

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

EDUARDA CORRÊA DE SOUZA

**ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO NO CULTIVO DE SOJA
E MILHO CONSORCIADOS COM PLANTAS DE COBERTURAS E
ADUBAÇÃO ORGANOMINERAL**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

EDUARDA CORRÊA DE SOUZA

**ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO NO CULTIVO DE SOJA
E MILHO CONSORCIADOS COM PLANTAS DE COBERTURAS E
ADUBAÇÃO ORGANOMINERAL**

Orientador(a): Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, área de
concentração: Fertilidade de solo.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Eduarda Corrêa de Souza

ORIENTADOR: Dr. Rafael Felipe Ratke

TÍTULO: Estoque de carbono do solo no cultivo de soja e milho consorciado com plantas de cobertura e adubação organomineral

AVALIADORES:

Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Prof. Dr. Cid Naudi Silva Campos

Prof. Dra. Dthenifer Cordeiro Santana

Chapadão do Sul, 30 de agosto de 2024.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Felipe Ratke, Professor do Magisterio Superior**, em 02/09/2024, às 16:19, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Dthenifer Cordeiro Santana, Usuário Externo**, em 02/09/2024, às 19:40, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cid Naudi Silva Campos, Professor do Magisterio Superior**, em 03/09/2024, às 11:03, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5040665** e o código CRC **71204867**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Rod MS 306, Km 105, Caixa Postal 112

Fone: (67)3562-6351

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000467/2024-92

SEI nº 5040665

DEDICATÓRIA

**Dedico este trabalho aos meus filhos
Heitor Bento Corrêa de Lima e José
Henrique Corrêa de Lima (a
nascer).**

AGRADECIMENTOS

Chegar ao fim deste Metrado, é uma honrra na qual devo agradecimentos a várias pessoas.

A Deus por não me desamparar mantendo - me firme no meu propósito.

Ao meu marido Willian Henrique do Carmo de Lima que sempre me encorajou na busca dos meus objetivos.

Ao meu filho Heitor Bento Corrêa de Lima que é meu meio de motivação para buscar ser melhor a cada dia, agora preste a ter o 2º filho José Henrique me torna mais forte.

Aos meus avós/ pais Bertolino Pereira Rodrigues e Marina Corrêa Rodrigues, que me fizeram a pessoa que sou hoje.

Ao professor e orientador Dr Rafael Felipe Ratke que me deu total apoio e direcionamento durante esse processo, meu muito obrigada e eterna gratidão.

Aos professores do CPCS sempre com excelencia e dedicação para com os alunos.

A Natielly Pereira da Silva e Magno de Jesus Borges, por não medirem esforços no ajudar e contribuir durante meu processo estudantil.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pela oportunidade de realizar esse sonho em ser Mestre.

Por fim, meu muito obrigada a todos que esteve direta ou indiretamente nesse processo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	07
ABSTRACT.....	07
INTRODUÇÃO	08
MATERIAL E MÉTODOS	10
RESULTADOS	14
DISCUSSÃO	20
CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIA	23

Estoque de carbono do solo cultivo de soja e milho consorciado com plantas de cobertura e adubação organomineral

RESUMO: A ciência busca constantemente formas de aumentar a produtividade e diminuir os impactos ambientais, nesse contexto estudos vem sendo realizado com foco em diferentes formas de estoque de carbono na agricultura bem como utilização de plantas de cobertura, adubação organomineral. Algumas alternativas para solução deste impasse está na preservação de florestas nativas, reflorestamento, na adoção de sistemas integrados de lavoura pecuária e floresta (ILPF), no manejo adequado de pastagens e agricultura. Diante disso o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o estoque de carbono no solo em cultivo de soja com sucessão a milho consorciado com plantas de cobertura e adubação organomineral. As plantas de cobertura utilizadas: *Urochloa ruziziensis* e *Crotalaria spectabilis*, cultivadas solteiras e em sistema consorciado com milho primeira e segunda safra. As doses dos fertilizantes fosfatados foram baseadas em 100% da dose recomendada (DR) de acordo com a análise prévia de solo e recomendação para a cultura de milho. Aplicou-se a análise de componentes principais para verificar a influencia dos tratamentos no estoque de carbono. Avaliou-se também a produtividade de grãos milho e soja em 2023 e 2024. O estoque de carbono no solo é influenciado pelo uso de plantas de cobertura e fertilizante organomineral, porém não difere do sistema sem adubação fosfatada. A maior produtividade de milho foi na safra 2023 obtida utilizando ORG2 e consórcio com crotalária.

Palavras-chave: Agricultura; solo; fertilizantes

ABSTRACT: Science is constantly seeking ways to increase productivity and reduce environmental impacts. In this context, studies have been carried out focusing on different forms of carbon storage in agriculture, as well as the use of cover crops and organomineral fertilization. Some alternatives to solve this impasse are the preservation of native forests, reforestation, the adoption of integrated crop-livestock-forestry systems (ILPF), and the appropriate management of pastures and agriculture. Therefore, the objective of this

research was to evaluate the carbon storage in the soil in soybean cultivation followed by corn intercropped with cover crops and organomineral fertilization. The cover crops used were *Urochloa ruziziensis* and *Crotalaria spectabilis*, grown alone and in an intercropped system with first and second crop corn. The doses of phosphate fertilizers were based on 100% of the recommended dose (RD) according to the previous soil analysis and recommendation for corn crops. Principal component analysis was applied to verify the influence of treatments on carbon storage. The productivity of corn and soybean grains in 2023 and 2024 was also evaluated. The carbon stock in the soil is influenced by the use of cover crops and organomineral fertilizer, but does not differ from the system without phosphate fertilization. The highest corn productivity was in the 2023 harvest obtained using ORG2 and intercropping with *crotalaria*.

Keywords: Agriculture; soil; fertilizers;

INTRODUÇÃO

O teor de C do solo, na condição de novo equilíbrio é afetado, entre outros fatores, pela quantidade e qualidade dos resíduos vegetais deixados pelas culturas na superfície do solo (PEREIRA., 2021). A prática de proteger o solo a partir do uso de plantas de cobertura, seja em consórcio ou sucessão é importante para a garantia da sustentabilidade do sistema agrícola.

Essas plantas atuam na proteção do agroecossistema, a partir do processo de decomposição das coberturas, da ciclagem de nutrientes, elevando o teor de matéria orgânica do solo e consequentemente, contribuindo para o aumento do estoque de carbono no solo (ALVES, 2022).

Em práticas de cultivo mínimo do solo, a incorporação de restos culturais e resíduos orgânicos, a adubação verde e as rotações de cultura com gramíneas ou leguminosas, retêm o carbono nos solos por décadas (ALVES, 2022). O emprego de todas essas estratégias, apresentam-se como excelentes alternativas para fixação do carbono.

Zhiyuan et al. (2019), empregaram plantas leguminosas como adubos verdes na janela de plantio e observaram um aumento de C e N no solo. E concluíram que cultivar essas plantas constitui uma alternativa para melhorar a fertilidade do solo e aumentar a produção agrícola sustentável. Portanto, nas situações em que as condições edafoclimáticas favorecem a decomposição da matéria orgânica do solo e a perda de

nutrientes, o uso de plantas leguminosas pode servir de ferramenta importante para promover estoques de C e N no solo (IMBANA et al., 2021).

Um grande desafio para a produção de grãos no Brasil é reduzir o uso de insumos emissores de gases de efeito estufa (GEE) (BREDA et al., 2018). Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias que permitam aos produtores utilizarem menores quantidades de insumos não renováveis, estão entre as prioridades da pesquisa científica do século XXI (ADEWOPO et al., 2014; KANEKO et al., 2021).

Nesse sentido, uma alternativa é a utilização de fertilizantes organomineral incrementados com fosfatos naturais, compostos basicamente de uma mistura de fertilizantes minerais e orgânicos, que apresentam potencial de uso agrícola, pois tendem a ter um menor custo em relação aos fertilizantes químicos, e advém de resíduos de outros sistemas produtivos como por exemplo, esterco bovino.

Viabilizando investimentos em seu uso e pesquisa por atender os ideais de conscientização crescente de uma produção, manejo e desenvolvimento rural sustentável (CRUZ; PEREIRA; FIGUEREDO, 2017). A alta dependência da importação de fertilizantes traz o risco de no futuro o país enfrentar escassez desse insumo, devido países produtores de fertilizantes como a China, ser também consumidores (VEGRO, 2018). Dessa forma, a promoção de fabricação e uso de fertilizantes organominerais pode diminuir a demanda do Brasil por fertilizantes importados.

Tendo em vista a importância de C no solo, a hipótese com este trabalho é que as plantas de coberturas associadas aos organominerais possam proporcionar maior estoque de C. Com base no exposto objetivou-se nesta pesquisa verificar a influência do uso de plantas de cobertura consorciadas com milho e o uso de fertilizante organomineral no estoque de carbono do solo durante o cultivo da soja e do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em safra de inverno, em 2023, na Fazenda Campus Escola da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul-MS, as coordenadas geográficas, 18°46'17,9 de latitude Sul; 52°37'25,0" de longitude Oeste e altitude média de 810 m. O clima da região é definido como tropical com estação seca (Aw) (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), segundo a classificação de Köppen,

com temperatura média anual de 25 °C e precipitação média anual entre 1600 à 1800 mm. Os dados climáticos do experimento estão descritos na figura 1.

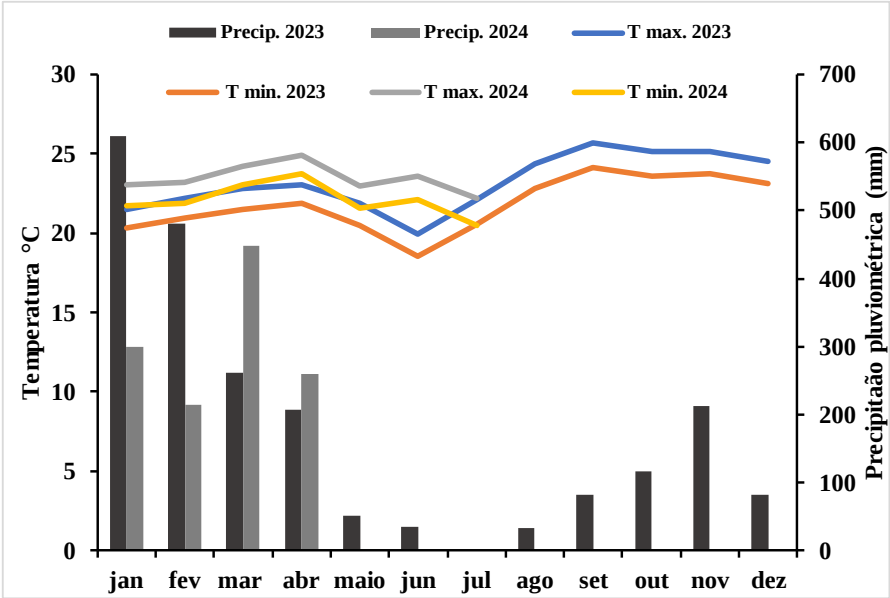


Figura 1. Temperatura e precipitação pluviométrica nos anos de 2023 e 2024 em Chapadão do Sul-MS. (Dados coletados em estação meteorológica automática – INMET).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solos (SANTOS et al., 2018). Foram coletadas amostras de solo na área experimental retirando-se 30 amostras simples na profundidade de 0-20 cm, que foram reunidas em um saco plástico e homogeneizadas formando uma amostra composta. A amostras de solo foi levada para o Laboratório de solos da UFMS campus Chapadão do Sul, local de preparo e análise do solo seguindo a metodologia de Teixeira et al. (2017). O resultado da análise de solo encontra-se na tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise de solo da área experimental.

pH	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	K	P	MO	Argila	Silte	Areia
CaCl	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----		%	- mg dm ⁻³ ---	-----g dm ⁻³ -----				
4,80	2,60	0,60	0,15	6,20	9,60	35,40	77,00	10,90	26,90	480,00	25,00	495,00

OBS: Ca, Mg, Al, utilizou extrator KCl 1 mol L⁻¹; K e P utilizou-se extrator Melhich 1; MO: Matéria orgânica. CTC: Capacidade de troca de cátions à pH 7,0. V: Saturação de bases.

Os tratamentos foram dispostos em parcelas subdivididas, as parcelas foram constituídas das plantas de cobertura, solteiras e consorciadas; sub-parcela foram os fertilizantes. As plantas de cobertura utilizadas foram: *Urochloa* ruziziensis e Crotalária spectabilis, cultivadas solteiras e em sistema consorciado com milho na safrinha. Desta forma as parcelas constituíram: 1. MS: milho solteiro; 2. MU: Milho+*Urochloa* ruziziensis; 3. MC: Milho+Crotalária spectabilis; 4. MUC: Milho+*Urochloa* ruziziensis+Crotalária spectabilis; 5. US: *Urochloa* ruziziensis solteira; 6. CS: Crotalária spectabilis solteira; 7. UC: *Urochloa* ruziziensis + Crotalária spectabilis. Foram utilizados os 2 fertilizantes organominerais fabricados, e 1 fertilizante fosfatado (superfosfato simples, 18% P_2O_5). O esquema de plantio, aplicação dos tratamentos e avaliação de carbono estão ilustrados na figura 2.

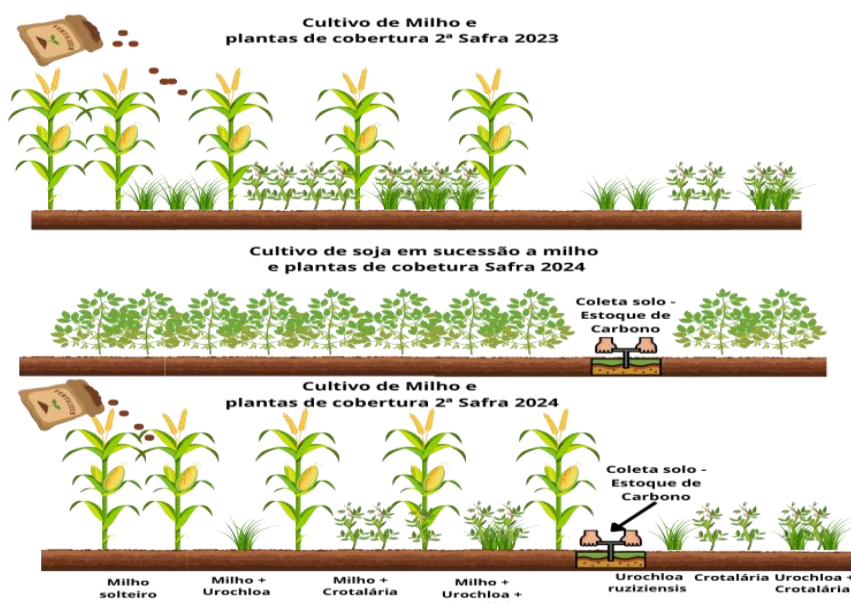


Figura 2. Ilustração da aplicação dos tratamentos e condução da pesquisa na área experimental.

Os fertilizantes ORG1 e ORG2 foram fabricados por aglutinação formando grânulos utilizando esterco bovino, fosfato natural reativo (FNR) e superfosfato simples. O ORG1 é composto de esterco bovino e FNR, contendo 9,75% P_2O_5 . O ORG2 foi composto por esterco bovino, fosfato natural reativo (FNR) e superfosfato simples contendo 11,25% P_2O_5 . O esterco bovino é oriundo de confinamento de bovinos para produção de carne na região de Chapadão do Sul-MS. O FNR é originário de uma mina de rocha fosfática de Mato Grosso do Sul. Ambos materiais foram submetidos a análise química, resultado encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado da análise química dos resíduos utilizados na fabricação de organominerais.

Material	pH	N (%)	K ₂ O total (%)	P ₂ O ₅ total (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO (%)	COT (%)
Fosfato Natural Reativo	7,4	0	0,31	15,8	17,60	0,30	22,70	0,00
Esterco Bovino	7,2	1,42	1,20	0,77	0,00	0,00	0,00	15,70

*COT: Carbono orgânico total.

As doses dos fertilizantes fosfatados foram de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, baseadas em 100% da dose recomendada (DR) de acordo com a análise prévia de solo e recomendação para a cultura do milho (SOUSA; LOBATO, 2004). Os fertilizantes foram distribuídos de forma manual na superfície do solo na área das parcelas durante o cultivo do milho safrinha e planta de cobertura em 2023. Na soja não houve adubação fosfatada.

Sementes da cultivar de milho B2702VYHR (BREVANT) foram plantadas mecanicamente por meio de semeadora-adubadora, a uma profundidade de aproximadamente 3 cm com espaçamento de 0,45 cm, 3,5 sementes por metros, no dia 18/02/2023. As plantas de cobertura foram aplicadas na superfície do solo junto do plantio do milho. Utilizou-se 5 kg ha⁻¹ da *Urochloa ruziziensis* (VC = 80) e 30 kg ha⁻¹ da *Crotalaria spectabilis*. As sementes das plantas de cobertura na foram incorporadas ao solo com auxílio de um escarificador manual.

A adubação nitrogenada foi realizada no estágio V6 da cultura do milho na dose de 120 kg ha⁻¹ de N utilizando como fonte ureia (45% N). A adubação potássica ocorreu no estágio V6 do milho na dose de 120 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando como fonte KCl (60% K₂O). A ureia e o KCl foram distribuídos manualmente na superfície do solo das parcelas experimentais.

Após a primeira safra de milho foi instalado a soja, sementes da cultivar de soja Iguaçu (IPRO) foram plantadas mecanicamente por meio de semeadora-adubadora, a uma profundidade de aproximadamente 3 cm, com espaçamento de 0,45 cm, 13 sementes por metros, no dia 23/10/2023, sobre as parcelas de plantas de cobertura consorciadas e não

consorciadas com milho. A soja foi inoculada com *Bradyrhizobium japonicum* [CPAC-15 (SEMIA 5079)] na dose de 3 ml kg⁻¹ de semente. Não foram feitas adubações fosfatadas e de potássio para avaliar o efeito residual na adubação do milho.

No dia 17/02/2024 foi realizada a colheita da soja na parcela útil do experimento (2 m²) e a debulha mecânica realizada com auxílio de uma debulhadora estacionária. Após a debulha foi determinado a produtividade de grãos (kg ha⁻¹) padronizada para umidade dos grãos para soja e milho de 13%.

Na sequência foi instalado o segundo campo do milho, no dia 27/02/2024 as plantas de cobertura foram aplicadas na superfície do solo junto do plantio do milho.

Durante o desenvolvimento das culturas de milho e soja, ocorreu o monitoramento semanal para se determinar o momento ideal de manejar plantas daninhas, pragas e doenças. As aplicações foram feitas de forma mecanizada, através de pulverizadores tratorizados, os produtos utilizados foram: glifosato, haloxifope-p-metílico, clorpirifós, cipermetrina e imidacloprido + beta-ciflutrina nas doses recomendadas pelo fabricante.

Os solos das parcelas foram amostrados durante o ciclo de cultivo de soja e do milho na safra 2024 para análise química. As amostras foram realizadas com auxílio de um trado tipo sonda coletando-se o solo das parcelas, nas profundidades de 0-10 cm e 10-30 cm. . A densidade do solo foi obtida através de amostras de aneis volumetricos nas profundidades de de 0-10 cm e 10-30 cm. O carbono no solo foi determinado através da concentração de carbono orgânico total (COT) utilizando o método colorimétrico (CANTARELLA; QUAGGIO; RAIJ, 2001). Para a estimativa de estoque de carbono no solo foi aplicada a equação resumida:

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times \text{e})/10$$

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (t ha⁻¹) CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg⁻¹)

Ds = densidade do solo da profundidade (g cm⁻³)

e = espessura da camada considerada (cm)

Na maturação fisiológica do milho foi realizado a colheita manual de espigas de milho na parcela útil do experimento (2 m²) e a debulha mecânica foi realizada com auxílio de uma debulhadora estacionária. Após a debulha do milho foi determinado a

massa de mil grãos (g) e a produtividade de grãos (kg ha^{-1}). Amostras de grãos de milho foram coletados para análise de P conforme metodologia descrita por Silva (2009).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, com médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Posteriormente foi realizado uma análise de componentes principais (PCA) visando encontrar a relação entre as variáveis. As análises foram realizadas no software Rbio (BHERING, 2017).

RESULTADOS

Estoque de carbono

O manejo do solo com diferentes tipos de plantas consorciadas com milho influenciou o estoque de carbono no solo na profundidade de 0-10 cm durante o cultivo de soja (Tabela 3). O uso de *Urochloa ruziziensis* sem consorcio com milho proporcionou o acréscimo aproximadamente de 13 t ha^{-1} de C no solo em relação o uso de *Crotalaria Spectabilis* com milho.

Tabela 3. Análise de variância de estoque de carbono no solo em função de diferentes manejos do solo e fertilizantes organominerais.

Cultura	Soja		Milho	
Profundidade do solo (cm)	0-10	10-30	0-10	10-30
Fonte de variação	-----valor de f calculado-----			
Manejo (M)	3,47*	1,50ns	1,67ns	0,98ns
Fertilizantes (F)	0,98ns	0,23ns	0,16ns	0,29ns
M x F	1,28ns	0,78ns	0,71ns	0,31ns
CV 1 (%)#	16,28	42,75	23,62	50,31
CV 2 (%)	16,96	61,55	35,31	27,32

#CV: Coeficiente de variação. *significativo pelo teste F ($p < 0,10$); ns: não significativo.

O estoque de C na profundidade de 0-10 cm do solo durante o cultivo da soja apresenta influencia principalmente da presença de *Urochloa ruziziensis* (Figura 4). Porém, na profundidade de 10-30 cm, a maior influencia no estoque de C está associado a presença do cultivo do milho antecipadamente a soja

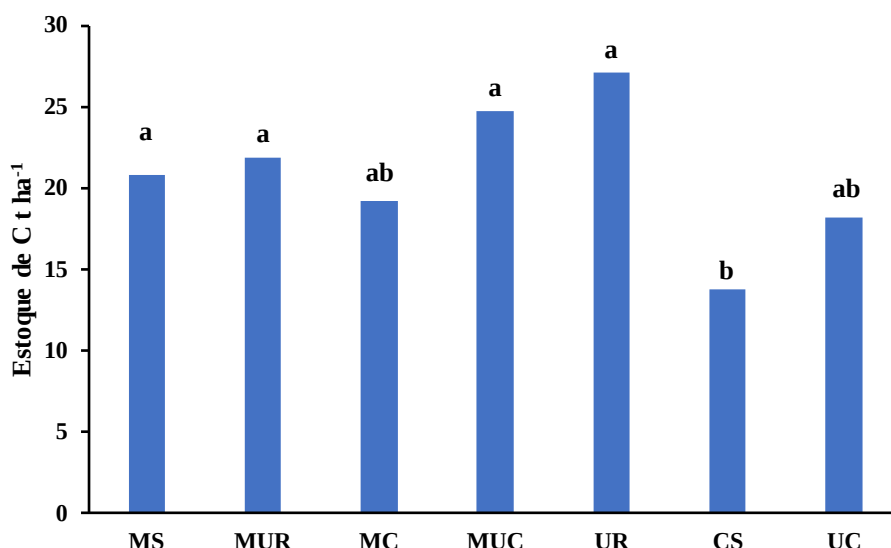


Figura 4 . Estoque de C no solo na profundidade 0-10 cm no cultivo de soja, em função do manejo de plantas de cobertura com milho. 1. MS: milho solteiro; 2. MU: Milho+Urochloa ruziziensis; 3. MC: Milho+Crotalaria spectabilis; 4. MUC: Milho+Urochloa ruziziensis+ Crotalaria spectabilis; 5. UR: Urochloa ruziziensis; 6. CS: Crotalaria spectabilis; 7. UC: Urochloa ruziziensis+ Crotalaria spectabilis.

Durante o cultivo do milho observou-se que o estoque de C está relacionado com o uso do manejo de Urochloa ruzizienses solteira e Milho+Crotalaria na profundidade de 0-10 cm, e Milho+Urochloa, Milho+Urochloa+Crotalaria, e Milho Solteiro, na camada de 10-30 cm. Dessa forma, observa-se que a variação de estoque de C no solo na profundidade de 0-10 cm está relacionada ao uso de Urochloa ruzizienses, e na profundidade de 10-30 cm ao uso de milho.

A Figura 5 apresenta o PCA para o estoque de C na profundidade de 0-10 e 10-30 cm durante o cultivo da soja, sendo evidente a separação entre as profundidades do solo no biplote. Na profundidade de 0-10 cm o estoque de C está mais relacionado com o uso de Urochloa ruziziensis consorciado e não consorciado com milho associado ao uso de ORG2, e sem adubação. Porém na profundidade de 0-30 cm, os pontos estão mais próximo do uso de Urochloa ruziziensis associado ao ORG1.

M x F	3,85*	0,78ns	0,31ns
CV 1 (%)#	21,28	14,42	8,24
CV 2 (%)	25,69	34,64	12,17

#CV: Coeficiente de variação. *significativo pelo teste F ($p < 0,10$); ns: não significativo

O uso do manejo de Milho + Crotalaria associado ao uso de ORG2 promoveu maior produtividade de grãos de milho safra 2023 (Figura 7), que não diferiu para o uso de MUC com superfosfato simples. As menores produções de milho foram observadas com o uso de MC + SS, MS+SS e MS sem adubação, e o tratamento sem adubação no MUC. A presença de plantas de cobertura compete com o milho por nutrientes, impactando sua produtividade. Porém, as plantas como crotalárias podem favorecer o fornecimento de N pela fixação biológica, promovendo a produtividade do milho.

O ORG1 associado ao cultivo de crotalaria promoveu a maior produtividade de grãos de soja, também sem diferença significativa para os outros tratamentos (Figura 8). Dessa forma, observa-se que a fonte de fósforo não influenciou a produtividade de soja e que a soja utilizando as reservas de P do solo, produzindo grãos nas parcelas sem adubação.

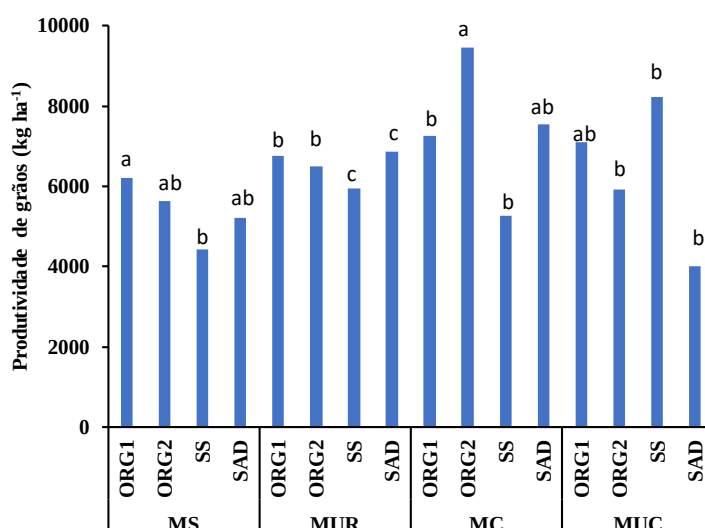


Figura 7. Produtividade de grãos de milho safrinha de 2023 em função do uso de fertilizantes organominerais e plantas de cobertura. Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 1- ORG1:

Esterco+FNR e 2-ORG2: Esterco+Fosfato+SFS. 1. MS: milho solteiro; 2. MU: Milho+Urochloa ruziziensis; 3. MC: Milho+Crotalaria spectabilis; 4. MUC: Milho+Urochloa ruziziensis+ Crotalaria spectabilis;

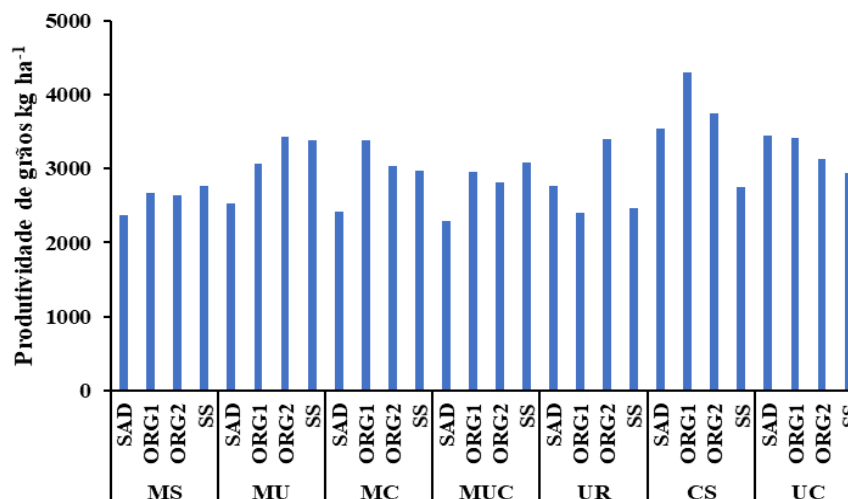


Figura 8. Produtividade de grãos de soja safra 2023-2024 em função do uso de fertilizantes organominerais e plantas de cobertura. Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 1- ORG1: Esterco+FNR e 2-ORG2: Esterco+Fosfato+SFS. 1. MS: milho solteiro; 2. MU: Milho+Urochloa ruziziensis; 3. MC: Milho+Crotalaria spectabilis; 4. MUC: Milho+Urochloa ruziziensis+ Crotalaria spectabilis.

O uso de fertilizante ORG1 no manejo MU e MC promoveram maior massa de mil grãos de milho na safra 2024, sem diferença estatística para os outros tratamentos (Fig. 9). Entretanto, na observou-se maior produtividade de grãos no manejo MUC associado ao uso de ORG2, sem diferença significativa para os outros tratamentos.

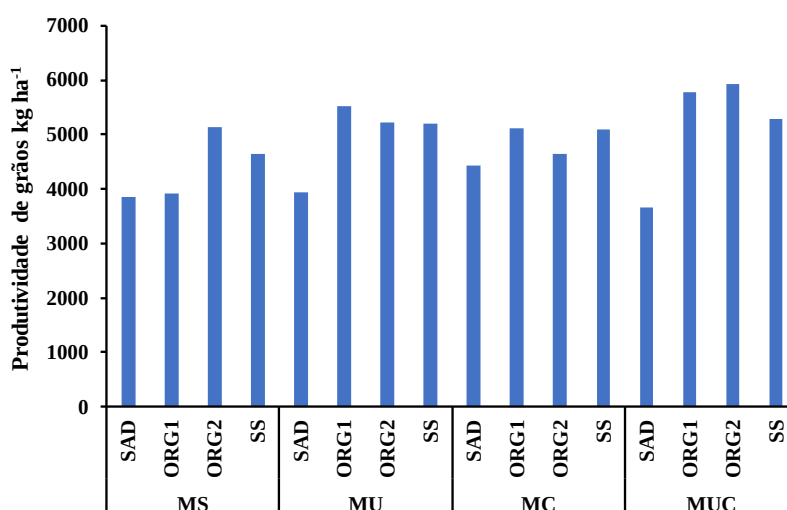


Figura 9. Produtividade de grão de milho safra 2024 em função do uso de fertilizantes organominerais e plantas de cobertura. Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). 1- ORG1: Esterco+FNR e 2-ORG2: Esterco+Fosfato+SFS. 1. MS: milho solteiro; 2. MU: Milho+Urochloa ruziziensis; 3. MC: Milho+Crotalária spectabilis; 4. MUC: Milho+Urochloa ruziziensis+ Crotalária spectabilis;

No cultivo de soja em função das plantas de cobertura e manejo de milho que mais evidenciou estocagem de carbono na camada de 0 a 10cm foram os tratamentos que receberam Urochloa e Milho + Urochloa já em função da adubação o tratamento que teve maior destaque foi o ORG 2. Na camada de 0 a 30cm plantas de coberturas, com melhor resultado foi o tratamento que teve o plantio de milho solteiro, para adubação na mesma camada o ORG1 obteve maior resultado na estocagem de carbono. E para produtividade o tratamento de Crotalaria com ORG1 se destacou.

No milho na camada de 0 a 10cm em função do estoque de carbono, o uso de Urochloa ruziziensis associado ao uso de superfosfato simples apresentou maior estocagem. Na camada de 0 a 30cm o tratamento de Urochloa ruziziensis associado ao ORG2 mostrou maior resultado. Para produtividade no milho segunda safra 2023 o tratamento de MU (milho + crotalária) mais ORG2 (organomineral + super fosfato simples) obteve maior produtividade. Na safra 2024 de milho promoveu produtividade igual a safra 2023, sem diferença estatística para os outros tratamentos.

DISCUSSÃO

A integração de culturas de cobertura no cultivo de milho pode aumentar o carbono do solo devido à sua capacidade de aumentar o sequestro de carbono orgânico do solo (COS) e melhorar o ciclo de nutrientes (MBUTHIA et al., 2015). As gramíneas, leguminosas e brássicas podem aumentar significativamente os níveis de COS, nitrogênio lábil total e concentrações de nutrientes no solo, levando à melhoria da saúde e produtividade do solo (GONZÁLEZ-SÁNCHEZ et al., 2012). Entretanto, o ambiente de cultivo influencia a produção de massa das plantas de cobertura, podendo aumentar ou diminuir o teor de carbono no solo (FROUFE; RACHWAL; SEOANE, 2011).

Na profundidade de 0-10 cm observa-se que os tratamentos que receberam os organominerais com as plantas de cobertura apresentou o maior estoque de carbono, pode estar relacionado ao fato que em áreas tropicais a respiração do solo é influenciada pelos microrganismos e raízes presentes no solo (LIMA et al., 2023). Resultado que se repete

nas profundidades de 0-30 cm diferenciando apenas no incremento de carbono na cultura da soja nos tratamentos que foram plantados milhos anteriormente junto com as plantas de cobertura. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de o Cerrado apresentar solo do tipo Latossolos, caracterizado por sua profundidade superior a dois metros e intemperismo, resultando em maior quantidade de resíduos vegetais e microrganismos e assim, contribuindo para maior estoque de carbono (FREITAS et al., 2018).

No geral, as culturas de cobertura desempenham um papel crucial no aumento do carbono do solo por meio da melhoria do ciclo de nutrientes, melhoria da saúde do solo e acúmulo de matéria orgânica (BOURNS et al., 2024). Diante destes argumentos, foi evidente que as plantas de cobertura interferiram no estoque de C do solo, em função do manejo adotado e das condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento das plantas.

Houve uma tendência que na camada de 0-10 cm do solo o uso de *Urochloa ruziziensis* aumenta o estoque de C no solo, e na camada de 0-30 cm do solo o uso de milho consorciado aumentou o teor de C no solo. Nesse sentido, o estoque de carbono na profundidade de 0-10 cm do solo foi influenciado pelo uso de fertilizante organomineral ORG1 quando associado ao uso de milho consorciado com *Urochloa*, na profundidade de 0-30 cm esse efeito foi observado com o uso de ORG2.

Entretanto, não houve diferenças significativas para estoque de carbono entre os tratamentos. Este efeito pode estar ocorrendo devido ao tempo de uso do manejo orgânico adotado, para o efeito do aumento do C no solo os manejos devem ser prolongados por anos, e o nosso sistema foi adotado recentemente a menos de 2 anos.

O uso de fertilizantes organominerais tem um impacto significativo no conteúdo de carbono do solo (RATKE et al., 2022). Pesquisas mostraram que substituir uma parte de fertilizantes inorgânicos por fertilizantes orgânicos pode levar a um aumento no conteúdo de carbono orgânico do solo (COS), particularmente quando 50% do nitrogênio mineral é substituído por fertilizante orgânico (YANG et al., 2024).

Além disso, a aplicação de fertilizantes orgânicos tem sido associada a maiores concentrações de carbono orgânico do solo e maior formação de macroagregados, promovendo o acúmulo e estabilização do carbono orgânico do solo em escalas agregadas (ZHAO et al., 2023). No geral, o uso de fertilizantes organominerais desempenha um papel crucial no reforço do conteúdo de carbono do solo e na promoção de práticas agrícolas sustentáveis.

Para CHAPLOT; SMITH, (2023) o estoque de C orgânico no solo ainda não está relacionado com o uso de plantas de cobertura, em uma meta-análise de 37 estudos não há cálculos corretos do teor de C no solo, baseado na massa equivalente do solo, o que dificulta a comparação de resultados, além de que houve uma tendência de aumento não significativo do estoque do carbono no solo.

O cultivo intercalar de culturas de cobertura com milho, juntamente com o uso de fertilizantes organominerais, tem mostrado resultados promissores no aumento da produtividade do milho e da soja (SAMAD et al., 2024). Estudos recentes envolvendo o consórcio de *Urochloa* (UR) e a cultura do milho apontam o incremento produtivo, além do aumento no teor de matéria seca de ambas as espécies (ALMEIDA et al., 2017).

Além disso UR possui a capacidade de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo, como é o caso do K, tornando-o disponível em forma trocável para a cultura sucessora após a mineralização da MS (CHIODEROLI et al., 2012).

Incrementos na produtividade de soja, principalmente após a incorporação de leguminosas como a crotalária e a mucuna-preta atribuíram tais resultados à redução da população de nematóides fitopatogênicos, ocasionada pelo cultivo dessas espécies de adubos verdes (CARVALHO et al., 2004), isso explica a maior produtividade de grãos de soja no tratamento utilizado a Crotalária e organomineal 2.

As culturas de cobertura associadas com fertilizantes organominerais melhoram a fertilidade do solo, aumentam a absorção de nutrientes e reduzem impactos ambientais, como perda de fósforo (VELOSO; CECAGNO; BAYER, 2019). Isso torna as plantas do gênero frequentemente utilizadas em consórcio às determinadas culturas de interesse econômico aos campos produtivos, principalmente em manejos que utilizam o SPD (SILVA et al., 2009).

Além disso, a combinação de culturas de cobertura com fixação biológica de nitrogênio pode levar ao aumento do armazenamento de carbono no solo e à redução da lixiviação de nitrogênio, aumentando em última análise, a produtividade das culturas sem comprometer a sustentabilidade ambiental (ZUFFO et al., 2022). Portanto, a integração de culturas de cobertura com fertilizantes organominerais em sistemas de cultivo intercalar de milho pode, de fato, contribuir para o aumento da produtividade do milho e da soja (ALVES et al., 2015). Nesse sentido, essa pesquisa com plantas de cobertura e fertilizante organomineral está adequada pois utilizou os cálculos de estoque de C baseado na massa equivalente do solo. Ademais, segue-se o raciocínio que ainda precisa de estudos mais avançados e de longa duração para avaliar o estoque de C no solo.

CONCLUSÃO

O estoque de C avaliado no cultivo de soja difere do estoque de C observado no cultivo de milho na safra agrícola principalmente com o incremento das plantas de coberturas e em profundidades diferentes do solo. O uso de *Urochloa ruziziensis* influencia o estoque de C do solo na cultura do milho, principalmente com o uso de fertilizante organomineral. A produtividade de milho é influenciada pela uso de plantas de cobertura e fertilizante organomineral. A estratégias de manejo do solo para aumento de estoque de C devem ser avaliados em experimentos de longa duração.

A produtividade de soja foi influenciada pelo tratamento que recebeu *Crotalaria* + ORG1, e na estocagem evidenciou *Urochloa* + milho e ORG2.

REFERÊNCIAS

- ADEWOPO, J. B. et al. Top-Ranked Priority Research Questions for Soil Science in the 21st Century. **Soil Science Society of America Journal**, v. 78, p. 337-347, 2014.
- ALMEIDA, R. E. M. DE et al. Effects of nitrogen fertilization on yield components in a corn-palisadegrass intercropping system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n.3, p. 352–359, 2017.
- ALVES, M. C. et al. Production of soy and maize grown on different cover crops. [Portuguese] . **Revista Ciencia Agronomica**, v. 46, n. 1, p. 89–98, 2015.
- ALVES, Mauro da Silva. Plantas de cobertura no manejo de invasoras, no estoque de carbono do solo e na produtividade do guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke). 2022. 75 f. Tese, (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2022.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, 2017.
- BOURNS, M. A. et al. Cover crops impact phosphorus cycling and environmental efficiency in a corn–soybean system. **Agronomy Journal**, v. 116, n. 1, p. 109–120, 2024.
- BREDA, C. C.; et al., A. Successive sewage sludge fertilization: Recycling for sustainable agriculture. **Waste Management**, v. 109, p. 38-50, 2020.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. VAN. Determinação da matéria

orgânica. In: RAIJ, B. VAN et al. (Eds.). **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 175–180.

CARVALHO, Marco Antonio Camillo de et al. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1141-1148, 2004.

CARVALHO, AM et al. Caracterização por espectroscopia de RMN CPMAS ¹³C no estado sólido de resíduos vegetais em decomposição em sistemas de plantio convencional e direto no Brasil Central. **Pesquisa de Solo e Cultivo**, v. 1, pág. 100-107, 2009.

CARVALHO, AM et al. Composição química de plantas de cobertura e seu efeito na produtividade do milho em sistema plantio direto no Cerrado brasileiro. **Ciência de Culturas e Pastagens**, v. 12, pág. 1075-1081, 2012.

CARVALHO, AM et al. Plantas de cobertura com potencial uso para sistemas integrados lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1200- 1205, 2001

CASSOL PC, Fachini L, Mafra ÁL, Brand MA, Simonete M, Coimbra JLM. Alterações no carbono orgânico do solo de campo natural submetido ao plantio de Pinus taeda em três idades. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 545-558, 2019.

CHAPLOT, V.; SMITH, P. Cover crops do not increase soil organic carbon stocks as much as has been claimed: What is the way forward? **Global Change Biology**, v. 29, n. 22, p. 6163–6169, 2023.

CHIODEROLI, C. A. et al. Consórcio de Urochloas com milho em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1804–1810, 2012.

CONAB, C. N. DE A. **Perspectivas para a agropecuária**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 5 abr. 2018.

COSTA, E.; FERREZIN, N. B. ESG (Environmental, Social and Corporate Governance) e a comunicação: o tripé da sustentabilidade aplicado às organizações globalizadas. **Revista Alterjor**, v. 24, n. 2, p. 79–95, 2021.

COOK RL, Binkley D, Stape JL. Eucalyptus plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 92-98 2016.

FOHRAPELLNER, J. et al. Cover crops affect pool specific soil organic carbon in cropland – A meta-analysis. **European Journal of Soil Science**, v. 75, n. 2, p. 1–30, 2024.

FREITAS, L. et al. Latosols (Oxisols) carbono storage in natural and altered

managements. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018.

FROUFE, L. C. M.; RACHWAL, M. F. G.; SEOANE, C. E. S. Potencial de sistemas agroflorestais multiestratos para sequestro de carbono em áreas de ocorrência de Floresta Atlântica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 143–154, 2011.

GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R. Produtividade de milho submetido a aplicação de ureia revestida por polímeros. **Global Science and Technology**, v. 6, p. 31-37, 2013.

GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, E. J. et al. **Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. Soil and Tillage Research**, jun. 2012.

IMBANA, Rugana et al. Leguminosas como plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo Legumes as covers crops to improve soil quality. **Revista Verde**, v. 16, n. 4, p. 351-357, 2021.

KANEKO, F. H.; et al., Effect of urea and polymer-coated urea on N content of soil and leaves of maize cultivated in Brazilian Cerrado, **Soil and Tillage Research**, v. 209, p. 104906, 2021.

LE QUÉRE C, Andrew RM, Friedlingstein P, Sitch S, Hauck J, Pongratz J et al. Global Carbon Budget 2018. **Earth System Science Data**, v. 10, p. 2141–2194, 2018.

LIMA, J. R. S. et al. Moisture, temperature and respiration of two soil classes under pasture and tropical dry forest in the semiarid Brazilian region. **Journal of Arid Environments**, v. 214, e104981, 2023.

MAGALHÃES SSA, Ramos FT, Weber OLS. Estoques de carbono em Latossolo após trinta e oito anos sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 85-91, 2016.

MBUTHIA, L. W. et al. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 89, p. 24–34, 1 out. 2015.

PACHECO, L. P. et al. Biomass and Nutrient Cycling By Cover Crops in Brazilian Cerrado in the State of Piauí. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 13–23, mar. 2017.

PEREIRA, Henildo de Sousa. **Estoque de carbono e atributos físicos e microbiológicos do solo em sistema de semeadura direta de longa duração**. 2021

PRIMIERY S, Muniz AW, Lisboa HM. Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00110314, 2017.

SAMAD, M. A. et al. Integrated Nutrient Management Strategies: Unraveling the Impact

of Bio-Fertilizers and Traditional Fertilizers on Soybean (*Glycine max*) Productivity. **European Journal of Nutrition & Food Safety**, v. 16, n. 1, p. 60–65, 2024.

SANTANA MS, Sampaio EVSB, Giongo V, Menezes RSC, Jesus KN, Albuquerque ERGM et al. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 16, e00205, 2019.

RATKE, R. F. et al. Soil Organic Matter Fractions and Enzymes Activities under No-tillage System: Effects of Organomineral and Mineral Fertilizer with Humic Substances. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 3, p. 304–316, 2022.

RUFINO, Dayseana Carneiro et al. Estoque de carbono do solo em agroecossistemas e florestas secundárias. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 11, pág. e545111133840-e545111133840, 2022.

SANTOS, H. . G. et al. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SILVA, P. C. G. DA et al. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1504–1512, 2009.

SILVA, E. F.; MOITINHO, et al., Emissao de CO₂ do solo associada a calagem em area de conversao de laranja para cana-de-acucar. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 885-898, 2014.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2^a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análises de solos**. 3^a ed. Brasília: Embrapa, 2017.

VELOSO, M. G.; CECAGNO, D.; BAYER, C. Legume cover crops under no-tillage favor organomineral association in microaggregates and soil C accumulation. **Soil and Tillage Research**, v. 190, n. February, p. 139–146, 2019.

VICENTE LC, Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC. Organic carbon within soil aggregates under forestry systems and pasture in a southeast region of Brazil. **Catena** v. 182, e104139, 2019.

YANG, Q. et al. Substitution of Inorganic Fertilizer with Organic Fertilizer Influences Soil Carbon and Nitrogen Content and Enzyme Activity under Rubber Plantation. **Forests**, v. 15, n. 5, 2024.

ZELARAYÁN, MLC et al. Impacto da degradação sobre o estoque total de carbono de florestas ripárias na Amazônia Oriental, Brasil. **Acta Amazonica** v. 45, p. 271282, 2015.

ZHAO, Z. et al. Organic carbon accumulation and aggregate formation in soils under

organic and inorganic fertilizer management practices in a rice–wheat cropping system. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 1–12, 2023.

ZHIYUAN, Y.; et al., Dynamics and Sequestration Potential of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Stocks of Leguminous Green ManureBased Cropping Systems on the Loess Plateau of China. **Soil and Tillage Research**, 10.1016/J.STILL.2019.

ZUFFO, A. M. et al. Understanding the contribution of soybean crop residues inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and not harvested on nitrogen supply in off-season corn cultivars. **PLoS ONE**, v. 17, n. 6 June, 1 jun. 2022.