

ATRIBUTOS DO SOLO E RENDIMENTO DE ARROZ DE SEQUEIRO APÓS ADUBAÇÃO VERDE E COMPOSTOS ORGÂNICOS

Soil attributes and upland rice yields after green manuring and organic composts

Flávia Aparecida de Alcântara¹, Luis Fernando Stone², Alexandre Bryan Heinemann³, Éder de Souza Martins⁴

¹ Pesquisadora/Embrapa Arroz e Feijão. Doutora em Ciência do Solo/Universidade Federal de Lavras. Santo Antonio de Goiás, GO, Brasil. 0000-0002-3948-014X. flavia.alcantara@embrapa.br

² Pesquisador/ Embrapa Arroz e Feijão. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas/Universidade de São Paulo. Santo Antonio de Goiás, GO, Brasil. 0000-0003-3089-6381. luis.stone@embrapa.br

³ Pesquisador/ Embrapa Arroz e Feijão. Doutor em Irrigação e Drenagem/Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz. Santo Antonio de Goiás, GO, Brasil. 0000-0002-7037-488X. alexandre.heinemann@embrapa.br

⁴ Pesquisador/Embrapa Cerrados. Doutor em Geologia/Universidade de Brasília. Planaltina, DF, Brasil. 0000-0003-2881-683X. eder.martins@embrapa.br

RESUMO

Apesar de antiga, a associação adubação verde/compostagem tem sido redescoberta e aplicada no contexto agroecológico. Este trabalho avaliou os impactos desse manejo sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo e o rendimento de grãos de arroz de sequeiro. Conduziu-se um experimento em delineamento de blocos ao acaso, parcelas subdivididas e quatro repetições, nas safras de verão 2015/16 e 2016/17. Nas parcelas foram: crotalária juncea, feijão-de-porco e mucuna anã. Nas subparcelas, além da testemunha (C1), foram: composto enriquecido com termofosfato (C2), enriquecido com remineralizador (C3) e enriquecido com termofosfato e remineralizador (C4). Coletaram-se amostras de solo (0,0-0,10 m) antes da 1ª e depois da 2ª safra. Nenhuma associação adubo verde/composto melhorou os atributos físicos. Dentre os atributos químicos, feijão-de-porco e C3, isolados, aumentaram Ca e Mg. Na 1ª safra o rendimento de grãos de arroz foi maior após mucuna.

Palavras Chaves: Leguminosas, Compostagem, Remineralizadores, Qualidade do Solo.

ABSTRACT

Although ancient, the green manures/composting association has been rediscovered and applied in the agroecological context. This study evaluated the impacts of this management on the chemical, physical and biological parameters of the soil and the grain yield of upland rice. An experiment was conducted in a randomized block design, split plot scheme and four replications, for two seasons (2015/16 and 2016/17). In the plots we placed: sunn hemp, jack bean and velvet bean. In the subplots, in addition to the control (C1), there were: organic compost enriched with thermophosphate (C2), enriched with remineralizer (C3) and enriched with thermophosphate and remineralizer (C4). We collected soil samples (0.0-0.10 m) before the 1st and after the 2nd harvest. No combination of green manure/compost improved physical parameters. However, jack bean and C3, isolated, increased Ca and Mg. In the 1st harvest, yield was higher after velvet bean.

KEYWORDS: Legumes, Composting, Remineralizer, Soil Quality.

INTRODUÇÃO

A escolha por sistemas agroecológicos vem crescendo mundialmente (WEZEL et al., 2014) e no Brasil (VILELA et al., 2019) e pode contribuir para a promoção socioeconômica da agricultura familiar, fomentando redes de comercialização e novos mercados (ALVES e BOTELHO, 2014). Sua adoção considera características socioeconômicas e diferentes realidades ambientais, com práticas moldáveis a cada situação (ALTIERI e TOLEDO, 2011).

Tal flexibilidade também se dá no manejo do solo, um recurso-chave na regulação de processos vitais dos agroecossistemas. Práticas como adubação verde, rotação de culturas, entre outras, previnem a perda de benefícios ecossistêmicos advindos de um solo saudável (TRINDADE-SANTOS e CASTRO, 2021). Aliadas ao manejo adequado de plantas espontâneas, formam o arcabouço do uso correto do solo (PRIMAVESI, 2002).

Considerando que a pesquisa agrícola, desde a revolução verde, tem focado muito mais em insumos convencionais (PEREIRA et al., 2020), é fundamental desenvolver fertilizantes alternativos viáveis para sistemas agroecológicos, capazes de garantir a nutrição das plantas, e que considerem, além da dimensão ambiental, os aspectos socioeconômicos associados, como baixo custo e disponibilidade de matéria-prima (MOKWUNYE e BATIONO, 2011).

A compostagem é um processo natural que ocorre pela estabilização da matéria orgânica (MO) em temperaturas superiores a 45°C, utilizado na agricultura para a produção de fertilizantes. Por ele, obtém-se um produto final estável, sanitizado e rico em substâncias húmicas (ORRICO JUNIOR et al., 2012). Além de suprirem nutrientes, os compostos atuam como condicionadores, pois ao aumentarem os teores de MO, podem melhorar características físicas, químicas e biológicas do solo. Podem ser enriquecidos com materiais minerais naturais, não solúveis e não sintéticos, permitidos pela legislação para agricultura orgânica, como calcários, fosfatos naturais e termofosfatos (SOUZA e ALCÂNTARA, 2007). Remineralizadores de solo (coprodutos da indústria de mineração) também podem ser uma boa opção para o enriquecimento. No Brasil, os principais remineralizadores vêm de rochas

e minerais silicatados, como biotita, feldspato e minerais máficos, com teores consideráveis de K, Ca, Mg e Si (MARTINS et al., 2008; SILVA et al., 2012).

A adubação verde tem efeitos positivos em médio e longo prazo, como adição de C e N, redução da compactação, aumento da diversidade faunística e da capacidade de troca de cátions (CTC) e melhoria da infiltração de água no perfil (FERREIRA et al., 2012; MÓSQUERA et al., 2012). No entanto, com a exportação de nutrientes que ocorre a cada colheita, é necessário associá-la à aplicação de fertilizantes, para repor nutrientes. Cunha et al. (2011), estudando em sistema orgânico a influência de crotalária juncea, guandu, mucuna preta e sorgo sobre atributos químicos do solo, observaram que a reciclagem dos nutrientes por essas plantas não foi suficiente para manter teores de P, K, Fe e Mn. Ademais, com exceção da entrada de N via fixação biológica quando leguminosas são utilizadas, os demais nutrientes são apenas reciclados do próprio sistema.

A decomposição e os efeitos de materiais orgânicos sobre o solo dependem não só do manejo e das condições edafoclimáticas (FERREIRA et al., 2012; MÓSQUERA et al., 2012), mas também de sua composição química, especialmente em compostos aromáticos ou carboxílicos, e relações C/N e C/P (CARVALHO et al., 2014). Assim, a atuação de adubos verdes e fertilizantes orgânicos é regida por uma série de fatores bióticos e abióticos, tornando sua junção ainda mais complexa do que seu uso dissociado. Apesar dos poucos estudos sobre os efeitos dessa associação (SOUZA et al., 2015), o avanço do conhecimento no tema é fundamental para a adoção do manejo mais apropriado, como mostram os estudos de Menezes e Silva (2008), Morais e Barbosa (2012), Souza e Guimarães (2013) e Souza et al. (2015). Além disso, as interações entre adubos verdes, silicatos e fosfatos, algumas vezes presentes em compostos enriquecidos com minerais, podem gerar propriedades emergentes que aumentam a eficiência do uso de nutrientes (MERWAD, 2017), mediadas por microrganismos (SARIKHANI, 2016) e rizosfera (RAWAT et al., 2018).

De forma a mensurar a influência do manejo sobre as funções do solo geralmente se avalia um rol de atributos químicos, físicos e biológicos (LIMA et al., 2013), mas também é

necessário levar em consideração o reflexo dos efeitos sobre o rendimento das culturas (STONE et al., 2013), principalmente das anuais, como é o caso do arroz (*Oryza sativa* L.), um dos principais grãos produzidos no Brasil e parte importante da dieta nacional.

O arroz de sequeiro, ou de terras altas, é cultivado em quase todas as regiões do país, em ampla gama de condições climáticas e sistemas de produção, abrangendo desde subsistência até grandes áreas mecanizadas (GUIMARÃES et al., 2018). Parte de sua importância reside no fato de que sua produção minimiza os desafios logísticos para o abastecimento do produto para as regiões centro-oeste, norte e nordeste do Brasil (HEINEMANN et al., 2019).

Sua rusticidade e a facilidade de condução, aliadas ao fácil armazenamento e à possibilidade de comercialização e consumo dos grãos vários meses após a colheita, favorecem a produção pela agricultura familiar (LOPES et al., 2008). No entanto, baixos rendimentos de grãos e alto risco agroclimático têm levado à sua substituição por cultivos de menor risco e maior receita (HEINEMANN et al., 2017). Uma das causas para baixas produtividades na região do Cerrado é a baixa capacidade de água disponível (GUIMARÃES et al., 2018), evidenciando a importância de práticas que incorporem MO, como adubação verde e compostos orgânicos, que, apesar de antigas, estão sendo redescobertas e carecem de melhor entendimento no contexto dos sistemas agroecológicos adotados pela agricultura familiar.

Em vista do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da adubação verde, associada ao uso de compostos orgânicos, sobre a qualidade do solo e o rendimento de grãos de arroz de sequeiro.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na Estação Experimental em Agroecologia localizada em Santo Antônio de Goiás, GO (16° 31' 18" S e 49° 18' 45" W, altitude de 823 m). A Estação abrange 16 ha, manejados sob princípios agroecológicos desde 2004. O clima da região é classificado como Aw, tropical de savana, megatérmico (ALVARES et al., 2013). O regime pluvial é

bem definido, com período chuvoso de outubro a abril e seco de maio a setembro, com precipitação média anual de 1460 mm (SILVA et al., 2002b).

O solo da área da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO ácrico típico (SANTOS et al., 2013), com caracterização granulométrica na camada de 0-20 cm, de 410, 320 e 270 g kg⁻¹ de areia, argila e silte, respectivamente, e classificação textural franco argilosa (TEIXEIRA et al., 2017).

A área vinha sendo conduzida desde o verão 2013/2014 em três faixas (80m x 8m) de adubos verdes, com quatro repetições, com o objetivo de comparar o potencial de produção de fitomassa das seguintes leguminosas: crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) e mucuna anã (*Mucuna deeringiana*). Esse manejo foi mantido nos anos agrícolas 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017. Os adubos verdes foram semeados no início da estação chuvosa (outubro), sem adubação, no espaçamento de 0,45 m entre linhas e utilizando-se 25, 7 e 7 sementes por metro de crotalária, feijão-de-porco e mucuna, respectivamente. A partir da safra 2015/2016 foi iniciado o experimento com arroz, em sucessão à adubação verde, descrito neste trabalho.

Em outubro de 2015, antes da instalação do experimento, uma amostragem inicial do solo foi feita, caracterizando a época zero (E0). Para tal, em cada faixa de adubo verde e cada uma das quatro repetições, foram coletadas, na profundidade de 0-0,10 m, uma amostra composta (deformada) proveniente de 20 amostras simples para análises químicas e biológicas (acondicionadas em baixa temperatura até chegar ao laboratório), uma amostra composta de 20 amostras simples para análise de estabilidade de agregados, e três anéis volumétricos (amostras indeformadas) na área central de cada faixa e no centro da camada de 0-0,10 m.

Os atributos físicos avaliados foram densidade do solo, determinada pelo método do anel volumétrico; porosidade total, pela relação entre densidade do solo e a densidade de partículas determinada pelo método do balão volumétrico; microporosidade, considerada igual à quantidade de água retida pelo solo na tensão de 6 kPa; macroporosidade, pela

diferença entre porosidade total e microporosidade e diâmetro médio ponderado dos agregados, determinado via úmida, segundo Teixeira et al. (2017).

Os atributos químicos avaliados foram teor de MO, avaliado pelo método de Walkley e Black; pH (em água) e teores de P-Mehlich 1, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , H^+ + Al^{3+} , determinados de acordo com Teixeira et al. (2017), além de calculadas CTC efetiva e potencial (a pH 7,0), saturação por alumínio, soma de bases e saturação por bases. Os atributos biológicos do solo avaliados foram carbono e nitrogênio da biomassa microbiana pelo método da fumigação-extração (VANCE e BROOKES, 1987).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com arranjo em parcela subdividida e quatro repetições. As parcelas principais foram compostas pelos três adubos verdes (crotalária juncea, feijão-de-porco e mucuna anã), no tamanho de 80 m de comprimento por 8 m de largura. As subparcelas, no tamanho de 10 m de comprimento por 4 m de largura, foram compostas por quatro tratamentos: testemunha (sem fertilização) (C1), composto orgânico enriquecido com termofosfato (C2), composto orgânico enriquecido com remineralizador (C3) e composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador (C4). O preparo do solo foi convencional (grade aradora e niveladora), ocasião em que foi incorporada a fitomassa dos adubos verdes, juntamente com o composto orgânico, aplicado a lanço nas subparcelas de C2, C3 e C4. As doses aplicadas dos compostos foram baseadas em seus teores de N e no suprimento de nitrogênio de 40 kg N ha^{-1} para o arroz e foram as seguintes: $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ para C2 e C4; $5,7 \text{ t ha}^{-1}$ para C3.

O termofosfato utilizado apresentava 18% e 16%, respectivamente, de P_2O_5 total e solúvel em ácido cítrico; 18% de Ca, 7% de Mg e 10% de Si. O remineralizador utilizado foi o biotitaxisto do Grupo Araxá (Neoproterozoico) do Estado de Goiás (PIMENTEL, 2016). Esse material apresentou a seguinte composição química e mineralógica determinada por fluorescência de raios-X e análise petrográfica por contagem de pontos (em parênteses, seguem as proporções dos minerais): 3,2% de K_2O de biotita (21,4%) e muscovita (9,7%); 1,81% de CaO de granada (5,7%); 4,76% de MgO de biotita (21,4%) e clorita (15,8%); e

95% de partículas com dimensão menor que 0,3 mm. Os conteúdos de micronutrientes foram (mg kg^{-1}): Co (28,5); Ni (87,0); Cu (66,6); Mo (1,5); Se (0,6); Zn (142); B (37); Cd (0,07); Hg (0,01); As (< 1); Pb (3,1); Sb (0,14); Bi (0,13); Cr (87).

A composição básica do composto, produzido na própria Estação Experimental, foi uma parte de esterco bovino para três partes de material vegetal triturado (sendo $\frac{3}{4}$ de capim-napier e o restante de folhas de bananeira), dispostas em pilhas de 5, 1 e 1,5 metros de comprimento, largura e altura, respectivamente. Além do umedecimento feito na montagem das pilhas, a cada 15 dias, por ocasião das reviradas (feitas até os 60 dias), havia novo umedecimento. Os compostos ficaram prontos (temperatura, odor e características visuais estáveis e homogêneas) aos 90 dias. A essa composição básica, foram acrescentados, ainda na montagem das pilhas, os respectivos materiais minerais (13 kg de termofosfato em C2, 26 kg de remineralizador em C3 e 13 kg de termofosfato + 26 kg de remineralizador em C4).

A composição química (metodologias de BRASIL, 2014) dos três compostos produzidos (C2, C3 e C4) é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química dos compostos orgânicos.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	MO	U	C:N	pH
	g kg^{-1}					mg kg^{-1}			%				
C2	16	19	16	50	13	100	33.000	200	250	45	13	15:1	7,0
C3	18	19	18	56	13	160	28.000	420	410	47	15	15:1	6,5
C4	16	19	19	53	13	150	31.000	405	280	49	17	15:1	6,8

Legenda: U = umidade.

Para o arroz, usou-se a variedade “arroz de três meses”, obtido do banco de melhoramento de arroz da Embrapa Arroz e Feijão, e semeado em espaçamento de 0,45 m entre linhas, com 80 sementes/metro.

O experimento foi conduzido da mesma forma nas safras 2015/2016 e 2016/2017. A produtividade da cultura foi avaliada ao final das safras: abril de 2016 e abril de 2017, coletando quatro linhas de 6 m de comprimento, totalizando $10,8 \text{ m}^2$ de parcela útil. Em abril de 2017, após a colheita, foi realizada nova coleta de solo (época 1 (E1)). Para a amostragem, foram retiradas, na área útil de cada subparcela e na profundidade de 0-0,10 m, uma amostra

composta (deformada) de oito amostras simples para análises químicas e biológicas (para as quais, subamostras de cada composta foram acondicionadas em baixa temperatura até chegar ao laboratório), uma amostra composta (com o mínimo de perturbação) de oito amostras simples para análise de estabilidade de agregados e três anéis volumétricos (amostras indeformadas) no centro de cada subparcela, no meio da profundidade 0-0,10 m. Os atributos avaliados e as metodologias para as análises foram as mesmas descritas para amostras de E0.

As médias dos atributos do solo resultantes da coleta E1 foram comparadas com aquelas obtidas na análise (E0), utilizando o teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Os dados de E1 foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O Programa R versão 3.5.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018) foi utilizado para todas as análises estatísticas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre adubação verde e aplicação de compostos para nenhum atributo avaliado, mas algumas alterações ocorreram isoladamente para características químicas e físicas do solo. Apesar de ainda serem poucos os trabalhos que estudam essa associação, encontra-se também em Favarato et al. (2014) ausência de interação significativa entre o uso dos diferentes tipos de compostos para atributos químicos avaliados após sucessão crotalaria juncea/milho-verde associadas a níveis de N em compostos.

Os atributos biológicos do solo não foram afetados neste estudo (Tabela 2). Tanto o carbono quanto o nitrogênio da biomassa microbiana servem como indicadores da qualidade do solo (FERREIRA et al., 2011), mas seu uso isolado não é o mais apropriado para determinar o estado metabólico das comunidades microbianas (BOWLES et al., 2014), sendo necessário agregar outros atributos microbiológicos. Além disso, o sistema de preparo do solo em questão parece influenciar mais esses indicadores do que as plantas de cobertura, como encontrado por Ferreira et al. (2011) na mesma estação experimental do presente estudo. Em seu trabalho, a adubação verde não causou efeitos marcantes nos atributos biológicos, mas sob semeadura direta o C da biomassa foi 35% mais alto do que sob preparo convencional.

Tabela 2. Médias dos atributos físicos e biológicos na camada de 0,0-0,10 m do Latossolo Vermelho submetido a diferentes adubos verdes e compostos e cultivado com arroz de sequeiro ⁽¹⁾.

Adubo verde	Composto	Atributo						
		Época um - 2017						
		DS	PT	MIP	MAP	DMP	CBM	NBM
Crotalária	C1	1,47	0,490	0,418	0,073	9,0	210,2	84,0
	C2	1,56*	0,456	0,415	0,041	8,1	391,7	110,2
	C3	1,48	0,470	0,409	0,061	7,8	413,2	168,3
	C4	1,50	0,481	0,406	0,075	9,0	152,4	84,7
	Média	1,50A	0,474A	0,412B	0,062A	8,5A	291,8A	111,8A
Feijão-de-porco	C1	1,56*	0,476	0,436	0,040*	9,8*	350,8	160,6
	C2	1,49*	0,482	0,428	0,054*	9,2*	273,2	105,0
	C3	1,54*	0,450*	0,410	0,040*	6,4	301,9	95,0
	C4	1,56*	0,497	0,446	0,050*	10,1*	389,8	172,0
	Média	1,54A	0,476A	0,430A	0,046A	8,9A	328,9A	133,1A
Mucuna	C1	1,51*	0,493	0,436	0,057*	8,5	321,0	136,7
	C2	1,52*	0,475	0,427	0,048*	8,6	195,5	45,0
	C3	1,52*	0,496	0,431	0,065*	7,7	317,2	130,1
	C4	1,47*	0,490	0,418	0,073*	9,5	344,9	143,6
	Média	1,51A	0,490A	0,428A	0,062A	8,6A	294,6A	113,8A
Média	C1	1,51a	0,487a	0,430a	0,056a	9,1ab	294,0a	127,1a
	C2	1,52a	0,471a	0,423a	0,048a	8,6ab	286,8a	86,7a
	C3	1,51a	0,472a	0,416a	0,056a	7,3b	344,1a	131,1a
	C4	1,50a	0,491a	0,424a	0,067a	9,5a	295,7a	133,4a
		Época zero - 2015						
		DS	PT	MIP	MAP	DMP	CBM	NBM
Crotalária		1,27	0,522	0,405	0,117	7,3	166,8	81,0
Feijão-de-porco		1,29	0,517	0,398	0,119	5,6	256,2	103,0
Mucuna		1,28	0,526	0,407	0,119	6,4	229,6	90,5

(1) Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam adubos verdes e minúsculas comparam fertilizantes. As médias nas colunas seguidas por um asterisco são significativamente diferentes da análise inicial pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, considerando cada combinação de adubo verde e fertilizante.

C1: controle, sem fertilizante; C2: composto orgânico enriquecido com termofosfato; C3: composto orgânico enriquecido com remineralizador de solo; C4: composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador de solo; Ds: densidade aparente, em Mg m⁻³; PT, MIP e MAP: porosidade total, microporosidade e macroporosidade, em m³ m⁻³; DMP: diâmetro médio ponderado dos agregados, em mm; CB e NB: carbono e nitrogênio da biomassa, em mg kg⁻¹.

Dentre os atributos físicos, no solo pré-cultivado com crotalária juncea, independente da adubação com compostos, foram encontrados menores valores de microporosidade. Entretanto, não houve efeito dos adubos verdes sobre os demais (Tabela 2). Esses resultados corroboram com Torres et al. (2005) que, comparando algumas plantas de cobertura, encontraram menor microporosidade sob crotalária, apesar da ausência de efeito de todas as espécies sobre densidade do solo, porosidade total e macroporosidade. As raízes da crotalária podem crescer em camadas de solo compactado, contribuindo para a formação de bioporos

(FOLONI et al., 2006), que, apesar de representarem menos de 3% do volume do solo e terem pouco efeito sobre a D_s , melhoram os fluxos de ar e água no perfil (REINERT et al., 2008).

A adubação orgânica pode influenciar os atributos físicos, como demonstrado por Freitas et al. (2018). Entretanto, no presente trabalho, e independente do adubo verde, apenas a DMP foi afetada pelos diferentes compostos, sendo maior com C4 do que com C3 (Tabela 2). Isto pode ser devido, em parte, ao maior teor de MO, em valor absoluto, com C4. O C orgânico total estabiliza a estrutura do solo, pelo efeito cimentante na formação e manutenção dos agregados (SALES et al., 2016).

Em relação ao solo inicial (2015), houve aumento de DMP em C1, C2 e C4 após feijão-deporco, mas se destacaram alterações na densidade do solo e na macroporosidade: a D_s aumentou para todos os tratamentos de adubação, inclusive testemunha, nas áreas pré-cultivadas com feijão-de-porco e mucuna anã e no C2 após crotalária juncea, e a macroporosidade diminuiu para todos os compostos após feijão-de-porco e mucuna.

As condições físicas do solo favoráveis ao crescimento das plantas têm sido associadas a uma macroporosidade de aeração mínima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (XU et al., 1992), visto que abaixo desse limite a difusão do oxigênio já é prejudicial ao funcionamento das raízes. Para todos os tratamentos, inclusive C1, os valores de macroporosidade ficaram abaixo desse limite, mostrando que essa condição, assim como o aumento da D_s (destacadamente nas áreas sob pré-cultivo de mucuna e feijão-de-porco), tem provável relação com o preparo convencional do solo praticado na área desde a safra 2013/14, com aração de aiveca. O preparo e revolvimento excessivos causados pelo uso intensivo de arados e grades leva à pulverização da camada arável e à compactação da camada superficial. Essa desagregação da estrutura do solo resulta em aumento na sua densidade, com conseqüente redução na porosidade total e alterações nas relações de porosidade.

Levando em consideração que a densidade crítica para solos franco-argilosos se situa entre $1,40$ e $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$ (REICHERT et al., 2003), verifica-se que a densidade inicial do solo foi alterada para valores críticos. Aumentos na densidade do solo estão correlacionados à

diminuição da porosidade total e da macroporosidade, comprovando a importância do uso da Ds como indicador da qualidade física do solo (TORRES et al., 2005) e, no presente trabalho, essas alterações parecem ter como causa principal o preparo convencional do solo.

Apesar da importância da semeadura direta como prática conservacionista, nos sistemas agroecológicos, por não se utilizarem herbicidas, o preparo convencional é uma forma de controle mecânico das plantas espontâneas (AGUIAR et al., 2010). Assim, apesar de o revolvimento mínimo ser favorável aos atributos físicos também nesses sistemas (VAKALI et al., 2011), ele é geralmente evitado (GRUBER e CLAUPEIN, 2009; PEIGNÉ et al., 2018).

Dentre os químicos, independentemente da aplicação ou não de composto (controle) e do tipo de composto aplicado, os teores de Ca, Mg e Zn e os valores de t e T foram maiores no solo pré-cultivado com feijão-de-porco; enquanto no pré-cultivado com crotalária juncea, foram encontrados teores mais altos de K (Tabelas 3 e 4). Crotalária juncea e feijão-de-porco também se destacaram no trabalho de Silva et al. (2002a), em que aumentos nos teores de N, K, Ca e P do solo foram atribuídos a essas espécies e com guandu. O feijão-de-porco também se destacou no trabalho de Gama-Rodrigues et al. (2007), apresentando maiores taxas de liberação de nutrientes em relação a amendoim forrageiro, siratro, cudzu e braquiária.

Em relação à aplicação ou não dos compostos e do tipo de composto aplicado, independentemente da espécie de adubo verde, não foram encontradas diferenças entre controle e compostos para teores de K, Cu, Mn, Fe (Tabela 3) e MO (Tabela 4). O teor de MO na análise inicial do solo já era alto e não se diferenciou do valor encontrado em 2017 (Tabela 4). A estabilização da matéria orgânica varia não só com o manejo, mas também com as condições climáticas (SCHMIDT et al., 2011). É possível que a matéria orgânica adicionada pelos compostos, devido aos altos índices de temperatura e precipitação comuns no Cerrado durante o verão, tenha apresentado um grau de decomposição relativamente alto e, assim, não tenha gerado efeito sobre os teores do solo na amostragem pós-cultivos (2017).

Tabela 3. Médias dos atributos químicos (pH, H+Al, macro e micronutrientes) na camada de 0,0-0,10 m do Latossolo Vermelho submetido a diferentes adubos verdes e compostos e cultivado com arroz de sequeiro ⁽¹⁾.

Adubo verde	Composto	pH ¹	H+Al	Ca	Mg	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn
Época um - 2017											
Crotalária	C1	5,7	2,4*	4,1*	1,0	2,7	132	1,1*	2,5	30*	56*
	C2	5,7	2,4*	4,4*	1,1*	3,0	112	1,0*	2,8	26	50
	C3	5,9*	1,9*	4,4*	1,2*	2,2	144	0,8*	2,4	24	46,3
	C4	5,9*	1,8*	4,6*	1,2*	3,7	133	0,9*	3,4	30*	54*
	Média	5,8A	2,1A	4,4B	1,1B	2,9A	130,6A	0,9A	2,8B	29A	52A
Feijão-de-porco	C1	5,9	1,7*	4,8*	1,2	4,5	101	0,9*	3,2	22	56
	C2	6,0	1,7*	5,3*	1,4*	7,8	85	0,9*	4,2	24	54
	C3	6,3*	1,1*	6,0*	1,5*	18,9	64	0,8*	5,5	33	51
	C4	5,9	2,1*	5,0*	1,3*	4,3	90	1,0*	3,7	25	55
	Média	6,0A	1,6A	5,2A	1,3A	6,5A	85,2B	0,9A	4,1A	26,1A	54A
Mucuna	C1	5,6	2,4*	3,6*	0,9	0,9	114	1,0*	2,2	28	55*
	C2	5,9*	2,1*	4,5*	1,2*	4,5	78	0,9*	3,2	26	47*
	C3	6,1*	1,5*	5,2*	1,5*	15,7*	65	0,9*	4,5	27	49*
	C4	5,9*	1,8*	4,2*	1,1	3,3	108	1,0*	3,3	29	49*
	Média	5,9A	1,9A	4,4B	1,2AB	6,1A	91B	1,0A	3,3AB	24A	50A
Média	C1	5,7b	2,2a	4,2b	1,0b	2,7b	116a	1,0a	2,6b	26a	56a
	C2	5,8ab	2,1ab	4,7ab	1,2ab	5,1ab	91a	0,9a	3,4ab	25a	50a
	C3	6,1a	1,5b	5,2a	1,4a	9,1a	91a	0,8a	4,1a	28a	49a
	C4	5,9ab	1,9ab	4,6ab	1,2ab	3,7ab	110a	1,0a	3,4ab	28a	53a
Época zero - 2015											
		pH ¹	H+Al	Ca	Mg	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn
Crotalária		5,5	3,7	2,0	0,8	2,9	134	0,3	2,5	21	33
F.de-porco		5,6	3,6	2,2	1,0	3,7	116	0,4	3,8	21	38
Mucuna		5,4	3,7	1,9	0,8	2,8	117	0,3	2,9	20	34

(1) Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam adubos verdes e minúsculas comparam fertilizantes. As médias nas colunas seguidas por um asterisco são significativamente diferentes da análise inicial pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, considerando cada combinação de adubo verde e fertilizante.

C1: controle, sem fertilizante; C2: composto orgânico enriquecido com termofosfato; C3: composto orgânico enriquecido com remineralizador de solo; C4: composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador de solo; pH: potencial hidrogeniônico; Ca, Mg e H + Al: cálcio, magnésio e acidez potencial, em cmol_c dm⁻³; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn: fósforo, potássio, cobre, zinco, ferro e manganês, em mg dm⁻³.

O composto enriquecido apenas com remineralizador (C3) se destacou, em relação ao controle, aumentando os teores de Ca, Mg, P e Zn, além dos valores de t e V, e reduzindo a H+Al (Tabelas 3 e 4). O intemperismo dos minerais do remineralizador no processo de compostagem pode explicar o aumento da disponibilidade desses nutrientes e da saturação de bases (TAVARES et al., 2018). Além de disponibilizar esses nutrientes do próprio remineralizador, a liberação de silício pode aumentar a disponibilidade de P (RAJ, 2010).

Em relação ao solo inicial, houve alteração em alguns atributos químicos após o manejo da área por duas safras. De forma geral, houve aumento de Ca, Mg, t e V, bem como diminuição de H+Al, indicando benefícios para a fertilidade do solo (Tabelas 2 e 3). Esses efeitos não foram provenientes de nenhuma associação adubo verde e composto em particular, mas como relatado anteriormente, o feijão-de-porco como cultura antecessora ao arroz e o composto enriquecido apenas com remineralizador se destacaram para esses atributos.

Tabela 4. Médias dos atributos químicos (teor de matéria orgânica e parâmetros de fertilidade) na camada de 0,0-0,10 m do Latossolo Vermelho submetido a diferentes adubos verdes e compostos e cultivado com arroz de sequeiro ⁽¹⁾.

Adubo verde	Composto	MO	Época um - 2017		
			T	T	V
Crotalária	C1	39,8	5,5*	7,9*	69,4
	C2	43,5	5,7	8,2*	70,3
	C3	45,2	5,9	7,8*	75,7*
	C4	44,6	6,2	8,0*	77,3*
	Média	43,3A	5,8B	8,0B	73,2A
Feijão-de-porco	C1	43,4	6,3	7,9*	78,7
	C2	45,8	6,9	8,6*	79,7
	C3	40,4	7,6	8,7*	87,6*
	C4	51,1	6,6	8,7*	76,0
	Média	45,2A	6,8A	8,4A	80,5A
Mucuna	C1	42,8	4,9*	7,2*	67,4
	C2	44,4	5,9	8,0*	73,5
	C3	45,9	6,9	8,4*	81,7*
	C4	42,4	5,5	7,3*	75,0*
	Média	43,9A	5,8B	7,7B	74,4A
Média	C1	42,0a	5,5b	7,7b	71,8b
	C2	44,6a	6,2ab	8,2a	74,5ab
	C3	43,8a	6,8a	8,3a	81,6a
	C4	46,0a	6,1ab	8,0ab	76,1ab
		Época zero - 2015			
		MO	T	T	V
Crotalária		44,9	6,6	10,2	63,7
Feijão-de-porco		45,8	6,9	10,4	65,4
Mucuna		45,4	6,5	10,1	63,5

(1) Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam adubos verdes e minúsculas comparam fertilizantes. As médias nas colunas seguidas por um asterisco são significativamente diferentes da análise inicial pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, considerando cada combinação de adubo verde e fertilizante.

C1: controle, sem fertilizante; C2: composto orgânico enriquecido com termofosfato; C3: composto orgânico enriquecido com remineralizador de solo; C4: composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador de solo; MO: matéria orgânica do solo, em g kg⁻¹; t e T: capacidade trocável de cátions efetiva e potencial, respectivamente, em cmol_c dm⁻³; V: saturação de base, em %.

Para a safra 2015/16, a produtividade do arroz após a mucuna foi maior do que após a crotalária e feijão-de-porco (Tabela 5), já na safra 2016/17, não houve efeito da adubação verde sobre a produtividade do arroz. Conforme demonstrado nos trabalhos de Simidu et al. (2010), em estudo com feijão, e Lázaro et al. (2013) e Carvalho et al. (2015), em estudos com milho, os adubos verdes têm diferentes efeitos na produtividade de grãos. Para arroz de terras altas, Cazetta et al. (2006), com duas safras após sorgo, milheto, milho, mucuna preta, guandu, crotalária ou pousio, não constataram diferença de rendimento de grãos inteiros na primeira safra, enquanto na segunda o rendimento foi maior após guandu e menor após mucuna preta. No trabalho de Arf et al. (2018), a produtividade da cultura também se destacou do controle (arroz após milho solteiro) após o pré-cultivo de milho + guandu, não havendo diferença entre testemunha e demais tratamentos (milho + crotalária *spectabilis*, milho + feijão-de-porco e milho + braquiária *ruziziensis*).

Tabela 5. Rendimento de grãos arroz de sequeiro em função de adubos verdes e compostos ⁽¹⁾.

Adubo verde	Composto	Rendimento (t ha ⁻¹)	
		2015/2016	2016/2017
Crotalária juncea	C1	1,38	1,23
	C2	1,60	1,55
	C3	1,59	2,00
	C4	1,54	1,55
	Média	1,53B	1,58A
Feijão-de-porco	C1	1,62	1,38
	C2	1,80	1,78
	C3	2,05	1,90
	C4	1,72	1,63
	Média	1,81B	1,67A
Mucuna	C1	2,26	1,30
	C2	2,36	1,73
	C3	2,13	1,63
	C4	2,03	1,53
	Média	2,21A	1,54A
Média	C1	1,76a	1,30a
	C2	1,92a	1,68a
	C3	1,93a	1,84a
	C4	1,77a	1,57a

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam adubos verdes e minúsculas comparam fertilizantes. C1: controle, sem fertilizante; C2: composto orgânico enriquecido com termofosfato; C3: composto orgânico enriquecido com remineralizador de solo; C4: composto orgânico enriquecido com termofosfato e remineralizador de solo.

Para ambas as safras, 2015/2016 e 2016/2017, os compostos não afetaram a produtividade (Tabela 5), o que pode ter ocorrido devido aos bons índices de fertilidade inicial do solo (dados de 2015, Tabelas 3 e 4), um possível resultado do manejo agroecológico com adubação verde desde o verão 2013/2014. Por esses dados apenas o teor de P pode ser classificado como muito baixo, enquanto os teores de Ca e Mg são adequados e os de K e MO altos, com saturação de bases em torno de 65% (SOUSA e LOBATO, 2004). Apesar de não terem avaliado a produtividade de arroz, Souza e Guimarães (2013) e Favarato et al. (2014) também relataram a boa fertilidade de áreas manejadas sob princípios da agricultura orgânica por muito tempo (cerca de 18 anos), inclusive, nas parcelas testemunha.

É importante ressaltar que no presente estudo foi avaliado um material genético tradicional, o “arroz de três meses”, isto é, uma variedade nunca submetida a melhoramento genético para altas taxas de produtividade. A média geral foi de 1,8 t ha⁻¹ em 2016 e 1,6 t ha⁻¹ em 2017, valores esperados para um material tradicional em condição de sequeiro e sem irrigação, e se aproximam da média de produtividade (para sequeiro) de Goiás na safra 2019/2020, que foi de 2,1 t ha⁻¹ (CONAB, 2021) e da média para 11 variedades locais encontrada por Gonçalves et al. (2013), que foi 1,72 t ha⁻¹.

CONCLUSÕES

No sistema agroecológico em estudo, nenhuma associação adubo verde/composto melhora os atributos físicos. Com o tempo há aumento da Ds (exceção para três tratamentos após crotalária: controle, composto enriquecido apenas com remineralizador e composto enriquecido com termofosfato e remineralizador) e redução da MAP (exceção para todos os tratamentos após crotalária). Dentre os químicos, após duas safras, há aumento de Ca, Mg, t e V e redução de H+Al, não como efeito de uma associação específica, mas sim do uso de feijão-de-porco (para Ca, Mg e t) e de composto enriquecido apenas com remineralizador (para Ca, Mg, t e H+Al), que é o único a se destacar da testemunha sem composto. Os atributos biológicos não são alterados pela adubação verde ou pelos compostos.

O rendimento de grãos de arroz só é afetado pelos adubos verdes e na 1ª safra, sendo maior após mucuna.

Os resultados reforçam a necessidade de estudos específicos para diferentes realidades (espécies utilizadas, composição dos compostos orgânicos, condições edafoclimáticas, tipo de preparo do solo, entre outros fatores), dada a complexidade dos efeitos dessas práticas sobre o solo e o rendimento das culturas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Renata, A.; MOREIRA, Jose, A.A.; STONE, Luis, F.; BERNARDES, Tatiely, G.; JESUS, Roberta, P. Sustentabilidade de sistemas orgânicos com plantas de cobertura na cultura do arroz, por meio de alterações físicas no solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 142-149, 2010.

ALTIERI, Miguel, A.; TOLEDO, Victor, M. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. **Journal of Peasant Studies**, v. 38, n. 3, p. 587-612, 2011.

ALVARES, Clayton, A.; STAPE, José, L.; SENTELHAS, Paulo, C.; GONÇALVES, José, L.M.; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, Arlete, M.S; BOTELHO, Maria, I.V. Agroecologia e novos meios de vida para o desenvolvimento rural sustentável. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 2, p. 114-129, 2014.

ARF, Orival; PORTUGAL, José, R.; BUZETI, Salatiér; RODRIGUES, Ricardo A. F.; Sá, Marco, E. Crop rotation, green manure and nitrogen fertilizers in upland rice under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 153-162, 2018.

BOWLES, Timothy, M.; ACOSTA-MARTÍNEZ, Veronica; CALDERÓN, Francisco; JACKSON, Louise, E. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 252- 262, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília, DF, 2014. 220 p.

CARVALHO, Arminda, M.; COSER, Thais, R.; REIN, Thomaz, A.; DANTAS, Raíssa, A.; SILVA, Rafael, R.; SOUZA, Kleber, W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 551-561, 2015.

CARVALHO, Arminda, M.; MARCHÃO, Robélio, L.; BUSTAMANTE, Mercedes, M.C.; ALCÂNTARA, Flávia, A.; COSER, Thais, R. Characterization of cover crops by NMR spectroscopy: impacts on soil carbon, nitrogen and phosphorus under tillage regimes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 968-975, 2014.

CAZETTA, Disnei, A.; ARF, Orivaldo; BUZETTI, Salatiér; SÁ, Marco, E.; RODRIGUES, Ricardo, A.F. Qualidade industrial do arroz de terras altas após diferentes coberturas vegetais e doses de nitrogênio em sistema de plantio direto. **Científica**, v. 34, n. 2, p. 155-161, 2006.

CONAB. **Safra brasileira de grãos**: tabela de dados - produção e balanço de oferta e demanda de grãos. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>>. Acesso em: 19 ago. 2021.

CUNHA, Eurâimi, Q.; STONE, Luis, F.; MOREIRA, José, A.A.; FERREIRA, Enderson, P.B.; DIDONET, Agostinho, D.; LEANDRO, Wilson, M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 589-602, 2011.

FAVARATO, Luiz, F.; SOUZA, Jacimar, L.; GUIMARÃES, Gabriel, P. Alterações químicas do solo após sucessão crotalaria/milho-verde associadas a níveis de N em compostos. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, p. S2226-S2233, 2014.

FERREIRA, Enderson, P.B.; WENDLAND, Adriane; DIDONET, Agostinho, D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 899-907, 2011.

FERREIRA, Leonardo, E.; SOUZA, Eliziete, P.; CHAVES, Arilene, F. Adubação verde e seu efeito sobre os atributos do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 33-38, 2012.

FOLONI, José, S.S.; LIMA, Sergio, L.; BULL, Leonardo, T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2006.

FREITAS, José, A.S.; SILVA, Vanderlei, R.; LUZ, Felipe, B.; KAISER, Douglas, R.; ZWIRTES, Anderson, L. Soil carbon and physical-mechanical properties after successive applications of swine and poultry organic waste. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 4, p. 390-398, 2018.

GAMA-RODRIGUES, Antonio, C.; GAMA-RODRIGUES, Emanuela, F.; BRITO, Elio, C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, 2007.

GONÇALVES, Gabriel, M.B.; SOUZA, Rosenilda; CARDOZO, Aline, M.; LOHN, André, F.; CANCI, Adriano; GUADAGNIN, Clístenes, A.; OGLIARI, Juliana, B. Caracterização e avaliação de variedades de arroz de sequeiro conservados por agricultores do Oeste de Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 26, n. 1, p. 63-69, 2013.

GRUBER, Sabine; CLAUPEIN, Wilhelm. Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n. 1, p. 104-111, 2009.

GUIMARÃES, Cleber, M.; STONE, Luís, F.; CARVALHO, Maria, da C.S.; COLOMBARI FILHO, José, M. Performance of low phosphorus tolerant rice genotypes under drought stress. **Revista Ceres**, v. 65, n. 3, p. 253-260, 2018.

HEINEMANN, Alexandre, B.; RAMIREZ-VILLEGAS, Julian; NASCENTE, Adriano, S.; ZEVIANI, Walmes, M.; STONE, Luis, F.; SENTELHAS, Paulo, C. Upland rice cultivar responses to row spacing and water stress across multiple environments. **Experimental Agriculture**, v. 53, n. 4, p. 609-626, 2017.

LÁZARO, Rafael, L.; COSTA, Antonio, C.T.; SILVA, Keoma, F.; SARTO, Marcos, V.M.; DUARTE JÚNIOR, Jose, B. Produtividade do milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n.1, p. 10-17, 2013.

LIMA, Ana, C.R.; BRUSSAARD, Lijbert; TOTOLA, Marcos, R.; HOOGMOED, Willem, B.; GOEDE, Ron, G.M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 64, n. 2, p. 194-200, 2013.

LOPES, Altevir, M.; MORAIS, Orlando, P.; CASTRO, Emílio, M.; PEREIRA, José, A.; UTUMI, Marley, M.; CORDEIRO, Antônio, C.C.; BRESEGHELLO, Flávio; LOBO, Valácia, L.S.; BASSINELLO, Priscila, Z.; KOAJUZU, Selma, N.; FONSECA, Jaime, R.; CASTRO, Adriano, P. **BRS Apinajé**: cultivar de arroz de terras

altas para a agricultura familiar paraense. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 4 p. (Comunicado Técnico, 164).

MARTINS, Éder, S.; OLIVEIRA, Claudinei, G.; RESENDE, Álvaro, V.; MATOS, Marcelo, S.F. Agrominerais – rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: LUZ, Adão, B.; LINS, Fernando, A.F. (Ed.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 205-221.

MENEZES, Rômulo, S.C.; SILVA, Tácio, O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 251-257, 2008.

MERWAD, Abdel-Rahman, M. Wheat response to potassium fertilization in sandy soil as affected by organic amendments and silicate dissolving bacteria. **Egyptian Journal of Soil Science**, v. 57, n. 3, p. 371-383, 2017.

MOKWUNYE, Augustine, U.; BATIONO, Andre. Meeting the demands for plant nutrients for an African green revolution: the role of indigenous agrominerals. In: BATIONO, Andre; WASWA, Boaz; OKEYO, Jeremiah, M.; KIHARA, Job, M. (Ed.). **Innovations as key to the Green Revolution in Africa: exploring the scientific facts**. Dordrecht: Springer, 2011. p. 19-29.

MORAIS, Lilia, A.S.; BARBOSA, Ana, G. Influência da adubação verde e diferentes adubos orgânicos na produção de fitomassa aérea de atoveran (*Ocimum selloi* Benth.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. esp, p. 246-249, 2012.

MÓSQUERA, Martín, P.; REYES, Oscar, E.S.; PRAGER, Marina, S.; GALLEGO, José, M.; SÁNCHEZ, Diego, I.A. Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. **Agroecología**, v. 7, n. 1, p. 53-62, 2012.

ORRICO JUNIOR, Marco, A.P.; ORRICO, Ana, C.A.; LUCAS JUNIOR, Jorge; SAMPAIO, Alexandre, A.M.; FERNANDES, Alexandre, R.M.; OLIVEIRA, Emanuel, A. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 5, p. 1301-1307, 2012.

PEIGNÉ, Joséphine; VIAN, Jean, F.; PAYET, Vincent; SABY, Nicola, P.A. Soil fertility after 10 years of conservation tillage in organic farming. **Soil and Tillage Research**, v. 175, n. 2, p. 194-204, 2018.

PEREIRA, Maysa, M.A.; MORAIS, Ludmila, C.; MARTINS, Adalvan, D.; LUZ, José, M.Q.; PASQUAL, Moacir; OLIVEIRA, Roberta, C.; DÓRIA, Joyce. Challenges of organic agriculture for the production of composts and vermicompost for the production of medicinal plants – a socioeconomic demand. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 1, p. 71-82, 2020.

PIMENTEL, Márcio, M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 3, p. 67-82, 2016.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 25 maio 2018.

RAJ, Anthoni, S. Solubilization of silicate and concurrent release of phosphorus and potassium in rice ecosystem. In: KANNAIYAN, Sadavisam; KUMAR, Kannayan; GOVINDARAJAN, Kannan (Ed.). **Biofertilizers technology**. Jodhpur: Scientific Publishers, 2010. p. 372-378.

RAWAT, Jyoti; SANWAL, Pankaj; SAXENA, Jyoti. Towards the mechanisms of nutrient solubilization and fixation in soil system. In: MEENA, Vijay, S. (Ed.). **Role of rhizospheric microbes in soil: stress management and agricultural sustainability**. Singapore: Springer, 2018. p. 229-257.

REICHERT, José, M.; REINERT, Dalvan, J.; BRAIDA, João, A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, n. 3, p. 29-48, 2003.

REINERT, Dalvan, J.; ALBUQUERQUE, Jackson, A.; REICHERT, José, M.; AITA, Celso; ANDRADA, Martins, M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

SALES, Rafael, P.; PORTUGAL, Arley, F.; MOREIRA, José, A.A.; KONDO, Marcos, K.; PEGORARO, Rodinei, F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016.

SANTOS, Humberto, G.; JACOMINE, Paulo, K.T.; ANJOS, Lúcia, H.C.; OLIVEIRA, Virlei, A.; LUMBRERAS, José, F.; COELHO, Maurício, R.; ALMEIDA, Jaime, A.; CUNHA, Tony, J.F.; OLIVEIRA, João, B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SARIKHANI, Mohammad, R. Increasing potassium (K) release from K-containing minerals in the presence of insoluble phosphate by bacteria. **Biological Journal of Microorganisms**, v. 4, n. 16, p. 87-96, 2016.

SCHMIDT, Michael, W.I.; TORN, Margaret, S.; ABIVEN, Samuel; et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011.

SILVA, Douglas, R.G.; MARCHI, Giuliano; SPEHAR, Carlos, R.; GUILHERME, Luiz, R.G.; REIN, Thomaz, A.; SOARES, Danilo, A.; ÁVILA, Fabrício, W. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 951-962, 2012.

SILVA, José, A.A.; VITTI, Godofredo, C.; STUCHI, Eduardo, S.; SEMPIONATO, Otávio, R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-‘pêra’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 225-230, 2002a.

SILVA, Silvano, C.; XAVIER, Luciano, S.; SANTANA, Neiva, M.P.; CARDOSO, Gleice, M.; PELEGRINI, Jose, C. **Informações meteorológicas para pesquisa e planejamento agrícola, referentes ao município de Santo Antônio de Goiás, GO - 2001**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002b. 21 p. (Documentos, 136).

SIMIDU, Helena, M.; SÁ, Marco, E.; SOUZA, Lilian, C.D.; ABRANTES, Fabiana, L.; SILVA, Mariana, P.S.; ARF, Orivaldo. Efeito do adubo verde e época de semeadura sobre a produtividade do feijão, em plantio direto em região de cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 309-315, 2010.

SOUSA, Djalma, M.G.; LOBATO, Edson. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUZA, Jacimar, L.; GUIMARÃES, Gabriel, P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1796-1805, 2013.

SOUZA, Jacimar, L.; GUIMARÃES, Gabriel, P.; FAVARATO, Luiz, F. Desenvolvimento de hortaliças e atributos do solo com adubação verde e compostos orgânicos sob níveis de N. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 1, p. 19-26, 2015.

SOUZA, Ronessa, B. de; ALCÂNTARA, Flávia, A. de. Adubação orgânica. In: HENZ, Gilmar, P.; ALCÂNTARA, Flávia, A. de; RESENDE, Francisco, V. (Ed.). **Produção orgânica de hortaliças: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 113-127.

STONE, Luís, F.; FERREIRA, Enderson, P.B.; DIDONET, Agostinho, D.; HEINEMANN, Alexandre, B.; OLIVEIRA, Jaison, P. Correlação entre a produtividade do feijoeiro no sistema de produção orgânica e atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 19-25, 2013.

TAVARES, Laene, F.; CARVALHO, André, M.X.; CAMARGO, Luís, G.B.; PEREIRA, Samarina, G.F.; CARDOSO, Irene, M. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 7, n. 2, p. 89-98, 2018.

TEIXEIRA, Paulo, C.; DONAGEMMA, Guilherme, K.; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau, G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

TORRES, José, L.R.; PEREIRA, Marcos, G.; ANDRIOLI, Itamar; FABIAN, Adelar, J.; POLIDORO, José, C. Propriedades físicas de um solo de cerrado cultivado com diferentes coberturas vegetais em sistema de semeadura direta. **Agronomia**, v. 39, n. 1-2, p. 55-64, 2005.

TRINDADE-SANTOS, Matheus, E.; CASTRO, Marina, S. Manejo ecológico do solo: chave para o processo de transição agroecológica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 1, p. 16-27, 2021.

VAKALI, Christina; ZALLER, Johann, G.; KÖPKE, Ulrich. Reduced tillage effects on soil properties and growth of cereals and associated weeds under organic farming. **Soil and Tillage Research**, v. 111, n. 2, p. 133-141, 2011.

VANCE, Eric, D.; BROOKES, Philip, C.; JENKINSON, David, S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VILELA, Gisele, F.; MANGABEIRA, João, A.C.; MAGALHÃES, Lucíola, A.; TÔSTO, Sérgio, G. **Agricultura orgânica no Brasil**: um estudo sobre o Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos. Campinas: Embrapa Territorial, 2019. 20 p. (Documentos, 127).

WEZEL, Alexander; CASAGRANDE, Marion; CELLETE, Florian; VIAN, Jean, F.; FERRER, Aurélie; PEIGNÉ, Joséphine. Agroecological practices for sustainable agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 1, p. 1–20, 2014.

XU, Xia; NIEBER, John, L.; GUPTA, Satish, C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 6, p. 1743-1750, 1992.