

PLANTAS DE COBERTURA E O RECONDICIONAMENTO QUÍMICO DO SOLO EM AMBIENTE AMAZÔNICO

Data de aceite: 01/07/2024

Érica de Oliveira Araújo

Profa. Doutora em Agronomia,
Departamento de Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste-
Brasil

Jiovane Anderson da Silva Ribeiro

Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Daniele Jesus Venturim

Engenheira Agrônoma, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

José Vanor Felini Catânio

Prof. Mestre em Produção Animal,
Departamento de Agronomia, Instituto
Federal do Mato Grosso, Campus
Confresa, Confresa, Brasil

Vitório Macieski Neto

Graduando (a) em Engenharia
Agrônômica, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Diogo de Souza Freitas

Graduando (a) em Engenharia
Agrônômica, Instituto Federal de
Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

Aline Ottes Moreira

Engenheira Agrônoma, Instituto Federal
de Rondônia, Campus Colorado do Oeste,
Colorado do Oeste, Brasil

José Henrique de Souza Costa

Técnico em Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste,
Brasil

Willian Junior Silva Costa

Técnico em Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste,
Brasil

Klariston Rodrigues dos Santos

Técnico em Agropecuária, Instituto
Federal de Rondônia, Campus de
Colorado do Oeste, Colorado do Oeste,
Brasil

INTRODUÇÃO

Os solos dominantes do bioma amazônico, notadamente os Latossolos são, de modo geral, de textura argilosa, bem estruturados e com alta estabilidade

de agregados, embora altamente intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes essenciais para as plantas. Em condições antrópicas o manejo inadequado desses solos afeta seu conteúdo de matéria orgânica e sua estrutura, diminuindo a disponibilidade de nutrientes e a agregação (SANTOS et al., 2011).

Dentre as tecnologias disponíveis visando ao correto manejo dos solos tropicais, destaca-se o cultivo de plantas de cobertura antecedendo às culturas como o milho e/ou a soja, no qual pode resultar em aumento de produtividade e manutenção do equilíbrio do sistema, sobretudo pelo potencial de produção de biomassa e adição de nitrogênio, sendo, também, importantes para o sequestro de carbono no solo (SISTI et al., 2004), propiciando condições mais favoráveis para o estoque de carbono nas camadas superiores e, ao longo do tempo de adoção, nas suas camadas mais profundas. Esses efeitos podem significar uma forma de agricultura de baixa emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para mitigar efeitos das mudanças climáticas e promover aumento da sustentabilidade dos agroecossistemas (BASCHES et al., 2014; MUKHERJEE; LAL, 2015). Deste modo, cultivar plantas de cobertura é uma prática de manejo que pode devolver ao solo parte do que foi perdido ao longo de décadas de cultivo convencional.

O sucesso na adoção de sistemas de manejo que incluem plantas de cobertura no bioma amazônico depende de condições climáticas, visto que há influência significativa na aceleração da decomposição dos resíduos vegetais com consequente redução do acúmulo de matéria orgânica do solo. As concentrações de nitrogênio e de compostos orgânicos tais como lignina, hemicelulose e celulose regulam a velocidade de decomposição dos resíduos e afetam a dinâmica das frações e o acúmulo da matéria orgânica do solo (SANTOS et al., 2012; CARVALHO et al., 2015). Além disso, a deposição dos resíduos vegetais ao longo dos anos favorece o aumento na concentração de ácido húmico, que, juntamente com a precipitação anual alta, concentrada nos meses mais quentes, intensifica a biodegradação das frações da MOS instáveis, com a transformação mais rápida de ácido fúlvico para ácido húmico, principalmente, em plantas de cobertura com menor teor de lignina (SANTOS et al., 2012).

Na região Noroeste da Amazônia, em especial no estado de Rondônia são escassas informações fundamentadas sobre o funcionamento dessa tecnologia na manutenção ou construção da fertilidade do solo, o que se torna fundamental para o sucesso dos diferentes sistemas de produção e estratégia efetiva para promover o melhor condicionamento do solo. Nesta premissa, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a absorção de nutrientes e o condicionamento dos atributos químicos do solo depois de manejado com diferentes plantas de cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido 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 foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Figura 1). A caracterização química do solo foi realizada nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30- 40 cm, em amostras coletadas antes da instalação do experimento e os dados são apresentados na Tabela 1. A análise granulométrica na profundidade de 0-10 cm apresentou 343 g dm⁻³ de argila, 479 g dm⁻³ de areia e 178g dm⁻³ de silte. A correção do solo foi realizada trinta dias antes da semeadura, com base nos resultados da análise do solo na camada de 0-10 cm, utilizando calcário dolomítico (PRNT 97%) incorporado, com o objetivo de elevar a saturação por bases a 65%.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, arranjos em esquema fatorial, com quatro repetições, sendo constituído por sete espécies de cobertura cultivadas em pré-safra a cultura do milho (*Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria ochroleuca*, Mucuna preta, Mucuna cinza, Lab-lab e feijão de porco) e quatro camadas de amostragem (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30- 40 cm).

O preparo primário do solo incluiu a aração e gradagem (grade de discos) até 15 cm de profundidade, enquanto que o preparo secundário inclui o destorroamento e nivelamento da área experimental. A adubação de base foi realizada à lanço, com posterior incorporação, aplicando-se 400 kg ha⁻¹ da formulação 0-20-20 para o suprimento de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente.

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

Camada	N	MO	CO	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	m
	mg/dm ⁻³	g/dm ⁻³		CaCl ₂	mg/dm ⁻³				-----mmolc/dm ⁻³ -----			-----%------		
0-10	1253,5	11,4	6,62	4,9	4	81,9	29	8	30	1	40	70	57	2
10-20	1090,9	5,3	5,3	5,0	1	58,5	36	4	25	1	41	66	62	2
20-30	848,3	4,2	4,2	5,3	1	42,9	37	3	20	0	40	60	67	1
30-40	842,3	3,1	3,1	5,5	1	27,3	35	2	17	0	37	54	69	1

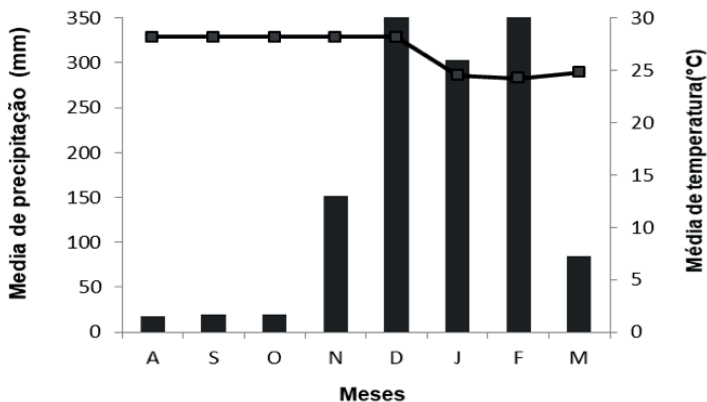


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura (°C) médias mensais, registradas na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, no período de agosto de 2019 a março de 2020. Fonte. Instituto Nacional de meteorologia (2019/2020).

Os sulcos de plantio foram abertos mecanicamente em profundidades entre 5 e 7 cm, de acordo com o espaçamento determinado. A semeadura foi realizada manualmente. Os diferentes gastos de sementes adotados foram baseados em recomendações técnicas (Tabela 2). Cada unidade experimental foi composta por 8 linhas de 4 metros de comprimento, espaçadas em 0,45 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. Consideraram-se como parcela útil as seis linhas centrais, excluindo-se 0,5 m de cada extremidade da parcela.

Aos quinze e trinta dias após a emergência das plantas de cobertura procedera a aplicação de inseticida com ingrediente ativo Imidacloprido 100 g/L, Beta-ciflutrina 12,5 g/L, grupo químico Neonicotinoide (Imidacloprido) e Piretroide (Beta-ciflutrina), com recomendação de 750-1000 mL/ha, para controle de *Lagraria villosa*, *Diabrotica speciosa*, *Cerotoma arcuata* e *Edessa metidabunda*.

Tabela 2. Espécies de planta de cobertura (tratamentos das parcelas), relação C/N indicada na literatura, densidade de semeadura empregada.

Espécie	Nome comum	Família	Relação C/N	Sementes m ²
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Crotalária ochroleuca	Fabaceae	25-29 ²	67
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalaria spectabilis	Fabaceae	10-16 ¹	73
<i>Crotalaria breviflora</i>	Crotalaria breviflora	Fabaceae	11-18	73
<i>Mucuna aterrima</i>	Mucuna preta	Fabaceae	12-21 ¹	9
<i>Mucuna pruriens</i>	Mucuna cinza	Fabaceae	12-21 ¹	9
<i>Dolichos lablab</i>	Lab-Lab	Fabaceae	23-28 ³	10
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão de porco	Fabaceae	10-16 ¹	11

Fonte.¹ Wutke et al. (2014); ² Fischlerab et al. (1999); ³ Teodoro et al., 2011.

Por ocasião do pleno florescimento, as plantas de cobertura, exceto para o feijão de porco (coletado no início do enchimento de grãos) foram dessecadas com a utilização do herbicida glifosato (1.920 g ha⁻¹ do i.a.). e, em seguida, manejadas com auxílio roçadeira manual na altura de 0,05 m em relação à superfície do solo, visando à uniformização da área. No entanto, antes da dessecação foi avaliado o rendimento de massa seca e os teores de macronutrientes na parte aérea das diferentes plantas de cobertura. Para determinação da massa seca 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 amostras foram moídas em moinho tipo Willey e submetidas à digestão sulfúrica e digestão nitroperclórica, utilizando a metodologia descrita em Embrapa (2009), visando a determinação dos teores foliares de macronutrientes.

Para determinação dos atributos químicos do solo foram coletadas após 45 dias de decomposição das plantas de cobertura, amostras de solo nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Para a formação da amostra composta foram coletadas no mínimo quatro subamostras nas entrelinhas da cultura. As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha, homogeneizadas e submetidas às avaliações dos valores de pH e dos teores de P disponível; K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis; Al, H+Al, SB, CTC e %V, utilizando a metodologia descrita em Embrapa (2009). Enquanto que os estoques de matéria orgânica 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).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro Wilk) e análise de variância, e os efeitos das plantas de cobertura sobre a absorção de nutrientes foram avaliados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto que os efeitos entre plantas de cobertura e profundidade de coleta foram avaliados pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico Sisvar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cultivo de *Crotalaria spectabilis* proporcionou os melhores resultados para produção de massa seca ($13.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), porém, não diferiu estatisticamente da *Crotalaria ochroleuca* ($10.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) e *Crotalaria breviflora* ($8.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Figura 2). Esse acréscimo de massa seca no solo pode propiciar 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 favorecer o desenvolvimento e produtividade de espécies agrícolas em cultivos subsequentes (Andrade Neto et al., 2008; Boer et al., 2008). Já as menores produções de massa seca foram verificadas pelas espécies Feijão de porco ($4.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Lab-lab ($5.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) e Mucuna preta ($5.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Figura 2), estando abaixo da quantidade mínima necessária de massa seca depositada anualmente para cobertura adequada do solo em sistema de plantio direto. É possível que a baixa precipitação pluviométrica inicial observada para a região durante o estabelecimento das plantas (30 primeiros dias – mês de novembro) tenha relação com a baixa produção de massa seca por estas plantas de cobertura (Figura 1). Esses resultados corroboram parcialmente aos obtidos por Pereira et al., (2017), no qual observaram alta produção de massa seca para *Crotalaria spectabilis* e feijão de porco, e baixa produção de massa seca para Mucuna preta, o que permite inferir que a capacidade de produção de massa seca está diretamente relacionada com as condições edafoclimáticas, fertilidade do solo e ano agrícola.

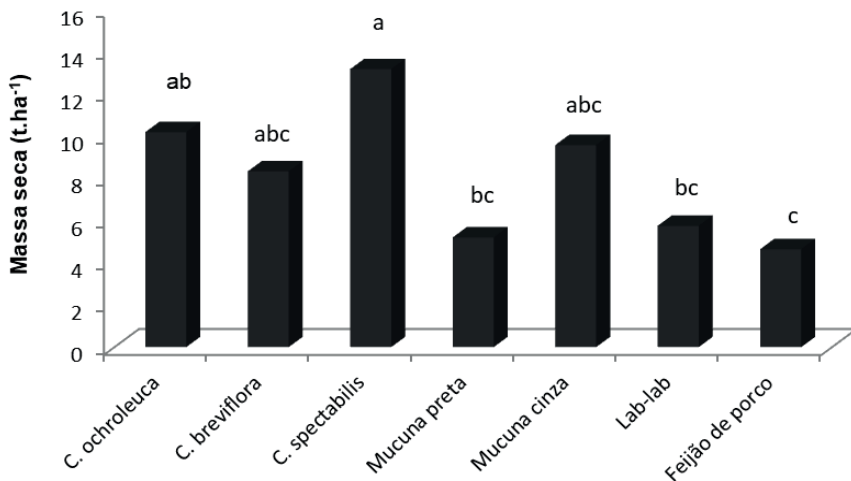


Figura 2. Produção de massa seca da parte aérea por diferentes plantas de cobertura. Letras iguais nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Constata-se que mesmo com baixa produção de massa seca, as espécies Feijão de porco, *Mucuna* preta e *Lab-lab* foram capazes de absorver e acumular nas folhas em pleno florescimento os maiores teores de nitrogênio, na ordem de 25.28 g/kg⁻¹, 24.34 g/kg⁻¹ e 21.28 g/kg⁻¹ respectivamente, diferindo estaticamente das demais plantas de cobertura; enquanto que os menores teores de nitrogênio foram verificados pelas espécies de *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria ochroleuca*, em relação inversa a produção de massa seca (Figura 3). Os resultados obtidos são similares aos observados por Pereira et al., (2017), que estudando a ciclagem de nutrientes por diferentes plantas de cobertura verificaram teor de N na parte aérea de Feijão de porco de 29.50 g/kg⁻¹ e na *Mucuna* preta de 30.0 g/kg⁻¹. Barros et al., (2013), Teodoro et al., (2011) e Padovan et al., (2011) indicam o feijão de porco como excelente espécie de cobertura por apresentar elevada capacidade de extração de nutrientes do solo e realizar a fixação biológica de nitrogênio pela associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*. Além disso, e com bases nos resultados obtidos, o Feijão de porco, a *Mucuna* preta e o *Lab-lab* contribuirão com elevada incorporação de nutrientes promovida posteriormente pela decomposição da biomassa.

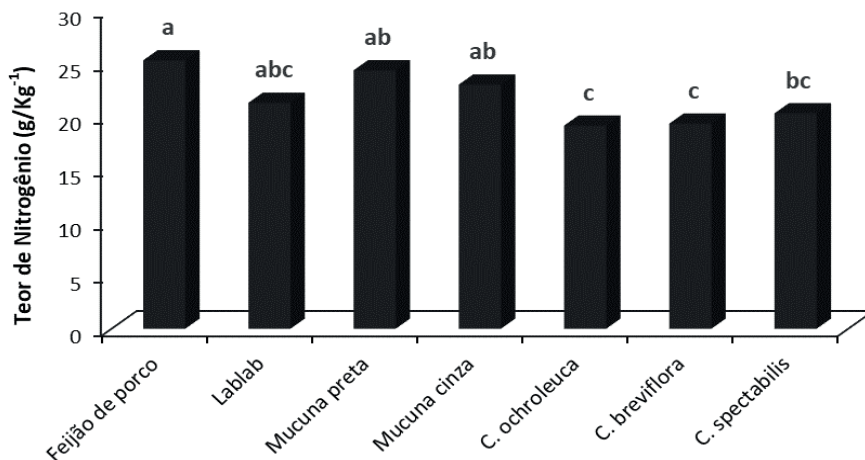


Figura 3. Teor de nitrogênio (g/Kg⁻¹) por diferentes plantas de cobertura. Letras iguais nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Na camada de amostragem de 0-10 cm, os teores de MOS e N total do solo foram superiores e diferiram estatisticamente ($p < 0.01$) quanto nas demais profundidades de amostragem. Esses dados permitem a inferência de que nesta primeira época de avaliação do sistema de semeadura direta em sucessão de cultura, houve efeito significativo até a profundidade de 10 cm, tendo verificado a redução nos teores de MOS e N-total do solo em

camadas subsuperficiais (Figura 4A e 4B). O incremento dos teores de MOS na camada mais superficial do solo, em sistemas de revolvimento reduzido do solo e em sistemas de adoção à sucessão de cultura, está associado entre outros fatores, ao aumento do aporte de material vegetal ao solo decorrente do manejo das diferentes plantas de cobertura (Figura 2), bem como a melhoria da qualidade física do solo e ao aumento da humificação da matéria orgânica do solo, com destaque a camada do solo (0-10 cm) (Figura 4A). Assim, é importante ressaltar que, à medida que a estrutura do solo é fortalecida pela adoção desses sistemas de manejo com baixo revolvimento, os teores de MOS e N-total devem ser incrementados, inclusive permitindo a estabilização da matéria orgânica em longo prazo. Conseqüentemente, nestes sistemas quanto maior a adição e o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo também são de se esperar maiores aportes de carbono orgânico na camada superficial.

Os teores de N-total no solo decrescem com a profundidade de amostragem, o que era esperado devido relação estreita entre os teores de N no solo e a maior atividade orgânica à superfície do solo, ou seja, verificada na camada de 0-10 cm (Figura 4B). Em sistemas naturais, as principais vias de entrada do N nos solos são a decomposição e mineralização da matéria orgânica (que varia de acordo com o tipo de tratamento), a água da chuva e a água de lavagem da biomassa viva e morta acumulada sobre o solo e da vegetação (Smethurst, 2000). Todavia, a combinação de produtividade de matéria seca com maiores teores de N, resultou em maior conteúdo de N no solo (Figura 4B), além da decomposição mais acelerada devido à matéria orgânica em virtude da baixa relação C/N verificada entre leguminosas, pois diversos estudos mostram que tais espécies acumulam mais nutrientes e liberam mais rapidamente durante sua decomposição.

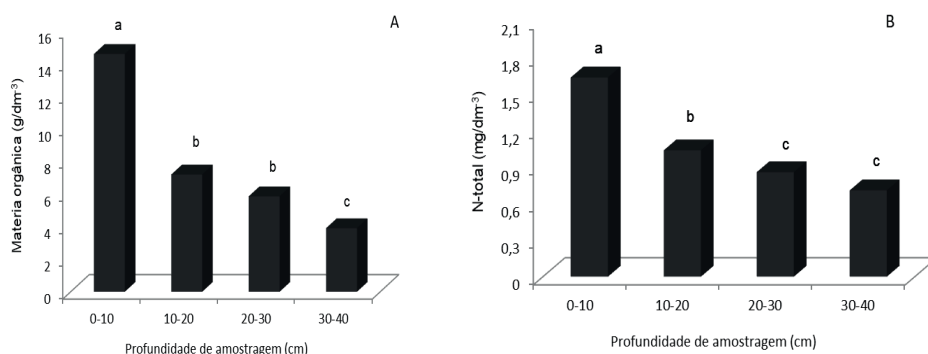


Figura 4. Teores médios de matéria orgânica (A) e N-total (B) do solo em função das diferentes profundidades de amostragem. Letras iguais nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

O resultado da análise variância mostrou efeito isolado da profundidade de amostragem sobre os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no solo, sendo nítido que houve incrementos significativos ($p < 0.01$) na camada de 0-10 cm em relação às demais camadas de amostragem, no entanto, não foi observado diferença significativa entre as camadas subsuperficiais de amostragem do solo (Figura 5A, 5B, 5C e 5D). Os valores médios de P disponível no solo na profundidade de amostragem de 0-10 cm foram de 7,79 mg/dm⁻³, contra 4,14 mg/dm⁻³, 3,80 mg/dm⁻³ e 4,49 mg/dm⁻³, nas camadas de 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm de profundidade, respectivamente (Figura 5A); enquanto que os valores médios de K disponível no solo na camada de 0-10 cm foram de 157,32 mg/dm⁻³, diferindo estatisticamente das camadas subsuperficiais de 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm de profundidade, na qual apresentaram valores médios de 63,40 mg/dm⁻³, 51,99 mg/dm⁻³ e 45,81 mg/dm⁻³, respectivamente (Figura 5B). Salienta-se que incremento nos teores de P e K na camada de 0-10 cm de profundidade em condições de manejo com diferentes plantas de cobertura foi na ordem de 94,75% e 92,08% respectivamente em relação ao controle baseado na análise inicial da fertilidade do solo antes da instalação do ensaio (Tabela 1). O acúmulo de nutrientes, tais como P e K na camada superficial do solo são resultantes de sua liberação em maior quantidade pela decomposição dos resíduos vegetais e diminuição da sua fixação, em decorrência do menor contato desse elemento com os constituintes do solo (Sidiras; Pavan, 1985). Entretanto, tais valores observados são considerados baixos e com tendência de diminuição, à medida que se aprofundam, no perfil, resultados que refletem a limitada mobilidade desse elemento no solo. Isto se evidencia claramente no experimento, ao observar a relação estreita e direta dos níveis desses nutrientes em profundidades com os níveis de MOS.

Quanto aos teores de cálcio e magnésio no solo (Figura 5C e 5D), os valores de Ca²⁺ (31,77 (mmol/dm⁻³) e Mg²⁺ (18,66 mmol/dm⁻³) trocável na profundidade de 0-10 cm foram superiores aos encontrados nas profundidades de 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm, respectivamente. Embora haja diferença significativa é importante salientar que os referidos valores de Ca²⁺ e Mg²⁺ estão em níveis considerados altos para as culturas, segundo Raij et al., (1997). Silva et al., (2017) quando estudaram o efeito de plantas de cobertura sob a qualidade química de uma Latossolo distrófico sob plantio direto observaram aumentos nos teores de P, K, Ca e Mg nas camadas superficiais do solo, com decréscimos em camadas subsuperficiais.

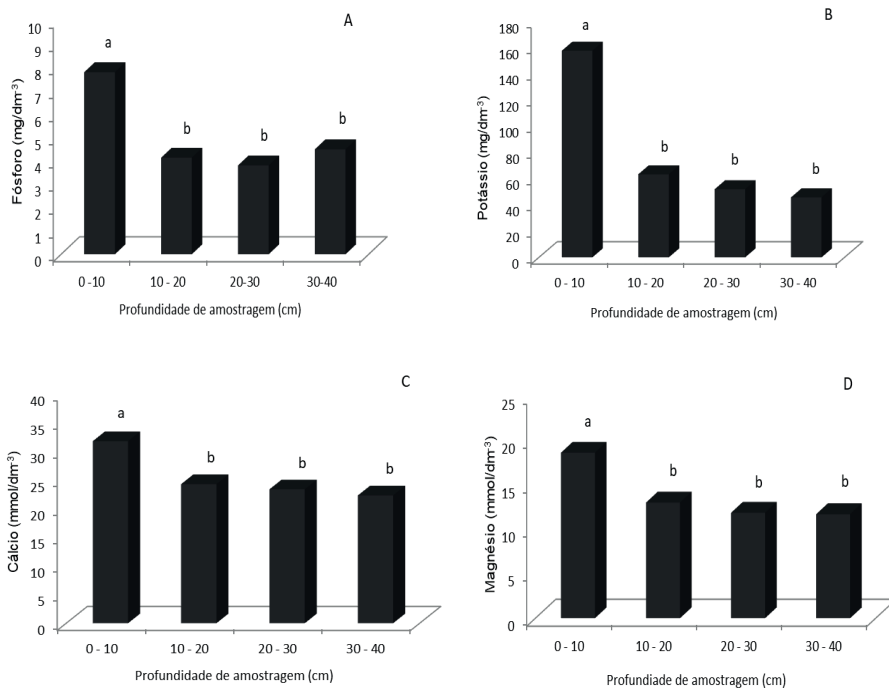


Figura 5. Teores médios de fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) do solo em função das diferentes profundidades de amostragem. letras iguais nas barras, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

A espécie Lab-lab e a *Mucuna* cinza foram estatisticamente superiores ($p \leq 0.01$) as demais plantas de cobertura quanto ao aporte de matéria orgânica, N-total e fósforo do solo (Tabela 4). Os resultados de MO correlacionam inversamente com a produção de massa seca da parte aérea por essas plantas de cobertura (Figura 2), e positivamente quanto ao acúmulo de nitrogênio nas folhas em pleno florescimento (Figura 3) favorecendo o processo de ciclagem de nutrientes via decomposição, além do aumento nos teores N e P corroborar diretamente com os níveis de MOS em áreas sob cultivo de *Mucuna* cinza e Lab-lab. Estudos demonstram que o aumento da MOS contribui para elevação do P no solo (Canellas et al., 2003; Theodoro et al., 2003; Almeida et al., 2005; Cardoso et al., 2013) devido ao retorno das formas de P acumuladas na biomassa vegetal e maior complexação dos íons de Al e Fe na solução do solo (Azevedo et al., 2007).

Quanto aos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo, as espécies *Mucuna* cinza, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* foram significativamente eficientes no aumento dos teores desses nutrientes, não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 4). O aumento significativo do pH nas áreas sob cultivo com *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* em relação às demais plantas de cobertura, decorre entre outros aspectos, da eficiência das espécies na absorção e acúmulo de Ca^{2+} e Mg^{2+} em seus tecidos, permitindo a ciclagem

desses nutrientes e, por consequência redução no teores de Al, acidez potencial, saturação por Al^{3+} , e aumento dos teores de cátions básicos no solo (Ca^{2+} e Mg^{2+}), SB, CTC e %V (Tabela 5); outrossim, o aporte de material orgânico nas áreas sob cobertura contribui para elevação do pH e redução dos teores de Al^{3+} . Em um Latossolo amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense, Bressan et al., (2013), também verificaram 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.

Tabela 4. Valores médios de matéria orgânica (MO), N-total (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em resposta ao manejo com diferentes plantas de cobertura.

Planta de cobertura	M.O (g/dm ⁻³)	N (g/dm ⁻³)	P (mg/dm ⁻³)	Ca (mmol/dm ⁻³)	Mg (mmol/dm ⁻³)
Feijão de porco	6,49 cd	0,99 cd	5,02 b	20,33 de	10,74 c
Lab-lab	11,49 a	1,47 a	8,41 a	25,91 bcd	8,70 c
Mucuna cinza	10,40 ab	1,29 ab	4,64 b	32,51 a	15,88 ab
Mucuna preta	4,74 d	0,74 e	4,17 b	15,75 e	10,68 c
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	6,77 cd	0,91 cde	3,54 b	25,41 cd	15,78 b
<i>Crotalaria breviflora</i>	6,77 cd	0,89 de	4,65 b	31,44 ab	16,01 ab
<i>Crotalaria spectabilis</i>	8,50 bc	1,14 bc	4,94 b	26,65 abc	19,02 a
CV (%)	26,33	26,33	18,15	18,28	18,10

*Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. CV (Coeficiente de variação).

Tabela 5. Valores médios de pH, acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) em resposta ao manejo com diferentes plantas de cobertura.

Planta de cobertura	pH	H+Al	SB (mmol/dm ⁻³)	CTC (mmol/dm ⁻³)	V%
Feijão de porco	4,41 c	30,11 a	32,79 c	62,91 abc	52,82 d
Lab-lab	4,67 b	21,92 b	36,80 bc	58,72 c	60,78 c
Mucuna cinza	4,83 b	21,85 b	50,29 a	72,15 a	69,34 ab
Mucuna preta	4,29 c	32,27 a	28,56 c	60,84 bc	47,37 d
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	4,81 b	20,18 bc	43,14 ab	63,33 abc	67,70 bc
<i>Crotalaria breviflora</i>	5,30 a	15,34 c	49,71 a	65,06 abc	76,21 a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	5,32 a	21,43 bc	47,87 a	69,31 ab	67,87 bc
CV (%)	3,53	20,84	16,05	11,63	8,87

*Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. CV (Coeficiente de variação).

No desdobramento da interação dupla entre plantas de cobertura e diferentes profundidades de amostragem, observou-se que as espécies Lab-lab e Mucuna cinza apresentaram-se diferentes estatisticamente ($p < 0.01$) das demais plantas de coberturas quanto ao teor de MO e N-total, nas diferentes profundidades de amostragem (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm), sendo possível verificar redução nos teores de MO e N-total em profundidade (Tabela 6). Na camada de 0-10 cm, o cultivo de Lab-lab e Mucuna-cinza resultou nos maiores acúmulos de matéria orgânica e N-total, enquanto que os menores valores foram obtidos pela espécie Mucuna preta (Tabela 6). A diferença média entre as plantas de cobertura Lab-lab e Mucuna cinza em relação ao aporte de matéria orgânica nas diferentes profundidades, quando comparadas a Mucuna preta (menores valores obtidos) foi na ordem de 121% na camada de 0-10 cm, 205% na camada de 10-20 cm, 124% na camada de 20-30 cm e de 72% na camada de 30-40 cm. Quando verificado os teores de N-total, os valores representam incrementos médios de 12% e 112% na camada de 0-10 cm, 206% e 61% na camada de 10-20 cm, 121% e 71% na camada de 20-30 cm e de 100% e 27% na camada de 30-40 cm, respectivamente. Considerando que o acúmulo de carbono total na camada de 0-10 cm, ou seja, na camada superficial, resulta dos processos de transformação da parte aérea das plantas e das raízes concentradas na camada e que, o que está abaixo de 10 cm é derivado de raízes, exsudatos radiculares e carbono orgânico solúvel lixiviado das camadas anteriores, o sistema radicular pivotante e mais profundo das leguminosas de cobertura avaliadas, pode ter levado ao acúmulo de CO e N-total nas camadas abaixo de 10 cm, no entanto, em percentuais menores que na camada superficial de 0-10 cm. Corroborando aos resultados encontrados, Bertiol (2014) verificou que o aumento do carbono orgânico e do N- total do solo foi favorecido pelo cultivo de leguminosas, com destaque para mucuna-cinza.

O cultivo de espécies de leguminosas em cobertura levaram a variação nos teores de fósforo, magnésio e cálcio na profundidade de 0-10 cm, com decréscimos em camadas inferiores de amostragem (Tabela 6). A planta de cobertura Lab-lab causou variação significativa em relação às demais espécies de cobertura quanto no teor de P disponível no solo. Conforme observado na tabela 7 para os valores de pH, a espécie Lab-lab não ultrapassaram 5.37 e houve decréscimo em profundidade, ou seja, maior grau de acidez, o que permitiu não haver diferença estatística nos teores de P em camadas superiores a 10 cm (Tabela 6). 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.

O uso de plantas de cobertura e outras práticas de manejo que visam manter ou aumentar os teores de MO, podem beneficiar o aproveitamento de P pelas plantas. A presença da palha e o maior teor de MO no sistema de reduzido preparo do solo e em sistema de sucessão de culturas propiciam ambiente menos oxidativo, minimizando

as reações de adsorção e promovendo impacto direto na fertilidade das camadas superficiais, em até 10 cm de profundidade (Bertiol, 2014). Assim, admite-se que plantas são fundamentais na solubilização do P através da exsudação de compostos na rizosfera, inclusive de ácidos orgânicos que agem na dissolução de compostos que podem resultar em aumento no P-solução (Chien; Menon, 1995).

Houve efeito significativo ($p < 0.01$) entre as plantas de cobertura Lab-lab e *Crotalaria spectabilis* para o teor de Ca^{2+} trocável no solo na profundidade de 0-10 cm, o que correlaciona diretamente aos valores de SB e CTC, não diferindo estatisticamente das espécies *Mucuna cinza*, *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria ochroleuca* na mesma profundidade de coleta e em profundidades superiores de amostragem (10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm) (Tabela 7); enquanto a espécie *Crotalaria spectabilis* destacou positivamente quanto aos teores de Mg^{2+} trocável em camada de 0-10 cm, na ordem de $25.97 \text{ mmol/dm}^{-3}$ (Tabela 7). Na camada de 0-10 cm os teores de Ca^{2+} foram encontrados relativamente altos, e com o aumento da profundidade de amostragem houve diminuição (mesmo não havendo diferença estatística). Este efeito pode estar associado à aplicação superficial de calcário. Em todos os tratamentos os teores estavam altos de Ca^{2+} e Mg^{2+} (RAIJ et al., 1997), em até no mínimo, 10 cm de profundidade, sendo que o mesmo comportamento em camadas superiores de amostragem não foi observado, ou seja, não houve diferença estatística entre as demais camadas de amostragem.

Tabela 6. Desdobramento da interação significativa entre plantas de cobertura e profundidade de amostragem para teores de matéria orgânica, N - total, fósforo, cálcio e magnésio.

Planta de cobertura	Matéria Orgânica (g/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	9,70 cA	6,53 bAB	6,53 bAB	3,20 bB
Lab-lab	21,57 aA	12,17 aB	7,13 aC	5,08 aC
Mucuna cinza	16,79 abA	11,15 aB	7,99 aC	5,68 aC
Mucuna preta	8,67 cA	3,80 cB	3,37 cB	3,11 bB
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	13,80 bcA	5,25 cB	5,08 bB	2,94 bB
<i>Crotalaria breviflora</i>	13,88 bcA	4,65 cB	4,99 bB	3,54 bB
<i>Crotalaria spectabilis</i>	17,64 abA	6,79 bB	5,85 bB	3,71 bB
Planta de cobertura	N-total (g/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	1,07 cA	1,11 abA	1,04 aA	0,76 aB
Lab-lab	2,54 aA	1,60 aB	1,08 aC	0,68 aD
Mucuna cinza	1,89 aA	1,58 aB	1,12 aC	0,90 aD
Mucuna preta	1,04 cA	0,66 bB	0,64 bB	0,62 aB
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	1,67 bA	0,72 bB	0,66 bB	0,60 aB
<i>Crotalaria breviflora</i>	1,52 bA	0,69 bB	0,65 bB	0,70 aB
<i>Crotalaria spectabilis</i>	1,69 bA	1,13 abB	0,85 bB	0,71 aB
Planta de cobertura	Fósforo (mg/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	7,28 bA	5,47aB	4,47 aBC	2,85 bC
Lab-lab	17,20 aA	6,59 aB	5,37 aB	5,59 aB
Mucuna cinza	7,13 bA	3,76bB	3,23bB	3,43 bB
Mucuna preta	6,69 bA	2,88cB	3,14 bB	3,97 bB
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	3,93 cA	2,86cA	3,43 bA	2,89 bA
<i>Crotalaria breviflora</i>	4,07 cA	4,44 bA	3,91 bA	2,92 bA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	8,15 bA	3,89 bB	2,94 bB	2,79 bB
Planta de cobertura	Magnésio (mmol/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	16,05 bA	11,17 bAB	8,52 cdB	7,22 bB
Lab-lab	19,63 bA	6,90 cB	4,36 dB	4,11 cB
Mucuna cinza	18,68 bA	15,22 abA	13,90 bcA	15,74 aA
Mucuna preta	13,20 bA	9,54 bA	10,12 cdA	9,86 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	18,66 bA	15,26 abA	15,17 abA	14,01 aA
<i>Crotalaria breviflora</i>	18,66 bA	15,29 abA	14,47abA	15,62 aA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	25,97 aA	17,86 aB	16,70 aB	15,56 aB
Planta de cobertura	Cálcio (mmol/dm ⁻³)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	24,30 bA	19,71 cA	18,44 cA	18,86 bA

Lab-lab	39,64 aA	21,09 bcB	21,34 bB	21,56 abB
Mucuna cinza	33,45 abA	35,10 aA	31,96 aA	29,53 aA
Mucuna preta	19,58 cA	14,24 cA	14,20 cA	14,98 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	30,69 abA	24,98 bA	23,63 bA	22,36 abA
<i>Crotalaria breviflora</i>	35,59 abA	30,52 abA	31,52 aA	28,12 aA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	39,16 aA	24,27 bcB	22,50 bB	20,69 abB

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro da linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade.

Tabela 7. Desdobramento da interação significativa entre plantas de cobertura e profundidade de amostragem para pH, saturação por bases (SB) e capacidade de troca de cátions.

Planta de cobertura	pH			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	4,41 bA	4,23 bA	4,33 bA	4,68 bA
Lab-lab	5,37 aA	4,42 bB	4,54 bB	4,63 bB
Mucuna cinza	4,83 bA	4,84 bA	4,85 bA	4,80 bA
Mucuna preta	4,37 bA	4,24 bA	4,28 bA	4,27 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	5,04 aA	4,71 bA	4,70 bA	4,80 bA
<i>Crotalaria breviflora</i>	5,17 aA	5,23 aA	5,33 aA	5,27 aA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	4,92 bA	4,60 bA	4,64 bA	4,73 bA
Planta de cobertura	SB			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	43,49 bcA	32,48 cdB	28,19 bB	27,00 bB
Lab-lab	63,33 aA	29,75 dB	27,11 bB	27,00 bB
Mucuna cinza	56,06 abA	51,85 aA	46,93 aA	46,32 aA
Mucuna preta	36,65 cA	25,66 dA	25,94 bA	26,00 bA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	52,98 abA	41,93 bcA	40,03 abA	37,63 abB
<i>Crotalaria breviflora</i>	59,12 abA	47,34 bA	47,31 aA	45,07 aA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	69,77 aA	43,58 bB	40,67 abB	37,46 abB
Planta de cobertura	CTC			
	0-10	10-20	20-30	30-40
Feijão de porco	70,85 bcA	69,77 aA	58,97bB	52,05 abB
Lab-lab	86,37 abA	56,51 aB	47,28 bB	44,72 bB
Mucuna cinza	79,41 bcA	74,76 aA	66,66 aA	67,76 aA
Mucuna preta	65,36 cA	62,64 aA	57,26 bA	58,08 abA
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	72,90 bcA	63,32 aA	60,34 abA	56,74 abA
<i>Crotalaria breviflora</i>	75,62 bcA	62,28 aA	62,57 abA	59,76 abA
<i>Crotalaria spectabilis</i>	92,69 aA	66,06 aB	61,41 abB	57,08 abB

As letras minúsculas separam as médias dentro de cada coluna e as maiúsculas separam as médias dentro da linha. Letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 1% de probabilidade

CONCLUSÕES

O cultivo de *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria breviflora* proporcionaram maior produtividade de massa seca.

A espécie Lab-lab destacou-se no acúmulo de nitrogênio nas folhas em pleno florescimento, bem como no aporte de matéria orgânica, N-total, P e Ca²⁺ do solo, promovendo impacto direto na fertilidade da camada superficial do solo (0-10 cm), havendo decréscimo em camadas subsuperficiais.

O cultivo de *Crotalaria breviflora* e *Crotalaria spectabilis* causou variação nos teores de bases trocáveis do solo, com correlação direta aos valores de pH, SB e CTC.

REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, R. C. et al. Adubação verde: uma alternativa sustentável para o Brasil. Revista Verde, Mossoró, RN, v. 3, n. 1, p.16-20, 2008.

Almeida, J. A.; Bertol, I.; Leite, D.; Amaral, A. J.; Zoldan Jr., W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.437-445, 2005.

Azevedo, D. M. P.; Leite, L. F. C.; Teixeira Neto, M. L.; Dantas, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. Revista Ciência Agronômica, v.38, p.32-40, 2007.

BARROS, D.L.; GOMIDE, P.H.O.; CARVALHO, G.J. Plantas de cobertura e seus efeitos na cultura em sucessão. Bioscience Journal, v.29, n.2, p. 308-318, 2013.

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.

BERTIOL, A.C.T. Efeito de plantas de cobertura em atributos químicos do solo. Jaboticabal: UNESP, 2014, 50 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.

BOER, C. A. et al. 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, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 843-851, 2008.

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.

Canellas, L. P.; Velloso, A. C. X.; Marciano, C. R.; Ramalho, J. F. G. P.; Rumjanek, V. M.; Resende, C. E.; Santos, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.935-944, 2003.

CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N.; CARVALHO, G.J.; FREITAS, D.A.F.; AVANZI, J.C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias. v.8, n.3, p.375-382, 2013.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal, n.56, 777-783, 1992.

CARVALHO, A.M. de; COSER, T.R.; REIN, T.A.; DANTAS, R. A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K.W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 50(7), 551-561, 2015.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. Fertilizer Research, v.41, p.227-234, 1995.

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

FISCHLERAB, M.; WORTMANN, C. S.; FEIL, B. Crotalaria (*C.ochroleuca* G Don.) as a green manure in maize-bean cropping systems in Uganda. Field Crops Research, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 97-107, 1999.

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.

PADOVAN, M.P.; MOTTA, I.S.; CARNEIRO, L.F.; MOITINHO, M.R. & FERNANDES, S.S.L. Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo do feijão-de-porco para fins de adubação verde. Revista Brasileira de Agroecologia, vol. 6, n. 3, p. 182-190, 2011.

PEREIRA, A.P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J.N.; GOLLE, D.P.; HORN, R.C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. Revista de Ciências Agrárias, n.40, v. 4, p. 799-807, 2017.

Raij, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 287 p.

SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; SILVEIRA, P.M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.1339-1348, 2011.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P.M.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n. 11, p. 1171-1178, 2012.

Sidiras, N.; Pavan, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 9, n.2, p. 249-254, 1985.

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, v.12, n. 1, p. 60-67, 2017.

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.

SMETHURST, P.J. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management**, v.138, n.1/3, p.397-411, 2000. TARIFA, J. R. **Mato Grosso: clima – análise e representação cartográfica**. Cuiabá: Entrelinhas, 2011. 102 p.

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

TEODORO, R.B.; OLIVEIRA, F.L.; SILVA, D.M.N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M.A.L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado no Alto Vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n, 2, p. 635-643, 2011.

Theodoro, V. C. A.; Alvarenga, M. I. N.; Guimarães, R. J.; Souza, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.27, p.1039-1047, 2003.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 59-168.