

Caracterização de solo do Cariri Cearense destinado ao cultivo orgânico

Soil characterization of Cariri Cearense destined for organic cultivation

Caracterización de suelo de Cariri Cearense destinado a cultivo orgánico

Recebido: 01/09/2021 | Revisado: 09/09/2021 | Aceito: 10/09/2021 | Publicado: 13/09/2021

Magno de Lima Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9250-6230>
Universidade Federal do Cariri, Brasil
E-mail: magnolima9@gmail.com

Leandro Marques Correia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7832-7316>
Universidade Federal do Cariri, Brasil
E-mail: leandro.marques@ufca.edu.br

Francisca Maria Martins Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8477-8922>
Universidade Federal do Cariri, Brasil
E-mail: francisca.martins@ufca.edu.br

Allana Kellen Lima Santos Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1009-3592>
Universidade Federal do Cariri, Brasil
E-mail: allana.lima@ufca.edu.br

Resumo

O presente estudo objetivou caracterizar física, química, morfológica e termicamente um solo da região do Cariri Cearense no intuito de verificar a qualidade deste para fins agrícolas. Para tal, realizaram-se: análise granulométrica, densidade real das partículas e teor de umidade, medida de pH, acidez trocável, teor de matéria orgânica, determinação de metais, fluorescência de raios-X (FRX), infravermelho com transformada de Fourier (IVTF), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). Os resultados obtidos foram: (i) na caracterização química observou-se conformidade nos níveis de Zn, já para Cr, Cu e Pb, apresentaram-se superiores à prevenção CONAMA; Mn e Zn encontraram-se dentro da faixa para solos, mas com deficiência do elemento Ni. Para hortaliças, os teores de Cu foram acima da faixa, enquanto Mn e Zn foram adequados. Para o Ni, recomenda-se modos de suprir sua ausência. Os níveis totais de macronutrientes Ca, K e Mg encontram-se dentro dos expostos. Os óxidos constituintes em maiores concentrações foram SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. Na análise de IVTF encontrou-se bandas de argilominerais e quartzo, presença de água e matéria orgânica, (ii) as imagens de MEV exibiram partículas dispersas com tamanhos variados e superfícies irregulares, (iii) a caracterização física apontou textura franco arenosa e distribuição com 12% de argila, 7,25% de silte, 74,91% de areia e 5,84% de pedregulho e (iv) a análise de DSC indicou eventos como desidratação e decomposição da matéria orgânica. Dessa forma, faz-se necessário a constante avaliação da fertilidade do solo para levantamento dos nutrientes necessários dependendo da cultura introduzida.

Palavras-chave: Solo; Caracterização; Micronutrientes; Macronutrientes; Cultivo.

Abstract

This study aimed to characterize physically, chemically, morphologically and thermally a soil in the region of Cariri Cearense in order to verify its quality for agricultural purposes. To this end, the following were performed: particle size analysis, actual particle density and moisture content, pH measurement, exchangeable acidity, organic matter content, metal determination, X-ray fluorescence (FRX), Fourier transform infrared (FTIR), scanning electron microscopy (SEM) and differential scanning calorimetry (DSC). The results obtained were: (i) in chemical characterization it was observed conformity in the levels of Zn, whereas for Cr, Cu and Pb, they were superior to those of prevention CONAMA; Mn and Zn were found within the range for soils, but with a deficiency of the element Ni. For vegetables, Cu contents were above the range, while Mn and Zn were adequate. For Ni, ways to make up for its absence are recommended. The total levels of macronutrients Ca, K and Mg are within those exposed. The constituent oxides in higher concentrations were SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃. The FTIR analysis showed bands of clay minerals and quartz, presence of water and organic matter, (ii) SEM images showed dispersed particles with varying sizes and irregular surfaces, (iii) the physical characterization showed a sandy loam texture and distribution with 12% clay, 7.25% silt, 74.91% sand and 5.84% gravel and (iv) the DSC analysis indicated events such as dehydration and decomposition of organic matter. Thus, it is necessary to constantly assess the fertility of the soil to survey the necessary nutrients depending on the introduced crop.

Keywords: Soil; Description; Micronutrients; Macronutrients; Cultivation.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo caracterizar física, química, morfológica y térmicamente un suelo de la región de Cariri Cearense con el fin de verificar su calidad para fines agrícolas. Para ello, se realizó lo siguiente: análisis de tamaño de partícula, densidad de partícula real y contenido de humedad, medición de pH, acidez intercambiable, contenido de materia orgánica, determinación de metales, fluorescencia de rayos-X (FRX), infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), barrido de electrones microscopía (SEM) y calorimetría diferencial de barrido (DSC). Los resultados obtenidos fueron: (i) en la caracterización química, se observó conformidad en los niveles de Zn, mientras para Cr, Cu y Pb, fueron superiores a los de prevención CONAMA; Cu, Mn y Zn se encontraron dentro del rango para suelos, pero deficientes en el elemento Ni. Para las verduras, los contenidos de Cu estuvieron por encima del rango, mientras que los de Mn y Zn fueron adecuados. Para el Ni, se recomiendan formas de compensar su ausencia. Los niveles totales de macronutrientes Ca, K y Mg están dentro de los expuestos. Los óxidos constituyentes en mayores concentraciones fueron SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 . El análisis FTIR mostró bandas de minerales arcillosos y cuarzo, presencia de agua y materia orgánica, (ii) las imágenes SEM mostraron partículas dispersas con tamaños variables y superficies irregulares, (iii) la caracterización física mostró una textura franco-arenosa y distribución con 12% de arcilla, 7.25% de limo, 74.91% de arena y 5.84% de grava y (iv) el análisis DSC indicó eventos como deshidratación y descomposición de materia orgánica. Por lo tanto, es necesario evaluar constantemente la fertilidad del suelo para evaluar los nutrientes necesarios según el cultivo introducido.

Palabras clave: Suelo; Descripción; Micronutrientes; Macronutrientes; Cultivo.

1. Introdução

Define-se solo como o material resultante da decomposição das rochas pela ação de agentes de intemperismo. O solo é, pois, um material denso e resistente composto por uma mistura natural de diversos minerais, as vezes contendo matéria orgânica, que pode ser escavado simplesmente com equipamentos manuais ou mecânicos pouco sofisticados (Santiago, 2001).

Segundo Costa (2013), há tipologia diversificada e expressiva variação espacial dos solos da região da Chapada do Araripe e depressões sertanejas no Cariri, tais como: Solos Aluviais (Neossolos), Solos Litólicos, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolos Vermelho Amarelo, Terra Roxa Estruturada Similar (Costa, 2013).

As regiões semiáridas são caracterizadas pelas elevadas temperaturas, falta de chuvas, solos que sofreram pouca fragmentação da rocha-mãe com o passar dos anos e a pequena produção de fitomassa. Com todas essas características, associa-se também as medidas irregulares de processos rurais com a retirada de materiais existentes no solo afetando diretamente sua qualidade (De Souza *et al.*, 2017).

De acordo com Maia e Ribeiro (2004) através da retirada da vegetação natural, muitas vezes por conta do tratamento do cultivo agrícola, o qual possui ações diretas de corretivos e fertilizantes, as propriedades químicas e nutricionais do solo podem ser afetadas, sendo em particular na camada cultivável.

As principais modificações químicas nos solos cultivados em relação às condições originais decorreram da variação do pH e dos teores de cátions, os quais são dependentes da fertilidade inicial, ou seja, solos eutróficos diminuem a fertilidade e os álicos aumentam, além da redução do alumínio trocável e da saturação por alumínio (De Freitas *et al.*, 2014).

Para Raij (2011) a determinação da fertilidade do solo é muito complexa e tem em conta diversos fatores, como potencial genético, manejo da cultura, oferta de água, além das condições atuais do solo a ser utilizado. Existem vários recursos que são capazes de serem usados para a avaliação da fertilidade do solo, de modo que somente esta análise prévia pode definir a quantidade de fertilizantes e meios corretivos que possam vir a serem usados.

De acordo com Santana *et al.* (2018) é importante ter conhecimento sobre os danos que possam vir a serem provocados pelos mais variados tipos de manejos pois desta forma, assegura as qualidades físicas e químicas do solo, dado que o solo esteja muito misturado ou o emprego de técnicas de manuseio pouco conhecidas, podem gerar um solo com densidade alta e diminuir a macroporosidade e porosidade total dentre outros danos que são prejudiciais ao desenvolvimento do solo.

O potencial do solo em exercer suas funções na natureza está relacionado com suas peculiaridades físicas, químicas e biológicas. Os atributos químicos são responsáveis pelo fornecimento de nutrientes às plantas, porém as características físicas e

a proporção de matéria orgânica merecem grande importância, pois condicionam os processos responsáveis pela nutrição das plantas (Consensa *et al.*, 2010).

As características físico-químicas, auxiliam nas determinações de comportamento hidráulico, compressivo e resistivo a fim de utilizar o solo da forma mais efetiva, enquanto que a mineralogia, fornece os tipos de minerais e elementos químicos encontrados em sua composição, auxilia a melhor compreensão de certos comportamentos e características, tais como expansividade, colapsividade, cor e massa específica dos grãos (Gonçalves *et al.*, 2018).

Pesquisas acerca da composição mineralógica das frações finas do solo constituem ferramenta essencial para explicar certas características físicas e químicas dos solos, tais como a capacidade troca iônica (CTC) da fração argila, os altos teores de Al frequentemente encontrados em muitos solos, bem como seu comportamento de consistência e capacidade de contração e expansão (De Almeida *et al.*, 2018).

A análise de solos tem sido alvo de diversos estudos, sendo de suma importância para a concepção de novas técnicas, que visam a recuperação de solos para o plantio, além da criação de fertilizantes menos agressivos e mais orgânicos para adubação e manutenção da plantação.

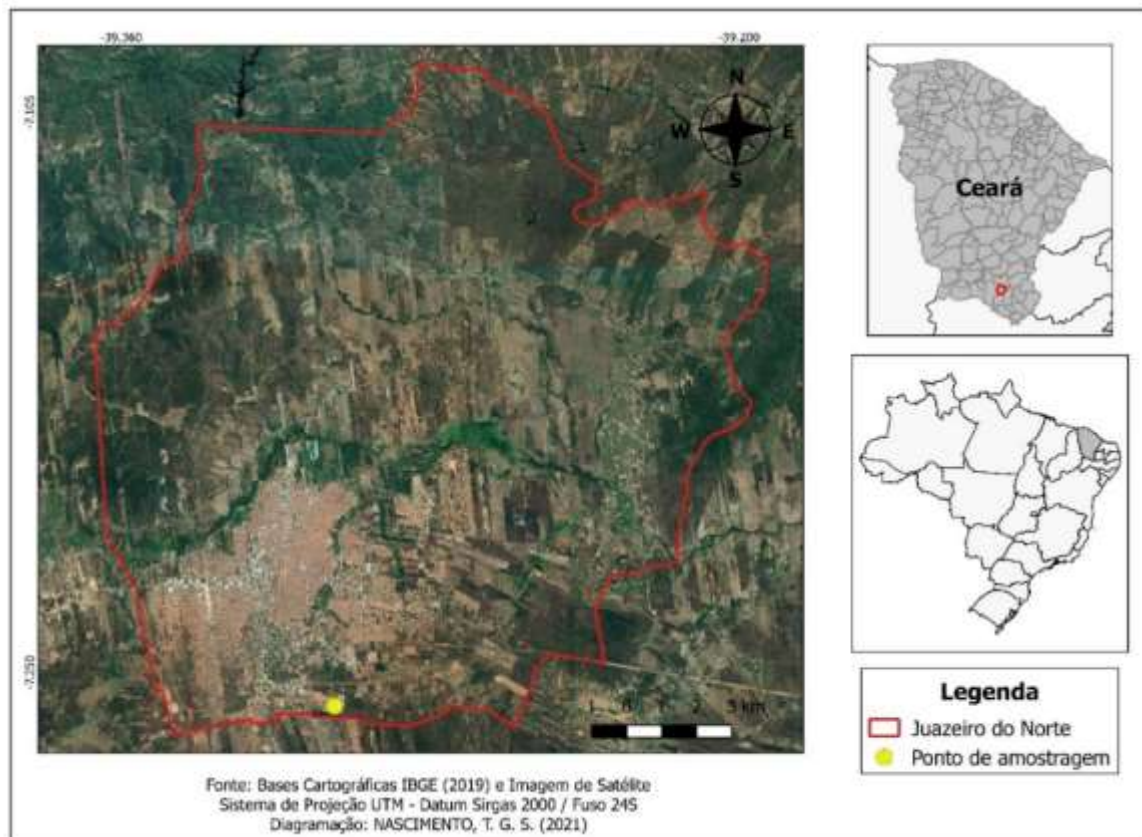
Assim, o objetivo desta pesquisa foi analisar as propriedades do solo, através da caracterização física, química, térmica e morfológica para verificar presença de micro e macronutrientes necessários para o desenvolvimento adequado de cultivares, bem como identificar técnicas de manejo corretas que auxiliem no ciclo vital das plantas.

2. Metodologia

2.1 Coleta da amostra de solo

A amostra de solo foi coletada em uma camada de 0-10 cm no terreno destinado a plantio da Universidade Federal do Cariri (UFCA), Campus Juazeiro do Norte-Ceará, sendo localizado nas coordenadas 07° 15' 30" S de latitude, 39° 18' 16" W de longitude, conforme apresentado na Figura 1. A amostra foi acondicionada em saco de plástico e transportada até o Laboratório de Mecânica dos Solos da UFCA.

Figura 1. Mapa de localização do ponto de amostragem.



Fonte: IBGE (2019) e Nascimento (2021).

2.2 Caracterização física

Para determinação do teor de umidade, da densidade real das partículas e análise granulométrica, utilizou-se 2 kg do solo preparado conforme a norma ABNT NBR 6457 (1986).

O teor de umidade foi determinado utilizando-se 30 g da amostra de solo em cápsula de alumínio e seca em estufa a 110°C por 24 horas. Após este período, a amostra foi retirada e colocada em dessecador com sílica gel para resfriamento por 30 min e pesada em balança analítica. A diferença entre o peso da amostra úmida e o peso da amostra seca, dividido pelo peso da amostra seca fornece a umidade gravimétrica.

A densidade real do solo foi realizada pelo método do picnômetro, e calculada pela média de três medidas, no mínimo, não diferindo 0,009 entre elas, de acordo com a norma ME 093 (DNER, 1994).

A distribuição de tamanhos de partículas foi determinada conforme descrito na ABNT NBR 7181 (1984). Composto por peneiramento grosso, processo de sedimentação e peneiramento fino.

A classificação quanto a textura do solo foi feita tomando como base a interpretação do diagrama textural proposto por Reichardt (1985). O mesmo foi construído a partir dos teores de areia, silte e argila, obtidos da análise granulométrica.

No sentido de se avaliar o estágio de intemperismo na amostra, foi calculada a relação silte/argila dividindo-se os teores de silte pelos de argila encontrados partir da curva granulométrica.

2.3 Caracterização química

2.3.1 Acidez ativa - pH

Para determinação do pH seguiu-se o procedimento descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997): Pesou-se 10 g do solo em um becker de 100 mL e adicionou-se 25 mL de solução de KCl 1 mol.L⁻¹, agitou-se manualmente com um bastão de vidro e deixou-se em repouso por 1h, após esse período, agitou-se novamente com auxílio do bastão de vidro e procedeu-se a leitura mergulhando-se os eletrodos na suspensão homogeneizada.

2.3.2 Acidez trocável

Para determinação da acidez trocável utilizou-se o método do KCl 1 mol.L⁻¹ descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997): em um erlenmeyer de 125 mL colocou-se 10 g de solo e adicionou-se 50 mL de KCl 1 mol.L⁻¹, em seguida agitou-se manualmente a mistura e deixou-se em repouso por 30 min., logo após filtrou-se em papel filtro, e lavou-se duas vezes com 10 mL de KCl 1 mol.L⁻¹. Por fim, titulou-se o filtrado contendo 6 gotas de fenolftaleína 0,1 % (m/v) com NaOH 0,1 mol.L⁻¹.

A acidez trocável foi determinada pela Equação (1):

$$\text{Acidez trocável (cmol}_c\text{.dm}^{-3}\text{)} = \frac{(V \times C \times 100)}{m} \quad \text{Eq (1)}$$

sendo que: V = volume (mL) de NaOH gastos na titulação; C = concentração (mol.L⁻¹) da solução de NaOH; m = massa (g) da amostra.

2.3.3 Matéria orgânica (MO)

A matéria orgânica foi determinada por gravimetria, de acordo com as metodologias descritas por Carmo e Silva (2012) e Galliassi *et al.* (2002). Em forno mufla, marca Servifor modelo SF-M1700FH, do Laboratório de Materiais Cerâmicos da UFCA. A fração do solo passante em malha ABNT 200 mesh foi seca em estufa, numa temperatura (110°C), por um período de 1 hora, em seguida foi pesada 1 g da amostra em cadinhos de porcelana e levados ao forno mufla a uma temperatura de 450°C por 3hrs; após esse tempo foi transferido para um dessecador até o resfriamento, por cerca de 30 min, e em seguida foram pesados. A diferença entre a massa seca inicial e o resultante da combustão fornece a perda de matéria orgânica da amostra.

2.3.4 Quantificação de metais

As análises espectrofotométricas dos metais Zn, Mn e Ni, foram realizadas de acordo com o método USEPA nº 3051A (1998), onde 1 g do solo passante em malha ABNT 200 mesh foi digerido parcialmente com 25 mL de solução de água régia (3HCl.1HNO₃) em banho maria a 80°C por 2hrs. A quantificação dos metais foi determinada em Espectrofotômetro de Absorção Atômica por Chama de Ar-Acetileno na proporção 4:2 L/min à pressão de 4 bar cada e fluxo ajustado em 1,5 L/min, marca Varian e modelo Spectra A-50B disponível no Laboratório da Central Analítica da UFCA.

2.3.5 Fluorescência de raios-X (FRX)

Os demais elementos presentes no solo foram determinados por fluorescência de raios-X, marca PANalytical e modelo Epsilon 1 equipado com anodo de prata, tensão de 50keV e corrente 100 μ A, disponível no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCA.

2.3.6 Infravermelho com transformada de Fourier (IVTF)

As bandas orgânicas presentes no solo foram analisadas por infravermelho com transformada de Fourier, utilizando um Espectrofotômetro Perkin Elmer modelo SpectrumTwo, com comprimento de onda de 4000 a 400 cm^{-1} . As amostras foram homogeneizadas em KBr (1 mg de amostra por 20 mg de KBr). As pastilhas foram obtidas com uma pressão de 15 toneladas/ m^2 .

2.4 Caracterização morfológica

2.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A caracterização morfológica do solo foi realizada em um microscópico eletrônico de varredura, Tescan Vega 3 com operação a 10Kv localizado no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Cariri. As imagens da amostra foram obtidas em diversos aumentos em módulo SE com detectores de elétrons retroespalhados e secundários.

2.5 Caracterização térmica

2.5.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A análise térmica do solo foi realizada por calorimetria exploratória diferencial (DSC), utilizando um calorímetro Shimadzu DSC-60A, sob atmosfera de nitrogênio, com fluxo de 50 mL/min, massa da amostra de 10 mg, razão de aquecimento de 10°C/min, na faixa de 30 a 600°C.

3 Resultados e Discussão

3.1 Caracterização física e química

A Tabela 1 apresenta os principais resultados das caracterizações realizadas para o solo estudado nesta pesquisa.

O solo apresentou uma densidade real de 2,66 g.cm^{-3} , valor muito próximo a densidade do quartzo (2,65 g.cm^{-3}), indicativo da presença de elevadas quantidades desse mineral que é considerado predominante na maioria dos solos se comparado aos outros minerais existentes (Carneiro *et al.*, 2021). Esta mínima variação está relacionada a existência de partículas mais densas de outros minerais que tendem a elevar o valor médio encontrado (Miotti *et al.*, 2013). Ainda, este valor está de acordo com a faixa citada por Kaiser (2010), variando de 2,3 a 3,0 g.cm^{-3} . Dantas *et al.* (2012) relatam que este parâmetro praticamente não é influenciado por alterações no manejo. Enquanto, Caputo (2016) e Couto (2017) explicam que a densidade depende da composição mineralógica, diminui em solos que contém elevado teor de matéria orgânica e aumenta em solos com altos teores de óxido de ferro.

O teor de umidade de 0,71%, obtido para o solo em questão pode ser devido a reduzida capacidade de retenção de água causada pelo grande espaço entre as partículas granulométricas e o rápido escoamento de água de percolação. Com o aumento da proporção de areia há menor capacidade de retenção de água (Marcolin, 2006). Vale ainda ressaltar, que devido a percolação do solo, amostras de camadas mais profundas tendem a conter mais umidade que as retiradas de camadas superficiais (Alves *et al.*, 2020). Esse percentual, porém, é variável e por isso deve ser determinado periodicamente.

Segundo Dos Santos, Montenegro e Silva (2011) a umidade do solo possui elevado grau de variabilidade e é controlada por muitos fatores tais como textura do solo, vegetação e topografia. Buske (2013) explica que solos mais arenosos, por serem mais porosos e apresentarem menor área superficial de suas partículas, retém menor quantidade de água. O conhecimento da

umidade do solo é de fundamental importância devido ao seu papel nos processos biológicos, ecológicos, hidrológicos e atmosféricos. Quanto maior a disponibilidade de água no solo, maior a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e maior a eficiência fotossintética das folhas, o que contribui para uma maior expansão das estruturas de crescimento (Azevedo *et al.*, 1993).

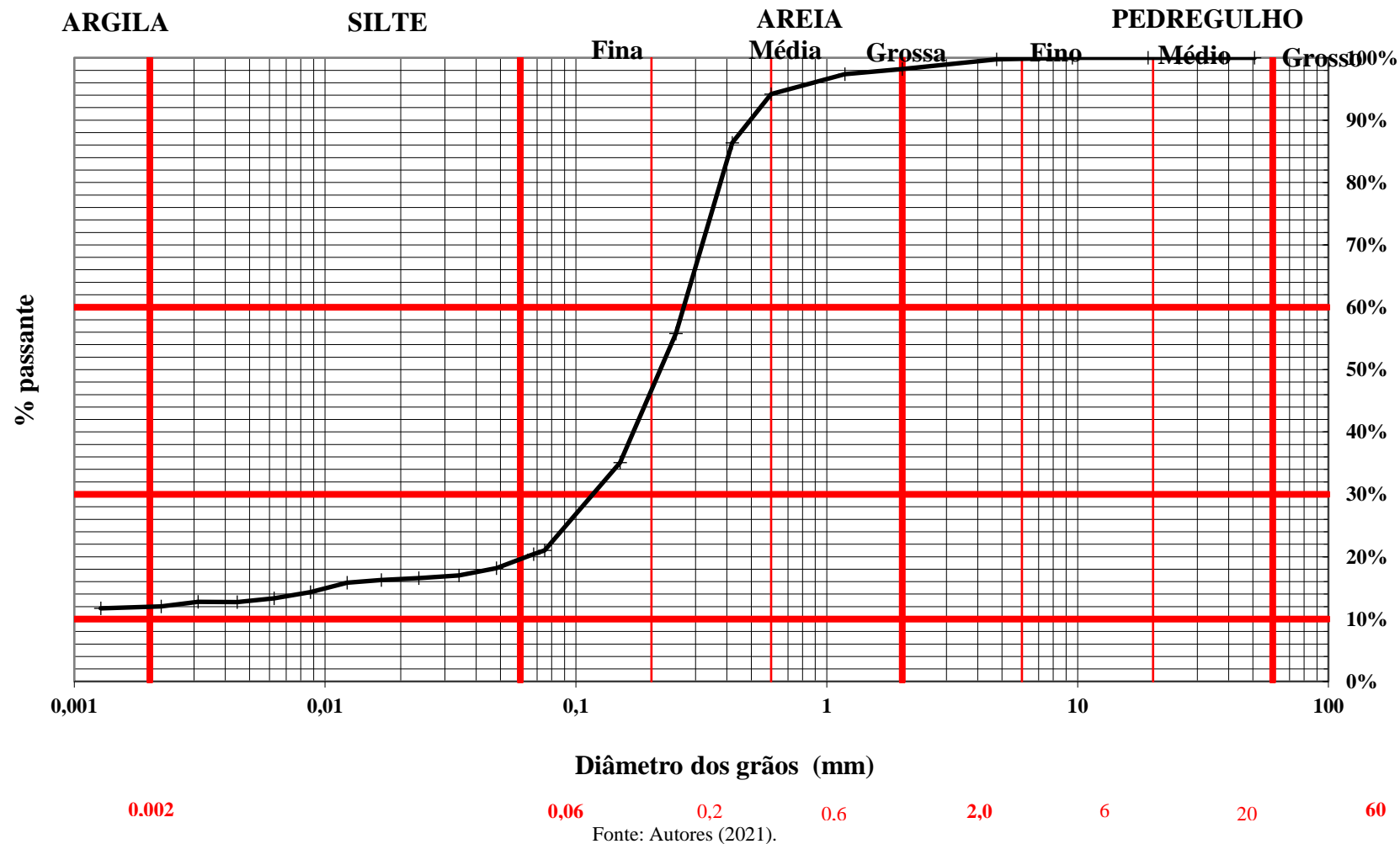
A Figura 2 apresenta a curva granulométrica das principais frações encontradas no solo. Como pode ser observado, o solo apresentou maior fração de areia, equivalente a 74,91% das partículas com diâmetros entre 0,06 mm e 2,0 mm, 12% da fração argila que compreende as partículas menores que 0,002 mm, 7,25% de silte, ou seja, partículas entre 0,002 mm e 0,06 mm, além de 5,84% de pedregulho referindo-se as partículas com diâmetros no intervalo de 2,0 mm a 60 mm conforme classificação fornecida pela ABNT NBR 6502 (1995). Verificou-se ainda um percentual de 21,03% de partículas mistas das frações argila, silte e areia passante na peneira com diâmetro de abertura de 0,075 mm (200 mesh).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo.

Caracterização Física																
Profundidade	Argila	Silte	Areia	Pedregulho	Passante #200 (%)	MO (%)	Umidade (%)	Silte/Argila (%)	Densidade (g.cm⁻³)	Classificação Textural						
0-10	12	7,25	74,91	5,84	21,03	17,53	0,71	0,6	2,66	franco arenoso						
Caracterização Química																
-----Macronutrientes-----																
pH	Al³⁺	Ca	K	S	P	Mg	Ca	K	S	P	Mg	Ca	K	S	P	Mg
KCl	cmol_c.dm⁻³	Teores totais (%)					Teores totais (g.kg⁻¹)					Teores totais (mg.kg⁻¹)				
6,0	0,5	1,242	1,038	0	1,029	2,584	12,42	10,38	0	10,29	25,84	12420	10380	0	10290	25840
-----Micronutrientes-----																
		Zn	Mn	Ni	Cr	Cu	Pb	V								
		Teores totais (mg.kg⁻¹)														
		32,0	67,7	0	150	860	80	300								
		Referência de Prevenção CONAMA n° 420/09														
		300	-	30	75	60	72	-								
		Referência Intervenção Agrícola CONAMA n° 420/09														
		450	-	70	150	200	180	-								

Fonte: Autores (2021).

Figura 2. Curva granulométrica.



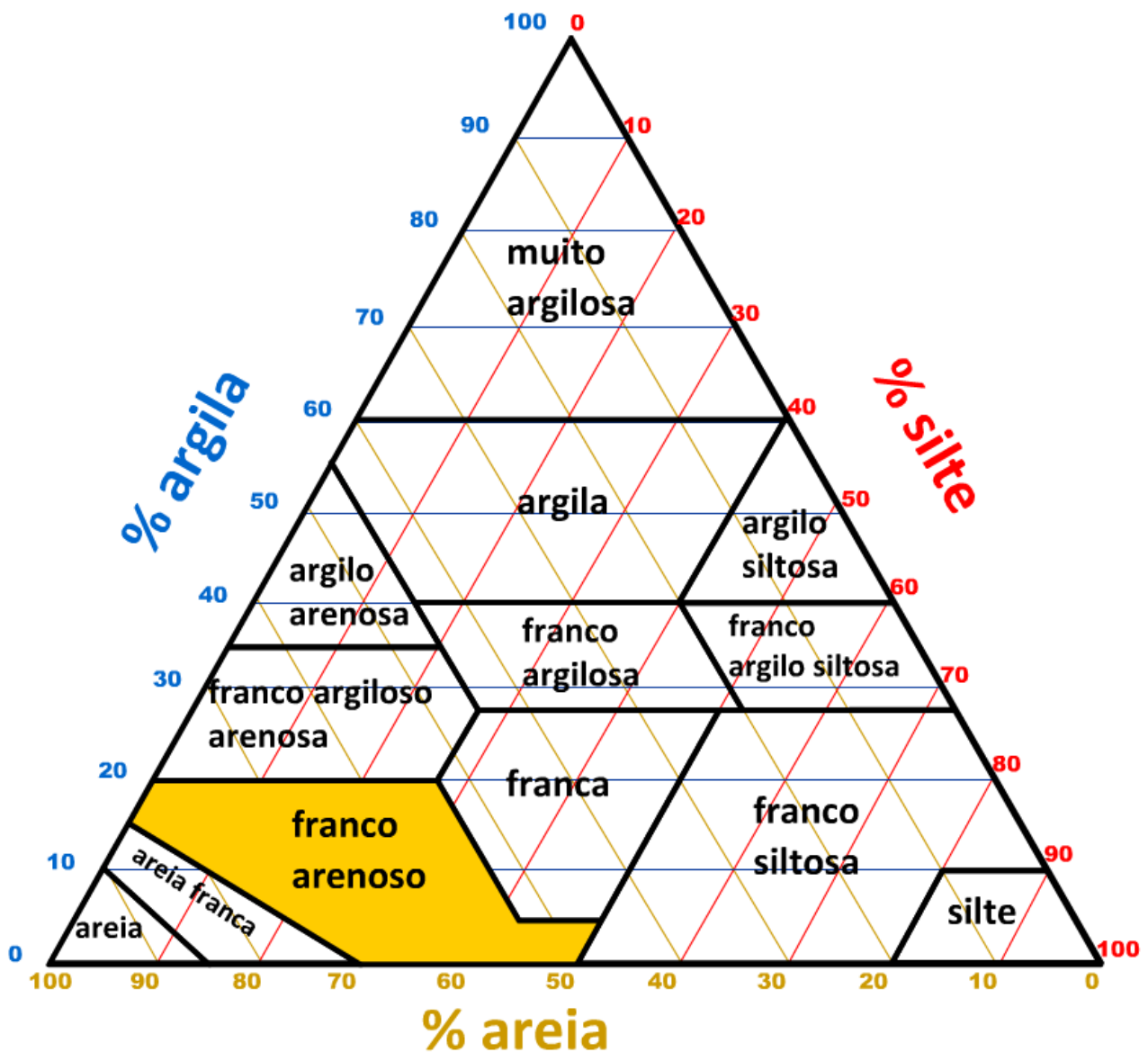
De acordo com os dados obtidos a partir da curva granulométrica, designou-se a classe textural do solo como franco arenoso em concordância com o triângulo textural conforme apresentados na Figura 3 e de acordo com Reichardt (1985).

Os solos de textura arenosa possuem teores de areia superiores a 70% e de argila inferiores a 15%, são permeáveis, leves, de baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica (Lima, 2010).

Segundo Embrapa (2013), a relação silte/argila é utilizada para avaliar o estágio de intemperismo dos solos, onde valores inferiores a 0,7 para solos de textura média ou inferior a 0,6 nos solos de textura argilosa indicam alto grau de intemperismo.

O valor da relação silte/argila determinado foi de 0,6 demonstrando que o horizonte superficial desse solo se encontra em um elevado grau de intemperismo. Isso pode ser devido à perda de argila na superfície, por eluviação ou dissolução (Silva *et al.*, 2002).

Figura 3. Triângulo textural do solo.



Fonte: Autores (2021).

A matéria orgânica do solo representa o principal reservatório de energia para os microrganismos e de nutrientes para as plantas (Silva, 2016).

O solo possui MO (%) = 17,53% ou MO (g.kg⁻¹) = 175,3 g.kg⁻¹, indicando que contém quantidades relevantes de voláteis

de CO₂ e matéria orgânica. De acordo com Centeno *et al.* (2017), em geral solos arenosos possuem menor quantidade de matéria orgânica quando comparados aos demais solos. Além disso, para Travassos e De Souza (2011) a matéria orgânica é o elemento que se caracteriza por apresentar-se em menor quantidade nas regiões que predomina o clima seco.

Os maiores valores de MO encontrados nesse caso, podem ser explicados devido ao fato de que a área de estudo adotada é cercada por vegetação, dentre essas, árvores que podem proporcionar a cobertura do solo tornando-os menos susceptíveis a erosão. Miranda (2005) afirma que solos cobertos por material vegetal, principalmente os de mata nativa normalmente possuem maior conteúdo de matéria orgânica que solos agrícolas, justificado pela maior contribuição das árvores e organismos vivos com a decomposição e a menor taxa de mineralização da matéria orgânica.

O solo apresentou uma acidez ativa baixa, pH ~ 6,0, esse valor está próximo ao encontrado por Barros *et al.* (2019), pH de 6,3, no solo do semiárido nordestino. Silva *et al.* (2016) citam que há uma disponibilidade de micronutrientes como cobre, ferro e zinco nas plantas em solos com pH ácido e que, solos com pH entre 6,0 e 6,5 a disponibilidade para macronutrientes é máxima nessa faixa, favorecendo o desenvolvimento das plantas.

De acordo com Araújo (2017), solos com pH na faixa entre 6,0 e 7,0 são ótimos para o cultivo da maioria das culturas que são cultivadas no Brasil e para algumas culturas com pH inferior a 4,0 e superior a 9,0 há necessidade de correção do solo para evitar problemas de solubilidade dos nutrientes, pois estes solos não apresentam condições de desenvolvimento que as culturas necessitam. Com isso, o pH analisado no solo encontra-se em conformidade com os padrões para cultivo.

A acidez trocável é representada pelo Al³⁺, a presença desse elemento no solo pode inibir o crescimento radicular e influenciar na disponibilidade de outros nutrientes e processos como a mineralização da matéria orgânica. (Sobral *et al.*, 2015).

De acordo Prezotti e Guarçoni (2013), o teor de alumínio trocável (Al³⁺), é considerado baixo se for < 0,3; médio de 0,3 a 1,0 e alto se > 1,0.

O solo exibiu um teor de alumínio de 0,5 cmol_c.dm⁻³, logo é classificado como solo de acidez média, e não necessita fazer nenhuma correção.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos dos metais encontrados na amostra do solo. Estes foram comparados aos números de referência da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n° 420/09, que estabelece critérios quanto à presença de substâncias químicas em solos.

A resolução não traz registros quanto a concentração dos metais Fe, Mn e Al. Além disso, para o elemento vanádio somente é citada concentração para uso industrial, por esse motivo não foi possível uma comparação desses elementos.

Observa-se que não foi encontrada presença do metal Ni na amostra ou este encontra-se em concentrações mais baixas que o limite de detecção do equipamento utilizado. Esse elemento, em concentrações elevadas acarreta possíveis danos à saúde humana, afetando o fígado, coração e o sistema nervoso.

O metal Zn encontra-se dentro dos limites de concentração exigidos na resolução CONAMA n° 420/09. Desse modo, não são requeridas ações no que se diz respeito a procedimentos de prevenção ou investigação do controle de qualidade. No entanto, os metais Cr e Pb apresentam valores superiores aos de prevenção, já o metal Cu, ultrapassa o limite estabelecido no que se refere a intervenção agrícola. À vista disso, é necessário atenção e cuidados quanto a concentração deles.

A quantidade natural de micronutrientes no solo apresenta estreita relação com o material de origem e com o grau de intemperismo dele. Os micronutrientes, como são elementos metálicos, correm risco de deficiência em algumas condições específicas, como em pH elevado, solos arenosos e pobres em matéria orgânica (Pes & Arenhardt, 2015).

Batista *et al.* (2018) apresentam algumas faixas de concentrações em que esses micronutrientes se encontram em solos, bem como o intervalo onde seus valores são adequados quando visado o cultivo de hortaliças:

Os teores totais de Cu em solos brasileiros podem variar de 2 a 335 mg.kg⁻¹ e estar disponíveis de 0,1 a 6,0 mg.dm⁻³. Contudo, os valores adequados para hortaliças podem variar de 4 a 60 mg.kg⁻¹. Os teores totais de Mn em solos podem variar de

10 a 2.200 mg.kg⁻¹ e ser disponíveis de 0,1 a 140 mg.dm⁻³. Já os valores adequados para hortaliças podem variar de 20 a 500 mg.kg⁻¹. Os teores totais de Zn em solos brasileiros podem variar de 4 a 263 mg.kg⁻¹ e estar disponíveis de 0,1 a 45 mg.dm⁻³. Os valores nas hortaliças podem variar de 5 a 250 mg.kg⁻¹.

No solo, os teores do elemento Ni são muito variáveis e dependentes do material de origem. Solos mais jovens tendem a apresentar teores mais altos desse nutriente. A concentração total pode variar de 4 a 2000 mg.dm⁻³, mas, apesar disso, somente 0,001% desses valores são considerados disponíveis e, na maioria das vezes, esse teor é menor que 1 mg.dm⁻³ (Batista *et al.*, 2018).

Nesse sentido, pode-se dizer que a concentração dos elementos Mn e Zn no solo estudado, encontram-se dentro da faixa esperada para os solos brasileiros, porém verifica-se deficiência do elemento Ni e teores de Cu acima da faixa descrita. Para cultivo de hortaliças, os teores de Cu também foram acima do intervalo enquanto Mn e Zn foram adequados. Já para o Ni, recomenda-se o uso de técnicas para suprir a ausência dele.

Segundo o International Plant Nutrition Institute (2021), os sais de Ni (por exemplo, sulfato e nitrato) e as moléculas orgânicas de Ni (por exemplo, lignosulfonatos, heptogluconatos) são eficientes fertilizantes para tratar uma cultura com deficiência.

De acordo com Silva (2016), o cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), e fósforo (P) são indicadores que medem as necessidades nutricionais das plantas e que favorecem o aumento da produtividade do solo.

A Tabela 1 também apresenta as concentrações dos macronutrientes Ca, K, S, P e Mg determinadas a partir de análises de fluorescência de raios-X. Segundo Raij (2011) a percentagem não deve mais ser utilizada para representar teor ou concentração, assim para fins de comparação, foi necessário realizar a conversão dos valores nas unidades obtidas para as unidades convencionais.

De acordo com Maciel *et al.* (2021) maiores teores de matéria vegetal sobre o solo e ação dos agentes biológicos levam a uma maior quantidade de nutrientes nas camadas mais superficiais, o que pode explicar os valores associados aos nutrientes encontrados.

A participação do Ca no solo varia de 1 a 250 g.kg⁻¹, sendo que solos orgânicos recentemente drenados possuem pouco desse elemento e valores de pH extremamente baixos enquanto solos argilosos tendem a conter mais cálcio que os arenosos (Vitti *et al.*, 2008 *apud* Santos *et al.*, 2013).

A quantidade total de K no solo pode variar de 0,9 a 19 g.kg⁻¹. Essa abrangência está relacionada à rocha que origina os solos e o grau de intemperismo. A maioria dos solos brasileiros apresenta baixos teores de K total, em decorrência de os teores de minerais primários e secundários serem baixos (Batista *et al.*, 2018).

O conteúdo de P total dos solos pode variar entre 100 e 3000 mg.kg⁻¹ em função da variabilidade de P no material originário. Na região semiárida no nordeste do Brasil, dada a variabilidade da litologia, os valores de P total na camada superficial dos solos nessa região são bastante variáveis. Algumas publicações disponíveis mostram faixas de variação oscilando entre 924 e 1100 mg.kg⁻¹; 123 e 155 mg.kg⁻¹; 52 e 1625 mg.kg⁻¹; 80 e 390 mg.kg⁻¹ e 260 a 390 mg.kg⁻¹ (Salcedo, 2006).

A concentração de S-total na camada arável de vários solos encontrados no mundo varia. Para solos na América Central e solos da América do Sul são vistos números de 27 a 1104 mg.kg⁻¹ (Tisdale *et al.*, 1982 *apud* Teixeira, 2004). O enxofre total (S-total) encontrado em solos da América do Sul pode variar de 20 mg.kg⁻¹ em solos arenosos a 600 mg.kg⁻¹ em solos de textura argilosa. O S-total ocorre em formas orgânicas e inorgânicas, sendo que as formas orgânicas representam mais que 95% (Tabatabai, 1984 *apud* Teixeira, 2004).

O conteúdo de magnésio nos solos varia de 0,1% em solos de textura grossa, arenosos, em regiões úmidas; até 4% em solos de textura fina, em regiões áridas ou semiáridas formados a partir de rochas com alto teor de Mg (Melo, 2016).

Pelos dados expostos, os níveis totais dos macronutrientes Ca, K e Mg, no solo estudado encontram-se dentro dos níveis reportados pela literatura. Entretanto, não foi detectada a presença de S na amostra, o qual pode ter sido perdido temporariamente por lixiviação durante o período de intensa pluviosidade no local. Segundo Batista *et al.* (2018) a deficiência desse nutriente causada devido a esse processo, ocorre principalmente em solos arenosos.

Os fertilizantes contendo sulfato solúvel fornecem S imediatamente disponível para a nutrição das plantas. Os fertilizantes que contêm S elementar insolúvel necessitam conversão para sulfato antes que as raízes das plantas possam absorvê-lo. Bactérias comuns do solo (por exemplo, espécies de *Thiobacillus*) são responsáveis pela conversão de S elementar em sulfato, mas este processo pode levar de semanas a anos (IPNI, 2021).

Ainda, o elemento P mostra-se em quantidades que excedem as faixas relatadas. Porto *et al.* (2015) afirmam que existe uma interação iônica no processo de absorção dos nutrientes pelas raízes, ou seja, a presença de um nutriente em excesso poderá reduzir a absorção de outro, causando a deficiência nutricional das plantas. Dessa forma, deve-se observar as condições de manejo recomendadas de acordo com a necessidade da cultura que se deseja implantar.

A Tabela 2 mostra as concentrações dos óxidos presentes com base na análise de fluorescência de raios-X. Verifica-se que os resultados apresentados totalizam 100% dos constituintes, demonstrando a eficácia das medidas ao se utilizar essa técnica (Oliveira & Vendrame, 2019).

Tabela 2. Fluorescência de raios-X da amostra de solo.

Óxidos (% massa)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	K ₂ O	Cl ₂ O
67,516	16,760	4,624	4,583	2,818	0,979	0,959	0,675	0,493	0,261
MoO ₃	CuO	MnO	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	NiO	ZnO	PbO	SO ₃	Total
0,222	0,035	0,030	0,019	0,008	0,007	0,005	0,003	0,000	100

Fonte: Autores (2021).

Os valores obtidos expressam maiores concentrações para os óxidos de silício (67,516%), alumínio (16,760%) e ferro (4,624%). Esses são compatíveis com os vistos em grande parte dos solos brasileiros, os quais são intemperizados e apresentam óxidos de ferro e alumínio, além de argilominerais do grupo da caulinita como principais constituintes (Valladares, Pereira, & Dos anjos, 2003).

O maior teor de SiO₂ confirma os resultados evidenciados pela análise granulométrica que acusou predominância da fração arenosa com 74,91%. Além disso, a densidade de partículas encontrada de 2,66 g.cm⁻³ também é compatível com a elevada quantidade de óxido de silício, sugerindo mineralogia composta, predominantemente, pelo mineral quartzo (Xavier, 2018).

O óxido de silício (SiO₂) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais; entretanto, em razão do avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, o Si é encontrado basicamente na forma de quartzo, opala (SiO₂.nH₂O) e outras formas não disponíveis às plantas (Barbosa Filho *et al.*, 2001 *apud* Mauad *et al.*, 2003).

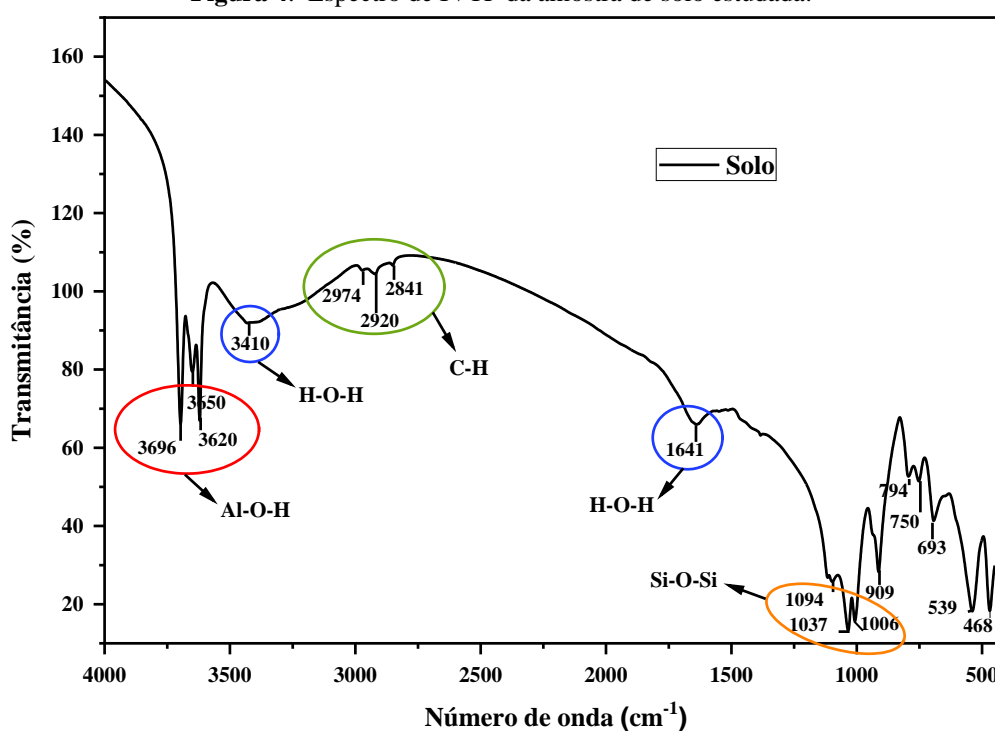
No solo o íon alumínio provém da decomposição de minerais primários como feldspatos, micas, anfibólios, piroxênios e de minerais secundários (argilominerais e oxihidróxidos de Al, entre outros). A quantidade de óxido de alumínio encontrada, demonstra que pode haver elevada quantidade desses minerais, no qual deve ser determinada por análise mineralógica. Contido na estrutura cristalina desses minerais, o Al³⁺ quando liberado por processo de intemperismo, pode ter vários destinos e dessa

forma, deve-se atentar com uma ocasional diminuição do pH e aumento da acidez trocável, pois a concentração de Al^{3+} em solos ácidos aumenta o nível de cátions e perturba o crescimento das raízes (Fernández, 2017).

Os óxidos de Fe, principalmente hematita e goethita, estão intimamente relacionados com os fenômenos de estruturação e agregação dos solos, podendo conferir-lhes características desejáveis, tais como uma maior permeabilidade à água e maior resistência a erosão. Podem, ainda, estar vinculados a outras propriedades, como a cor, capacidade de troca catiônica e aniônica (CTC e CTA), fixação de P e de metais pesados. Dentre essas, a cor mostra-se a mais visível e é utilizada para caracterizar e diferenciar os solos, onde as cores vermelhas e amarelas resultam da presença de hematita e goethita, respectivamente (Correa *et al.*, 2008).

A Figura 4 apresenta o espectro de infravermelho com transformada de Fourier da amostra de solo estudada. As bandas de absorções em 3696 cm^{-1} , 3650 cm^{-1} e 3620 cm^{-1} são atribuídas a ligação Al-O-H e estão associadas a estrutura do argilomineral caulinita (Carmona *et al.*, 2015).

Figura 4. Espectro de IVTF da amostra de solo estudada.



Fonte: Autores (2021).

A banda em 1641 cm^{-1} é atribuída a presença de água estrutural, a banda em 3410 cm^{-1} , corresponde ao estiramento da ligação O-H das moléculas de água (Couceiro & Santana, 1999). As bandas em 2920 cm^{-1} e 2841 cm^{-1} são devido ao estiramento da ligação C-H de grupos alifáticos típicos de matéria orgânica (Silva, Dick, & Inda Junior, 2008).

De acordo com Pereira *et al.* (2020) as bandas características de óxidos de ferro estão entre 820 cm^{-1} e 450 cm^{-1} e silicatos por volta de 1200 cm^{-1} e 820 cm^{-1} . As bandas registradas em 1094 cm^{-1} , 1037 cm^{-1} e 1006 cm^{-1} estão associadas aos estiramentos de Si-O-Si, em 794 cm^{-1} e 750 cm^{-1} caracterizam a existência de caulinita bem cristalizada e/ou pouco substituída (Couceiro & Santana, 1999).

Segundo Aguiar (2015) as bandas na região em 909 , 693 e 468 cm^{-1} são características das impurezas dos minerais (caulinita e gibbsita), além de quartzo (SiO_2).

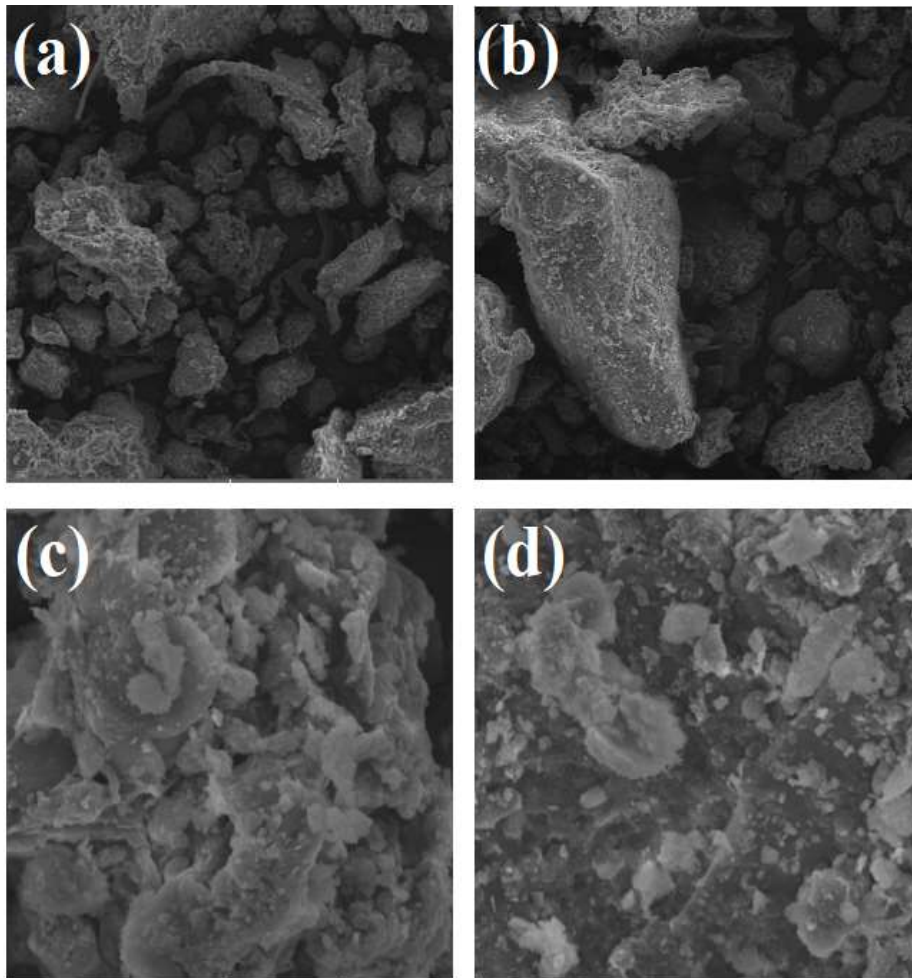
3.2 Caracterização morfológica

3.2.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A Figura 5 mostra as imagens de micrografias da amostra do solo retido na peneira de 200 mesh (abertura = 0,075 mm). Pode-se observar que o solo é formado de aglomerados e partículas dispersas de formas e tamanhos variados, com superfícies bastante irregulares, apresentando intensa quantidade de grãos de areia e pouca argila. Freitas (2017), explica que essa morfologia foi devido aos grãos de areia, os quais são quase totalmente de quartzo, sendo de tamanhos variados com formas arredondadas e subangulares. E que a pequena quantidade de argila reveste total ou parcialmente os grãos de areia, quase sempre não se estendendo ou formando pontes entre eles.

Esse tipo de estrutura é atribuído ao processo de aluviação, intemperismo ou movimentações de natureza fisicogênica que condicionam a formação predominante de um tipo de porosidade, designada de poros do empacotamento simples, que são espaços vazios resultantes da junção de partículas de diferentes tamanhos e formas (Freitas, 2017).

Figura 5. Micrografias da amostra de solo com aumentos de 1000x (a), 3000x (b), 5000x (c) e 7000x (d).



Fonte: Autores (2021).

3.3 Caracterização térmica

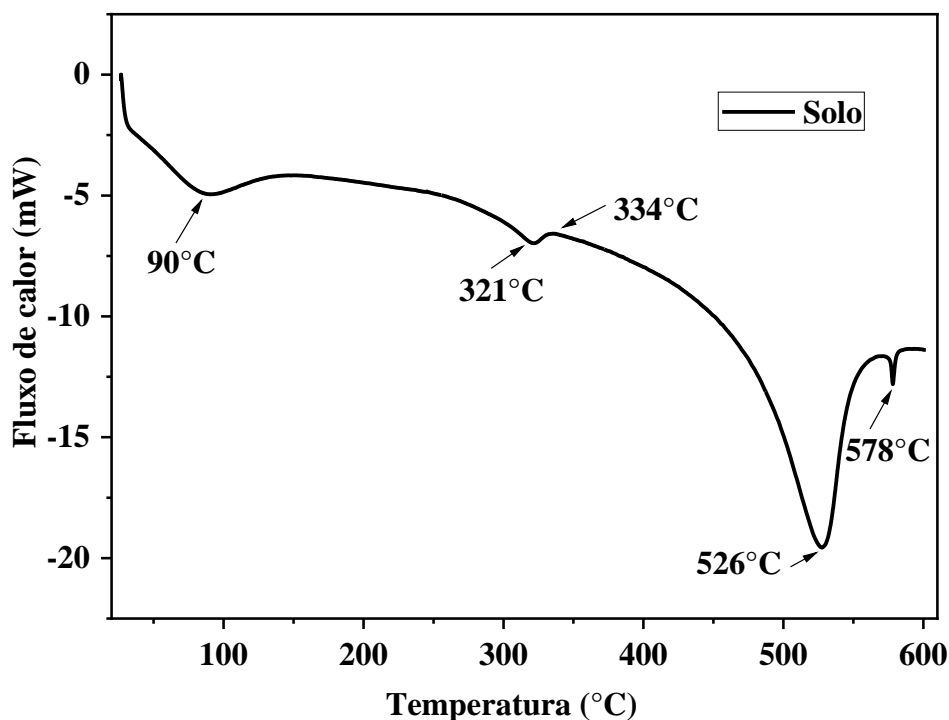
3.3.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A curva de DSC mostrada na Figura 6, indica a ocorrência de diferentes eventos térmicos na amostra de solo. Reação de desidratação decorrente de água livre e adsorvida pode ser vista no primeiro pico endotérmico largo em torno de 90°C. O pico

endotérmico em 321°C seguido pelo pico exotérmico reduzido observado em 334°C, é relativo à decomposição da matéria orgânica. Segundo Araújo *et al.* (2015) nas reações de degradação de materiais de origem orgânica, eles absorvem calor, para sua degradação e em seguida, ocorre à liberação de energia.

No pico endotérmico em 526°C evidencia-se a desidroxilação, caracterizando a presença de hidroxilas de argilominerais. Nota-se também pico endotérmico em 578°C devido a transição do quartzo livre, que muda sua estrutura cristalina da fase α para a fase β (Alves *et al.*, 2004).

Figura 6. Curva de calorimetria exploratória diferencial.



Fonte: Autores (2021).

4. Considerações Finais

O solo apresentou acidez ativa baixa, dentro da faixa apropriada para cultivos. A acidez média trocável obtida não limitará o rendimento das culturas visto o elevado teor de matéria orgânica encontrado, provavelmente resultante da decomposição dos resíduos vegetais no local, que tende a diminuir a atividade e a toxidez do Al.

Os teores de Zn estão dentro dos níveis aceitáveis, portanto não requer nenhum tipo de procedimento de prevenção ou investigação de controle de qualidade, porém os teores de Cr e Pb estão acima do permitido para prevenção, enquanto o Cu está acima do requerido para intervenção, portanto é necessário atenção e cuidados quanto as concentrações desses metais.

Alguns elementos metálicos atuam como micronutrientes, a concentração dos elementos Mn e Zn encontrados no solo estão dentro da faixa esperada para os solos brasileiros, porém este apresentou deficiência do elemento Ni e elevados teores de Cu. Para cultivo de hortaliças, os teores de Cu foram acima da faixa, enquanto Mn e Zn foram adequados. Já para o Ni, recomenda-se o uso de técnicas para suprir a sua ausência.

Os níveis totais de macronutrientes Ca, K e Mg encontrados no solo estão dentro dos níveis citados na literatura. Todavia, foi constatada deficiência de S na amostra e excesso do nutriente P. Portanto, deve-se observar as condições de manejo recomendadas de acordo com a necessidade da cultura que se deseja implantar. Os valores obtidos para os óxidos constituintes expressam maiores concentrações para os óxidos de silício, alumínio e ferro com menores quantidades de outros óxidos que

podem estar associados a minerais como quartzo, caulinita, entre outros. E são compatíveis com os óxidos vistos em grande parte dos solos brasileiros.

O solo é formado de aglomerados e partículas dispersas de formas e tamanhos variados, com superfícies bastante irregulares, apresentando grande quantidade de grãos de areia e pouca argila, confirmando sua textura franco arenosa. Além de baixa umidade e densidade de partículas características de solos arenosos.

Diante do estudo realizado pode-se observar a necessidade constante da avaliação da fertilidade para levantamento dos nutrientes adequados para o solo. Uma vez que o manejo incorreto pode reduzir sua fertilidade, tornando-o menos produtivo, assim, as análises de solo são de extrema importância para garantir que seja utilizado de forma correta para que não venha a prejudicar as culturas futuras do local.

Maiores estudos ainda são necessários para ampliar as informações acerca desse solo e se obter um maior entendimento de suas propriedades. Dentre as recomendações para trabalhos futuros, sugere-se: identificar as fases minerais presentes com a realização de análises de difração de raios-X (DRX); classificar os perfis do solo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos; e avaliar a variação dos atributos químicos em camadas de diferentes profundidades. Ademais, destaca-se ainda a necessidade de determinação das formas trocáveis dos nutrientes, as quais estão disponíveis para a planta, além de parâmetros como Capacidade de troca catiônica (CTC) e Saturação por bases (V%).

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Cariri pelo suporte durante o desenvolvimento desta pesquisa. Ao Programa de Ações Culturais de Iniciativa da Comunidade Acadêmica da Pró-reitoria de Cultura pela bolsa concedida através do Edital N° 06/2019/PROCULT/UFCA com o Projeto intitulado "Horta Orgânica". Aos Laboratórios da Universidade Federal do Cariri: Materiais Cerâmicos, Mecânica dos Solos, Caracterização de Materiais e Central Analítica, os quais forneceram os recursos materiais e infraestruturas necessários para realização da pesquisa.

Referências

- Alves, A. L. *et al.* (2004). Caracterização térmica da argila de Angélica/MS. *Congresso Brasileiro de Cerâmica*, 48.
- Alves, C. N., de Sousa Miranda, L. A., Farias, T. L., do Nascimento, J. M. H., dos Santos Silva, M., & dos Santos, F. F. (2020). Carbono orgânico e atributos físico-químicos de um solo do município de Paragominas-PA. *Research, Society and Development*, 9(11), e98191110518-e98191110518.
- Aguiar, L. M. de. (2015) *Caracterização de diferentes solos por meio da espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier*. Trabalho de Conclusão de Curso em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil.
- Araújo, N. C. de, Queiroz, A. J. P., Ramos, A. P., Santos, R. C. dos, Buriti, J. da S. & Gomes, A. A. (2015). Degradação térmica de tijolo fabricado com solo e manipueira. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(3), 861-870.
- Araújo, W. (2017) *Influência da granulometria do calcário calcinado dolomítico no pH do solo*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Química, Centro Universitário de Formiga, UNIFOR-MG, Formiga, MG, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 6457 (1986): Amostra de Solos - Preparação para ensaio de compactação e ensaio de caracterização: Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1986.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 7181 (1984): Solos – Análise granulométrica: Método de ensaio*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 6502 (1995): Rochas e solos - Terminologia*.
- Azevedo, P. V., Rao, T. V. R., Amorim Neto, M. L. Da S., Cor, J. R., Pereira, T., Espinola Sobrinho, J. & Maciel, G. F. (1993). Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28(7), 863-870.
- Barros, V. D. C., Junior, M. A. L., Santos, M. V. F., Costa, A. F., Arruda, A. M. & Sousa, C. A. (2019). Biodiversidade rizobiana em função de solo e clima no semiárido pernambucano. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, 24(1), 1-6.
- Batista, M. A. Inoue, T. T., Esper Neto, M. & Muniz, A. S. (2018). Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In Brandão-Filho, J., Freitas, P., Berian, L. & Goto, R. *Hortaliças-fruto*. Maringá: EDUEM, p. 113-161.

- Buske, T. C. (2013). *Comportamento da umidade do solo determinada por métodos expeditos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
- Caputo, H. P. (2016). *Mecânica dos solos e suas aplicações*, (7a ed). Editora LTC.
- Carneiro, K. D. A. A., Sousa, L. R., da Silva Fraga, V., da Silva, A. P., dos Santos Utuni, V. H., dos Santos, R. F., & Vendruscolo, J. (2021). Solos do brejo paraibano: Influências do clima, do relevo e do material de origem. *Research, Society and Development*, 10(7), e22410716545-e22410716545.
- Carmo, D. L. do & Silva, C. A. (2012). Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(4), 1211-1220.
- Carmona, I. N. Figueira, B. A. M., Costa, J. da, Costa, M. L. da, Silveira, M. I. & Kern, D. C. (2015). Caracterização Química e Mineral de Feições de Solos tipo TPA da Região do Salobo (Província Mineral de Carajás, Pará). Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, RN, Brasil, 35.
- Centeno, L. N., Guevara, M. D. F., Cecconello, S. T., Sousa, R. O. de & Timm, L. C. (2017). Textura do solo: Conceitos e aplicações em solos arenosos. *Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade*, 4(1), 31-37. 2017.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução (CONAMA) no 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 81-84.
- Consensa, C. O. B., Gubiani, P. I., Reichert, J. M., Reinert, D. J., Xavier, A. & Kaminski, J. (2010). Propriedades físicas e químicas do solo em diferentes usos avaliadas por meio da análise de componentes principais. *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 8.
- Costa, K. (2013). *Parâmetros hidrossedimentológicos da bacia hidrográfica do São José, no Cariri cearense* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.
- Couceiro, P. R. da C. & Santana, G. P. (1999). Caulinita em solo da Amazônia: caracterização e permutabilidade. *Acta Amazônica*, 29(2), 267-275.
- Couto, André Vinícius Melo. (2017). *Avaliação das características geomecânicas do solo da área destinada à construção do compus definitivo da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho – UFRPE*. Trabalho de Conclusão de Curso, Tecnólogo em Construção Civil, Cabo de Santo Agostinho, PE, Brasil.
- Correa, M. M., Ker, J. C., Barrón, V., Fontes, M. P. F., Torrent, J. & Curi, N. (2008). Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(3), 1017-1031.
- Dantas, J. A. N., Teógenes, S. O., Mendonça, E. S. & Assis, C. P. (2012). Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no perímetro irrigado Jaguaribe/Apodi, CE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(1), 18-26.
- De Almeida, J. A., Ribeiro, C. F., De Oliveira, M. V. R., & Sequinatto, L. (2018). Mineralogia da argila e propriedades químicas de solos do Planalto Norte Catarinense. *Revista de Ciências Agrovetenárias*, 17(2), 267-277.
- De Freitas, L., Casagrande, J. C., De Oliveira, I. A., De Souza Júnior, P. R., & Campos, M. C. C. (2014). Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. *Revista Agro@mbiente On-line*, 8(2), 155-164.
- De Souza, I. M., Melo, M. D., Primo, A. A., Lima, A. R., Tonucci, R. G. & De Souza, H. A. (2017). Atributos químicos do solo em função de manejos praticados por agricultores familiares no Semiárido. Simpósio de Saberes Agroecológicos do Norte do Piauí, Cocal, PI, 2.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). *ME 093 (1994): Solo – determinação da densidade real*.
- Dos Santos, T. E. M., Montenegro, A. A. A. & Silva, D. D. (2011). Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(7), 670-679.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Centro Nacional de Pesquisa de Solos & Ministério da Agricultura e do Abastecimento (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. (3a ed. rev. ampl.) Brasília, EMBRAPA.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (1997). *Manual de métodos de análise de solos*. EMBRAPA.
- Fernandéz, Z. H. (2017). *Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas*. Tese de Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal do Pernambuco.
- Freitas, M. L. R. de A. (2017). *Comportamento geomecânico de um solo colapsível de Petrolina-PE avaliado por meio de ensaios de campo e laboratório*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pernambuco.
- Galliassi, K., et al. (2002). Análise da matéria orgânica do solo utilizando o método da perda de peso perignição. *Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo*, Porto Alegre, RS, 4.
- Gonçalves, F., Zanin, R. F. B., Somera, L. F., Oliveira, A. D., Ferreira, J. W. S., Costa Branco, C. J. M., & Teixeira, R. S. (2018). Caracterização Físico-química e mineralógica de três solos do estado do Paraná. In *XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica-COBRAMSEG*.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019). *Bases Cartográficas*. <http://mapas.ibge.gov.br/bases-referenciais/bases-cartograficas/mapas-municipais.html>.
- International Plant Nutrition Institute – IPNI (2021). *Informação agrônômica sobre nutrientes para as plantas*. [https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL-18/\\$FILE/NutriFacts-BRASIL-18.pdf](https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL-18/$FILE/NutriFacts-BRASIL-18.pdf)
- Kaiser, D. R. (2010). *Fundamentos da Ciência do Solo: aulas práticas*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

- Lima, E. L. de. (2010). *Comparação de solos in natura com solos alterados pela ação de adubos*. (Trabalho de Conclusão de Curso Graduação). Fundação Educacional do Município de Assis, Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis (IMESA), Assis, 2010.
- Maciel, T. C. M. *et al.* (2021). Atributos físicos e químicos de solos em diferentes sistemas de uso: um estudo de caso no cariri cearense. *Revista Acta Kariri-Pesquisa e Desenvolvimento*, 3(1).
- Maia, J. L. T., & Ribeiro, M. R. (2004). Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39, 1127-1132.
- Mauad, M., Grassi Filho, H., Crusciol, C. A. C. & Corrêa, J. C. (2003). Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 27(5), 867-873.
- Marcolin, C. D. (2006). *Propriedades físicas de nitossolo e latossolos argilosos sob plantio direto*. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brasil.
- Melo, D. D. (2016). Plantas de cobertura em áreas de produção de soja no verão e silagem de milho no inverno, com aplicação de água residuária de suinocultura. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, Brasil.
- Miotti, A. A., Costa, M. C. G., Ferreira, T. O. & Romero, R. E. (2013). Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(2), 536-545.
- Miranda, C. C. (2005). *Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto, Reserva Biológica União-RJ*. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Macaé, RJ, Brasil.
- Nascimento, T. G. S. (2021). [Mapa de localização do ponto de amostragem]. *Juazeiro do Norte*.
- Oliveira, C. C. V. G. & Vendrame, Z. B. (2019). Análise química do solo no campus Caçapava do Sul utilizando espectrometria de fluorescência de raios-X. *Anais do salão internacional de ensino, pesquisa e extensão*, Bagé, RS, 10.
- Pereira, D. C., Santos, R. J. dos, Aquino-Silva, M. R. de & Sakane, K. K. (2020). Determinação dos atributos mecânicos e caracterização por ftir do solo da fazenda do poço “jacarei univap campus urbanova”: uma avaliação integrada da recuperação ambiental. *Revista Univap*, 26(51), 155-170.
- Pes, L. Z. & Arenhardt, M. H. (2015). *Solos*. Santa Maria: Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa.
- Porto, D. S., da Silva, E. S., Carmo, I. D. S., Monteiro Neto, J. L. L., Trassato, L., & de Medeiros, R. D. (2015). Rendimento da melancia sob doses de fósforo e de potássio no Cerrado de Roraima. In *Embrapa Roraima-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.
- Prezotti, L. C. & Guarçoni, A. M. (2013). *Guia de interpretações de análise de solo e foliar*. Incaper.
- Rajj, B. V. (2011). *Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes*. International Plant Nutrition Institute.
- Reichardt, K. (1985). *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera* (4a ed.). Fundação Cargil.
- Salcedo, I. H. (2006). Biogeoquímica do fósforo em solos da região Semiárida do NE do Brasil. *Revista Geografia*, 23(3), 159-184.
- Santana, J. S., Lima, E. F., Komatsu, R. S., Silva, W. D., & Ribeiro, M. I. D. (2018). Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. *Enciclopédia biosfera*, 15(27), 22-42.
- Santiago, C. C. (2001). *O solo como material de construção*. (2a ed.). EDUFBA.
- Santos, F. A. S., Mariano, R. S. R., Pierangeli, M. A. P., Souza, C. A. & Bampi, A. C. (2013). Atributos químicos e físicos de solos das margens do Rio Paraguai. *Ambi-Água*, 8(1), 239-249.
- Sobral, L. F., Barretto, M. C. de V., Silva, A. J. da & Anjos, J. L. dos (2015). Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. Aracaju: EMBRAPA.
- Silva, M. S. L., Klamt, E., Cavalcante, A. C. & Kroth, P. L. (2002). Adensamento subsuperficial em solos do semiárido: processos geológicos e/ou pedogenéticos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(2), 314-320.
- Silva, L. B., Dick, D. P. & Inda Junior, A.V. (2008). Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. *Ciência Rural*, 38(4), 1167-1171.
- Silva, W. R., Gomes, I. M. M., Rocha Filho, J. F., Mori, C. S., Michima, L. E. D. S. Ortolani, E. L. & Antonelli, A.C. (2016). Níveis séricos e hepáticos de cobre, zinco, ferro e molibdênio em ovinos e caprinos criados no semiárido da Bahia. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 68(1), 155-163.
- Silva, M. A. de A. (2016). *Avaliação da qualidade ambiental de áreas degradadas em recuperação: Fazenda do Poço (Jacarei-SP) – um estudo de caso*. Dissertação de Mestrado em Bioengenharia, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Teixeira, G. M. (2004). *Recuperação de enxofre (34S) aplicado ao solo em cultivos sucessivos com milho ou soja e alfafa*. Dissertação de Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.
- Travassos, I. S. & De Souza, B. I. (2011). Solos e desertificação no sertão paraibano. *Cadernos do Logepa*, 6(2), 101-114.
- United States Environmental Protection Agency - USEPA. Method 3051A – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998.

Valladares, G. S., Pereira, M. G., & Dos Anjos, L. H. C. (2003). Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. *Bragantia*, 62(1), 111-118.

Xavier, J. M. *Estudo do comportamento geotécnico de um solo colapsível voltado para fundações superficiais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco.