

**Disponibilidade de Nutrientes e de
Matéria Orgânica em Função do Tempo
de Uso do Solo em Plantio Direto no
Cerrado do Sudoeste Piauiense**



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio-Norte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
142**

**Disponibilidade de Nutrientes e de
Matéria Orgânica em Função do Tempo
de Uso do Solo em Plantio Direto no
Cerrado do Sudoeste Piauiense**

*Francisco de Brito Melo
Aderson Soares de Andrade Júnior
Henrique Antunes de Souza
Melissa Oda Souza*

**Embrapa Meio-Norte
Teresina, PI
2021**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio-Norte
Av. Duque de Caxias, 5.650, Bairro Buenos Aires
Caixa Postal 01
CEP 64008-480, Teresina, PI
Fone: (86) 3198-0500
Fax: (86) 3198-0530
www.embrapa.br/meio-norte]
Serviço de Atendimento ao Cidadão(SAC)
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Rosa Maria Cardoso Mota de Alcantara

Secretário-Executivo
Jeudys Araújo de Oliveira

Membros
Ligia Maria Rolim Bandeira, Edvaldo Sagrilo, Orlane da Silva Maia, Luciana Pereira dos Santos Fernandes, Francisco Jose de Seixas Santos, Paulo Henrique Soares da Silva, João Avelar Magalhães, Paulo Fernando de Melo Jorge Vieira, Alexandre Kementes, Ueliton Messias, Marcos Emanuel da Costa Veloso, Jose Alves da Silva Câmara

Supervisão editorial
Ligia Maria Rolim Bandeira

Revisão de texto
Francisco de Assis David da Silva

Normalização bibliográfica
Orlane da Silva Maia

Tratamento das ilustrações
Jorimá Marques Ferreira

Editoração eletrônica
Jorimá Marques Ferreira

Foto da capa
Francisco de Brito Melo

1ª edição
1ª impressão (2021): formato digital

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Meio-Norte

Disponibilidade de nutrientes e de matéria orgânica em função do tempo de uso do solo em plantio direto no Cerrado do sudoeste piauiense / Francisco de Brito Melo ... [et al.]. – Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2021.

PDF (25 p.) : il. ; 16 cm x 22 cm. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio-Norte, ISSN 1413-1455; 142).

1. Melhoramento do solo. 2. Química do solo. 3. Fertilidade do solo. 4. Análise estatística.
I. Melo, Francisco de Brito. II. Embrapa Meio-Norte. III. Série.

CDD 631.45 (21. ed.)

Orlane da Silva Maia (CRB-3/915)

© Embrapa, 2021

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	14
Conclusões.....	23
Referências	24

Disponibilidade de Nutrientes e de Matéria Orgânica em Função do Tempo de Uso do Solo em Plantio Direto no Cerrado do Sudoeste Piauiense *

Francisco de Brito Melo¹

Aderson Soares de Andrade Júnior²

Henrique Antunes de Souza³

Melissa Oda Souza⁴

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de nutrientes e de conteúdo de matéria orgânica em diferentes profundidades, em função do tempo de uso do sistema com rotação de culturas. Foram avaliadas dez áreas cultivadas em plantio direto em cinco fazendas e, em cada local, uma área de mata nativa, com solo e vegetação representativos, utilizada como ecossistema de referência para comparação das condições originais do solo, totalizando 15 áreas. Em cada área cultivada as coletas das amostras de solo foram realizadas nas camadas 0,0 – 0,1 m; 0,1– 0,2 m; 0,2 – 0,3 m; e 0,3 – 0,5 m, em função do tempo de adoção do SPD2 – 2 anos, SPD3 – 3 anos, SPD6 – 6 anos, SPD10– 10 anos, SPD12 – 12 anos, SPD14 – 14 anos, SPD17 – 17 anos e SPD 20 – 20 anos. Os tempos de adoção foram considerados como tratamentos alocados nas parcelas e as profundidades nas subparcelas, com três repetições. Os dados de solo pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al (acidez potencial), MO, SB, CTC, V e m (saturação por alumínio) foram submetidos às análises de componentes principais (ACP)

*Embrapa Macroprograma: 22.13.11.004.00.04.003

¹Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa MeioNorte. Teresina, PI.

²Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI,

³Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI,

⁴Engenheira-agrônoma, doutora em Recursos Florestais, docente da Universidade Estadual do Piauí, Teresina, PI,

e agrupamento, utilizando-se a distância euclidiana e o método de UPGMA (*Unweighted Pair-Group Average*). Os sistemas de manejo com plantio direto e diferentes tempos de adoção proporcionam efeitos significativos sobre a disponibilidade de nutrientes do solo e de teores de matéria orgânica. Na área de abrangência do trabalho, existem duas estratégias de correção e construção da fertilidade do solo na adoção do sistema de plantio direto: a primeira, utilizando-se a adição de calcários e fertilizantes de forma gradativa, e a segunda, realizando-se a correção da acidez e a construção da fertilidade do solo logo no primeiro ano (correção e adubação corretiva da acidez e dos nutrientes, principalmente fósforo e potássio). Na primeira estratégia, considerando-se as camadas 0,0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m, o tempo de manejo de 12 anos é suficiente para corrigir a acidez e construir a fertilidade do solo. A correção da acidez e a construção da fertilidade do solo, nas duas estratégias utilizadas, são limitadas à camada 0,0 – 0,2 m, levando as culturas a um alto risco de estresse hídrico.

Palavras-chaves: qualidade do solo; atributos químicos do solo; análise multivariada.

Availability of Nutrients and Organic Matter as a Function of Time of Land Use in No-Till in the Cerrado in Southwest Piauí

Abstract - The aim of this study was to evaluate the availability of nutrients and organic matter content, at different soil depths as a function of the time of use of the system with crop rotation. Ten areas cultivated under no-tillage were evaluated in five farms. In each location an area with native forest, with soil and representative vegetation, was used as a reference ecosystem for comparison of original soil conditions, totaling 15 areas. In each cultivated area, the collection of soil samples was carried out in layers from 0.0-0.1; 0.1-0.2; 0.2-0.3 and 0.3-0.5 m, depending on the time of adoption of SPD2 - 2 years, SPD3 - 3 years, SPD6 - 6 years, SPD10 - 10 years, SPD12 - 12 years, SPD14 - 14 years old, SPD17 - 17 years old and SPD 20 - 20 years old. Times of adoption were considered as treatments located in the plots and depths in the subplots, with three replications. The data pH, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H⁺+Al³⁺ (Potential Acidity), MO, SB, CTC, V and m (Saturation by aluminum) were submitted to the analyses of Principal Components (ACP) and Clustering using the Euclidean distance and the UPGMA (Unweighted Pair-Group Average) method. Management with no-till with different adoption times provided significant effects on the availability of soil nutrients and organic matter contents. In the area covered by this study, there are two strategies for correction and construction of soil fertility in the adoption of the no-till system; the first, using the addition of limestone and fertilizers gradually, and the second, carrying out the correction and construction of soil fertility, in the first year (correction and fertilization and correction of acidity and nutrients, especially phosphorus and potassium). In the first strategy, considering the 0.0-0.1 m and 0.1-0.2 m layer, the 12-year management time is sufficient to correct the acidity and build soil fertility. Correction of acidity

and construction of soil fertility, in the two strategies used, are limited to a layer of 0.0-0.2 m, leading the crops to a high risk of water stress.

Keywords: Soil quality. Soil chemical attributes. Multivariate analysis.

Introdução

O sistema de plantio direto (SPD) é um tipo de manejo que mantém os resíduos culturais na superfície do solo, constituindo uma importante prática para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva do solo em cultivo em regiões de climas tropical e subtropical, devido ao efeito que promove nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos (Aratani et al., 2009). Segundo Leite et al. (2010), entre as contribuições da manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, está o efeito direto e efetivo na redução da erosão hídrica, em virtude da dissipação de energia cinética das gotas de chuva, diminuindo a desagregação das partículas do solo e o selamento superficial, além da melhoria das condições de fertilidade do solo (Canellas et al., 2007).

A área coberta por vegetação de Cerrado no estado do Piauí destaca-se no Brasil pelo tamanho, chegando a mais de 11 milhões de hectares, bem como pelo seu potencial para uso agrícola, principalmente para safras de grãos de alta tecnologia. Mais de 1.520.000 ha foram colhidos com soja [*Glycine max* (L.) Merrill], milho (*Zea mays*) e lavouras de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) no sudoeste do Piauí, durante a safra 2019/2020 (Acompanhamento..., 2021).

Apesar do alto nível tecnológico dos sistemas agrícolas utilizados nas áreas de Cerrado do estado do Piauí, a predominância de monocultura e práticas culturais inadequadas, como inversão contínua do solo e falta de palhada para cobertura, foram causas de degradação do solo e de outros problemas ambientais (Leite et al., 2010).

Estratégias para manter ou aumentar os rendimentos das culturas e a qualidade do solo, reduzindo a inversão do solo, bem como fazendo uso adequado de corretivos como calcário, gesso e fertilizantes, devem ser priorizadas. Assim, Santos et al.

(2016), a sustentabilidade da agricultura no estado do Piauí, relataram acerca da exigência do uso de espécies vegetais mais eficientes na absorção de nutrientes, associada ao manejo de sistemas capazes de acumular nutrientes de forma lábil.

A conversão do sistema de produção convencional para sistema de plantio direto promove uma série de mudanças químicas, principalmente relacionadas à disponibilidade de nutrientes (Pavinato; Rosolem, 2008). Geralmente, tem havido uma tendência de acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais do solo, particularmente de Ca^{2+} , de Mg^{2+} , de K^+ e de P. Esse acúmulo é devido à ausência de inversão do solo e ao armazenamento de nutrientes dentro dos tecidos vegetais, que após a decomposição são liberados na superfície do solo (Pavinato; Rosolem, 2008).

Os sistemas de manejo conservacionista geralmente promovem mudanças positivas em propriedades do solo (Leite et al., 2010; Pragana et al., 2012), devido ao aumento no seu conteúdo de matéria orgânica (MO). A presença de MO em solos promove alterações em propriedades químicas importantes, como pH, capacidade de troca catiônica (CTC) e disponibilidade de nutrientes, principalmente no conteúdo de fósforo (Matias et al., 2009). Além disso, a CTC em solos tropicais é dependente do teor de MO, uma vez que é a principal fonte de cargas negativas em razão de uma alta área de superfície específica, de ponto baixo de carga zero (PZC) e de desprotonação de grupos carboxílicos, alcoólicos e fenólicos, que ocorrem com o aumento do pH do solo (Melo; Alleoni, 2009).

Diante do exposto, novos estudos que avliem o efeito de sistemas, associado a diferentes solos e tempo de usos de longo prazo são importantes, sobretudo pela possibilidade de obtenção de resultados diferentes daqueles obtidos em outras regiões do País, tendo em vista as condições subtropicais úmidas de transição do Nordeste do Brasil.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de nutrientes e de conteúdo de matéria orgânica em diferentes profundidades, em função do tempo de uso do sistema com rotação de culturas, em manejo do solo com plantio direto, em áreas com Latossolos de Cerrado no sudoeste do Piauí.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado em cinco fazendas representativas de sistemas de produção de grãos, em plantio direto em três municípios no sudoeste do estado do Piauí: Baixa Grande do Ribeiro (07°48'10" S e 45°00'60" W, altitude de 600 m), Uruçuí (08°14'07" S e 44°38'09" W, altitude de 550 m) e Bom Jesus (09°10'35" S e 44°50'36" W, altitude de 600 m) (Figura 1).

O clima da região é Aw tropical de savana, conforme classificação de Köppen, com predominância da estação chuvosa entre os meses de outubro e abril e precipitação média anual de 1.200 mm. Predominam solos da classe Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura franco-argilo-arenosa (Santos et al., 2018), com vegetação remanescente de Cerrado subcaducifólio (Pragana et al., 2012).

Foram avaliadas dez áreas cultivadas em cinco fazendas e em cada local, uma área de mata nativa, com solo e vegetação representativos, utilizada como ecossistema de referência para comparação das condições originais do solo, totalizando 15 áreas (Tabela 1).

Em cada área cultivada, as coletas das amostras de solo com estrutura deformadas, foram realizadas em trincheiras, com dimensões de 1,0 m x 0,5 m x 0,7 m, três em cada área, nas camadas 0,0-0,1 m; 0,1-0,2 m; 0,2-0,3 m; e 0,3 - 0,5 m. As coletas foram ordenadas de acordo com Sá et al. (2004), obedecendo a uma cronossequência, uma na parte superior da encosta, outra na parte média e a última na parte inferior, em função do tempo de adoção do SPD2 – 2 anos (fase de transição), SPD3 – 3 anos (fase de transição), SPD6 – 6 anos (fase de transição) e SPD10 – 10 anos (fase de transição); SPD12 – 12 anos (fase de consolidação), SPD14 – 14 anos (fase de consolidação), SPD17 – 17 anos (fase de consolidação) e SPD 20 – 20 anos (fase de consolidação).

Tabela 1. Tempo de adoção e sistemas de manejo utilizados nas fazendas em estudo.

Município	Fazenda	Tempo de adoção	Ciclo de cultivo
Bom Jesus	Três Irmãos	Mata Nativa	-
Bom Jesus	Três Irmãos	2 anos	Soja (1 ano) + Milho (1 ano)
Bom Jesus	Alvorada	Mata nativa	-
Bom Jesus	Alvorada	3 anos	Arroz (1 ano) + Soja (2 anos)
Bom Jesus	Alvorada	12 anos	Arroz (1 ano) + Soja (5 anos) + Milho (1 ano) + Soja (3 anos) + Milho (1 ano) + Soja (1 ano)
Bom Jesus	Marafon	Mata nativa	-
Bom Jesus	Marafon	2 anos	Arroz (1 ano) + Soja (1 ano)
Uruçuí	Condomínio União	Mata nativa	-
Uruçuí	Condomínio União	6 anos	Arroz (1 ano) + Soja (3 anos) + Milho (2 anos)
Uruçuí	Condomínio União	17 anos	Arroz (1 ano) + Soja (5 anos) + Milho (3 anos) + Soja (3 anos) + Milho (2 anos) + Soja (3 anos)
Baixa Grande do Ribeiro	Cajupi	Mata nativa	-
Baixa Grande do Ribeiro	Cajupi	10 anos	Arroz (1 ano) + Soja (2 anos) + Milho (2 anos) + Soja (2 anos) + Milho (2 anos) + Soja (1 ano)
Baixa Grande do Ribeiro	Cajupi	20 anos	Arroz (1 ano) + Soja (7 anos) + Milho (4 anos) + Soja (3 anos) + Milho (2 anos) + Soja (3 anos)

Para obter os atributos químicos nas áreas cultivadas e nas áreas de mata nativa, as amostras de solo coletadas em cada perfil e profundidades foram secas ao ar e passadas através de uma peneira de malha de 2 mm. Na determinação do pH em água (1:2,5) e da acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), foi usada solução tampão SMP, e na acidez trocável (Al^{3+}) foram usados $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ de KCl e titulação com $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ de hidróxido de sódio, como proposto por Teixeira et al. (2017).

O COT foi determinado pelo método Walkley Black, por oxidação a quente com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e titulação com sulfato ferroso ($FeSO_4$). Os teores de matéria orgânica (MO) do solo foram obtidos, aplicando-se o fator de correção de 1,724 aos valores de COT do solo, conforme recomendado por Pribyl (2010).

O fósforo (P) e o potássio (K^+) foram extraídos por solução de Mehlich-1 e determinados por calorimetria de chama e fotometria, respectivamente. O cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}) foram extraídos com $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ KCl e determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Detalhes dos talhões e localização das áreas amostradas em cada fazenda utilizada no trabalho são apresentados na Figura 1.

Com os dados de K^+ , de Ca^{2+} , de Mg^{2+} , de Al^{3+} e de $H + Al$, foram calculadas a soma das bases (SB), a capacidade de troca de cátions (T) percentagem de saturação de base (V) e de alumínio (m), de acordo com Embrapa (2011).

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, no esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas foram constituídas pelos sistemas de manejo e as subparcelas, pelas profundidades.

Os dados do solo pH, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , $H+Al$ (acidez potencial), MO, SB, CTC, V e m (saturação por alumínio) foram submetidos às análises de componentes principais (ACP) (Jolliffe, 1986) e agrupamento, utilizando-se a distância euclidiana e o método de UPGMA (*Unweighted Pair-Group Average*). A análise dos resultados na ACP se baseou na representação gráfica (Biplot) relativa aos eixos dos componentes, considerando-se o parâmetro Cos^2 , indicador da qualidade de representação, e simultaneamente as contribuições

(%) que traduzem a parte da variância correspondente a cada nível da variável. Variáveis que estão correlacionadas com CP1 e CP2 são as mais importantes para explicar a variabilidade no conjunto de dados e têm altos valores de Cos^2 e contribuição (%), indicando boa representação da variável no componente principal (Abid; Williams, 2010).

As análises foram realizadas pelo Software R de computação estatística (Team, 2020), utilizando-se os pacotes “FactoMineR” (Lê et al., 2008) e “factoextra” (Kassambara; Mundt, 2020).

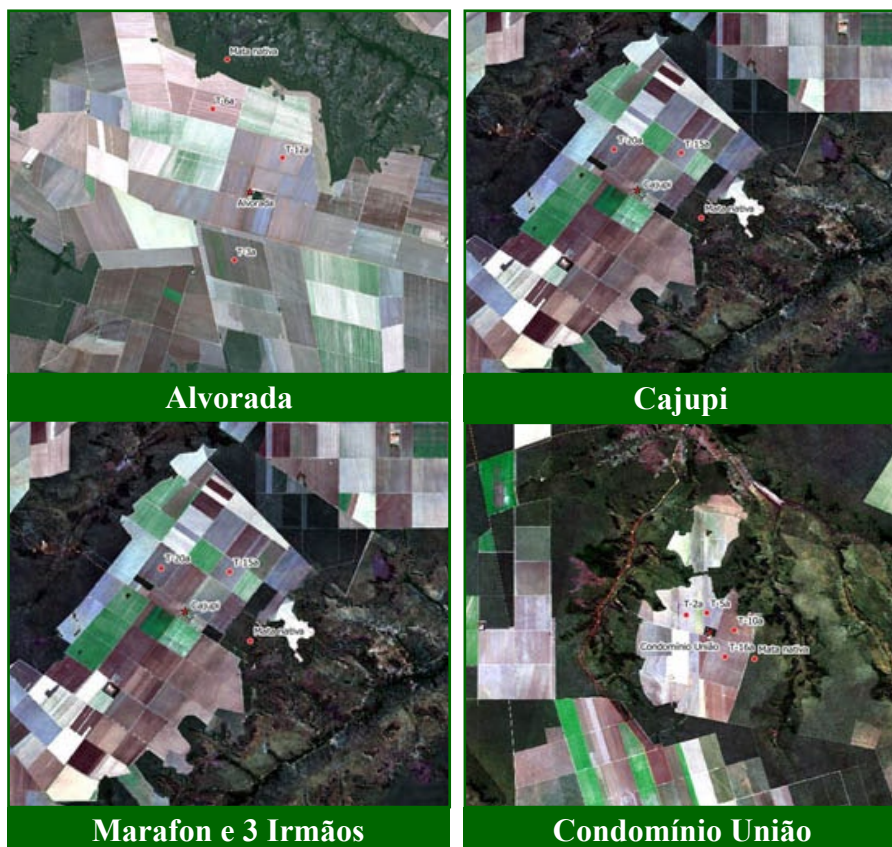


Figura 1. Detalhes dos talhões e localização das áreas amostradas em cada fazenda utilizada no estudo.

Resultados e Discussão

O dendrograma obtido da matriz de dados padronizados pela análise de agrupamento, que tem como objetivo avaliar a semelhança entre as áreas do estudo, é apresentado na Figura 2. As áreas foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, em grupos mais ou menos homogêneos, dependendo da distância euclidiana entre elas, o que permite o agrupamento hierárquico para o conjunto de variáveis estudadas. A divisão mostrou a ordenação dos acessos segundo as características dos atributos do solo. Em todas as profundidades estudadas, ocorreu separação dos grupos conforme os anos de adoção de sistema de cultivo em palhada (Figuras 3A, 3B, 3C e 3D).

A análise de agrupamento evidencia a dissimilaridade entre os diferentes manejos adotados. Nas camadas 0,0-0,1 m (Figura 2A - Cluster) e 0,1-0,2 m (Figura 2B - Cluster), ocorreu a formação de quatro grupos: mata (G1), 12 e 14 anos (G2), 6 anos (G3) e 2, 3, 10, 17 e 20 anos (G4); e mata (G1), 2, 3, 6, 12 e 17 anos (G2), 14 anos (G3) e 10 e 20 anos (G4), respectivamente.

Considerando-se as camadas 0,0-0,1 m e de 0,1-0,2 m, o tempo de manejo de 12 anos é suficiente para elevar a MO a níveis satisfatórios, corrigir a acidez e construir a fertilidade do solo. Nas áreas com 2, 3 e 6 anos pertencentes ao grupo G2, foram utilizadas pelos produtores estratégias diferentes para correção e construção da fertilidade do solo. Já no primeiro ano de cultivo, foram utilizadas altas doses de calcário, de fósforo e de potássio, visando ao plantio de soja ou milho (culturas mais exigentes em correção do solo e altas doses de nutrientes para se obterem elevadas produtividades, logo no primeiro ou segundo ano), conforme Tabela 1.

Nas camadas 0,2-0,3 m (Figura 2C - Cluster) e 0,3-0,5 m (Figura 2D - Cluster), ocorreu a formação de três grupos: 20 anos (G1), mata e 17 anos (G2) e 2, 3, 6, 10, 12 e 14 anos (G3); e 12 anos (G1), 6, 10, 17 e 20 anos (G2) e mata, 2, 3 e 14 anos (G3), respectivamente.

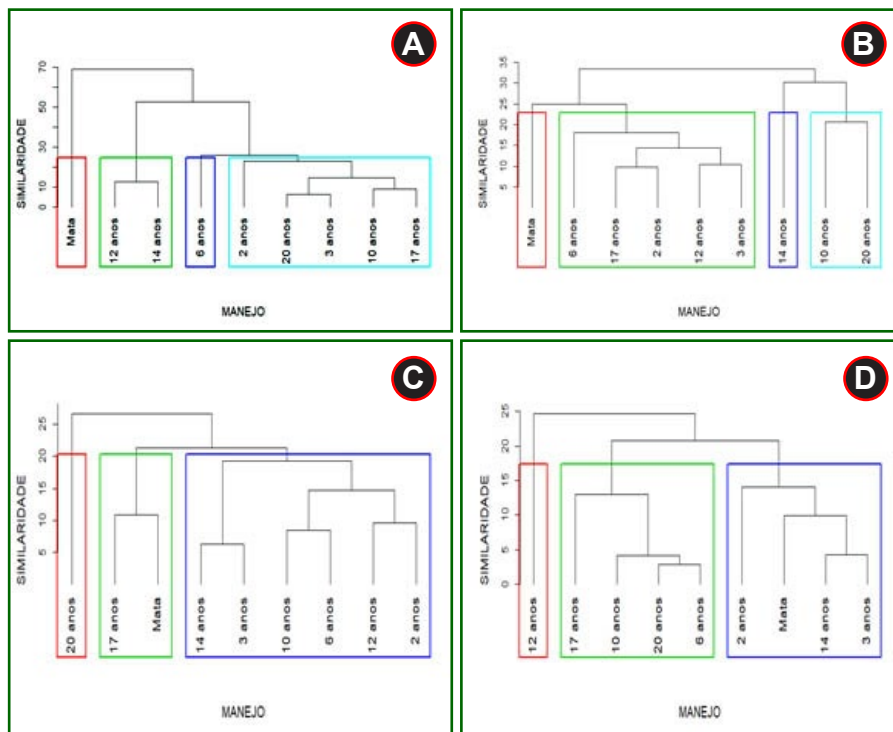


Figura 2. Dendrograma dos diferentes tipos de manejo do solo avaliados. A: camada 0,0-0,1 m; B: camada 0,1- 0,2 m; C: camada 0,2-0,3 m; D - 0,3-0,5 m.

Nas duas camadas subsuperficiais 0,2-0,3 m e 0,3-0,5 m, as diferenças euclidianas foram pequenas, proporcionando um nivelamento por baixo entre os atributos químicos. Apesar de formar três grupos em cada camada, os níveis de nutrientes e de MO apresentaram-se baixos em todos os grupos das duas camadas de solos, praticamente iguais aos da mata nativa. Isso significa que a correção da acidez e construção da fertilidade do solo ficam limitadas à camada 0,0 – 0,2 m (Calegari et al., 2013), levando as culturas a um alto risco de estresse hídrico, pois o sistema radicular fica restrito a essa profundidade. Como na região de estudo é muito comum a ocorrência de veranicos de até 15 a 20 dias, a possibilidade de frustração de safra é elevada.

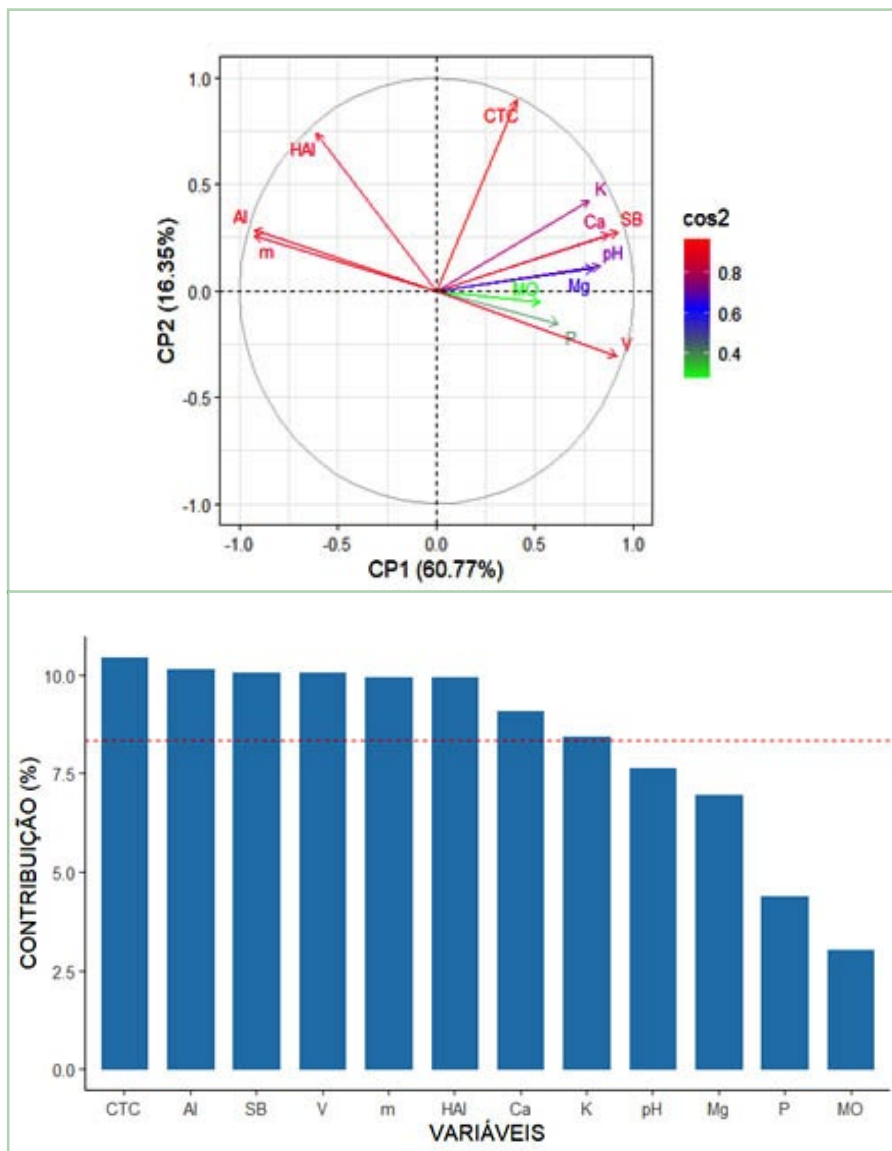


Figura 3. Camada de solo 0,0-0,1 m, com atributos e explicação percentual dos mesmos dentro da CP1 e da CP2 e atributos com contribuições (%) mais relevantes e correlações mais importantes, com base na linha de corte representada pela linha pontilhada.

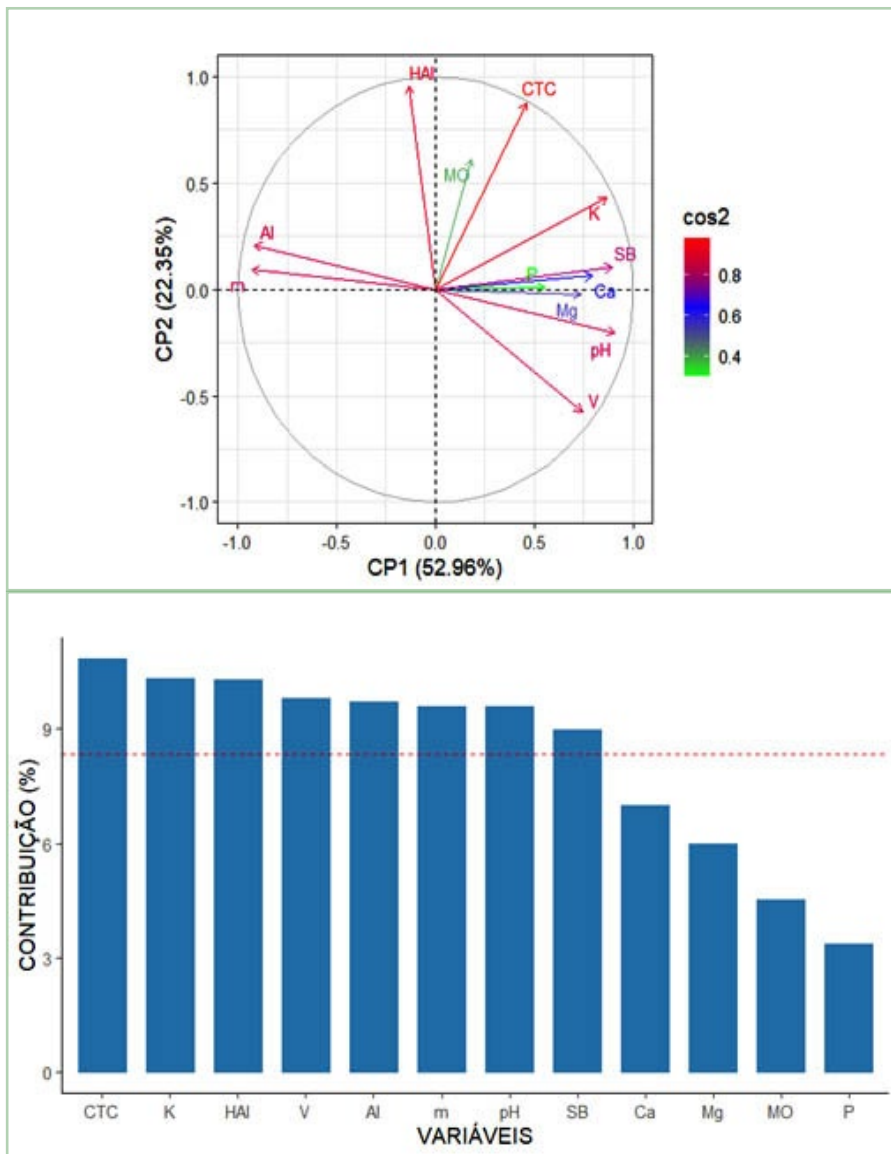


Figura 4. Camada de solo 0,1-0,2 m, com atributos e explicação percentual dos mesmos dentro da CP1 e da CP2 e atributos com contribuições (%) mais relevantes e correlações mais importantes, com base na linha de corte representada pela linha pontilhada.

Os resultados obtidos apresentam a mesma tendência dos obtidos por Lustosa Filho et al. (2017) em trabalho realizado em área de Cerrado na comunidade de Nova Santa Rosa (Uruçuí, PI), em uma única fazenda, com talhões manejados por 3, 6 e 9 anos em plantio direto. Os resultados são ainda diferentes dos observados por Magalhães et al. (2013), que avaliaram os estoques de nutrientes em diferentes usos do solo no Colorado do Oeste de Roraima, RO. Esses autores concluíram que o principal fator foi a análise de componentes que reduziu as variáveis originais a dois principais componentes, cujo conteúdo de MO foi uma das variáveis que contribuíram para a maioria da formação do MC1.

Na camada de solo 0,0-0,1 m, a CP1 explicou 60,77% da variabilidade associada às variáveis e o CP2 explicou 16,35% da variabilidade (Tabela 2 e Figura 3). Na camada 0,1-0,2 m, a CP1 explicou 52,96% da variabilidade associada às variáveis e o CP2, 22,35% (Tabela 2 e Figura 4). Nas duas camadas, observou-se que os atributos pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB e V se correlacionaram de forma elevada e positiva com CP1, e Al³⁺ e m se correlacionaram de forma elevada e negativa com CP1. Os atributos H⁺ + Al³⁺, MO e CTC se correlacionaram de forma elevada e positiva com CP2.

Na camada de solo 0,2-0,3 m, a CP1 explicou 50,45% da variabilidade associada às variáveis e o CP2 explicou 32,83% da variabilidade (Tabela 2 e Figura 5). Os atributos P, Ca²⁺, Mg²⁺, SB e V se correlacionaram de forma elevada e positiva com CP1, enquanto pH e K⁺ se correlacionaram de forma elevada e negativa com CP2. No CP2, os atributos Mg²⁺, Al³⁺ e m se correlacionaram de forma elevada e positiva, ao passo que o pH e o K⁺, de forma elevada e negativa. Portanto o Mg²⁺ foi o atributo mais importante presente nessa camada de solo, tendo em vista que ele apareceu tanto no CP1 como no CP2, com correlações elevadas e positivas.

Na camada 0,3-0,5 m, a CP1 explicou 44,42% da variabilidade associada às variáveis e o CP2, 27,33% (Tabela 2 e Figura 6). Os atributos Ca²⁺, Mg²⁺, SB e V se correlacionaram de forma elevada e positiva com CP1, enquanto H⁺ + Al³⁺ se correlacionaram de forma elevada e negativa com CP1. No CP2, os atributos Al³⁺ e m se correlacionaram de forma elevada e positiva e o pH, de forma elevada e negativa.

Tabela 2. Autovalores e autovetores da matriz de correlação dos componentes principais (CP) e das variáveis químicas e matéria orgânica.

Atributos	0,0 - 0,1 m		0,1 - 0,2 m		0,2 - 0,3 m		0,3 - 0,5 m	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
pH	0,8321**	0,1138	0,9083**	-0,2057	0,4750	-0,8004**	0,0725	-0,8587**
P	0,6182	-0,1522	0,5526	0,0112	0,7397**	-0,1239	0,3329	0,0075
K ⁺	0,7750**	0,4220	0,8649**	0,4284	-0,1914	-0,7812**	0,1189	0,1189
Ca ²⁺	0,8772**	0,2643	0,7927**	0,0641	0,9241**	0,1460	0,9297**	-0,2444
Mg ²⁺	0,7958**	0,1038	0,7356**	-0,0223	0,7194**	0,6720**	0,9524**	0,0429
Al ³⁺	-0,9255**	0,2847	-0,9134**	0,2076	-0,5131	0,8332**	0,1192	0,9186**
H ⁺ + Al ³⁺	-0,6103	0,7388**	-0,1331	0,9552**	-0,8870**	-0,3890	-0,7786**	0,427
MO	0,5270	-0,0546	0,1828	0,7917**	-0,6460	0,5487	-0,394	0,090
SB	0,9242**	0,2750	0,8944**	0,1028	0,9052**	0,0585	0,9283**	-0,2106
CTC	0,4055	0,8955**	0,4603	0,8764**	-0,6662	-0,5109	-0,4844	-0,1990
V	0,9142**	-0,3056	0,7424**	-0,5775	0,9694**	0,1468	0,9749**	-0,1332
m	-0,9239**	0,2564	-0,9267**	0,0930	-0,4500	0,8770**	0,3016	0,9415**
Autovalor	7,29	1,96	6,36	2,68	6,05	3,94	5,33	3,28
Var. Exp. (%)	60,77	16,35	52,96	22,35	50,45	32,83	44,42	27,33
Var. Acu. (%)	77,12	75,31	83,28	71,75				

** Significativo a 1%; pH: acidez ativa; P: fósforo; K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; Al³⁺: alumínio; H⁺ + Al: acidez potencial; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V : percentagem de saturação de bases; m: percentagem de saturação de alumínio.

Os altos valores de Cos^2 nas Figuras 3, 4, 5 e 6 estão associados a uma escala de cores e proximidade do círculo de correlações: quanto mais quente a cor (vermelho) e mais próximo do círculo de correlação, maior a importância dessas variáveis. As variáveis com contribuições (%) mais relevantes (Figuras 3, 4, 5 e 6 – contribuição %) foram aquelas que ultrapassaram o ponto de corte, indicado pela linha pontilhada (contribuição média esperada).

As variáveis mais importantes na camada de solo 0,0-0,1 m, na ordem decrescente, e todas acima da linha de corte (contribuição média esperada), foram CTC, Al^{3+} , SB, V, m, $\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$, Ca^{2+} , K^+ (Figura 3). Na camada de solo 0,1-0,2, m foram CTC, K^+ , $\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$, V, Al^{3+} , m, pH e SB (Figura 4). Com exceção do pH, que apareceu nesta camada, e do Ca^{2+} , que apareceu na camada anterior, as demais variáveis são comuns às duas camadas de solo. Na camada de solo 0,2-0,3 m, foram m, Mg^{2+} , V, Al^+ , $\text{H}^+\text{+Al}^{3+}$, Ca^{2+} e pH (Figura 4). Na camada de solo 0,3-0,5 m foram: m, V, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, Al^{3+} e pH. Ressalta-se que a única variável que apareceu como mais importante em todas as camadas de solo é V, o que era esperado por se tratar de Latossolos de Cerrado com baixos valores de percentagem de saturação de bases, mesmo nas camadas superficiais, onde foram corrigidos com a aplicação de calcário. Portanto esse é um problema a ser resolvido para a garantia da sustentabilidade do agronegócio da região do Cerrado do sudoeste piauiense.

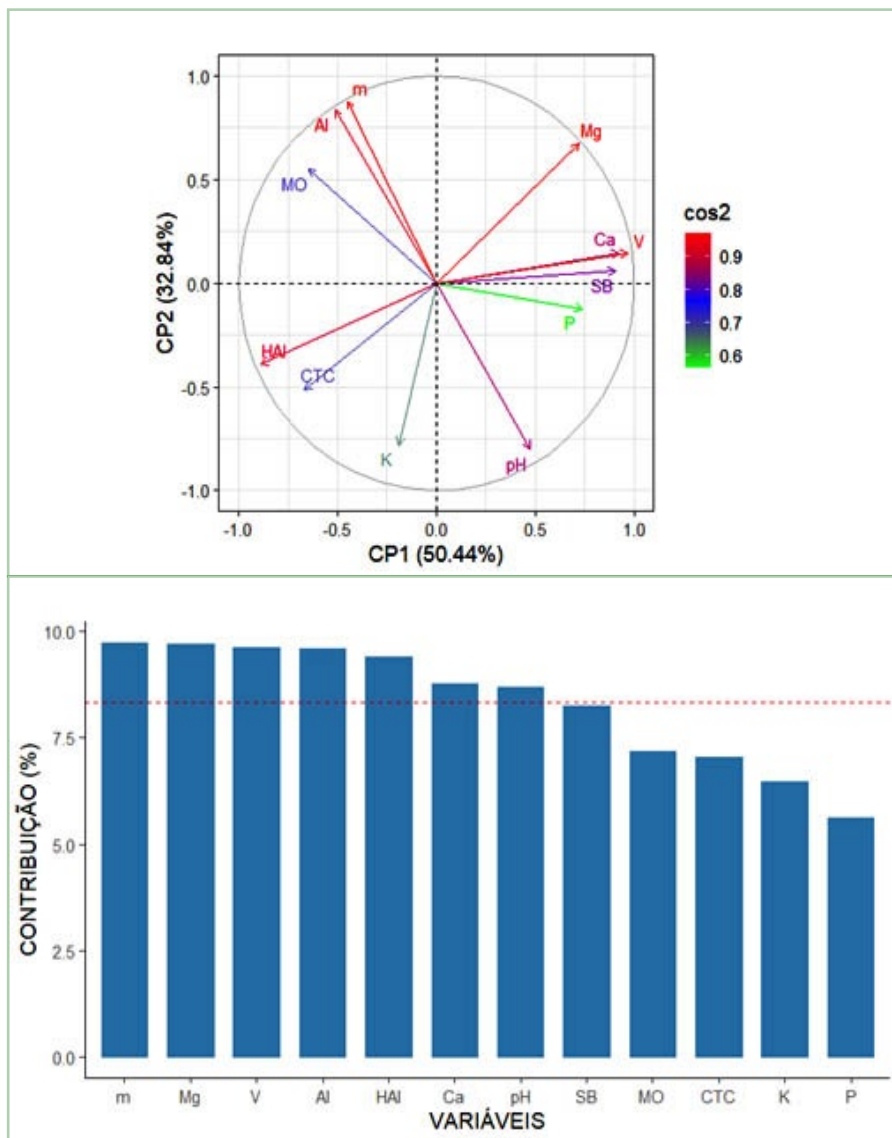


Figura 5. Camada de solo 0,2-0,3 m, com atributos e explicação percentual dos mesmos dentro da CP1 e CP2 e atributos com contribuições (%) mais relevantes e correlações mais importantes, com base na linha de corte representada pela linha pontilhada.

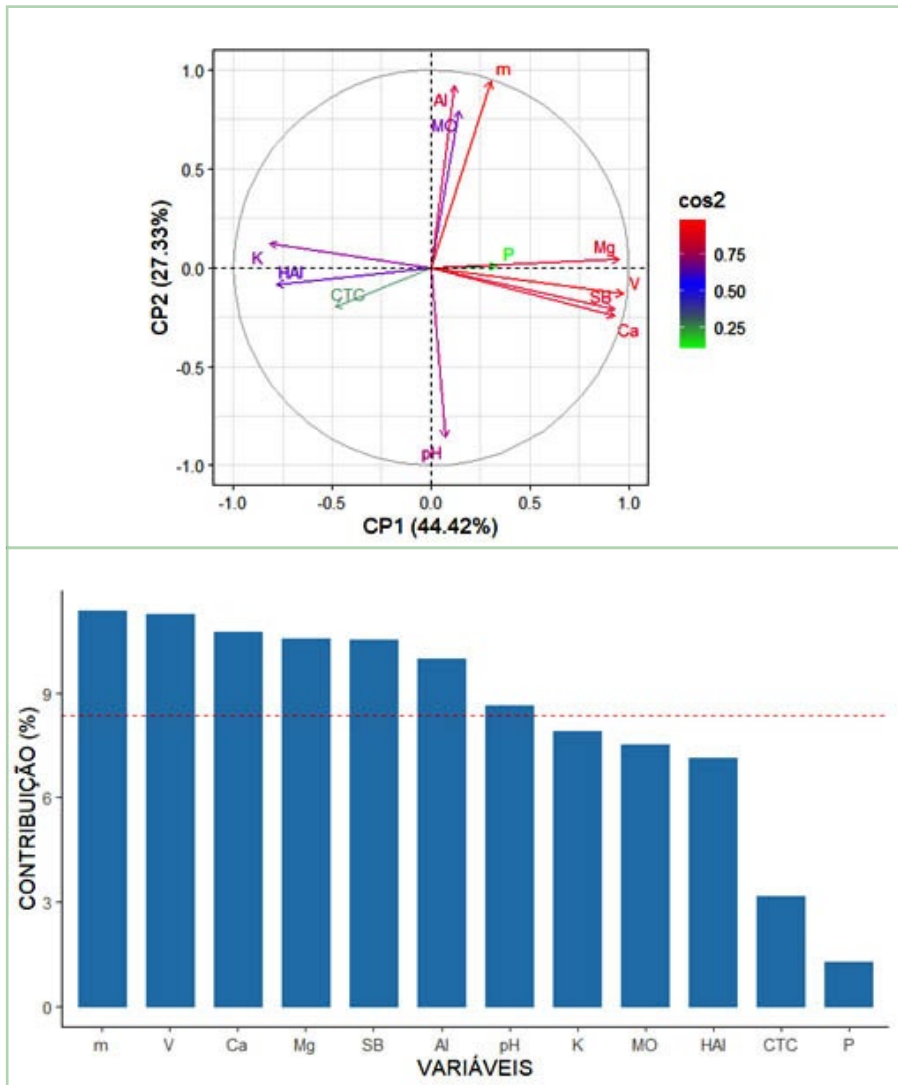


Figura 6. Camada de solo 0,3-0,5 m, com atributos e explicação percentual dos mesmos dentro da CP1 e CP2 e atributos com contribuições (%) mais relevantes e correlações mais importantes, com base na linha de corte representada pela linha pontilhada.

Conclusões

- 1.** Os sistemas de manejo com plantio direto e diferentes tempos de adoção proporcionam efeitos significativos sobre a disponibilidade de nutrientes do solo e de teores de matéria orgânica.
- 2.** As variáveis mais importantes nas camadas de solo 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, respectivamente, na ordem decrescente, e todas acima da linha de corte (contribuição média esperada), são CTC, Al^{3+} , SB, V, m, $H^+ + Al^{3+}$, Ca^{2+} , K^+ ; e CTC, K^+ , $H^+ + Al^{3+}$, V, Al^{3+} , m, pH e SB.
- 3.** A única variável que aparece como mais importante em todas as camadas de solo é V, até mesmo nas camadas superficiais dos solos, onde os mesmos são corrigidos com a aplicação de calcário.
- 4.** Nas áreas de abrangência do estudo, existem duas estratégias de correção e construção da fertilidade do solo na adoção do sistema de plantio direto: a primeira, utilizando-se a adição de calcários e fertilizantes de forma gradativa, e a segunda, realizando-se a correção da acidez e a construção da fertilidade do solo, áreas com 2 a 6 anos de adoção, logo no primeiro ano (correção e adubação corretiva da acidez e dos nutrientes, principalmente fósforo e potássio).
- 5.** Na primeira estratégia de correção da acidez e construção da fertilidade do solo, considerando-se as camadas 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, o tempo de manejo de 12 anos é suficiente para corrigir a acidez e construir a fertilidade do solo.
- 6.** A correção da acidez e a construção da fertilidade do solo, nas duas estratégias utilizadas na área de abrangência do estudo, são limitadas à camada 0,0-0,2 m.

Referências

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **WIREs Computational Statistics**, v. 2, n. 4, p. 433-459, Jul./Aug. 2010.
- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2020/2021: décimo levantamento, v. 8, n. 10, p. 1-110, jul. 2021.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 677-687, jun. 2009.
- CALEGARI, L.; MARTINS, S. V.; CAMPOS, L. C. SILVA, E.; GLERIANI, J. M. Avaliação do banco de sementes do solo para fins de restauração florestal em Carandaí, MG. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 871-880, 2013.
- CANELLAS, L. P.; BALDOTTO, J. G.; BUSATO, J. G.; MARCIANO, C. R.; MENEZES, S. C.; SILVA, N. M. da; RUMJANEK, V. M.; VELLOSO, A. C. X.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 331-340, 2007.
- JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. New York: Springer-Verlag, 1986. 290 p.
- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **Factoextra**: extract and visualize the results of multivariate data analyses; computer software. R Package, version 1.0.7. Sydney: DataNovia, 2020. Disponível em: <https://rpkgs.datanovia.com/factoextra/index.html>. Acesso em: 20 out. 2021.
- LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, Mar. 2008. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>.
- LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.
- LUSTOSA FILHO, J. F.; NÓBREGA, J. C. A.; FURTINI NETO, A. E.; SILVA, C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; PRAGANA, R. B.; DIAS, B. O.; GMACH, M. R. Nutrient availability and organic matter content under different soil use and management. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 475-483, 2017.
- MAGALHÃES, S. S. de A.; WEBER, O. L. dos S.; SANTOS, C. H. dos; VALADÃO, F. C. de A. Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo do Colorado do Oeste-RO. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 1, p. 63-72, mar. 2013.
- MATIAS, M. da C. B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. da S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 356-362, jul./set. 2009.

MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v. 1, 695 p.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PRAGANA, R. B.; NÓBREGA, R. S. A.; RIBEIRO, M. R.; LUSTOSA FILHO, J. F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 851-858, 2012.

PRIBYL, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, v. 156, n. 3-4, p. 75-83, 2010.

SÁ, J. C. de M.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. de C.; FEIGL, B. E.; BUCKNER, J.; FORNARI, A.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKE-FILHO, S. P.; PAULLETI, V.; SIQUEIRA NETO, M. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, v. 14, n. 84, p. 45-61, 2004.

SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L. dos; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C. C.; MARCHAO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1466-1475, set. 2016.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

TEAM, R. C. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 out. 2021.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

Embrapa

Meio-Norte

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

