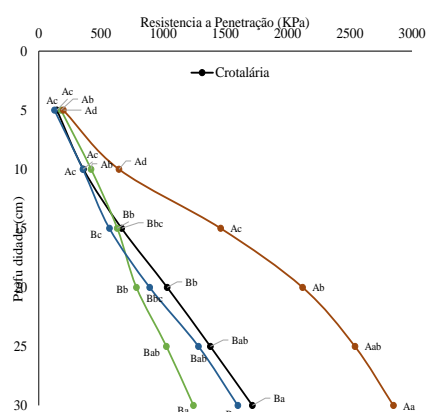


Figura 2. Resistência mecânica do solo a penetração em função das espécies de plantas de cobertura e profundidade das camadas de solo avaliadas. Nova Andradina-MS, 2022. OBS. Médias seguidas da mesma letra (maiúscula em cada profundidade analisada e minúscula cada planta de cobertura) não diferem estatisticamente ao teste de Tukey a 5,0%.

A época de coleta, bem como as plantas de cobertura influenciaram os atributos químicos do solo nas camadas de 0,0-0,20m e 0,20-0,40m de profundidade (Tabela 3). Considerando as épocas amostragem do solo, o cultivo das plantas de cobertura antecedendo a cana-de-açúcar foi eficiente em melhorar os atributos químicos do solo, uma vez que na camada de 0,0-0,20m de profundidade houve aumento no pH, nos teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de Ca + Mg, potássio (K), CTC total, saturação por bases (V%) e % de Ca e % de Mg na CTC do solo, bem como redução no H + Al (Tabela 3). Seu cultivo também afetou positivamente os atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40m, proporcionando aumento nos teores de Ca, Mg, Ca + Mg, K, CTC total, saturação por bases, % de Ca e % de Mg na CTC do solo.

Levando em consideração que o solo da área experimental possui textura franca, o que contribui para que maior quantidade de nutrientes seja perdida por lixiviação ou translocada para camadas mais profundas do solo, o incremento de Ca, Mg, e principalmente o K nas camadas mais superficiais é um indicativo de que as plantas de cobertura atuaram na ciclagem destes elementos (Teixeira *et al.*, 2011), absorvendo-os nas camadas mais profundas e liberando-os na superfície do solo durante a decomposição de sua palhada, o que torna promissor seu cultivo antecedendo a implantação da lavoura de cana, uma vez que permite

melhor aproveitamento dos nutrientes aplicados durante o ciclo da cultura (AMBROSANO *et al.* 2013).

Tabela 3 Efeito isolado da época de amostragem do solo para os atributos químicos do solo nas camadas de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m de profundidade. Nova Andradina-MS, 2022.

	0,0 – 0,20 m		0,20 – 0,40 m	
	APC	DPC	APC	DPC
pH	6,00 b	6,20 a	6,20	6,16
Calcio	8,50 b	12,81 a	8,00 b	12,56 a
Magnésio	5,00 b	8,25 a	4,50 b	8,06 a
Ca + Mg	13,75 b	21,25 a	12,75 b	20,50 a
Al	0,00	0,00	0,00	0,00
H + Al	11,75 a	10,56 b	8,50 b	10,53 a
CTC	26,35 b	32,66 a	21,9 b	32,01 a
P (ppm)	24,25 a	18,19 b	28,75 a	16,75 b
K (ppm)	27,01 b	33,46 a	24,98 b	34,09 a
M.O.	10,56	10,00	10,25 a	8,94 b
m (%)	0,00	0,00	0,00	0,00
V (%)	55,25 b	67,38 a	60,0 b	66,56 a
Ca/Mg	1,61	1,60	1,73 a	1,57 b
%Ca na CTC	32,29 b	40,08 a	36,08 b	38,78 a
%Mg na CTC	20,15 b	25,18 a	20,94 b	25,08 a
%K na CTC	2,61	2,61	2,96	2,71

OBS. APC – antes das plantas de cobertura, DPC – depois das plantas de cobertura. Para cada variável em cada profundidade analisada, médias seguidas de letras diferentes indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey a 5,0%.

Para muitos autores, dentre os efeitos benéficos do uso de plantas de cobertura sobre a fertilidade do solo, estão a adição de matéria orgânica (Pacheco *et al.*, 2017), maior capacidade de troca de cátions (CTC) e a menor acidez (Zolin *et al.*, 2021); o aumento do fósforo disponível (Silva *et al.*, 2017), a complexação orgânica do alumínio reduzido o seu efeito tóxico para as plantas (Koudahe *et al.*, 2022), adição de N ao sistema pela fixação biológica; disponibilização de micronutrientes e melhoria no desenvolvimento dos cultivos (Tenelli *et al.* 2019), aumentando a estabilidade nas produções ao longo dos anos (AMBORSANO *et al.* 2013). Desta forma, conhecer com as espécies de plantas de cobertura afetam os atributos químicos do solo e quais são mais apropriadas para as condições climáticas e de solo da região do Cerrado torna-se preponderante, pois possibilita a adoção de manejos

mais sustentáveis no sistema de produção (WHITE e JOHNSON, 2018; SCARPARE *et al.* 2019).

Quanto aos teores de fósforo no solo, quando comparado com o teor existente antes da implantação das plantas de cobertura, observa-se que após o cultivo das mesmas houve uma redução na disponibilidade deste elemento de 24,9 % na camada de 0,0-0,20m e de 41,7% na camada de 0,20-0,40m de profundidade. Esta redução pode estar associada ao fato de que, no momento que em foi feita segunda amostragem de solo (seis meses após o plantio da cana), parte da fitomassa produzida pelas plantas de cobertura, ainda não havia sido decomposta, e que pode estar retendo momentaneamente parte do fósforo absorvido. Assim no decorrer do tempo, irá sofrer o processo de mineralização pela ação microbiana, disponibilizando P e outros nutrientes ao solo (Nascente *et al.* 2013), podendo estes posteriormente serem absorvidos pela cana-de-açúcar.

Nascente e Stone (2018), testando diferentes espécies de plantas de cobertura em área de cultivo de arroz no Cerrado observaram maior disponibilidade de N e P para a cultura do arroz e soja nas parcelas onde houve o cultivo das plantas de cobertura, sendo efeito mais acentuado nos tratamentos onde a crotalária foi consorciada com milho. Estes autores também relatam que uma maior diversidade de espécies cultivadas de forma rotacionada, proporciona efeito mais acentuado nos atributos químicos do solo, justificando a necessidade de adoção da rotação de culturas em sistemas de manejos conservacionistas com o sistema de plantio direto.

Quanto ao efeito da interação dos fatores época de coleta x plantas de cobertura na camada de 0,0-0,20m de profundidade (Figura 3), observa-se que as espécies testadas atuaram de forma diferenciada na ciclagem e absorção dos nutrientes do solo, uma vez que maiores valores de pH (Figura 3A), teores de Ca (Figura 3B) e Ca + Mg (Figura 3C) foram observados após o cultivo de braquiária, sendo estes estatisticamente superior aos observados nas áreas onde se cultivou crotalária e milho. Os teores mais elevados cálcio e magnésio após o cultivo da *B. riziensis*, por serem considerados bases trocáveis no solo contribuiu para a elevação dos valores de pH do solo após cultivo desta gramínea. Já para o potássio, maior teor foi verificado após o cultivo de milho.

Quando comparado o teor de K nesta camada de solo após seu cultivo, com os teores obtidos após o cultivo de braquiária e crotalária, este foi respectivamente 102,8 e 264,1% superior, demonstrando a eficiência desta espécie quando se visa a ciclagem de potássio no solo. Estes dados corroboram com os observados por Soratto *et al.* (2012), que ao estudar o cultivo de milho, crotalária e milho +crotalária obtiveram quantidade acumulada de N, P,

K, Ca, Mg, S, C e Si de 257, 38, 322, 57, 47, 35, 6.459 e 412 kg ha⁻¹ para o milho, de 184, 19, 107, 71, 20, 14, 3.906 e 135 kg ha⁻¹ para a crotalaria, e de 161, 22, 136, 46, 22, 17, 4.041 e 162 kg ha⁻¹ no consórcio, denotando a eficiência do milho em acumular estes elementos em sua fitomassa.

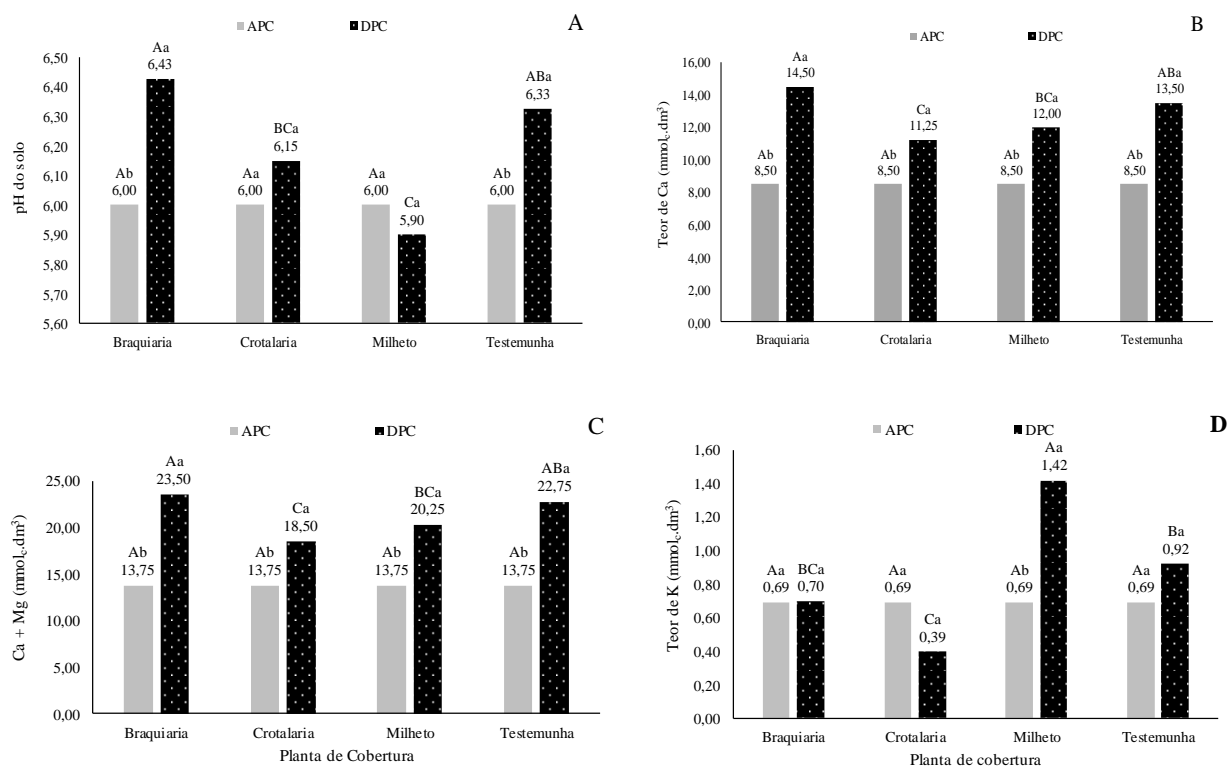


Figura 3. Efeito da interação da época de amostragem do solo (EC) x plantas de cobertura (PC) para o pH do solo (A) e teores de Ca (B), Ca + Mg (C) e K (D) na camada de 0,0 – 0,20 m de profundidade antes (APC) e depois (DPC) do cultivo das plantas de cobertura. Nova Andradina-MS, 2022. Obs. Médias seguidas da mesma letra maiúscula dentro de cada época de amostragem, e minúscula para as épocas de amostragem dentro de cada planta de cobertura não diferem estatisticamente ao teste de Tukey a 5,0%.

Considerando que antes da semeadura das plantas de cobertura, foi realizado o preparo mecanizado e a correção química do solo, este incremento de potássio após o cultivo de milho, e o de cálcio após o cultivo da braquiária, pode estar associado ao sistema radicular destas espécies (Silva *et al.*, 2017; Pacheco *et al.*, 2017) por ser fasciculado, possibilita maior volume de solo explorado (Koudahe *et al.*, 2022), resultando em maior quantidade destes elementos na fitomassa produzida na parte aérea destas espécies (Souza *et al.*, 2019), a qual ao sofrer mineralização, libera-os estes elementos para o solo, ficando disponíveis para serem absorvidos pela cultura principal, no caso a cana.

Resultados similares ao deste trabalho foram publicados por (Pacheco *et al.* 2017), os quais testando diferentes sistemas de cultivo de plantas de cobertura na região do Cerrado do

Piauí obtiveram nos sistemas de produção com *P. glaucum* (milheto) e *U. ruziziensis* (Braquiária), maior ciclagem de nutrientes, com destaque para o nitrogênio, potássio e cálcio, resultando em maior produção de biomassa e grãos pelas culturas do arroz e soja cultivados em sucessão. Para estes autores, este resultado está relacionado ao elevado acúmulo destes elementos na fitomassa destas espécies e posterior liberação para o solo, confirmando a importância destas plantas de cobertura nos sistemas conservacionistas de manejo do solo, principalmente em solos com elevado teor de areia em sua composição textural, como do presente trabalho.

Além dos atributos físicos e químicos do solo, o cultivo das plantas de cobertura influenciou a composição nutricional da cana-de-açúcar, afetando de forma diferenciada o teor de macronutrientes, bem como de micronutrientes presente na folha n^{+3} (Figura 4). Deste modo para o nitrogênio, maior teor foi observado após o cultivo de milheto, sendo similar ao das plantas onde se cultivou crotalária e braquiária, e estatisticamente superior ao das plantas cultivadas nas parcelas testemunhas (Figura 4A). Assim quando comparado o teor de N na folha após o cultivo de milheto, com os teores observado após a crotalária, braquiária e testemunha, este foi respectivamente 10,5; 12,8 e 16,4% superior.

O teor mais elevado destes elementos na cana pode estar relacionado a maior eficiência destas espécies em explorar camadas profundas do solo com seu sistema radicular (Zolin *et al.*, 2021; Koudahe *et al.*, 2022), absorvendo estes nutrientes e incorporando-os em sua fitomassa, para posteriormente com o processo de decomposição, libera-los na camada mais superficial do solo (Silva *et al.*, 2017; Tenelli *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2019), tornando-os disponível para a cana-de-açúcar. Teixeira *et al.* (2011), relatam para o milheto maior tempo de permanência da fitomassa na superfície do solo, considerando esta espécie como recicladora de nutrientes com liberação gradativa de N, P e Ca para o solo.

Já o cultivo de crotalária proporcionou teor mais elevado de enxofre (S) nas folhas da cana (Figura 4C), sendo 25,0% superior quando cultivada na parcela testemunha, 31,2% superior quando após o milheto e 32,5% superior quando após a braquiária. Seu cultivo também afetou positivamente os teores de ferro nas folhas (Figura 4D) e manganês (Figura 4E), sendo estes respectivamente 24,06 e 39,5% superior aos teores observados nas plantas após o cultivo da braquiária, 32,3 e 25,4% superior aos observados após o cultivo de milheto e 8,7 e 39,5% superior após a testemunha.

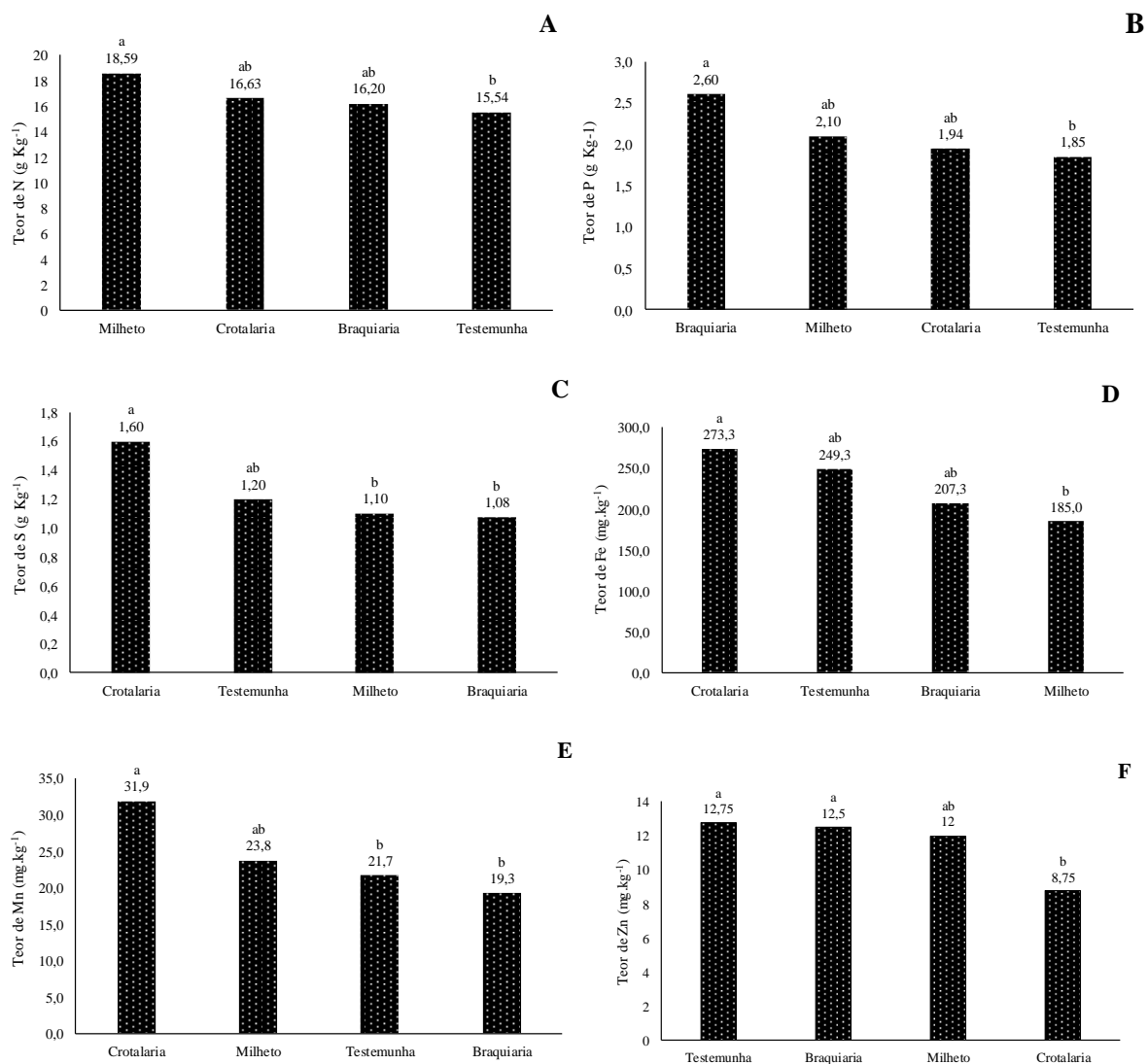


Figura 4. Teores foliares de nitrogênio (A), fósforo (B), enxofre (C), ferro (D), manganês (E) e zinco (F) na cana-de-açúcar aos seis meses de idade após o cultivo de diferentes espécies de plantas de cobertura. Nova Andradina-MS, 2022. OBS. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Tukey a 5,0%.

O teor mais elevado destes elementos na cana pode estar relacionado a maior quantidade de fitomassa produzida por esta leguminosa, bem como pela composição química da mesma, que por possuir um maior teor de nitrogênio (Nascente e Stone, 2018; Delazeri *et al.*, 2020; Bertolino *et al.*, 2021), formado predominantemente por aminoácidos e proteínas (Taiz *et al.*, 2017), que possuem estes micronutrientes em sua composição, acaba disponibilizando maior quantidade dos mesmos para a cana. Por outro lado, o cultivo desta leguminosa resultou em menor teor de zinco nas folhas da cana (Figura 4F).

Para Bordonal *et al.* (2018), o cultivo de crotalaria em rotação com a cultura da cana proporciona ganhos econômicos e ambientais, sendo uma alternativa para maior sustentabilidade do sistema produtivo, uma vez que contribui para uma maior disponibilidade

de nutrientes para a cana, com destaque para o nitrogênio devido realizar o processo de fixação biológica de N atmosférico. Ambrosano *et al.* (2013), ressaltam que o uso desta leguminosa como adubo verde na renovação do canavial é recomendado, pois acumula elevada quantidade de fitomassa em sua parte aérea, contribui para ciclagem de nutrientes, não interfere na brotação da cana e promove aumentos significativos na produtividade da cana nos primeiros anos.

O melhor estado nutricional da cana nas parcelas em que foi cultivado as plantas de cobertura, proporcionou condições para formação de uma maior quantidade de estruturas fotossintetizantes nas folhas, resultando assim em índice SPAD mais elevado para clorofila a (Clor. A), clorofila b (Clor. B) e clorofila total (Clor. Total) nas folhas da cana (Figura 5 A). Quando comparado o valor de índice SPD para clorofila total na folha n^{+3} da cana após o cultivo de milho, braquiária e crotalaria, com o observado nas plantas da parcela testemunha, estes foram respectivamente 18,7; 13,7 e 8,8% superior, fato que possivelmente está relacionado aos teores mais elevados de nutrientes nas folhas da cana (Figura 4), proporcionando condições para que houvesse maior formação de pigmentos fotossintetizantes (Taiz *et al.* 2017), resultando em valores de índice SPAD mais elevados. Comportamento similar ao da clorofila total observou-se também para a clorofila a e clorofila b, indicando que o cultivo das plantas de cobertura, pode proporcionar mudanças na atividade fotossintética da planta, afetando o teor de clorofilas a e b das folhas, pigmentos fotoprotetivos auxiliares (violaxantina, zeaxantina, aeroxantina, luteína, neoxantina e beta-caroteno), responsáveis por tornar as plantas mais verdes e mais resistentes ao estresse hídrico (TAIZ *et al.* 2017).

Um conteúdo maior de elementos fotossintetizantes na folha n^{+3} da cana, associado as melhores condições físicas (Tabela 2; Figura 2) e químicas (Figura 3; Tabela 5) do solo após o cultivo das plantas de cobertura favoreceram para emissão de um maior número de perfilhos (Figura 5B). Quando comparado a quantidade de perfilhos por unidade amostral das parcelas onde foi cultivado braquiária, crotalaria e milho, estes foram respectivamente 43,5; 40,9 e 25,7% superior ao número de perfilho observado para a testemunha, indicando o efeito benéfico do cultivo das plantas de cobertura no desenvolvimento inicial e estabelecimento da cana-de-açúcar na área que está sendo renovada. Para altura das plantas, maior valor foi observado após o cultivo de milho, que diferiu estatisticamente dos valores observados para crotalaria, braquiária e testemunha, fato que reforça que o cultivo desta espécie de planta de cobertura na renovação do canavial é promissor, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento inicial da cana.

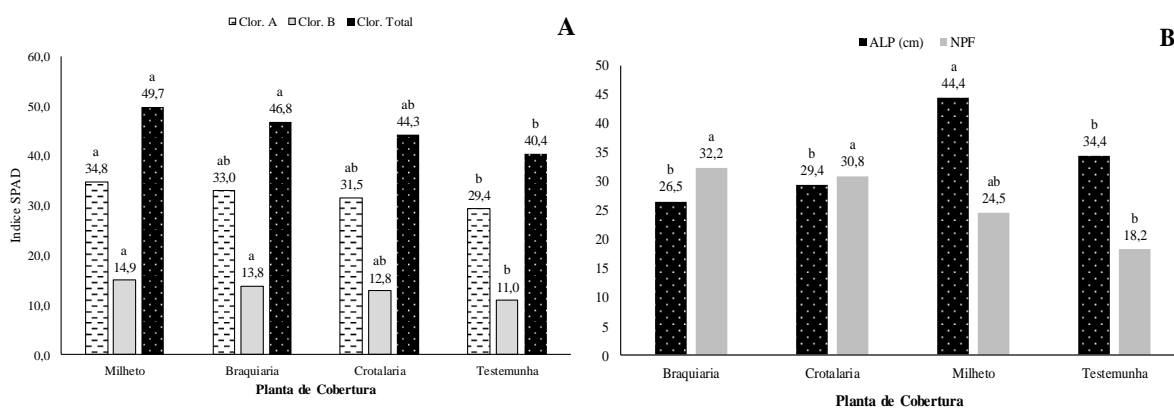


Figura 4. Índice SPAD para clorofila a - Clor. A, Clorofila b - Clor. B e clorofila total - Clor. Total (A), altura das plantas - ALP e número de perfilhos – NPF (B) na cana-de-açúcar nas aos seis meses de idade implantada após o cultivo de diferentes espécies de plantas de cobertura. Nova Andradina, MS 2022. Obs. Para cada variável analisada, médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Tukey a 5,0%.

Para Lemes *et al.* (2022), os benefícios resultantes do cultivo de plantas de cobertura são múltiplos, resultando na melhoria da saúde do solo, uma vez que afeta positivamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, sendo estes responsáveis pelo funcionamento do solo como ecossistema vivo, pois regulam a disponibilidade de água e nutrientes existentes no solo, bem como o quanto que as plantas podem absorver. Filho *et al.* (2023) destacam que seu cultivo, por proporcionar a deposição da palhada em superfície, além de proteção ao solo e reduzir as perdas de água por evaporação, permite a reciclagem de macro e micronutrientes no solo, o que torna este sistema de manejo do solo nas áreas de renovação de cana-de-açúcar mais sustentável. Koudahe *et al.* (2022) ressaltam que a integração de plantas de cobertura em sistemas de cultivo convencionais pode reduzir a densidade do solo, melhorar sua estrutura e propriedades hidráulicas, resultando no aumento da infiltração e armazenamento de água. Também proporciona a adição de resíduos na superfície do solo, contribuindo para aumentar o acúmulo orgânico de C e N no solo, a disponibilidade de P, K, Ca, Fe e Mg, bem como melhora a atividade e a biodiversidade microbiana, considerando seu cultivo como essencial para melhorar os atributos do solo, e conseqüentemente o rendimento da cultura e lucratividade geral do sistema de cultivo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plantas de cobertura na renovação da área de cana-de-açúcar, independente da espécie utilizada foram eficientes em melhorar os atributos físicos do solo, reduzindo os valores de resistência mecânica do solo a penetração até 0,30m de profundidade, com destaque para o milheto, que proporcionou menor densidade do solo e maiores valores de

macroporosidade, microporosidade, porosidade total e umidade gravimétrica e volumétrica do solo em sua capacidade de campo.

A implantação das plantas de cobertura antecedendo a cana proporcionou melhoria nos atributos químicos do solo, elevando o pH, bem como os teores de Ca, Ca+Mg e a CTC do solo. Para o potássio, elemento facilmente perdido por lixiviação, maiores teores nas camadas superficiais do solo foram observados após o cultivo de milho, denotando a eficiência do mesmo como reciclador deste elemento no solo.

Quanto ao aspecto nutricional e desenvolvimento biométrico da cana, o cultivo das plantas de cobertura contribuiu para elevar o teor de fósforo, bem como de nitrogênio após o milho e de enxofre, ferro e manganês, após a crotalaria, resultando na emissão de um maior número de perfilhos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSANO, E.J.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E.A.; SILVA, E.C.; AMBROSANO, G.M.B.; DIAS, F.L.F.; TRIVELIN, P.C.O.; MURAOKA, T. desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 80 – 90, 2013. ISSN 1980-9735.

AWE G.O.; REICHERT J.M.; FONTANELA E. Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage. **Soil and Tillage Research**, 196:104447. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104447>.

BERTOLINO, K.M.; DUARTE, G.R.B.; VASCONCELOS G.M.P.V.; BOTREL, É.P. Desempenho de crotalaria consorciada com milho na produção de biomassa. **ForScience**, v. 9, n. 1, e00895. 2021. <https://doi.org/10.29069/forscience.2021v9n1.e895>.

BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S.J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, v. 326, p. 164 – 200. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>.

BORDONAL, R.O.; CARVALHO, J.L.N.; LAL, R.; FIGUEIREDO, E.B.; OLIVEIRA, B.G.; LA SCALA, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**. 2018. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x>.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento - safra brasileira de grãos, v. 8- Safra 2020/21, n. 12- Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-97, setembro 2022.

DELAZERI, J.V.S.; VALADÃO, F.C.A.; JUNIOR, D.D.V.; HERKLOTZ, B.; BERTONCELLO, L.R.; SILVA, J.L.; VIEIRA, A.O. Desempenho agrônomo de milho e crotalaria cultivados em sistemas solteiro e consorciado. **Ciência del Suelo**, v. 38, n. 2, p. 212 - 223, 2020.

FARHATE, C.V.V.; SOUZA, Z.M.; CHERUBIN, M.R.; LOVERA, L.H.; OLIVEIRA, I.N.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W.S.; SCALA JUNIOR, N.L. Soil physical change and sugarcane stalk yield induced by cover crop and soil tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 46: e0210123. 2022. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210123>.

FILHO, O. F. de L. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**, editores técnicos. – 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF: Embrapa, 2023. PDF, v. 1 (586 p.) : il. color. ; 18,5 cm x 25,5 cm.

GUIMARÃES, JÚNNYOR W.S.; DISERENS E.; DE MARIA I.C.; ARAÚJO-JUNIOR C.F.; FARHATE C.V.V.; SOUZA Z.M.S. Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. **Science of the Total Environment**, v. 681, p. 424-34. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.009>.

KOUDAHE, K.; ALLEN, S. C.; KOFFI, D. Critical review of the impact of cover crops on soil properties. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, p. 343 – 354. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003>

NASCENTE A.S., CRUSCIOL C.A.C., COBUCCI T. The no-tillage system and cover crops: Alternatives to increase upland rice yields. **European Journal of Agronomy**, v. 45, p. 124 – 131, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.09.004>.

NASCENTE A.S.; STONE, L.F. Cover crops as affecting soil chemical and physical properties and development of upland rice and soybean cultivated in rotation. **Rice Science**, v. 25, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsci.2018.10.004>.

OTTO, R.; SILVA, A.P.; FRANCO, H.C.J.; OLIVEIRA, E.C.A.; TRIVELIN, P.C.O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 201 - 210, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2011.10.005>.

PACHECO, E.P.; MONTEIRO, M.M.S.; PETTER, F.A.; NÓBREGA, J.C.A.; SANTOS, A.S. Biomass and nutrient cycling by cover crops in Brazilian Cerrado in the state of Piauí. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 13 – 23, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n102rc>

SCARPARE F.V.; VAN LIER Q.J.; CAMARGO, L.; PIRES, R.C.M.; RUIZ-CORRÊA, S.T.; BEZERRA, A.H.F.; GAVA, G.J.C.; DIAS, C.T.S. Tillage effects on soil physical condition and root growth associated with sugarcane water availability. **Soil & Tillage Research** v. 187, p. 110 – 118, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.005>.

SILVA, A.P.; TORMENA, A.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. Indicadores de qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 241 – 281. 2010.

SILVA, M.P.; ORIVALDO A.R.F.; SÁ, M.E.; ABRANTES, F.L.; BERTI, C.L.F.; SOUZA L.C.D. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 60 – 67. 2017. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v12i1a5424>

SOARES, M.B.; TAVANTI, R.F.R.; RIGOTTI, A.R.; LIMA, J.P.; FREDDI, O.S.; PETTER, F.A. Use of cover crops in the southern Amazon region: What is the impact on soil physical quality? **Geoderma**, v. 384, 114796, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114796>

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; COSTA, C.H.M.; NETO, J.F.; CASTRO, G.S.A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milho, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.10, p. 1462 - 1470. 2012.

SOUZA, F.G.; MELO, V.F.; ARAÚJO, W.F.; ARAÚJO, T.H.C. Losses of soil, water, organic carbon and nutrients caused by water erosion in different crops and natural savannah in the northern Amazon. **Revista Ambiente & Água**, v. 14 n. 1, e2126. 2019. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2126>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p. ISBN: 9788582713662.

TEIXEIRA, M.B.; LOSS A.; PEREIRA, M.G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 867 - 876. 2011.

TENELLI, S.; BORDONAL, O.R.; BARBOSA, L.C.; CARVALHO, J.L.N. Can reduced tillage sustain sugarcane yield and soil carbon if straw is removed? **BioEnergy Research**. 2019. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09996-3>.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 617 - 622. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400012>.

WEILER D.A.; MORO V.J.; AWE G.O.; OLIVEIRA D.M.S.; CERRI C.E.P.; REICHERT J.M.; GIACOMINI S.J. Carbon balance in sugarcane areas under different tillage systems. **BioEnergy Research**, v. 12. p.778-788. 2019. <https://doi.org/10.1007%2Fs12155-019-10002-z>.

WHITE P.; JOHNSON R. Improving soil management in sugarcane cultivation. In: Rott P, editors. Achieving sustainable cultivation of sugarcane. **London: Burleigh Dodds Science Publishing**; p. 97 - 109. 2018. <https://doi.org/10.19103/AS.2017.0035.11>

ZOLIN, C.A.; MATOS, E.S.; MAGALHÃES, C.A.S.; PAULINO, J.; LAL, R.; SPERA, S.T.; BEHLING, M. Short-term effect of a crop-livestock-forestry system on soil, water and nutrient loss in the Cerrado-Amazon ecotone. **Acta Amazonica**, v. 51, n. 2, p. 1102 - 1112. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392202000391>