

Campus Colorado do Oeste
Coordenação do Curso em Engenharia Agrônoma

LUIS ANTONIO BENTO VIANA FILHO

**PLANTAS DE COBERTURA COMO MECANISMO DE RECONDICIONAMENTO DOS
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM AMBIENTE AMAZÔNICO**

COLORADO DO OESTE

2025

LUIS ANTONIO BENTO VIANA FILHO

**PLANTAS DE COBERTURA COMO MECANISMO DE RECONDICIONAMENTO DOS
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM AMBIENTE AMAZÔNICO**

Artigo científico entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Colorado do Oeste como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica, sob a orientação da professora Érica de Oliveira Araújo.

COLORADO DO OESTE

2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Viana Filho, Luis Antonio Bento.

Plantas de cobertura como mecanismo de condicionamento dos atributos
químicos do solo em ambiente amazônico / Luis Antonio Bento Viana Filho,
Colorado do Oeste-RO, 2025.

28 f.

Orientador(a): Dra Érica de Oliveira Araújo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Colorado do
Oeste-RO, 2025.

1. Fabaceae. 2. Resíduo vegetal. 3. Ciclagem de nutrientes. 4. Saúde do
solo. 5. Sustentabilidade. I. Araújo, Érica de Oliveira (orient.). II. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Juliana Machado da Silva Sasset, CRB-11/1140 (Campus Colorado do Oeste)

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - *Campus* Colorado do Oeste, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Autor: Luis Antonio Bento Viana Filho

Orientador: Érica de Oliveira Araújo

Situação: () Aprovado () Reprovado

Aprovado em: ___ / ___ / _____

Orientador(a)

Membro 1

Membro 2

PLANTAS DE COBERTURA COMO MECANISMO DE RECONDICIONAMENTO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM AMBIENTE AMAZÔNICO

COVER CROPS AS A MECHANISM FOR RECONDITIONING SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN THE AMAZON ENVIRONMENT

Luis Antonio Bento Viana Filho¹

Érica de Oliveira Araújo²

RESUMO

A evolução e difusão das técnicas de uso, manejo e manutenção do perfil do solo, e a investigação centrada no aprofundamento das interações entre os atributos químicos do solo e o potencial produtivo das áreas, bem como suas relações com os resíduos culturais são fundamentais para viabilização do sistema de sucessão, rotação e plantio direto na região amazônica. Assim, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar o condicionamento químico do solo após o manejo com plantas de cobertura na região sul rondoniense. O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Instituto Federal de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, no município de Colorado do Oeste, RO. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 5x4x4, composto por cinco espécies de plantas de cobertura cultivadas em pré-safra (crotalaria ochroleuca, feijão guandu, feijão de porco, lab-lab e mucuna cinza), quatro camadas de amostragem (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30- 40 cm) e quatro ciclo de cultivo (2020, 2021, 2022 e 2023), com quatro repetições. Por ocasião do pleno florescimento, as plantas de cobertura foram amostradas para determinação da produção de massa seca e aos 45 dias após a decomposição amostras de solo nas diferentes camadas foram tomadas e os atributos químicos do solo foram determinados ao longo dos ciclos de plantio. Os resultados permitiram concluir que o cultivo de feijão guandu e crotalaria ochroleuca proporcionaram maior produção de massa seca, na ordem de 15,11 t.ha-1 e 14,38 t.ha-1, ao longo dos ciclos de cultivo, contribuindo com o maior aporte de matéria orgânica e, por conseguinte aumento das concentrações de C e N no solo, especialmente na camada superficial (0-10 cm). A espécie lab-lab destacou-se no incremento de fósforo na camada superficial do solo (0-10 cm), e nos atributos de pH, saturação de bases, teor e saturação de Ca²⁺ e Mg ²⁺ no solo ao longo dos ciclos de cultivo, apesar da espécie não distinguir na produção de massa seca por hectare. Os valores de pH do solo ao longo do ciclo de cultivo correlacionaram positivamente com o teor e a saturação de Ca²⁺; e o incremento médio de N no solo foi de 235% no ano de 2023 quando comparado aos demais ciclos de cultivo na camada 0-10 cm. A seleção de plantas de cobertura adaptadas as diferentes condições edafoclimáticas para manutenção da cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo configuram estratégia eficaz para recondicionar quimicamente os solos, tornando-os mais produtivos e resilientes, e permitindo aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção.

Palavras-chave: Fabaceae, Resíduo vegetal, Ciclagem de nutrientes, Saúde do solo, Sustentabilidade.

¹Graduando do Curso de Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus de Colorado do Oeste, Colorado do Oeste- Brasil.

²Profª. Doutora em Agronomia, Departamento de Agropecuária, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus de Colorado do Oeste, Colorado do Oeste- Brasil.

ABSTRACT

The evolution and dissemination of techniques for soil profile use, management, and maintenance, along with research focused on deepening the understanding of interactions between soil chemical attributes and the productive potential of agricultural areas—as well as their relationships with crop residues—are essential for the viability of succession, rotation, and no-till systems in the Amazon region. Therefore, this study aimed to evaluate the chemical conditioning of the soil following cover crop management in the southern region of Rondônia. The experiment was conducted under field conditions at the experimental area of the Federal Institute of Rondônia, Colorado do Oeste Campus, in the municipality of Colorado do Oeste, RO. The experimental design was a completely randomized design in a 5x4x4 factorial scheme, composed of five species of cover crops grown in the off-season (*Crotalaria ochroleuca*, pigeon pea, jack bean, lab-lab, and velvet bean), four sampling depths (0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, and 30–40 cm), and four cultivation cycles (2020, 2021, 2022, and 2023), with four replications. At full flowering, the cover crops were sampled to determine dry matter production, and 45 days after decomposition, soil samples were collected from different layers, and the chemical attributes were analyzed over the cultivation cycles. The results showed that pigeon pea and *Crotalaria ochroleuca* provided higher dry matter production, with 15.11 t·ha⁻¹ and 14.38 t·ha⁻¹ respectively, throughout the cultivation cycles, contributing to a greater input of organic matter and consequently increased C and N concentrations in the soil, especially in the topsoil layer (0–10 cm). The lab-lab species stood out in increasing phosphorus levels in the 0–10 cm layer, as well as in improving pH, base saturation, and Ca²⁺ and Mg²⁺ content and saturation over the cultivation cycles, despite not differing in dry matter yield per hectare. Soil pH values throughout the cultivation cycles were positively correlated with Ca²⁺ content and saturation; and the average increase in soil nitrogen was 235% in 2023 compared to the other cultivation cycles in the 0–10 cm layer. The selection of cover crops adapted to different edaphoclimatic conditions for maintaining soil cover and plant residue constitutes an effective strategy for chemically reconditioning soils, making them more productive and resilient, and enhancing the sustainability of production systems.

Keywords: Fabaceae, Plant residue, Nutrient cycling, Soil health, Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

No âmbito das mudanças climáticas globais decorrentes do aumento nas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, em especial do gás carbônico, o solo e suas diferentes formas de uso e manejo estão constantemente em foco e têm despertado a atenção da comunidade científica (ARAÚJO et al., 2022), uma vez que trata-se de um recurso precioso que requer gestão sustentável para enfrentar as questões socioeconômicas e ambientais (AMUNDSON et al., 2015). Atualmente, o bioma amazônico representa elevado potencial e importância para o desenvolvimento produtivo com a ocorrência da expansão de atividades e práticas de manejo agrícola. Logo, o conhecimento dos danos provocados pelos sistemas de manejo e a necessidade de aumentar a produtividade da área explorada tem conduzido a buscar técnicas de uso e manejo do solo que visem minimizar os impactos ao meio ambiente, aumentar a produtividade das culturas e garantir a sustentabilidade da exploração agrícola.

Numa visão sistêmica, o cultivo de plantas de cobertura em sucessão na entressafra é enfatizado como estratégia para melhorar a saúde do solo, especialmente em regiões tropicais, pois os seus benefícios vão para além da cobertura do solo, estendendo-se aos componentes físicos, químicos e biológicos do solo, visto que estas plantas são capazes de melhorar os teores de matéria orgânica, a atividade biológica, a estrutura e agregação do solo, a disponibilidade e equilíbrio de nutrientes, a infiltração e armazenamento de água, as condições de enraizamento das plantas ao longo do perfil do solo, bem como prevenir a erosão e aumentar a produtividade das culturas (ARAÚJO; FERREIRA, 2023).

Dentre as espécies empregadas como plantas de cobertura, as leguminosas destacam-se, sobretudo pelo potencial de adição de nitrogênio (N) à cultura e o melhor aproveitamento do N proveniente do fertilizante nitrogenado pela planta, seja por meio da fixação biológica ou pela ciclagem do N absorvido das camadas subsuperficiais com a incorporação de biomassa (ALBUQUERQUE et al., 2013), não esquecendo, da sua importância para o sequestro de carbono (C) no solo (SISTI et al., 2004), uma vez que quando manejado adequadamente o solo atua como sumidouro de C, dependendo, portanto das práticas de cultivo e manejo (DOLAN et al., 2006), e condições edafoclimáticas.

De acordo com Araújo et al., (2022) espécies leguminosas como lab-lab e feijão de porco apesar de menor produção de massa seca foram significativamente eficientes para incrementar o aporte de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio e fósforo do solo, promovendo impacto direto na fertilidade da camada superficial do solo (0-10 cm) ainda nos primeiros anos de adoção. E que os resíduos dessas culturas leguminosas possibilitaram a

contribuição média de 2.995 kg/ha de N-total, 77 kg/ha de amônio e 56 kg/ha de nitrato no solo. Neste cenário, a utilização de plantas de cobertura pode significar uma forma de agricultura de baixa emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para mitigar efeitos das mudanças climáticas e promover o aumento da sustentabilidade dos agroecossistemas (BASCHES et al., 2014; MUKHERJEE; LAL, 2015), trazendo vantagens econômicas aos produtores, mantendo ou aumentando a produção, sem causar prejuízos ao ambiente (TORRES et al., 2024).

Logo, com a evolução e difusão das técnicas de uso, manejo e manutenção do perfil do solo, e a investigação centrada no aprofundamento das interações entre os atributos químicos do solo e o potencial produtivo das áreas, bem como suas relações com os resíduos culturais são fundamentais para viabilização do sistema de sucessão, rotação e plantio direto na região amazônica, de forma a permitir o aumento da resiliência dos sistemas agrícolas e a minimização da vulnerabilidade aos estresses bióticos e abióticos. Diante do exposto, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar o condicionamento químico do solo após o manejo de plantas de cobertura na região Sul do Estado de Rondônia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização Da Área Experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus Colorado do Oeste, no município de Colorado do Oeste, RO, cujas coordenadas geográficas são 13° 06' S e 60° 29' W, com altitude média de 407 metros. O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Awa, tropical quente e úmido com duas estações bem definidas. Dados médios de temperatura e precipitação pluviométrica durante a condução do experimento (período de 2020-2023) podem ser obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia.

A caracterização química e granulométrica do solo foi realizada na camada de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm, em amostras coletadas antes da instalação do experimento (Tabela 1), no ano agrícola de 2019. A correção do solo foi realizada, considerando os resultados da análise do solo na camada de 0-10 cm.

A análise granulométrica na camada de 0-10 cm, apresentou 343 g dm⁻³ de argila, 479 g dm⁻³ de areia e 178g dm⁻³ de silte, na camada de 10-20 cm, apresentou 346 g dm⁻³ de argila, 478 g dm⁻³ de areia e 176 g dm⁻³ de silte, na camada de 20-30 cm, apresentou 336 g dm⁻³ de argila, 475 g dm⁻³ de areia e 189 g dm⁻³ de silte e na camada de 30-40 cm, apresentou 336 g

dm⁻³ de argila, 473 g dm⁻³ de areia e 191 g dm⁻³ de silte.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento nas diferentes profundidades de amostragem.

Camada	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g/dm ⁻³	mg/dm ³			mmolc/dm ³			(%)		
0-10	4,9	11,4	1253,5	4	81,9	29	8	1	40	70	57
10-20	5,0	5,3	1090,9	1	58,5	36	4	1	41	66	62
20-30	5,3	4,2	888,3	1	42,9	37	3	0	40	60	67
30-40	5,5	3,1	842,3	1	27,3	35	2	0	37	54	69

2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 5x4x4, composto por cinco espécies de plantas de cobertura cultivadas em pré-safra (crotalaria ochroleuca, feijão guandu, feijão de porco, lab-lab e mucuna cinza), quatro camadas de amostragem (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30- 40 cm) e quatro ciclo de cultivo (2020, 2021, 2022 e 2023), com quatro repetições.

2.3 Preparo Do Solo E Plantio

Por tratar-se de pesquisa continuada, a correção do solo foi realizada, trinta dias antes da primeira semeadura de plantas de cobertura (ano 2019), com base nos resultados da análise do solo na camada de 0-10 cm, utilizando calcário dolomítico filler, com o objetivo de elevar a saturação por bases a 60%.

O preparo primário do solo incluiu a aração e gradagem (grade de discos) até 15 cm de profundidade, enquanto que o preparo secundário incluiu o destorroamento e nivelamento da área experimental. A adubação corretiva foi realizada a lanço, com posterior incorporação, aplicando-se 400 kg ha⁻¹ da formulação 0-20-20 para o suprimento de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. A partir desta correção e manutenção da fertilidade do solo, as premissas experimentais foram para cultivo mínimo, sem revolvimento do solo, com cobertura permanente e semeadura na palha em sucessão ao feijão-comum.

Os sulcos de plantio foram abertos mecanicamente na profundidade de 5 cm, de acordo com o espaçamento determinado, e a semeadura foi realizada manualmente, sem inoculação das sementes de leguminosas. Os diferentes gastos de sementes adotados foram baseados em recomendações técnicas para as diferentes plantas de cobertura. Cada unidade

experimental foi composta por 8 linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas em 0,45 m entre linhas, considerando como parcela útil as seis linhas centrais, excluindo-se 0,5 m de cada extremidade da parcela.

2.4 Dessecação e Determinação da Produção de Massa Seca

Por ocasião do pleno florescimento, as plantas de cobertura foram amostradas para determinação do rendimento de massa seca da parte aérea. Para amostragem foi utilizado um quadro (0,50 m x 0,50 m) visando demarcar a área da parcela, na qual foi coletada a amostra (rente ao solo), sendo, esta, pesada para determinação massa fresca, e levada para estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até atingir peso constante, determinando-se a massa seca. Posteriormente, as plantas de cobertura foram dessecadas com a utilização do herbicida glifosato (1.920 g ha⁻¹ do i.a.) e, dez dias após a dessecação, manejadas com auxílio roçadeira manual na altura de 0,05 m em relação à superfície do solo, visando à uniformização da área.

2.5 Determinação dos Atributos Químicos do Solo

Para determinação dos atributos químicos do solo foram coletadas após 45 dias de decomposição das plantas de cobertura, amostras de solo nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm, nos anos de 2020, 2021, 2022 e 2023. Para a formação da amostra composta foram coletadas cinco sub-amostras nas entrelinhas por unidade experimental, sendo acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas ao laboratório de solos. As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, homogeneizadas e submetidas às avaliações de pH, teores de P disponível, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis, Al, H+Al, SB, CTC e %V, conforme metodologia descrita em Embrapa (2009). Enquanto que os estoques de matéria orgânica e carbono orgânico foram determinados pela metodologia proposta por Cambardella e Elliot (1992), e o N-total do solo foi determinado pelo método de Kjeldahl, segundo Tedesco et al., (1995).

2.6 Análise Estatística

Após todas as análises, os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro Wilk) e análise de variância, para verificação dos efeitos isolados e combinados entre plantas de cobertura, camada de amostragem e ciclo de plantio. As comparações das médias foram feitas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram efeitos significativos da interação dupla entre plantas de cobertura x ciclo de cultivo e camada de amostragem x ciclo de cultivo para as diferentes variáveis analisadas; enquanto que os efeitos isolados da dinâmica da matéria orgânica, nitrogênio e fósforo no solo são apresentados independentes; não sendo verificada interação tripla significativa para nenhuma das variáveis.

3.1 Produção de massa seca por plantas de cobertura

O cultivo de feijão guandu e crotalaria ochroleuca proporcionaram os melhores resultados ao longo dos ciclos de cultivo para produção de massa seca, na ordem de 15,11 t.ha⁻¹ e 14,38 t.ha⁻¹, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si (Figura 1). Resultados similares foram obtidos por Araújo et al., (2024) no qual as espécies feijão guandu e crotalaria ochroleuca apresentaram potencial na ordem de 17,23 t.ha⁻¹ e 15,99 t.ha⁻¹, respectivamente para produção de massa seca. De acordo com Rocha et al., (2024), Araújo et al., 2022; Araújo et al., 2021; Andrade Neto et al., 2008 e Boer et al., (2008) a produção e posterior incremento de massa seca ao solo propicia melhorias significativas das características físicas e químicas do solo e manutenção e/ou elevação do teor de matéria orgânica do solo, manutenção da temperatura do solo, bem como favorece o desenvolvimento e produtividade de espécies agrícolas em cultivos subsequentes. Embora não haja diferença significativa entre as espécies feijão de porco, mucuna cinza e lab-lab nos aportes de massa seca (Figura 1), Araújo et al., (2024), Araújo et al., (2022) e Araújo et al., (2021) estudando a ciclagem de nutrientes por diferentes plantas de cobertura em ambiente amazônico ressalta que essas espécies apresentam excelente capacidade de extração de nutrientes do solo mesmo com baixo aporte de massa seca, podendo contribuir com elevada incorporação de nutrientes promovida posteriormente à decomposição da biomassa.

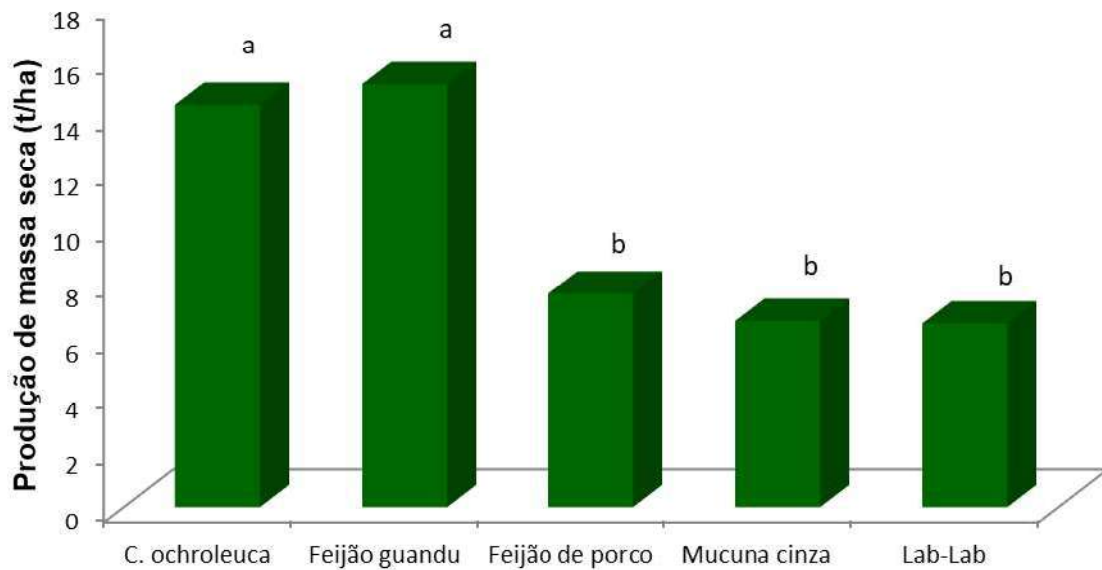


Figura 1. Produção de massa seca por plantas de cobertura de 2020 a 2023. *Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3.2 Dinâmica da matéria orgânica, carbono orgânico e nitrogênio no solo

As espécies crotalaria ochroleuca, feijão guandu, feijão de porco e mucuna cinza foram eficientes e estatisticamente superiores ($p < 0,05$) a espécie lab-lab quanto ao aporte de matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (C) (Tabela 2), permitindo inferir a importância da utilização de plantas de cobertura, com potencial para entrada de carbono no sistema, e consequentemente aumento dos estoques de C e N. Correlacionado às concentrações de MO e C no solo, os resíduos de crotalaria ochroleuca e feijão guandu possibilitaram impacto significativo nos teores de nitrogênio no solo, diferindo estatisticamente das demais espécies de plantas de cobertura (Figura 2), na qual a média de contribuição dessas espécies foram na ordem de 1,95 g/kg de N no solo.

Tabela 2. Efeito isolado plantas de cobertura, profundidade e época de amostragem sobre os teores de matéria orgânica, carbono orgânico e relação C/N no solo.

Plantas de cobertura	Matéria orgânica (g/dm ³)	Carbono orgânico (g/dm ³)	Relação C/N
Crotalaria ochroleuca	10,79 a	6,27 a	4,48 a
Feijão guandu	11,40 a	6,63 a	4,34 ab
Feijão de porco	10,68 a	6,21 a	3,85 b
Lab-Lab	8,68 b	5,04 b	4,36 ab
Mucuna cinza	11,94 a	6,94 a	4,49 a
Camada	Matéria orgânica (g/dm ³)	Carbono orgânico (g/dm ³)	Relação C/N
0-10	18,10 a	10,52 a	5,32 a
10-20	10,95 b	6,37 b	4,51 b
20-30	7,90 d	4,59 c	3,99 c
30-40	5,84 c	3,39 d	3,40 d
Época	Matéria orgânica (g/dm ³)	Carbono orgânico (g/dm ³)	Relação C/N
2020	8,73 b	5,07 b	4,02 b
2021	9,28 b	5,39 b	4,43 b
2022	12,82 a	6,95 a	3,78 c
2023	11,96 a	7,45 a	5,65 a

*Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Quanto aos teores de MO, C, relação C/N e N no solo em resposta a camada de amostragem e ciclo de plantio, constata-se diferença significativa da camada superficial de 0-10 cm em relação às demais, cujos valores foram reduzindo em subsuperfície e aumentando ao longo dos ciclos de manejo (Tabela 2, Figura 3A e Figura 3B). O incremento no teor de N no solo na camada superficial de 0-10 cm foi 83% quando comparado a média das camadas subsuperficiais; e de 79% no ciclo de cultivo de 2023 quando comparados aos anos antecessores (Figura 3A e Figura 3B). Este incremento na camada mais superficial do solo está associado entre outros fatores, ao aumento do aporte de material vegetal ao solo decorrente do manejo das diferentes plantas de cobertura ao longo do tempo (Figura 1), e uma vez que 95% do N-total do solo estão presentes na forma orgânica e há maior atividade orgânica na superfície do solo, decrescendo com a profundidade de amostragem. Menores valores de MO, C e N em profundidade e maiores valores na camada superficial também foram encontrados por Araújo et al., (2022), Araújo et al., (2021) e Lima et al. (2016), estudando o estoque de matéria orgânica, carbono e nitrogênio no solo em diferentes sistemas de manejo.

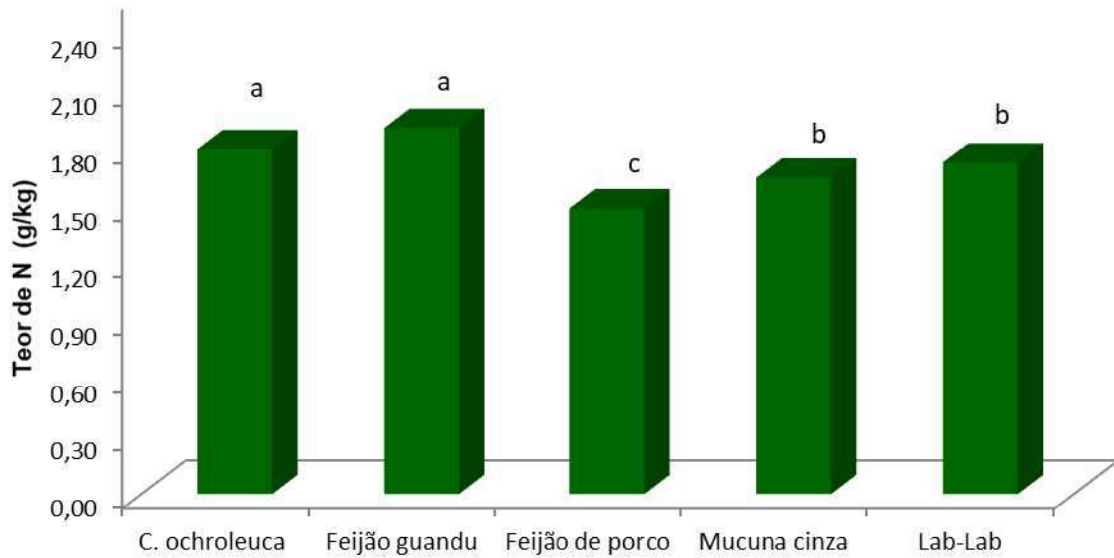


Figura 2. Teor de N no solo em resposta ao manejo com diferentes plantas de cobertura.

*Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

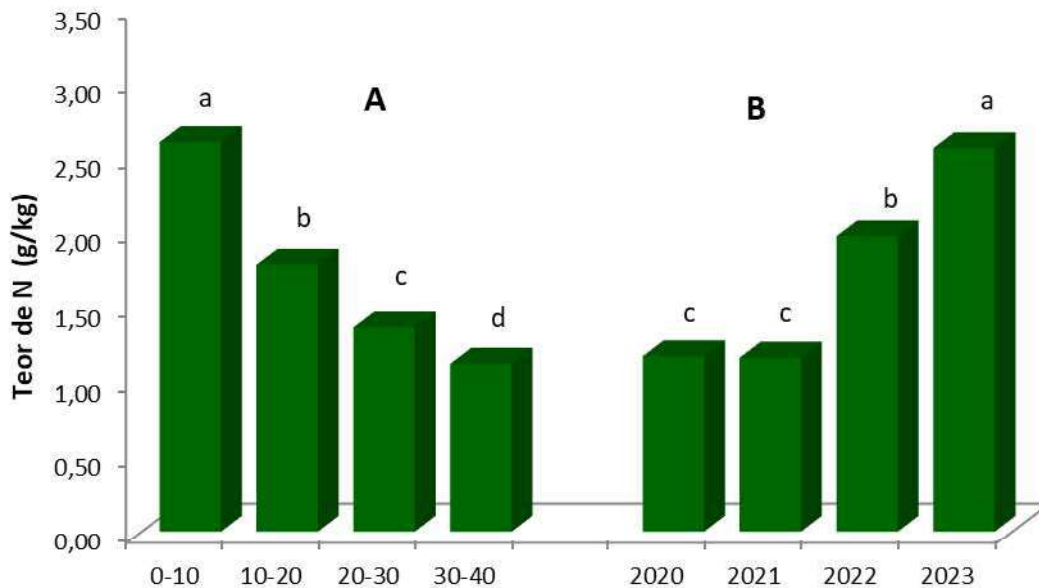


Figura 3. Teor de N no solo em resposta a camada de amostragem (A) e ciclo de cultivo (B). *Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3.3 Dinâmica do fósforo no solo

A espécie lab-lab foi estatisticamente superior ($p < 0,05$) as demais plantas de cobertura quanto à ciclagem de fósforo no solo (Figura 4), evidenciando correlação inversa à produção massa seca e aporte de matéria orgânica e carbono no solo, conforme demonstrado na Figura 1 e Tabela 2. Resultados contrários foram obtidos por Araújo et al., (2021) quando verificaram resposta positiva da espécie lab-lab quanto a capacidade de absorver o nutriente do solo e acumular nas folhas em pleno florescimento, servido ativamente no processo de ciclagem de nutrientes. No entanto, a variação da dinâmica de P nos tecidos das espécies vegetais e, conseqüentemente, efeito no comportamento no solo não pode ser afirmado, pois os dados de teores nutricionais das diferentes plantas de cobertura não foram incorporados neste estudo.

Na figura 5A e figura 5B pode ser observada a formação de um gradiente de P no perfil do solo, tendendo de maiores para menores teores da camada superficial (0-10 cm) para as subsuperficiais, com diferença estatística significativa entre as camadas de amostragem do solo e ao longo dos ciclos de manejo, com maior concentração no ano de 2023. Os valores de P disponível no solo na camada de 0-10 cm foi de $7,70 \text{ mg/dm}^{-3}$, contra $3,41 \text{ mg/dm}^{-3}$, $2,69 \text{ mg/dm}^{-3}$ e $2,52 \text{ mg/dm}^{-3}$, respectivamente, nas camadas de 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm, o que corresponde a um acréscimo médio de 168% na camada de 0-10 cm quando comparado as demais (Figura 5A) e incremento de 88% no no ano de 2023 quando comparado ao primeiro ciclo de cultivo (Figura 5B).

Corroborando os resultados apresentados neste estudo Rocha et al., (2024) verificaram que a concentração de P no solo é afetada pelas plantas de cobertura e pelos ciclos de cultivo, aumentando ao longo do tempo independente da cultura de cobertura, e Lanzasova et al., (2023) constataram que ocorre maior concentração de P na camada superficial de 0-7 cm, com diminuição progressiva nas próximas camadas.

Como o P é um nutriente pouco móvel no solo e considerando os efeitos de preparo e manejo do solo com plantas de cobertura, cultivo mínimo e semeadura direta, a concentração de P na camada superior pode ser atribuída à reciclagem proporcionada pelas plantas, que absorvem o P disponível nas camadas mais profundas, deixando-o disponível na superfície após a decomposição dos resíduos vegetais devido ao potencial de acumular o nutriente nos tecidos vegetais.

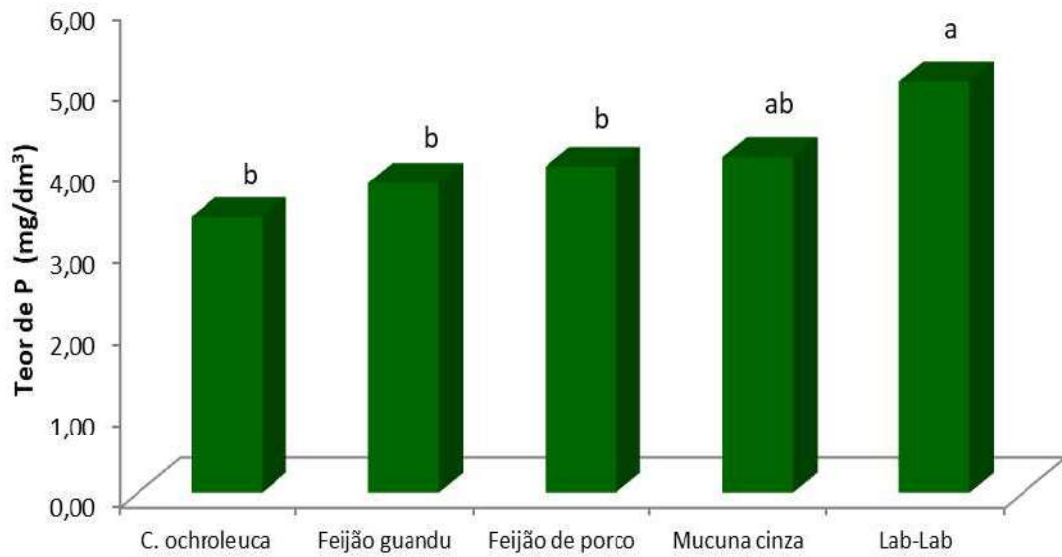


Figura 4. Teor de P no solo em resposta ao manejo com diferentes plantas de cobertura.

*Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

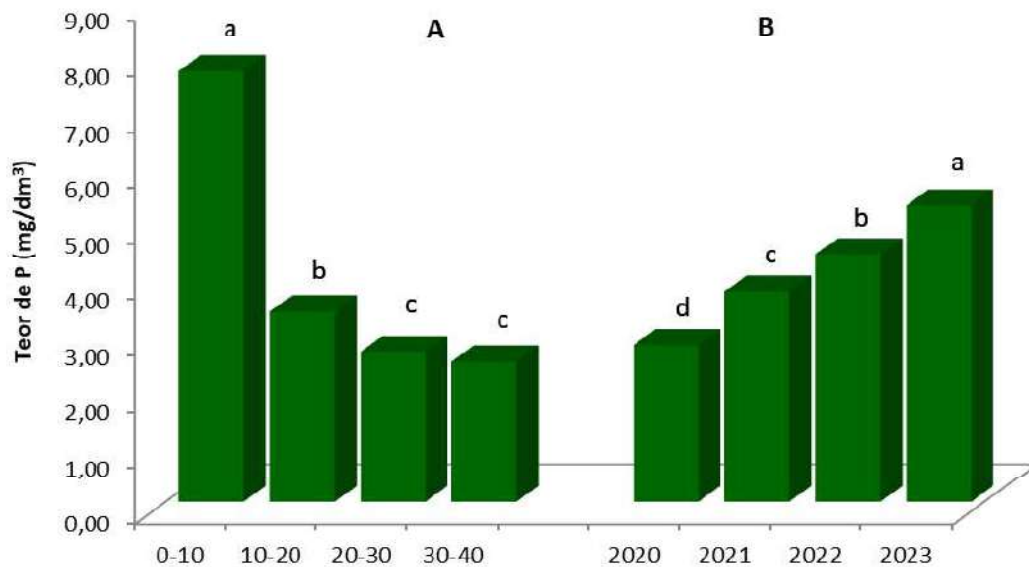


Figura 5. Teor de P no solo em resposta a camada de amostragem (A) e ciclo de cultivo (B). *Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3.4 Interação entre plantas de cobertura e ciclo de cultivo

No desdobramento da interação dupla as espécies crotalaria ochroleuca, feijão guandu, lab-lab e mucuna cinza foram superiores a espécie feijão de porco quanto à concentração de MO e C no solo ao longo dos ciclos de cultivo de 2020 a 2023 (Tabela 3); enquanto que as maiores concentrações de N no solo foram proporcionadas pelas espécies crotalaria ochroleuca e feijão guandu no ano de 2023 (Tabela 3). O incremento no aporte de MO e C pelas espécies crotalaria ochroleuca, feijão guandu, lab-lab e mucuna cinza nos ciclos de 2020 a 2023 foram na ordem média de 37,8%; enquanto que as concentrações de N no solo aumentaram 329% ao longo dos quatro anos de cultivo, favorecido pelo cultivo das leguminosas crotalaria ochroleuca e feijão guandu.

Portanto, dentre as opções tecnicamente viáveis para aumentar e/ou preservar o teor de MO, C e N no solo as espécies supracitadas destacam-se pelo crescimento inicial rápido, raízes vigorosas, profundas e ramificadas favorecendo a ciclagem dos nutrientes disponíveis nas camadas subsuperficiais, que posteriormente constituirão a fitomassa e serão liberados durante a decomposição, favorecendo o acúmulo nas camadas superficiais do solo (Burle et al., 2006), contribuindo para o recondicionamento da fertilidade do solo, em especial aqueles solos pobres.

Tabela 3. Desdobramento da interação dupla entre plantas de cobertura e ciclo de cultivo para teores de matéria orgânica, carbônico orgânico e nitrogênio total no solo.

Planta de cobertura	Matéria orgânica (g/dm ³)			
	2020	2021	2022	2023
Crotalaria ochroleuca	6,77 bB	6,85 cB	15,85 aA	13,68 aA
Feijão guandu	8,50 abB	8,88 bcB	15,29 aA	12,93 aA
Feijão de porco	6,49 bB	10,94 abA	8,86 cAB	8,43 bAB
Lab-Lab	11,49 aA	13,41 aA	10,72 bcA	12,12 aA
Mucuna cinza	10,49 aA	6,32 cB	13,59 abA	12,62 aA
Planta de cobertura	Carbono orgânico (g/dm ³)			
	2020	2021	2022	2023
Crotalaria ochroleuca	3,93 bB	3,98 cB	9,21 aA	7,95 aA
Feijão guandu	4,94 abB	5,16 bcB	8,89 aA	7,52 aA
Feijão de porco	3,77 bB	6,36 abA	5,15 cAB	4,90 bAB
Lab-Lab	6,68 aA	7,79 aA	6,23 bcA	7,04 aA
Mucuna cinza	6,04 aA	3,67 cB	7,78 abA	7,34 aA
Planta de cobertura	N (g/kg)			
	2020	2021	2022	2023
Crotalaria ochroleuca	0,91 bB	0,85 cB	1,03 aB	4,43 aA

Feijão guandu	1,14 abB	1,12 bcB	1,03 aB	4,34 aA
Feijão de porco	0,99 bC	1,38 abB	0,83 aC	2,76 cA
Lab-Lab	1,53 aB	1,60 aB	0,99 aC	2,81 cA
Mucuna cinza	1,29 abB	0,83 cC	1,00 aBC	3,46 bA

*Letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro de cada linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Quanto aos atributos de pH, saturação de bases (%V), teor de Ca^{2+} e teor de Mg^{2+} no solo ao longo dos ciclos de cultivo, a espécie lab-lab proporcionou os melhores valores (Tabela 4), apesar da espécie não ser destaque na produção de massa seca (Figura 1). De maneira geral, observa-se entre as diferentes plantas de cobertura que os teores de Ca^{2+} aumentaram ao longo dos ciclos de cultivo, enquanto que os teores de Mg^{2+} diminuíram, correlacionando positivamente com as saturações de Ca e Mg no solo (Tabela 4). O aumento de Ca^{2+} trocável no solo é muito explicado pelas reações de troca catiônica, considerando que a razão iônica hidratada em Ca é menor do que outros cátions como Mg^{2+} e K, então o Ca^{2+} é quimicamente mais estável na CTC e substitui os sítios de outros cátions que têm mais mobilidade, visto que a ordem de mobilidade é $\text{Ca} < \text{Mg} < \text{K} < \text{Na}$. Além disso, Rocha et al., (2024) e Sinsabaught et al., (2008) reforçam que oscilações nos teores de Ca^{2+} ao longo do ciclo de cultivo pode ser causado por sua imobilização na biomassa microbiana do solo, acompanhando a relação estequiométrica entre carbono e nutrientes no composto orgânico e as exigências nutricionais dos microorganismos decompositores do solo ou da própria necessidade de extração e ciclagem deste nutriente pelas culturas de cobertura.

Araujo e colaboradores (2021) verificaram aumento significativo do pH em áreas sob cultivo de plantas de cobertura, afirmando que entre outros aspectos, a eficiência das espécies na absorção e acúmulo de Ca^{2+} e Mg^{2+} em seus tecidos, permite a ciclagem desses nutrientes e, por consequência redução no teores de Al^{3+} , acidez potencial, saturação por Al^{3+} , e aumento dos teores de cátions básicos no solo (Ca^{2+} e Mg^{2+}), SB, CTC e %V. Lima et al., (2024) afirmam que a adição de plantas de coberturas que produzem uma massa vegetal ao solo permite a diminuição da acidez potencial por meio da adsorção de íons de H^+ e Al^{3+} na sua superfície, promovendo a liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis, contribuindo para a movimentação de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo; e Bressan et al., (2013), também comprovam efeitos positivos da cobertura do solo sob os atributos químicos do solo, com destaque ao pH, níveis de Al^{3+} , saturação por Al^{3+} , e teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo.

Desse modo, a partir da interação significativa do cultivo de plantas de cobertura ao longo dos ciclos de cultivo e seus efeitos nos atributos químicos do solo tanto na camada

superficial quanto subsuperficial, é possível inferir que a utilização constante dessas espécies além de fornecer cobertura para o solo, durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais têm-se a liberação de nutrientes, bem como ligantes orgânicos com capacidade de adsorver os íons H⁺ e alterar a fertilidade das camadas superficiais e subsuperficiais do solo, uma vez que esses ligantes orgânicos são solúveis em água e podem se mover por fluxo de massa.

Tabela 4. Desdobramento da interação dupla entre plantas de cobertura e ciclo de cultivo para pH, capacidade de troca de cátions (CTC) a pH7, saturação de bases (V%), teor de cálcio (Ca), teor de magnésio (Mg), saturação de cálcio (%Ca) e saturação de magnésio (%Mg) no solo.

Planta de cobertura	pH			
	2020	2021	2022	2023
Crotalaria ochroleuca	4,81 aB	4,97 bB	4,74 bB	5,47 bA
Feijão guandu	4,72 aB	4,85 bB	4,75 bB	5,53 bA
Feijão de porco	4,41 bC	5,11 aA	4,75 bB	5,95 aA
Lab-Lab	4,67 aC	4,97 aA	4,96 aB	5,99 aA
Mucuna cinza	4,83 aB	4,49 cC	4,92 aB	5,46 bA
Planta de cobertura	V(%)			
	2020	2021	2022	2023
Crotalaria ochroleuca	67,75 aA	64,89 abA	52,11 cC	55,00 cC
Feijão guandu	67,97 aA	67,77 aA	59,14 bB	60,72 bB
Feijão de porco	52,59 cB	59,95 bA	52,95 cB	62,52 bA
Lab-Lab	60,81 bB	63,03 abA	59,89 bB	66,08 aA
Mucuna cinza	69,42 aA	58,47 bB	63,66 aA	56,41 cB
Planta de cobertura	Ca (cmol/dm ³)			
	2020	2021	2022	2023
Crotalaria ochroleuca	2,54 bAB	2,25 bB	2,91 bA	2,83 bAB
Feijão guandu	2,66 abB	2,79 abB	4,13 aA	3,50 aAB
Feijão de porco	2,03 bB	2,72 abA	2,20 cB	2,63 cAB
Lab-Lab	2,99 abB	3,05 aAB	2,65 bB	3,55 aA
Mucuna cinza	3,25 aAB	2,15 bB	3,88 aA	2,85 bB
Planta de cobertura	Mg (cmol/dm ³)			
	2020	2021	2022	2023
Crotalaria ochroleuca	1,57 bA	1,51 bA	0,67 aB	0,50 bB
Feijão guandu	1,90 aA	2,09 aA	0,77 aB	0,49 bC
Feijão de porco	1,07 cA	0,67 cB	0,57 aB	0,63 bB
Lab-Lab	0,87 cA	0,65 cB	0,53 aC	0,91 aA
Mucuna cinza	1,58 bA	1,66 bA	0,63 aB	0,55 bB
Planta de cobertura	%Ca			
	2020	2021	2022	2023
Crotalaria ochroleuca	39,90 abAB	37,13 bB	41,34 bA	45,43 bA
Feijão guandu	37,83 bB	37,58 bB	48,83 aA	52,14 aA

Feijão de porco	33,40 cD	46,14 abB	40,39 bC	49,20 abA
Lab-Lab	44,06 aB	48,70 aAB	47,62 aAB	51,75 aA
Mucuna cinza	44,83 aB	31,32 cC	52,85 aA	45,10 bB
	%Mg			
Planta de cobertura	2020	2021	2022	2023
Crotalaria ochroleuca	24,86 abA	25,11 bA	9,22 aB	7,87 cB
Feijão guandu	27,24 aA	28,04 aA	8,87 aB	7,22 cB
Feijão de porco	16,55 cA	11,06 cB	10,30 aB	11,53 aB
Lab-Lab	13,26 dA	10,42 cAB	9,31 aB	12,34 aAB
Mucuna cinza	22,04 bA	24,23 bA	8,55 aB	8,97 bB

*Letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro de cada linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

3.5 Interação entre camada de amostragem e ciclo de cultivo

No desdobramento da interação dupla destaca-se a elevação do pH ao longo do ciclo de cultivo, correlacionando positivamente com teores de Ca^{2+} na camada superficial do solo (0-10 cm); enquanto que os teores de K^+ e Mg^{2+} foram maiores na camada de 0-10 cm nos primeiros anos de cultivo, havendo redução nos anos de 2022 e 2023, e corroborando com os valores de saturação de bases do solos (Tabela 5). A concentração de N no solo foi superior na camada superficial do solo (0-10 cm) e aumentando ao longo dos anos de cultivo, com incremento médio de 235% no ano de 2023 quando comparado aos anos de 2020, 2021 e 2022, sendo evidente o decréscimo em profundidade (Tabela 5). O pH ideal para melhor disponibilidade de diversos nutrientes, a exemplo do fósforo, cálcio e magnésio varia entre 5,5 e 6,5 para a maioria das culturas, fato esse que justifica a redução dos teores nutricionais desses nutrientes em profundidade superiores a 10 cm e nos primeiros anos de cultivo quando a acidez do solo é mais elevada.

Tabela 5. Desdobramento da interação dupla entre camada e época de amostragem para os atributos de pH, saturação de bases (V%), teor de nitrogênio (N), teor de potássio (K), teor de cálcio (Ca), teor de magnésio (Mg) e saturação de cálcio (%Ca) e magnésio (%Mg) no solo.

Camada	pH			
	2020	2021	2022	2023
0-10	4,86 aB	4,81 aB	4,58 cB	5,54 bA
10-20	4,56 bC	4,83 aB	4,74 bB	5,64 abA
20-30	4,61 bC	4,91 aB	4,92 bB	5,73 abA
30-40	4,72 abC	4,96 aB	5,14 aB	5,82 aA
Camada	V (%)			
	2020	2021	2022	2023
0-10	70,48 aA	61,10 aB	50,85 cC	53,49 cC
10-20	60,25 bA	61,93 aA	54,53 bcB	58,40 bcB

20-30	61,53 bA	63,57 aA	59,88 bA	61,95 abA
30-40	62,56 bA	64,57 aA	65,62 aA	66,76 aA
N (g/kg)				
Camada	2020	2021	2022	2023
0-10	1,78 aB	1,82 aB	1,32 aC	5,50 aA
10-20	1,19 bB	1,04 bB	1,00 abB	3,88 bA
20-30	0,95 bcB	0,88 bB	0,87 bB	2,73 cA
30-40	0,78 cB	0,88 bB	0,71 bB	2,12 dA
K (cmol/dm ³)				
Camada	2020	2021	2022	2023
0-10	0,39 aA	0,32 aA	0,20 aB	0,18 aB
10-20	0,15 bA	0,17 bA	0,14 bB	0,10 bC
20-30	0,12 bcA	0,13 bA	0,11 bA	0,08 bB
30-40	0,11 bA	0,12 bA	0,10 bA	0,08 bB
Ca (cmol/dm ³)				
Camada	2020	2021	2022	2023
0-10	3,34 aA	2,84 aA	3,33 aA	2,83 aA
10-20	2,50 bB	2,48 aB	3,06 aA	2,91 aA
20-30	2,35 bB	2,47 aB	3,05 aA	3,13 aA
30-40	2,26 bB	2,52 aB	3,16 aA	3,41 aA
Mg (cmol/dm ³)				
Camada	2020	2021	2022	2023
0-10	1,97 aA	1,51 aB	0,82 aC	0,65 aC
10-20	1,32 bA	1,33 abA	0,70 abB	0,60 aB
20-30	1,17 bA	1,23 bA	0,56 bB	0,58 aB
30-40	1,13 bA	1,20 bA	0,46 bB	0,64 aB
%Ca				
Camada	2020	2021	2022	2023
0-10	41,25 aA	37,11 bB	38,57 cB	40,91 cA
10-20	37,85 aB	38,89 abB	42,58 bA	47,14 bA
20-30	39,95 aB	41,50 abB	48,74 bAB	51,17 abA
30-40	40,97 aB	43,20 aB	54,94 aA	55,68 aA
%Mg				
Camada	2020	2021	2022	2023
0-10	24,41 aA	19,65 aB	9,79 aC	9,75 aC
10-20	19,95 bA	20,20 aA	9,85 aB	9,58 aB
20-30	19,34 bA	19,78 aA	9,19 aB	9,30 aB
30-40	19,47 bA	19,46 aA	8,16 aB	9,72 aB

*Letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro de cada linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade

Ressalta-se que o incremento da matéria orgânica do solo é um processo demorado e pode levar anos, dependendo das culturas utilizadas, quantidade de biomassa produzida, e as condições de clima e solo do local. Como no presente estudo foi realizado apenas quatro ciclos de cultivo das culturas de cobertura em pré-safra a cultura do feijão-comum, possivelmente estas não tenha demonstrado seu potencial máximo de efeito sobre os atributos

químicos do solo. Assim, para alterações mais expressivas neste comportamento, com uso de plantas de cobertura, a repetição dos cultivos deve ser realizada por período maior, considerando as condições edafoclimáticas locais.

4 CONCLUSÃO

O cultivo de feijão guandu e crotalaria ochroleuca proporcionaram maior produção de massa seca, na ordem de 15,11 t.ha⁻¹ e 14,38 t.ha⁻¹, ao longo dos ciclos de cultivo, contribuindo com o maior aporte de matéria orgânica e, por conseguinte aumento das concentrações de C e N no solo, especialmente na camada superficial (0-10 cm).

A espécie lab-lab destacou-se no incremento de fósforo na camada superficial do solo (0-10cm), e nos atributos de pH, saturação de bases, teor e saturação de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo ao longo dos ciclos de cultivo, apesar da espécie não distinguir na produção de massa seca por hectare.

Os valores de pH do solo ao longo do ciclo de cultivo correlacionaram positivamente com o teor e a saturação de Ca²⁺; e o incremento médio de N no solo foi de 235% no ano de 2023 quando comparado aos demais ciclos de cultivo na camada 0-10 cm.

A seleção de plantas de cobertura adaptadas as diferentes condições edafoclimáticas para manutenção da cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo configuram estratégia eficaz para recondicionar quimicamente os solos, tornando-os mais produtivos e resilientes, e permitindo aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção.

REFERÊNCIAS

- ABBRUZZINI T.F., DAVIES C.D., TOLEDO F.H., PELLEGRINO C.E., CERRI (2019): Dynamic biochar effects on nitrogen use efficiency, crop yield and soil nitrous oxide emissions during a tropical wheat-growing season. **Journal of Environmental Management**, 252: 109638.
- AMUNDSON R., BERHE A.A., HOPMANS J.W., OLSON C., SZTEIN A.E., SPARKS D.L. (2015): Soil and human security in the 21 st century. **Science**, 348:6235.
- ARAÚJO, E.O.; FREITAS, D.S.; CATÂNIO, J.V.F.; VIANA FILHO, L.A.B.; GUIMARÃES, E.G. Performace do feijoeiro cultivado em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Gestão Social e Ambiental**, n.4, v.18, p:1-13, e04638, 2024. doi: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-009>
- ARAÚJO, E.O; FERREIRA, M.V. Plantas de cobertura: aliadas do produtor na saúde do solo, **Revista AgroRondônia**, Cacoal, 07 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.agrorondonia.com.br/colunas/plantas-de-cobertura-aliadas-do-produtor-na-saude-do-solo>
- ARAÚJO, E.O; RIBEIRO, J.A.S; VENTURIM, D.J; CATÂNIO, J.V.F; MACIESKI NETO, V.; FREITAS, D.S; MOREIRA, A.O; DE PAULA, N.R.F; COSTA, J.H.S; COSTA, W.J.S; SANTOS, K.R. Absorption of nutrients and chemical reconditioning of red latosol by cover plants cultivated in Amazon environment. **Australian Journal Crop Science**. n.15, v.01, p:145-155. 2021. doi: 10.21475/ajcs.21.15.01.2964.
- ARAÚJO, E.O; MACIESKI NETO, V.; VENTURIM, D.J; CATÂNIO, J.V.F; FREITAS, D.S; RIBEIRO, J.A.S; 2022. Cover crops and concentrations of carbon and nitrogen in Amazonian soil. **Australian Journal Crop Science**. n.16, v.11, p.1261-1269. 2022. doi: 10.21475/ajcs.22.16.11.p3787
- ALBUQUERQUE, A.W.; SANTOS, J.R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L.S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.721726, 2013. doi: 10.1590/S141543662013000700005.
- ANDRADE NETO, R. C.;; GÓES, G. B.; MIRANDA, N. O.; FILHO, E. T. D.; FILHO, F.S.T. P. Adubação verde: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Revista Verde**, n.3, v.1, p.16-20, 2008. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7476761>
- BASCHE, A. D.; MIGUEZ, F. E.; KASPAR, T. C.; CASTELLANO, M. J. Do cover crops increase or decrease nitrous oxide emissions in agroecosystems? A meta-analysis. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.69, n.6, p.471-482, 2014. doi: 10.2489/jswc.69.6.471
- BOER, C. A.;; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; FILHO, A. C.; PIRES, F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.32, v.2, p.843-851, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200038>

BURLE, M.L.; CARVALHO, A.M.; AMABILE, R.F.; PEREIRA, J. Caracterização das espécies de adubo verde. In: Carvalho, A. M.; Amabile, R. F. (Eds.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. Cap. 3, p.71-142.

BRESSAN, S.B.; NÓBREGA, J.C.A.; NÓBREGA, R.S.A.; BARBOSA, R.N.; SOUSA, L. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.4, p.371–378, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400003>

CAMBARDELLA, C.; ELLIOTT, E. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, n.56, p.777-783, 1992. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>.

DOLAN, M.S.; CLAPP, C.E.; ALLMARAS, R.R.; BAKER, J.M.; MOLINA, J.A.E. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. **Soil and Tillage Research, Amsterdam**, v 89, p. 221–231, 2006. Doi: 10.1016/j.still.2005.07.015

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**.- 2. Ed, Brasília., Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

LANZANOVA, M.E.; STEINHAUS, J.R.; SILVA, D.M.; GUERRA, D.; SOUZA, E.L.; PELIZZON, M.G.; GULART, E.A.; BOHRER, R.E.G. Influência de plantas de cobertura em atributos do solo e produtividade do trigo em sistema plantio direto. **Revista observatório de La economia latinoamericana**, Curitiba, v.21, n.6, p. 4948-4967. 2023. Doi: 10.55905/oelv21n6-094

LIMA, E. DO V., CRUSCIOL, C. A. C., & LIMA, P. DA S. L. (2024). Ação dos resíduos de plantas de cobertura nos atributos químicos do solo sob plantio direto. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, 7(4), e75772. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n4-123>

LIMA, C.E.P.; FONTENELLE, M.R.; MADEIRA, N.R.; SILVA, J.; GUEDES, I.M.R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.4, p.378-387, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000400011>

MUKHERJEE, A.; LAL, R. **Short-term effects of cover cropping on the quality of a Typic Argiaquolls in Central Ohio**. *Catena*, v. 131, n. 2, p. 125-129, 2015.

ROCHA, P.R.R.; MAIA, S.S.; MELO, V.F.; UCHÔA, S.C.P.; BATISTA, K.D.; CAVALCANTE, L.A. Cover crops on soil quality and yield of cowpea under no-tillage in the Amazon savanna. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 46, e62853, 2024. doi: 10.4025/actasciagron.v46i1.62853

SILVA, M. P.; ARF, O.; 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**, n.12, v.1, p.60-67, 2017. doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i1a5424>

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

SINSABAUGH, R.L.; LAUBER, C.L.; WEINTRAUB, M.N.; AHMED, B.; AILLISON, S.D.; CRENSHAW, C.; ZEGLIN, L. H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. **Ecology Letters**, n.11, v.11, p. 252-1264, 2008. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01245.x>

TEDESCO, M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H.; WOKWEISS, S. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.^a ed. Porto Alegre, UFRGS/Departamento de Solos, 1995, 174 p.

TORRES, J.L.R.; VIEIRA, D.M.S.; ORIOLI JUNIOR, V.; DAINES, R.; PINTO, V.B.; ALVES, C.P.M.; GUIMARÃES, C.C.; SANTANA, G.M. Produção de milho e soja cultivados em sucessão e rotação com diferentes coberturas no cerrado. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.18, n.2, p.1-15, e04458, 2024. doi: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n2-015>

APÊNDICES

APÉNDICE A - XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

ANEXOS

ANEXO A - XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX