







## Soil chemical performance under different management systems in smallholder agriculture in the Brazilian Semi-arid region

### Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de manejo na agricultura familiar do Semiárido brasileiro

LINS, Witória Maria Cavalcante<sup>(1)</sup>; LIMA, Francisco de Assis Silva<sup>(2)</sup>; SANTOS, José Matheus Gonzaga<sup>(3)</sup>; SILVA, Rayanne Flávia Costa da<sup>(4)</sup>; LEITE, Jéssica Ferreira<sup>(5)</sup>; OLIVEIRA, João Tiago Correia<sup>(6)</sup>; ROCHA, Alexandre Tavares da<sup>(7)</sup>.

- <sup>(1)</sup>  0009-0009-5852-4740; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. [witoriamclins@gmail.com](mailto:witoriamclins@gmail.com).
- <sup>(2)</sup>  0009-0006-9045-9633; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. [franciscoslima16@gmail.com](mailto:franciscoslima16@gmail.com).
- <sup>(3)</sup>  0009-0001-6339-9077; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. [matheusgonzaga961@gmail.com](mailto:matheusgonzaga961@gmail.com).
- <sup>(4)</sup>  0009-0002-8382-5958; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. [ravannecosta567@gmail.com](mailto:ravannecosta567@gmail.com).
- <sup>(5)</sup>  0009-0004-0076-0760; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. [jessicaferreiraleity@gmail.com](mailto:jessicaferreiraleity@gmail.com).
- <sup>(6)</sup>  0000-0001-7469-5106; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. [joao.oliveira@ufape.edu.br](mailto:joao.oliveira@ufape.edu.br).
- <sup>(7)</sup>  0000-0001-6070-1958; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. [alexandre.rocha@ufape.edu.br](mailto:alexandre.rocha@ufape.edu.br).

#### ABSTRACT

The study evaluated the chemical attributes of the soil under different management systems of family farming in the semi-arid region of Pernambuco, in the municipality of Triunfo. Areas of native vegetation, conventional crops (cassava, orange, and sugarcane), fallow lands, and agroforestry systems established more than 15 years ago were compared. In each area, 50 × 50 m plots were marked, within which three transects (vertical, horizontal, and diagonal) guided the collection at nine points, resulting in three samples per depth (0–10 and 10–20 cm). The samples were analyzed for pH, nutrients, organic carbon, and cation exchange capacity (CEC). The results showed that management systems directly influenced the chemical attributes of the soil. Sugarcane cultivation showed higher accumulation of organic matter and CEC, an effect attributed to no-burn residue management. Agroforestry systems, especially the more diverse SAF<sub>3</sub>, stood out for higher phosphorus levels, associated with greater deposition of organic residues. In contrast, cassava and orange crops exhibited the lowest organic carbon levels. It can be concluded that conservation practices, such as no-burn sugarcane and agroforestry systems, promote soil fertility and sustainability, representing strategic alternatives for family farming in the Semi-Arid region.

#### RESUMO

O estudo avaliou os atributos químicos do solo em diferentes sistemas de manejo da agricultura familiar no Semiárido pernambucano, município de Triunfo. Foram comparadas áreas de vegetação nativa, cultivos convencionais (mandioca, laranja e cana-de-açúcar), áreas em pousio e sistemas agroflorestais implantados há mais de 15 anos. Em cada área, demarcaram-se talhões de 50 × 50 m, nos quais três transectos (vertical, horizontal e diagonal) orientaram a coleta em nove pontos, resultando em três amostras por profundidade (0–10 e 10–20 cm). As amostras foram analisadas quanto ao pH, nutrientes, carbono orgânico e capacidade de troca catiônica (CTC). Os resultados evidenciaram que os sistemas de manejo influenciaram diretamente os atributos químicos do solo. O cultivo de cana-de-açúcar apresentou maior acúmulo de matéria orgânica e CTC, efeito atribuído ao manejo sem queima da palhada. Os sistemas agroflorestais, especialmente o SAF<sub>3</sub>, mais diversificado, destacaram-se pelos maiores teores de fósforo, associados à maior deposição de resíduos orgânicos. Em contrapartida, os cultivos de mandioca e laranja exibiram os menores teores de carbono orgânico. Conclui-se que práticas conservacionistas, como a cana-de-açúcar sem queima e os sistemas agroflorestais, favorecem a fertilidade e a sustentabilidade do solo, configurando-se como alternativas estratégicas para a agricultura familiar no Semiárido.

#### INFORMAÇÕES DO ARTIGO

##### Histórico do Artigo:

Submetido: 29/11/2025

Aprovado: 26/02/2026

Publicação: 30/06/2026



##### Keywords:

Agroecosystems,  
Soil quality,  
Sustainable management.

##### Palavras-Chave:

Agroecossistemas,  
Qualidade do solo,  
Manejo sustentável.

## **Introdução**

O Semiárido brasileiro é caracterizado por dinâmicas atmosféricas que levam à irregularidade das chuvas e à seca. Essa situação, associada ao uso indiscriminado do solo e das práticas inadequadas de manejo, contribuem para o avanço de processos de degradação (Souza et al., 2024), como a desertificação, processo que se tornou um problema ambiental e social no Brasil, particularmente na região Nordeste e nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Trata-se de um problema que impacta a biodiversidade, limita a disponibilidade de água e causa perdas físicas e químicas do solo. Além disso, pode transformar terras agrícolas em inférteis e improdutivas, impactando negativamente a produção de alimentos, a atividade agrícola, a segurança das populações locais e promovendo a migração (Albuquerque et al., 2020).

A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de um conjunto diversificado de indicadores, químicos, físicos e biológicos. Quando integrados, proporcionam uma compreensão abrangente da saúde e funcionalidade do solo. Essa abordagem tornou-se uma ferramenta essencial para analisar a capacidade dos sistemas agrícolas de se manterem produtivos e sustentáveis, tanto agora quanto no futuro (Oliveira et al., 2020).

As propriedades químicas dos solos são significativamente modificadas com a retirada da vegetação natural e o cultivo (Freitas et al., 2017), afetando atributos como pH, condutividade elétrica (CE) e carbono orgânico, que refletem importantes processos biogeoquímicos, a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana. O carbono orgânico e a composição mineralógica (argilas, óxidos de ferro e óxidos de alumínio) determinam a capacidade de troca catiônica (CTC), que, por sua vez, determinam a fertilidade e a resiliência do solo, os níveis de macronutrientes e micronutrientes e garantem a produtividade das plantas (Guo et al., 2021).

Este estudo teve como objetivo analisar os atributos químicos do solo de diferentes sistemas de produção de agricultura familiar no Semiárido pernambucano.

## **Metodologia**

O estudo foi realizado no município de Triunfo (Semiárido de Pernambuco), na localidade do Sítio Carro Quebrado (>100 ha), localizado no pé da Serra da Borborema, no ano de 2016. Apesar de inserida no Semiárido nordestino, a área apresenta maior umidade relativa devido à sua posição geográfica, caracterizando-se como uma “área de exceção do semiárido” (Lima, 1981). Essas condições agroecológicas favorecem agroecossistemas diversificados, justificando a escolha do local para a pesquisa.

Foram selecionadas áreas com diferentes tipos de manejo, organizadas nos seguintes tratamentos: uma área de vegetação nativa (VN), caracterizada como mata secundária com

sinais de ação antrópica voltada à extração de espécies florestais, utilizada como testemunha; três áreas com cultivo convencional, mandioca (MAN), laranja (LAR) e cana-de-açúcar (CANA); uma área em pousio (POUSIO); e três áreas sob sistemas agroflorestais (SAF1, SAF2 E SAF3), com mais de 15 anos de implantação. As áreas com manejo agroflorestal apresentam características distintas, principalmente em relação à diversidade de culturas e ao estado de conservação do solo. A área SAF1 possui menor diversidade e sinais evidentes de erosão; a SAF3 é a mais diversificada, sem registros de erosão e com melhor conservação do solo; enquanto a SAF2 apresenta condições intermediárias entre as demais.

Em cada área correspondente aos tratamentos, foram demarcados talhões de 50 × 50 m, nos quais foram traçados três transectos (vertical, horizontal e diagonal). Em cada transecto, foram estabelecidos três pontos de amostragem, que deram origem a uma amostra composta. Dessa forma, para cada área foram obtidas três amostras compostas, coletadas na profundidade de 0-10 e de 10-20.

As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos por EMBRAPA (Teixeira et al., 2017), avaliando-se: pH em água; teores trocáveis de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup>; (H+Al), carbono orgânico, este último determinado conforme Mendonça (2005). A partir desses dados, calculou-se a capacidade de troca catiônica (T).

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* ASSISTAT, versão 7.7 (Silva e Azevedo, 2002).

## **Resultados e discussão**

Os resultados da análise dos atributos químicos do solo nas duas profundidades indicam que os tratamentos não apresentaram um padrão de variação por tratamento (Ver tabela 1). A CTC no tratamento CANA, apresentou o valor mais elevado 24,92 cmolc.kg<sup>-1</sup>, que pode ser associado ao teor de matéria orgânica (Baldotto et al., 2015), por apresentar grupos funcionais eletricamente negativos, uma vez que grupos como carboxílicos e fenólicos contribuem para a disponibilização de cargas elétricas e, conseqüentemente, ao aumento da CTC (Arruda et al., 2019).

**Tabela 1.**

*Propriedades químicas dos solos estudados: (1) Trat.- Tratamentos; (2) T - Capacidade de Troca de Cátions - CTC a pH 7,0. Letras minúsculas comparam sistemas de uso do solo na mesma profundidade; médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ) para as variáveis, e pelo teste de Kruskal-Wallis para as variáveis ( $Na^+$  e  $Al^{3+}$ ).*

Trat <sup>(1)</sup>	pH (1:2,5)	Complexo sortivo (cmol.c.kg <sup>-1</sup> )					Valor T <sup>(2)</sup>	P disp (mg.kg <sup>-1</sup> )	COT (g.g <sup>-1</sup> )
	H <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>				
<b>PROFUNDIDADE 0-10 cm</b>									
VN	6,4a	15,23b	0,019a	0,133b	0,4a	18,37b	26,8b	10,3a	
SAF1	6,1b	11,23c	0,008a	0,124b	0,3a	14,35d	29,2b	8,86a	
SAF2	6,4a	15,93b	0,012a	0,163a	0,4a	18,62b	29,8b	8,89a	
SAF3	6,5a	13,83b	0,012a	0,202a	0,2a	16,00c	88,4a	8,67a	
MAN	6,6a	12,27c	0,034a	0,139b	0,3a	13,96d	33,2b	5,46b	
LAR	6,4a	9,83d	0,041a	0,123b	0,3a	12,48e	19,5b	6,45b	
CAN	6,0b	21,83a	0,030a	0,072c	0,2a	24,92a	14,3b	11,7a	
POU	6,2b	9,80d	0,004a	0,162a	0,3a	12,02e	44,9b	5,46b	
<b>PROFUNDIDADE 10-20 cm</b>									
VN	5,9b	13,27a	0,004a	0,104b	0,2a	17,02a	25,4a	8,05b	
SAF1	6,0b	10,03b	0,001a	0,084b	0,2a	12,60b	23,2a	6,72c	
SAF2	6,2b	15,23a	0,001a	0,161a	0,5a	18,11a	22,8a	8,12b	
SAF3	6,5a	13,40a	0,005a	0,161a	0,3a	15,62a	61,3a	7,43b	
MAN	6,6a	11,93a	0,016a	0,088b	0,3a	13,62b	32,3a	5,48d	
LAR	6,5a	7,87b	0,030a	0,159a	0,2a	9,67c	6,8b	5,24d	
CAN	6,0b	13,60a	0,018a	0,041b	0,2a	16,88a	5,9b	12,8a	
POU	6,2b	9,70b	0,002a	0,162a	0,3a	12,11b	36,5a	5,70d	

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Em relação ao P-disponível, todos os tratamentos apresentaram redução dos teores em profundidade. Luna et al. (2022) obteve resultados semelhantes, que encontraram reduções nas concentrações de P extraível entre as camadas de solo à medida que o perfil do solo se aprofundava. Vale mencionar o pH do solo que é uma variável importante, que indica a disponibilidade de nutrientes. Em geral, cerca de 40% dos solos que apresentam intemperismo avançado, demonstram deficiência de P, devido à formação de compostos insolúveis como Al e Fe, característica típica de solos de regiões tropicais e subtropicais.

Por outro lado, solos alcalinos e intemperizados contêm altas quantidades de Ca e Mg na solução, o que é comum em climas Semiáridos e Áridos, limitando a solubilidade do fósforo por meio de compostos solúveis de Ca-P. No entanto, a disponibilidade máxima de fósforo para as plantas ocorre principalmente em pH próximo à neutralidade (6,5) (Solangi et al., 2023; Fahad et al., 2022). Nesse contexto, as variáveis pH (água), pH (KCl), H e Ca+Mg, Na e Al apresentaram uma carga fatorial elevada e explicam a maior porcentagem de variação (91,82%) (Ver tabelas 2 e 3), que contribuem para as alterações ocorridas nas características do solo em função do manejo.

**Tabela 2.**

*Autovalores (Eigenvalue) e a variância explicada (% total) por cada fator dos atributos químicos para os tratamentos estudados.*

<b>Profundidade 0-20 cm</b>		
<b>Fatores</b>	<b>Eigenvalue</b>	<b>% Total</b>
1	3,95	43,97
2	1,69	18,81
3	1,54	17,14
4	1,02	11,40
5	0,34	3,82
6	0,22	2,45
7	0,13	1,48
8	0,04	0,52
9	0,03	0,36

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Observa-se que o tratamento SAF3, na profundidade de 0–10 cm, apresentou o maior teor de fósforo no solo (88,4 mg kg<sup>-1</sup>). Esse valor elevado pode ser atribuído à diversidade de resíduos orgânicos depositados sobre a superfície, os quais contribuem para o enriquecimento nutricional da camada superficial. Du et al. (2022), mencionam que a agrofloresta imita a composição e o funcionamento de ecossistemas perenes lenhosos naturais, demonstrando maior sustentabilidade. Ao tentar reproduzir a estrutura e funções aproximadas desses ecossistemas, os sistemas agroflorestais representam uma fonte expressiva de matéria orgânica, e com isso influenciam positivamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Em relação ao carbono orgânico total (COT), observou-se uma redução nos tratamentos MAN, LAR e POUSSIO, em ambas as profundidades analisadas, atribuída ao menor aporte de matéria orgânica na superfície decorrente do manejo empregado. Os maiores teores de COT foram registrados no tratamento CANA, resultado do manejo adotado na área, sem queima e na palha, que favorece maior acúmulo de matéria orgânica. Nos tratamentos VN e SAFs, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas na camada de 0–10 cm.

**Tabela 3.**

*Cargas fatoriais pelo método dos componentes principais para composição dos fatores, após rotação Varimax, para os atributos químicos na profundidade de 0-20 cm. COT – Carbono Orgânico total; Al<sup>+3</sup> – Alumínio; P – Fósforo; H<sup>+</sup> – Hidrogênio; K<sup>+</sup> – Potássio; Na<sup>+</sup> – Sódio; Ca<sup>2+</sup> Mg<sup>2+</sup> – Cálcio e Magnésio.*

<b>Variáveis</b>	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>	<b>Fator 3</b>	<b>Fator 4</b>	<b>Fator 5</b>	<b>Fator 6</b>	<b>Fator 7</b>	<b>Fator 8</b>	<b>Fator 9</b>
COT	-0,37	0,67	-0,05	-0,01	0,17	0,60	-0,03	0,00	-0,00
pH (água)	0,85	-0,15	-0,24	0,26	-0,13	-0,04	0,25	-0,02	0,18
pH (KCl)	0,84	0,02	-0,35	-0,00	-0,16	0,00	0,29	0,20	-0,01
Al <sup>+3</sup>	0,12	0,12	0,04	0,96	-0,15	-0,00	-0,05	-0,00	0,00

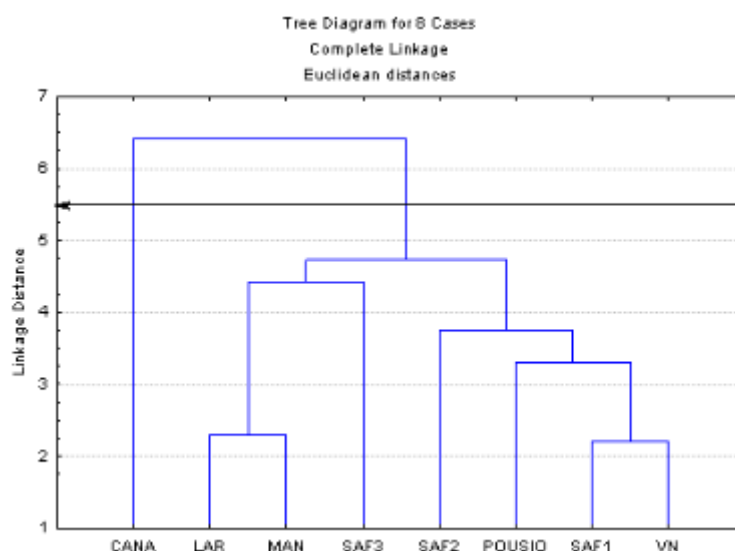
P	0,33	0,04	0,27	-0,09	-0,30	-0,01	0,84	0,00	0,00
H <sup>+</sup>	-0,87	0,29	0,01	-0,07	0,20	0,22	-0,03	0,14	0,13
K <sup>+</sup>	0,29	-0,17	0,10	0,25	-0,83	-0,08	0,32	0,00	0,00
Na <sup>+</sup>	0,29	0,07	-0,92	-0,05	0,09	0,02	-0,20	0,00	0,00
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	-0,09	0,98	-0,04	0,13	0,07	0,02	0,02	0,00	-0,00
Expl. Var	2,67	1,59	1,13	1,10	0,94	0,42	1,01	0,06	0,05
Prp. Totl	0,29	0,17	0,12	0,12	0,10	0,04	0,11	0,00	0,00

Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

No dendrograma da análise de cluster dos atributos químicos do solo (Ver figura 1), observam-se dois grupos distintos. O primeiro é composto exclusivamente pelo tratamento com cana-de-açúcar (CANA), que se diferencia dos demais, agrupados no segundo grupo. Essa distinção observada no tratamento CANA em relação aos atributos químicos avaliados, provavelmente está associada aos elevados teores de matéria orgânica presentes na área.

**Figura 1.**

*Dendrograma da análise de cluster dos tratamentos estudados para os atributos químicos. (VN - Vegetação Nativa; SAF'S - Manejo agroflorestal; MAN - Mandioca; LAR - laranja, CANA - Cana-de-açúcar, POUSIO - Pousio).*



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

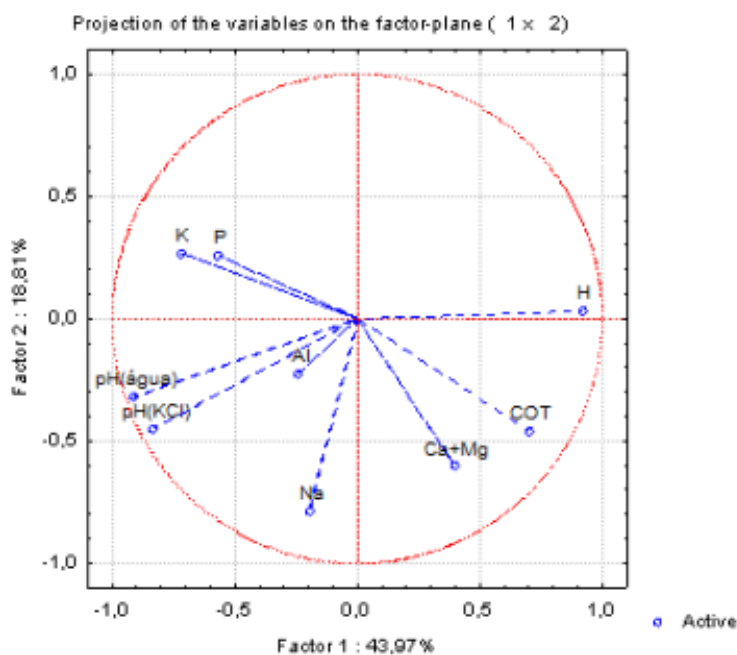
Nesse contexto, Signor et al. (2016) observaram que a colheita sem queima da palhada melhora a qualidade química do solo e eleva o teor de nitrogênio, proporcionando benefícios nutricionais para a cultura da cana-de-açúcar. Além disso, em áreas onde não ocorre a queima da palhada, os estoques de carbono e nitrogênio no solo são superiores aos observados em

áreas queimadas. De forma complementar, Freitas et al. (2018) verificaram que o solo de mata nativa apresenta o maior estoque de carbono ( $20,65 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), seguido pelo reflorestamento ( $15,93 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e pelo cultivo de cana-de-açúcar ( $13,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), na profundidade de  $0,0-0,10 \text{ m}$ . Para a profundidade de  $0,10-0,20 \text{ m}$ , o estoque de carbono registrado foi de  $17,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

A análise de componentes principais (Ver figura 2) indica que o fator 1 é composto pelas variáveis pH (água) e pH (KCl), enquanto o fator 2 é representado por Ca+Mg. As variáveis localizadas mais próximas à circunferência, pH (água), pH (KCl) apresentam maior contribuição para a variabilidade explicada, quando comparadas àquelas posicionadas mais afastadas.

**Figura 2.**

*Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis na profundidade de 0-20 cm para os atributos químicos ( $\text{Al}^{3+}$  – Alumínio;  $\text{K}^{+}$  – Potássio; P – Fósforo;  $\text{H}^{+}$  – Hidrogênio;  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$  – Cálcio e Magnésio;  $\text{Na}^{+}$  – Sódio; COT – Carbono Orgânico Total).*



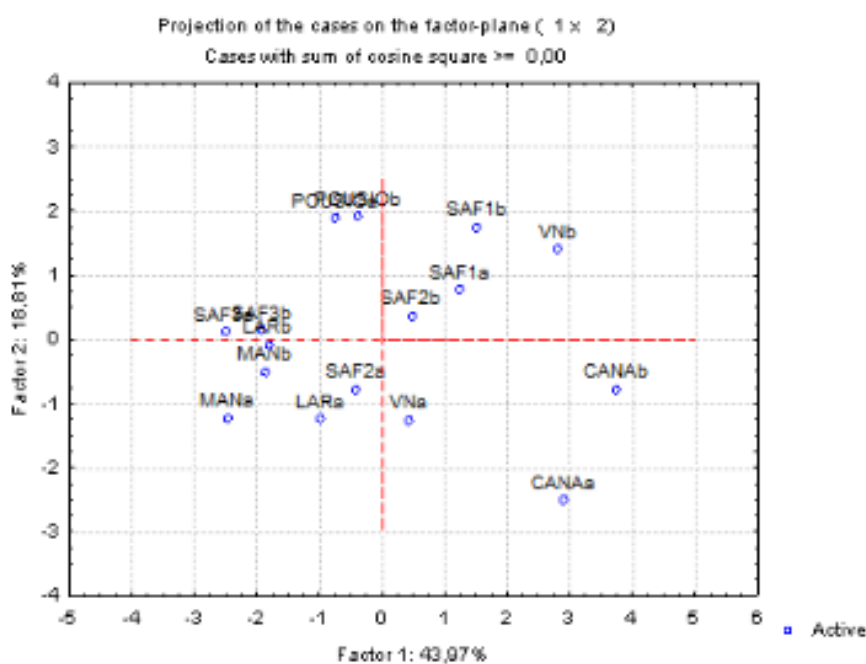
Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

Observa-se que os tratamentos foram distribuídos de acordo com a influência das variáveis mais significativas, evidenciando claramente a formação de agrupamentos nos quadrantes positivos e negativos. Nos quadrantes positivos, destacam-se os tratamentos VN, CANA e SAF1, enquanto nos quadrantes negativos encontram-se MAN e LAR, e os demais tratamentos apresentaram sobreposição (Ver figura 3). Ao analisar simultaneamente as figuras 2 e 3, verifica-se que a variável COT está associada ao tratamento CANA, mesmo não estando entre os fatores que mais influenciaram a análise. Já o pH foi associado aos tratamentos MAN e LAR. O primeiro componente principal, representado pelo pH, explicou isoladamente

43,97% (Ver tabela 2) da variabilidade total dos dados e apresentou correlação positiva com todas as demais variáveis estudadas.

### Figura 3.

Gráfico da distribuição da nuvem dos tratamentos em relação às profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm para os atributos químicos. (a – Profundidade de 0-10 cm; b – Profundidade de 10-20 cm; VN – Vegetação Nativa; SAF'S – Manejo agroflorestal; MAN – Mandioca; LAR – laranja, CANA – Cana-de-açúcar; POUSIO – Pousio).



Fonte: Dados da pesquisa, 2016.

### Conclusão

Os sistemas de manejo influenciaram diretamente nos atributos químicos do solo nos sistemas de cultivos analisados. A cana-de-açúcar destacou-se pelo maior acúmulo de matéria orgânica e a capacidade de troca catiônica, enquanto os sistemas agroflorestais, sobretudo o SAF3, o mais diversificado, apresentaram teores de P mais elevados. Já os cultivos de mandioca e laranja apresentaram os menores teores de carbono orgânico. Conclui-se que o manejo conservacionista, como o observado na cana-de-açúcar, favoreceu mais a fertilidade do solo do que as diferenças entre os sistemas de cultivo da agricultura familiar no Semiárido.

### REFERÊNCIAS

Albuquerque, D. S., Souza, S. D. G. D., Souza, A. C. N. D., & Sousa, M. D. (2020). Cenário da desertificação no território brasileiro e ações de combate à problemática no Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 55, 673-696. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73214>.

- Arruda, R. V. de., Araújo, V. P. D., Campos, S. B., Rempto, K. K., & dos Santos, G. O. (2019). Contribuição da matéria orgânica na fertilidade do solo. *Multidisciplinary Reviews*, 2, e2019020-e2019020. DOI: <https://10.29327/multi.2019020>.
- Baldotto, M. A., Vieira, E. M., Souza, D. D. O., & Baldotto, L. E. B. (2015). Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. *Revista Ceres*, 62(3), 301-309. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030010>.
- Du, X., Jian, J., Du, C., & Stewart, R. D. (2022). Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *International soil and water conservation research*, 10(2), 188-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.08.001>.
- Fahad, S., Chavan, S. B., Chichaghare, A. R., Uthappa, A. R., Kumar, M., Kakade, V., & Poczai, P. (2022). Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance. *Sustainability*, 14(22), 14877. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142214877>.
- Freitas, L. de., de Oliveira, I. A., Silva, L. S., Frare, J. C. V., Filla, V. A., & Gomes, R. P. (2017). Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Unimar Ciências*, 26(1-2).
- Freitas, L. D., Oliveira, I. A. D., Casagrande, J. C., Silva, L. S., & Campos, M. C. C. (2018). Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. *Ciência Florestal*, 28(1), 228-239. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509831575>.
- Guo, Mingxin. Soil health assessment and management: Recent development in science and practices. *Soil Systems*, v. 5, n. 4, p. 61, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/soilsystems5040061>.
- Lima, D. A. (1981). The caatinga dominium. *Revista brasileira de Botânica*, 4, 149-163.
- Luna, I. R. G., Corrêa, M. M., Primo, D. C., Rolim Neto, F. C., Silva, J. P. S. D., Menezes, R. S. C., & Santos, J. P. D. O. (2022). Phosphorus concentrations and stocks in different soil classes, uses and coverages in Agreste pernambucano, Brazil. *Investigaciones geográficas*, (107). DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.60477>.
- Mendonça, E. D. S. (2005). *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. UFV.
- Oliveira, S., M., Veloso, C. L., do Nascimento, D. L., de Oliveira, J., de Freitas Pereira, D., & da Silva Costa, K. D. (2020). Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 47838-47855. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-431>.
- Signor, D., Czcza, R. V., Milori, D. M. B. P., Cunha, T. J. F., & Cerri, C. E. P. (2016). Atributos químicos e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar com e sem queima. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1438-1448. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900042>.

- Silva, F. D., & Azevedo, C. D. (2002). Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 4(1), 71-78.
- Solangi, F., Zhu, X., Khan, S., Rais, N., Majeed, A., Sabir, M. A., & Kayabasi, E. T. (2023). The global dilemma of soil legacy phosphorus and its improvement strategies under recent changes in agro-ecosystem sustainability. *ACS omega*, 8(26), 23271-23282. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c00823>.
- Souza, S. S. de., da Silva Júnior, J., da Rocha, E. B., do Nascimento Paixão, G. P., Coccoza, F. D. M., da Paz, C. D., & Peixoto, A. R. (2024). Cobertura Vegetal Como Incremento De Matéria Orgânica Do Agrossistema Semiárido. *Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability*, 6(2), 57-79. DOI: <https://doi.org/10.52719/bjas.v6i2.4376>.
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). Manual de métodos de análise de solo.