

SUSTENTABILIDADE DO SOLO POR MEIO DE SISTEMA AGROFLORESTAL NO NORDESTE PERNAMBUCANO

Cristiane Maria Gonçalves Crespo

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Recife, PE, Brasil
cristianemgcrespo@gmail.com

Victor Casimiro Piscoya

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Recife, PE, Brasil
victorcasimiropiscoya@gmail.com

Renisson Neponuceno de Araújo Filho

Universidade Federal do Tocantins – UFT
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais
Gurupi, TO, Brasil
nepoaraujo@gmail.com

Patrick Peres Oliveira

Universidade Federal do Tocantins – UFT
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais
Gurupi, TO, Brasil
patrickperes12@gmail.com

Alex Souza Moraes

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Recife, PE, Brasil
alex.moraes@ufrpe.br

Moacyr Cunha Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Recife, PE, Brasil
moacyr.cunhafo@ufrpe.br

RESUMO

O Brasil é líder mundial na produção e exportação de café, cultivados em diferentes sistemas de manejo. Sabe-se pouco sobre os efeitos ambientais desses sistemas, assim, o objetivo desse estudo foi utilizar parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo como indicadores nas mudanças no sistema agroflorestal em Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brasil. As amostras foram coletadas em três posições do relevo: terço superior - TS, terço médio - TM e terço inferior - TI da encosta. Foram avaliados os atributos físicos (granulometria, porosidade, densidade e textura), químicos (pH, acidez trocável, soma de base, saturação por bases, saturação por alumínio, capacidade de troca catiônica efetiva e potencial, macro e microelementos do solo, oriundos da matéria orgânica) e microbiológicos (respiração basal, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e quociente microbiano). Comparado à MN, o SAF apresentou comportamentos satisfatórios, principalmente em TS, onde obteve os melhores índices de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), manganês (Mn) e magnésio (Mg), soma de bases, CTC efetiva e pH, o que proporciona considerável fertilidade do solo. O TI do SAF demonstrou bons resultados quanto à deposição de carbono e metabolização por microrganismos, demonstrando potencial na redução de impactos, em função da matéria orgânica (MO) e relevo.

Palavras-chave: Sistema agroflorestal. Café arábica. Qualidade do solo.

SOIL SUSTAINABILITY THROUGH AN AGROFORESTRY SYSTEM IN NORTHEASTERN PERNAMBUCO

ABSTRACT

Brazil is a world leader in the production and export of coffee, cultivated in different management systems. Little is known about the environmental effects of these systems, so

the aim of this study was to use soil physical, chemical and biological parameters as indicators of changes in the agroforestry system in Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brazil. The samples were collected in three relief positions: upper third - TS, middle third - TM and lower third - IT of the slope. The physical (granulometry, porosity, density and texture), chemical (pH, exchangeable acidity, base sum, base saturation, aluminum saturation, effective and potential cation exchange capacity, macro and microelements of the soil derived from matter were evaluated. organic) and microbiological (basal respiration, microbial biomass carbon, metabolic quotient and microbial quotient). Compared to MN, APS showed satisfactory behavior, mainly in TS, where it obtained the best nitrogen (N), potassium (K), calcium (Ca), manganese (Mn) and magnesium (Mg), sum of bases, CTC effective and pH, which provides considerable soil fertility. The IT of the SAF showed good results regarding carbon deposition and metabolization by microorganisms, demonstrating potential to reduce impacts, depending on organic matter (OM) and relief.

Keywords: Agroforestry system. Arabica coffee. Soil quality.

INTRODUÇÃO

O café, que pertence à família botânica *Rubiaceae*, é uma dos grãos mais cultivados no mundo e se destaca no cenário econômico por ser um dos principais contribuintes para a arrecadação de impostos e geração de renda no Brasil (FASSIO e SILVA, 2015; SANTOS, 2020).

O Brasil é conhecido como o maior produtor mundial do grão, com produção que corresponde a 34,64% em todo mercado mundial (RIOS, 2020). O País mantém a posição de maior exportador mundial de café, sendo observado nos meses de janeiro a abril de 2017, cerca de 580 toneladas de exportações brasileiras do grão (SARA et al., 2019). Dessa forma, o cultivo do cafeeiro se apresenta como uma das principais atividades econômicas desenvolvidas no país, gerando aproximadamente 8,4 milhões de empregos no meio rural (MAPA, 2016).

Durante as últimas décadas, muitos agricultores adotaram sistemas de manejo alternativos, como o café produzido em consorcio com vegetação nativa. Num período em que predomina a preocupação com o meio ambiente, a cafeicultura sombreada pode ser benéfica para produção, ao mesmo tempo em que também é importante para provisão de serviços ambientais (BOREUX et al., 2016).

Uma vez que informações a respeito de boas práticas de manejo encontravam-se escassas, iniciou-se a busca pelo monitoramento dos indicadores do solo, visto que este tem grande importância para a preservação da qualidade, sustentabilidade agrícola e ambiental (LAZZARETTI et al., 2019). Essas mudanças no uso e manejo das terras podem promover alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (MOURA et al., 2019).

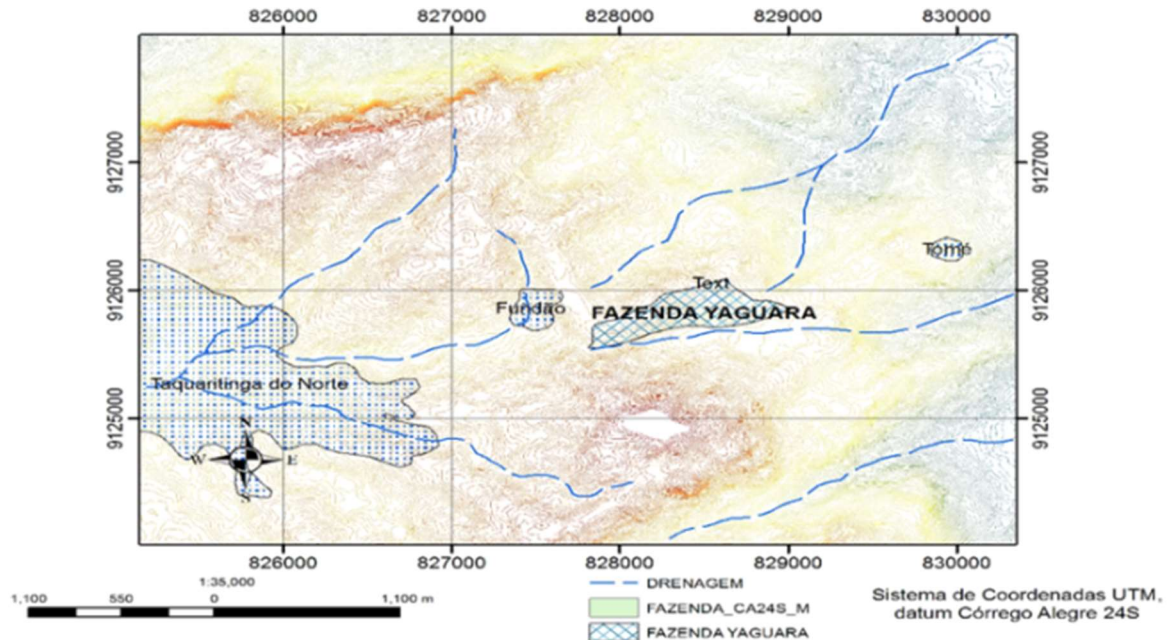
A avaliação conjunta dos atributos é importante para que haja a identificação de prováveis causas da falta de sustentabilidade de cultivos sucessivos e averiguar a qualidade do solo (OLIVEIRA SILVA et al., 2020). Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo utilizar parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo como indicadores nas mudanças no SAF em Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Fazenda Ecológica Yaguara ou Várzea da Onça, município de Taquaritinga do Norte, pertencente à unidade geoambiental do Planalto da Borborema, estado de Pernambuco, nas coordenadas geográficas 7° 53' 17" S e 36° 5' 33" W. Na área, o relevo predominante é denominado Brejo de Altitude, localizado as margens da rodovia estadual PE-130, a aproximadamente 12 km da PE-104. O solo da região é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico Típico, textura média/argilosa,

com horizonte A proeminente, vegetação local é do tipo floresta subperenifólia e relevo montanhoso (SANTOS et al., 2018).

Figura1 - Mapa de localização da área de estudo, fazenda ecológica Yaguara, Taquaritinga do Norte – PE.

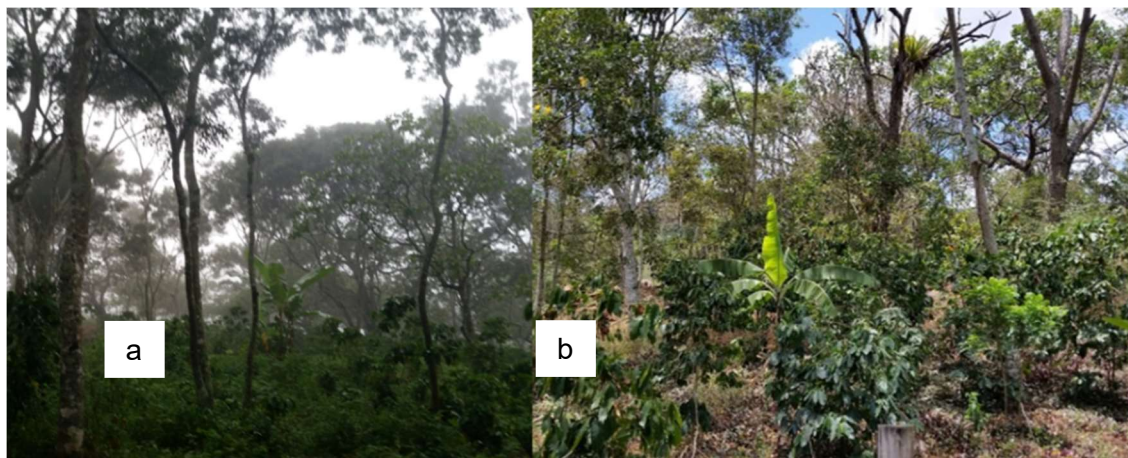


Fonte - Os autores, 2021.

O clima da região é classificado como Aw, de clima tropical com inverno seco, relevo montanhoso com vales profundos e estreitos; as maiores precipitações são registradas entre os meses de fevereiro a agosto, com média anual de 721 mm, temperatura média anual de 21°C e altitude entre 736 m e 1.100 m (KÖPPEN, 1948).

As áreas estudadas foram duas, uma com vegetação nativa como controle e outra com sistema agroflorestal.

Figura 2 - Área de Mata Nativa (a) e Sistema Agroflorestal (b) em Fazenda Ecológica Yaguara, Taquaritinga do Norte – PE



Fonte - Os autores, 2021.

Vegetação nativa: A área tem 4,57 ha, dividida em terço superior (7° 53' 23" S; 36° 2' 14" W), terço médio (7° 53' 25" S; 36° 2' 13" W) e terço inferior (7° 53' 26" S; 36° 2' 11" W), com grandes espécies de mangue entre 20 e 35 m de altura. Através do levantamento florístico, o local do experimento apresentou as seguintes espécies florestais: *Galezia gorazema* Moq., *Rosaceae Rubus* sp. Inga subnuda Salzm. ex Benth., *Caesalpinia leiostachya* Benth. Ducke, *Copaifera trapezifolia* Hayne, *Roupala cearaensis* Sleumer, *Cedrela* sp., *Terminalia* sp., *Oreopanax capitatum* Decne et Planch. var. *multiflorum* (DC.) E. March, *Manilkara rufula* (Miq.) Lam, *Aspidosperma pyricollum* Muell. Arg. - "pereiro brabo". *Bignoniaceae Tabebuia avellanadae* Lorentz ex Griseb. - "Pau-d'arco roxo" (SILVA, 2017).

Sistema agroflorestal: O cultivo utilizado foi o rústico com pouca alteração da mata. A área utilizada foi de 25,59 ha, dividida em terço superior (7° 52' 53" S; 36° 2' 32" W), terço médio (7° 52' 46" S; 36° 2' 35" W) e terço inferior (7° 52' 47" S; 36° 2' 29" W) com mais de dez anos de plantio do café *Coffea arabica* L. A porcentagem de sombra gerada pela vegetação nativa para o café foi em torno 75%. As mudas de café foram plantadas em 2013, em área de vegetação nativa, onde foram abertas covas com dimensões de 0,40 x 0,40 m de largura e profundidade, com distância de 2 m uma das demais. Os tratamentos culturais utilizados foram adubação orgânica com uso de esterco e cama de frango, desbaste com roçadeira manual, poda de árvores.

Em cada área foram abertas seis trincheiras, no sentido do declive, nas dimensões de 1,5 x 1,5 m e profundidade de 0,80 m, em três posições do relevo, terço superior – TS, terço médio – TM e terço inferior – TI, realizadas no ano de 2022, utilizando a metodologia de amostragem aleatória, com faixa de declividade de 8% conforme classificação da EMBRAPA (1979). Em cada trincheira, amostras de solo deformadas e indeformadas foram coletadas para análises físicas, químicas, nas profundidades de 0–20, 20–40 e 40–60 cm, e para microbiológicas amostras deformadas na profundidade 0–5 cm.

A análise granulométrica das partículas sólidas do solo foi realizada por meio do método do densímetro (GEE; OR, 2002). A densidade do solo foi obtida usando o método do anel volumétrico descrito por Grossman e Reinsch (2002). A Porosidade Total foi obtida pelo método direto, segundo Teixeira et al. (2017).

A porosidade total (Equação 1) foi realizada por meio da análise da Curva Característica de Retenção de Água no Solo - CCRAS, ao calcular inicialmente a porosidade do solo.

$$Pt = \frac{Vp}{Vt} \quad (I)$$

Em que: Pt é a porosidade total expresso em cm³ cm⁻³; Vp - corresponde ao volume ocupado pelos poros do solo expresso em cm³; Vt - volume total do cilindro expresso em cm³.

A macroporosidade do solo foi obtida, conforme sugerido por Prevedello (1996), segundo equação 2:

$$Ma = \frac{Vma}{Vt} \quad (II)$$

Em que: Ma - volume de macroporos, expresso em cm³ cm⁻³; Vma - volume de macroporos expresso em cm³; Vt - volume total do cilindro expresso em cm³.

A determinação dos mesoporos foi feita após o equilíbrio volume de água retido entre a tensão de 1 kPa e 6 kPa, sendo calculada conforme a equação 3:

$$Me = \frac{Vme}{Vt} \quad (III)$$

Em que: Me - mesoporosidade expresso em cm³ cm⁻³; Vme - volume de mesoporos expresso em cm³; Vt - volume do anel expresso em cm³.

A microporosidade foi obtida após o equilíbrio do volume de água retido entre a tensão 6 kPa e 1500 kPa, conforme equação 4:

$$Mi = \frac{Vmi}{Vt} \quad (IV)$$

Em que: Mi - microporosidade, expressa em cm³ cm⁻³; Vmi - volume de microporos expresso em cm³; Vt - volume do anel expresso em cm³.

A determinação dos criptoporos do solo foi feita com a diferença entre o peso do conjunto anel-solo equilibrado a 1500 kPa e o peso do conjunto anel-solo seco em estufa a 105°C por 24 horas, de acordo com a equação 6:

$$Cripto = \frac{V_{cripto}.Vt}{Da.Vt} \quad (V)$$

Em que: Cripto: criptoporosidade, expressa em $m^3 m^{-3}$; V_{cripto} : volume de criptoporos, obtido pela diferença entre o peso do solo equilibrado à 1500 kPa e o peso solo seco em estufa a 105°C por 24 horas, convertendo peso em volume, pela divisão pela densidade da água (Da); Vt: volume do solo, obtido pelo volume do anel volumétrico ($\pi r^2 h$), expresso em m^3 .

Nas análises químicas foram realizados a determinação dos elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} , P, Mn, Fe, Zn, Cu, B e Mo conforme Teixeira et al. (2017). A acidez potencial - H+Al, soma de bases - SB, capacidade de troca de cátions potencial - T, capacidade de troca de cátions efetiva - t, saturação por bases - V e saturação por alumínio - m, foram determinadas e calculadas de acordo com Teixeira et al. (2017).

Para as análises microbiológicas foram realizados: respiração basal do solo - RBS (ISERMEYER, 1952). A análise do carbono da biomassa microbiana - CBM foi feita pelo método de extração de irradiação (ISLAM; WEIL, 1998), e os extratos de C foram determinados usando o método de colorimetria (BARTLETT e ROSS, 1988). O quociente metabólico do solo - qCO_2 , foi obtido dividindo a respiração basal por unidade de CBM (ANDERSON e DOMSCH, 1993) e quociente microbiano - $qMIC$, obtido dividindo o CBM pelo C do solo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a realização dessas análises foi utilizado o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em geral, as topossequências estudadas expressaram textura franco argilo arenoso e os teores de argila variam de 239 e 269 $g kg^{-1}$ na profundidade de 0-20 cm no SAF (Tabela 1), sendo estes os menores para a profundidade, aumentando gradativamente até atingir valores entre 246 e 294 $g kg^{-1}$, nas demais profundidades.

Tabela 1 - Atributos físicos em sistema agroflorestal, Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brasil.

TP	Areia	Silte	Argila	DS
	----- $g kg^{-1}$ -----			$g cm^{-3}$
Profundidade 0-20 cm				
Sistema Agroflorestal - SAF				
TS	657,90	72,70	269,20	1,29 A
TM	683,20	77,50	239,10	1,17 A
TI	644,90	85,30	269,20	1,34 A
Mata Nativa - MN				
TS	644,50	74,00	280,10	1,26 A
TM	678,70	73,10	248,20	1,27 A
TI	662,40	74,90	262,60	1,29 A
Profundidade 20-40 cm				
Sistema Agroflorestal- SAF				
TS	659,50	75,00	265,30	1,29 AB
TM	655,60	78,70	265,50	1,15 B

TI	651,70	74,00	274,20	1,38 A
Mata Nativa - MN				
TS	650,60	75,40	274,00	1,24 A
TM	659,20	75,60	265,20	1,25 A
TI	692,10	76,60	231,30	1,26 A
Profundidade 40-60 cm				
Sistema Agroflorestal- SAF				
TS	623,00	82,70	294,20	1,26 AB
TM	676,30	77,00	246,60	1,25 AB
TI	654,30	74,10	271,50	1,42 A
Mata Nativa- MN				
TS	662,40	74,90	262,60	1,18 B
TM	642,20	72,70	285,10	1,20 B
TI	658,90	72,20±0,28	268,90	1,21 B

*Diferenças significativas são indicadas por letras diferentes pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas indicam diferenças entre as topossequências entre MN e SAF. TP- Topossequência; TS – Terço Superior; TS – Terço Médio; TI – Terço Inferior; DS – Densidade do Solo. Fonte - Os autores (2023).

Os teores de silte e a relação silte/argila encontrados apresentaram-se abaixo do necessário, fato comum em latossolos, semelhantes aos descritos por Bezerra et al. (2019). Situação que pode surgir em decorrência do alto grau de intemperismo da região, favorecido pelo clima tropical, junto aos altos índices pluviométricos, o que proporciona a formação de solos mais evoluídos e maduros do ponto de vista pedogenético, ao transformar compostos minerais em argila (FONTES, 2012; PEREIRA et al., 2021).

As densidades do solo (DS) apresentaram valores sem diferença significativa, com maiores proporções para o TI do SAF, em todas as profundidades (Tabela 1), efeito de possíveis movimentos de massa, constante e prolongado, decorrente da ação das chuvas e gravidade (ARAÚJO, 2019), acentuada principalmente pelo relevo, constituído de declives que favorecem o transporte de sedimentos.

No entanto, tais valores não comprometeram a qualidade do solo, pois indicam uma baixa compactação, o que contribui para o armazenamento de água, em comparação ao cultivo convencional (SILVA et al., 2015) que variam entre 0,90 e 1,35 g cm⁻³ (ARAÚJO; FERREIRA; CRUZ, 2004), ressaltando que valores acima podem estar diretamente ligados à atividade antrópica..

Em MN, na profundidade de 0-20 cm, constataram-se valores similares de DS, para os terços, com redução em profundidade (Tabela 1). Comportamento semelhante foi encontrado por Antunes e Shussler (2021), que argumentaram a consequência da baixa compactação, oriunda da elevada deposição e sustentação de MO pelo sistema radicular das plantas e microfauna, sujeito a ocorrer até mesmo em áreas com declives.

Em geral, a DS obteve maiores índices em profundidade, sendo esse efeito mais pronunciado na topossequências em estudo, evidenciando a natureza genética desse comportamento, comumente ligada à diminuição gradativa da atividade biológica, MO e porosidade, fatores inversamente proporcionais à densidade, o que influencia diretamente no desenvolvimento radicular que está sujeito a sofrer maior resistência física (FREITAS et al., 2017).

A porosidade total apresentou redução significativa, quando comparada às demais, em TI do SAF, decorrente da densidade que apontou os maiores valores. No entanto, esta última demonstra índices acima de 30%, o que facilita o desenvolvimento do sistema radicular das plantações, uma vez que tal comportamento contribui diretamente para o aumento da qualidade do solo (SILVA et al., 2021).

Tabela 2 - Porosidade do solo em sistema agroflorestal, Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brasil.

TP	Pt	Ma	Me	Mi		Cri
				Mi _{EB}	Mi _T	
----- cm ³ cm ⁻³ -----						
Profundidade 0-20 cm						
Sistema Agroflorestal - SAF						
TS	52,11 Aa	7,16 Aa	10,97 Aa	20,14 Aa	1,53 Ba	12,29 Ba
TM	49,12 Aa	6,73 Aa	11,32 Aa	18,68 Aa	2,43 Ba	9,95 Ba
TI	46,25 Aa	3,75 Aa	11,20 Aa	14,55 Ba	6,28 Aa	10,45 Ba
Mata Nativa - MN						
TS	48,43 Ab	5,93 Aa	10,31 Aa	11,18 Ba	2,51 Ba	18,49 Aa
TM	48,42 Ab	5,91 Aa	10,30 Aa	11,16 Ba	2,50 Ba	18,50 Aa
TI	48,44 Ab	5,90 Aa	10,28 Aa	11,14 Ba	2,52 Ba	18,48 Aa
Profundidade 20-40 cm						
Sistema Agroflorestal- SAF						
TS	51,63 ABa	9,86 Aa	10,24 Ba	17,31Aab	1,39 Ba	12,81 BCa
TM	52,31 Aa	4,52 Ba	15,65 Aa	15,15 ABa	2,25 Ba	14,73 ABa
TI	45,52 Ba	4,87 Ba	11,89 ABa	13,79 ABa	6,46 Aa	8,49 Ca
Mata Nativa- MN						
TS	50,11 ABab	5,87 ABa	11,21 ABa	11,94 Ba	1,73 Ba	19,34 Aa
TM	50,10 ABab	5,84 ABa	11,19 ABa	11,93 Ba	1,72 Ba	19,34 Aa
TI	50,09 ABab	5,82 ABa	11,17 ABa	11,91 Ba	1,70 Ba	19,34 Aa
Profundidade 40-60 cm						
Sistema Agroflorestal - SAF						
TS	52,84 Aa	7,99 Aa	13,18 Aa	16,08 ABb	1,54 Aa	14,03 ABa
TM	49,93 ABa	5,20 Aa	13,45 Aa	17,83 Aa	2,02 Aa	11,41 Ba
TI	45,22 Ba	4,26 Aa	12,44 Aa	15,24 ABa	4,33 Aa	8,94 Ba
Mata Nativa - MN						
TS	54,53 Aa	6,90 Aa	14,47 Aa	12,11 Ba	1,80 Aa	19,24 Aa
TM	54,50 Aa	6,92 Aa	14,43 Aa	12,10 Ba	1,82 Aa	19,23 Aa
TI	54,52 Aa	6,94 Aa	14,44 Aa	12,13 Ba	1,84 Aa	19,26 Aa

*Diferenças significativas são indicadas por letras diferentes pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas indicam diferenças, as topossequências e letras minúsculas indicam diferenças entre as profundidades do solo, entre MN e SAF. TP- Topossequência; TS – Terço Superior; TM – Terço Médio; TI – Terço Inferior; Pt – Porosidade Total; Ma – Macroporos; Me – Mesoporos; Mi – Microporos; Mi_{EB} – Microporos estruturais biológicos; Mi_T – Microporos texturais; Cri – Criptoporos. Fonte - Os autores (2023).

Os macroporos apresentaram os maiores valores em TS no SAF, em todas as profundidades, fato que, segundo Pinto, Chagas e Amaral (2018) pode ser explicado pela MO acumulada, que contribui diretamente para a regulação da água no solo.

O TI do SAF apresentou os menores índices de macroporos, nas camadas 0-20 e 40-60 cm, efeito que pode contribuir consideravelmente para a redução da cobertura vegetal da localidade, ao ocasionar o entupimento dos poros por partículas dispersas de sedimentos, minimizando as taxas de infiltração do solo (LAURO, 2021) tornando o solo instável.

Os mesoporos obtiveram valores médios, sem diferenças significativas em relação às profundidades. A quantidade de MO no solo presente, possibilitou maior agregação e estruturação ao solo (RAZAFIMBELO et al., 2008), intensificando a ausência de diferenças entre as topossequências com a MN. Tal observação

pode ser feita, também, na profundidade 0-20 cm, que por ter o maior índice de manejo, não demonstrou variações consideráveis tanto para o SAF, quanto para as áreas de MN, por possuir cobertura florestal em toda a sua extensão.

Em relação aos microporos, o SAF foi o que obteve os maiores índices em camadas superficiais, demonstrando eficiência no que se refere à retenção de água no solo, ao disponibilizar maiores quantidades às plantas, enquanto que, MN apresentou índices inferiores, com acréscimo em 40-60 cm, quando se trata de profundidade (Tabela 2).

Com índices de microporos que representam, em média, 40% da porosidade total, os solos do SAF apresentaram os melhores resultados, em todas as profundidades e zonas de estudos, de acordo com Bertalot (2009). Já nas zonas de MN, os microporos correspondem a índices menores que 1/3 de toda a porosidade, o que classifica o solo como não ideal.

Os criptoporos apresentaram valores médios superiores aos demais, em todas as profundidades e áreas de estudo da MN (Tabela 2). Tal fato aconteceu devido à presença de argila que compõe a estrutura do solo, resultando em grandes quantidades de poros que retêm a água, impedindo a sua disponibilização para as plantas (KLEIN, 1998).

No geral, não houve diferenças para os teores de nitrogênio entre as topossequências e profundidade (Tabela 3), para a camada 0-20 cm. Em termos de valores médios, foi possível observar que os maiores teores de nitrogênio foram em TS do SAF, tanto entre as demais posições do relevo e profundidades em estudo.

Tabela 3 - Atributos químicos em sistema agroflorestal, Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brasil.

TP	N	C	C/N	P	K	Ca	Mg
	-----g kg ⁻¹ -----			mg kg ⁻¹	-----cmol _c kg ⁻¹ -----		
Profundidade 0-20 cm							
Sistema Agroflorestal-SAF							
TS	1,31 Aa	26,20 Aa	20,3 Aa	5,13 Aa	0,36 Aa	4,62 Aa	2,75 Aa
TM	1,07 Aa	18,48 ABa	17,25 Ab	5,30 Aa	0,15 Ba	0,6 Ca	0,39 Ca
TI	1,01 Aa	17,28 Ba	17,09 Aa	8,07 Aa	0,28 ABa	1,83 Ba	1,69 Ba
Mata Nativa-MN							
TS	1,15 Aa	20,09 ABa	17,48 Ab	7,00 Aa	0,18 Ba	0,88 BCa	0,70 Ca
TM	1,13 Aa	20,06 ABa	17,47 Ab	7,03 Aa	0,17 Ba	0,89 BCa	0,73 Ca
TI	1,10 Aa	20,04 ABa	17,49 Ab	7,01 Aa	0,15 Ba	0,85 BCa	0,76 Ca
Profundidade 20-40 cm							
Sistema Agroflorestal-SAF							
TS	1,21 Aa	22,32 Aa	18,65 Aab	3,67 Aa	0,31 Aab	2,91 Ab	2,41 Aa
TM	0,90 Aab	16,55 Aa	18,28 Ab	4,25 Aab	0,12 Ba	0,51 Ba	0,30 Ca
TI	0,77 Aab	14,44 Aa	18,91 Aa	6,96 Aa	0,22 ABab	1,29 Bab	1,14 Ba
Mata Nativa-MN							
TS	0,98 Aa	18,69 Aa	19,15 Ab	6,33 Aa	0,14 Bab	0,69 Ba	0,53 BCa
TM	0,96 Aa	18,67 Aa	19,16 Ab	6,35 Aa	0,18 Bab	0,68 Ba	0,55 BCa
TI	0,94 Aa	18,61 Aa	19,19 Ab	6,36 Aa	0,16 Bab	0,65 Ba	0,51 BCa
Profundidade 40-60 cm							
Sistema Agroflorestal-SAF							
TS	0,90 Aa	14,43 ABb	15,9 Bb	2,28 Aa	0,23 Ab	2,66 Ab	1,69 Ab
TM	0,53 ABb	11,79 ABa	22,09 Aa	1,85 Ab	0,06 Ba	0,33 Ba	0,23 Ba
TI	0,39 Bb	6,79 Bb	17,37 Aa	1,96 Ab	0,15 ABb	0,61 Bb	0,45 Bb
Mata Nativa-MN							
TS	0,74 ABa	17,85 Aa	24,27 Aa	4,95 Aa	0,06 Bb	0,45 Ba	0,26 Ba
TM	0,72 ABa	17,84 Aa	24,28 Aa	4,96 Aa	0,09 Bb	0,48 Ba	0,23 Ba
TI	0,76 ABa	17,87 Aa	24,24 Aa	4,99 Aa	0,03 Bb	0,47 Ba	0,21 Ba

*Diferenças significativas são indicadas por letras diferentes pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas indicam diferenças as topossequências e letras minúsculas indicam diferenças entre as profundidades do solo, entre MN e SAF. TP- Topossequência; TS – Terço Superior; TM – Terço Médio; TI – Terço Inferior; MN – Mata Nativa; N- Nitrogênio; C – Carbono; C/N – Relação Carbono/Nitrogênio; P – Fósforo; K – Potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Na – Sódio. Fonte - Os autores (2023).

Barbosa et al. (2020) descreve que esse fato ocorre devido à presença de MO nesta região que, ao ser processada por microrganismos, libera proporções consideráveis de nitrogênio às plantas, além de promover melhorias à estrutura do solo, o que amplia o percentual de macroporosidade, conforme descreve a Tabela 1, o que também foi encontrado por Meloni et al. (2018).

Nas camadas 20-40 e 40-60 cm, foi constatada redução de N em todas as topossequências, em ambas as áreas de estudo (Tabela 3), decorrentes da concentração de MO na superfície, oriunda do desprendimento natural da parte aérea das árvores e da elevada concentração do sistema radicular na camada 0-20, conforme descrito e constatado por Mendonça et al. (2018).

Em TM e TI do SAF, as maiores perdas foram observadas na profundidade 40-60 cm, o que resulta em um solo instável, com redução de MO e N (LAURO, 2021), caso semelhante ao encontrado por Silva et al. (2020).

Em camadas superficiais, os índices apresentaram-se baixos, o que pode estar condicionado à massa microbiana, pois ao realizarem a degradação de MO, os microrganismos assimilam o nitrogênio em seu protoplasma, tornando grande parte do nutriente, presente no solo, indisponível às plantas (FERNANDES JÚNIOR, 2021).

Em relação ao carbono, foi possível observar que houve diferença significativa na camada 0-20, entre TS e TI para os teores de C, no SAF (Tabela 3), o que segundo Bastos (2021), pode estar ligado à serapilheira, considerada fonte essencial deste elemento, que proporciona MO ao solo, o que também foi encontrado por Silva e Cogo (2020).

No TI, do SAF, para os teores de C (Tabela 3), o índice encontrado justifica-se pelo aumento da densidade do solo (Tabela 1) e movimentações de massa, fenômenos que influenciam diretamente na deposição de MO, minimizando consideravelmente os teores de nutrientes (LAURO, 2021), situação constatada por Sales et al. (2018).

Na camada 20-40 cm, foi observado que não houve diferenças significativas entre as topossequências para os teores de C, tanto para o SAF, quanto para MN (Tabela 3), o que pode estar ligado à ausência de revolvimento do solo e a dinâmica do carbono que se apresenta com pouca variação em áreas de MN e SAF, conforme Oliveira Carvalho et al. (2020).

Nos teores de C foram detectadas redução gradativa, conforme o aumento da profundidade, em relação a primeira camada, em termos de valores médios (Tabela 3). Isto ocorreu, devido à baixa quantidade de MO do solo e raízes que predominam as camadas superficiais (MENDONÇA et al., 2017), corroborando com os resultados encontrados por Freitas et al. (2017).

Na profundidade 40-60 cm, foi possível observar diferenças significativas entre os terços de MN e o TI do SAF, quando se trata dos teores de C (Tabela 3). Este fato ocorreu devido à MN tratar-se de um ambiente com elevada diversidade arbórea, compostas, geralmente, por um sistema radicular espesso e profundo, o que permite tal incremento segundo Mendonça et al. (2017), descrito também por Melloni et al. (2018).

As relações C/N não apresentaram diferenças significativas entre as topossequências nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm, exceto em 40-60 cm para o TS do SAF, que obteve redução (Tabela 3), em decorrência da perda de C, em profundidade, visto que grande parte do sistema radicular do SAF, concentram-se nas primeiras camadas do solo, armazenando os nutrientes neste intervalo (FREITAS et al., 2017; MENDONÇA et al., 2017).

Verificando a comparação entre as profundidades foram observados em 0-20 cm, maiores valores significativos em relação a 40-60 cm para TS do SAF (Tabela 3), comportamento que se justifica pela

elevada concentração de serapilheira em camadas superficiais o que implica em agilidade na liberação de energia, e retardamento na decomposição da MO, tornando o nitrogênio imobilizado pelos microrganismos (BEGNINI, 2019; BASTOS, 2021).

No TM do SAF foi observado na profundidade 40-60 cm apresentou maior valor médio significativo em relação às profundidades 0-20 e 20-40 cm (Tabela 3). Esse fato ocorreu devido à redução dos teores de N, que por se tratar de uma relação inversamente proporcional a C, colabora com o aumento do fator C/N, o que interfere diretamente no desenvolvimento vegetal e, conseqüentemente, no balanço nutricional (MELO et al., 2022).

Para MN, os resultados médios apresentaram-se constantes nas topossequências, com aumento significativo na camada 40-60 cm (Tabela 3). Isso ocorreu devido o alto índice radicular e diversidade vegetal, o que resulta na disposição de nutrientes em um intervalo considerável, quando se trata da profundidade do solo, caso descrito e verificado por Mendonça et al. (2017).

Não foram observadas diferenças significativas para o P, no entanto os maiores incrementos médios encontram-se em camada superficial de MN, tendo em vista a diversidade de serapilheira e a possível ausência de revolvimento do solo (BEZERRA et al., 2018; SANTOS; LIMA; SANTOS, 2019; BAPTISTELLA, 2020; LIMA, 2021; RIBEIRO, 2021).

O SAF apresentou menores valores médios significativos para o P na profundidade 40-60 cm em relação às demais profundidades e áreas de estudo (Tabela 3). Isso ocorreu devido ao aumento da densidade do solo (Tabela 1), que resultam em reações como a baixa respiração, limitações no desenvolvimento do sistema radicular e absorção de nutrientes (ARAÚJO, 2019; ESPINOSO et al., 2019).

Além disso, a redução significativa de MO e, conseqüente, volume de raízes, em profundidade, também contribui diretamente para os baixos teores de P, assim como o índice de argila presente no solo que, influenciado pela movimentação de massa, reduz consideravelmente a sua disponibilidade, em virtude da sua alta reatividade com os cátions de Ca, situação muito comum em solos intemperizados (BAPTISTELLA, 2020; SCOPEL, 2022).

Analisando as concentrações de K, o TS do SAF apresentou valores médios superiores em relação às demais topossequências e em todas as profundidades em estudo (Tabela 3), em virtude da alta concentração de MO e estabilidade do solo, o que o classifica como fértil, quando comparado aos demais (EMERICK, 2018; BRAVIN et al., 2019).

Outros fatores como a presença de minerais primários e secundários, assim como a ciclagem dos nutrientes pelas plantas, também contribuem diretamente com a maior disponibilidade de K no solo, ao manter o gradiente de concentração, que permite o processo de difusão junto à superfície do sistema radicular (GONÇALVES et al., 2018; SANTOS; ARAGÃO; KATO, 2018)

Observando os valores médios entre as profundidades, a profundidade 0-20 cm apresentou os maiores valores de K para o SAF (Tabela 3). Segundo Butzke et al. (2020), a camada superficial do solo é classificada como a mais fértil, uma vez que detém os maiores índices de nutrientes, como o potássio, que associado à falta de revolvimento, concentra grande quantidade de MO neste intervalo, sendo esperado redução em profundidade. Tendo em vista que grande parte do sistema radicular do SAF concentra-se nesta camada, tal feito tornou-se benéfico aos indivíduos, já que este elemento é assimilado em grandes quantidades durante o processo fotossintético e de absorção de água pelas raízes (BEZERRA et al., 2018; HENRIQUE, 2020).

Observando as concentrações de Ca e Mg foi verificado que os maiores valores médios foram encontrados, em todas as profundidades, no TS do SAF (Tabela 3), o que explica-se pela estabilidade do solo, composto por diversos elementos, entre eles os carbonatos, sulfatos e silicatos, que são excelentes fontes de cálcio (BARROS, 2020), além de magnésio, o que se torna essencial, em detrimento deste elemento possuir alta mobilidade no solo e apresentar diversos processos de ciclagem dentro dos ecossistemas, o que beneficia diretamente os sistemas agrícolas (SANTANA et al., 2020).

De acordo com os resultados de Ludwig, Lajús e Cericato (2018), o nordeste brasileiro possui cálcio em maior quantidade, com altas taxas de argila e húmus, visto que tais constituintes possuem cargas negativas, que atuam diretamente na fixação de Ca no solo.

Entre as profundidades a 0-20 cm, o TS do SAF foi o que apresentou maiores valores médios em concentração de Ca e Mg (Tabela 3). Segundo Barcellos (2021), este comportamento pode estar relacionado à baixa mobilidade deste elemento no solo, sendo essencial no desenvolvimento dos fluxos celulares a fim de evitar estímulos externos que resultem em estresse vegetal.

Comportamentos semelhantes a este também foram encontrados por Bravin et al. (2019), onde os maiores teores de cálcio e magnésio estavam dispostos na camada superficial do solo, com base em estudos realizados em uma área de SAF. No entanto, os elementos apresentaram proporções máximas iguais a 2,26 cmolc dm⁻³, e 1,46 cmolc dm⁻³, para o cálcio e magnésio, respectivamente, resultados abaixo do encontrado neste estudo.

O elemento Na não apresentou diferenças significativas entre as topossequências. Os maiores valores médios foram observados em TM do SAF, sendo que em 40-60 cm, o TM de MN também obteve o mesmo comportamento, situação benéfica, visto que altos teores interferem negativamente no crescimento das plantas, ao deixar o solo improdutivo e com baixo aproveitamento (BLANCO et al., 2018).

Segundo Melo et al. (2022), tal ação pode ser justificada pelo relevo da área, tendo em vista que esta possui características de declive, o que permite, em estações chuvosas, a deposição de sais, oriundas de águas de drenagem, que escoam das regiões mais altas. Situação similar a esta, foi encontrada por Castro e Santos (2020), em um estudo realizado na região semiárida, onde as maiores concentrações foram detectadas em regiões de declive, em decorrência do escoamento por efeito gravitacional.

Nas profundidades 0-20 e 20-40 cm foram observadas maiores valores médios em termos gerais, para o TM do SAF, sem diferenças significativas (Tabela 3). Situação que está diretamente ligada à presença de elementos em camadas superficiais, dado que estes realizam a competição dos sítios de troca do solo, o que resultam em movimentações e processos de lixiviação (BEZERRA et al., 2018). MUNDIN et al. (2018), em pesquisas realizadas, também encontrou comportamentos semelhantes, onde as maiores proporções médias de Na, concentram-se em camadas iniciais do solo.

O parâmetro pH do solo, apresentou maiores valores médios com diferença significativa para TS do SAF, em todas as profundidades estudadas (Tabela 4), o que segundo Sousa et al. (2020), são efeitos diretos da elevada presença de MO e estabilidade do solo.

Resultado similar foi encontrado por Henrique, Maltoni e Faria (2020), onde tal condição surge em decorrência da baixa saturação por alumínio e altas concentrações de MO que, ao reagirem com elementos presentes no solo, aumentam as bases, e consequentemente, o pH da região.

Para o SAF, os maiores valores médios encontram-se na profundidade 40-60 cm, comportamento que surge em decorrência da redução de alumínio em profundidade, o que reduz os níveis de acidez de solo, que aliado à MO e os elementos como o cálcio contribuem para o aumento do potencial hidrogeniônico (PEREIRA et al., 2021), comportamento contrário ao descrito no presente estudo

Caso semelhante ao encontrado por Bravin et al. (2019), em relação ao primeiro aspecto, com divergência para as camadas do solo, onde o autor constatou maior valor médio na camada 0-10 cm, sendo este 5,50, em virtude das maiores concentrações de MO e cálcio, que influenciam diretamente os índices de acidez ou alcalinidade do solo.

Tabela 4 - Atributos químicos em sistema agroflorestal, Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brasil.

TP	pH	Al	H+Al	SB	T	t	V	m
	-----cmol _c kg ⁻¹ -----						-----%-----	
Profundidade 0-20 cm								
Sistema Agroflorestal-SAF								
TS	5,19 Aa	0,11 Ca	4,60 Ba	7,93 Aa	12,54 Aa	8,05 Aa	63,23 Aa	1,46 Ca
TM	4,11 Ba	1,91 Aa	7,75 Aa	1,35 Ba	9,11 Ba	3,27 Ba	14,7 Ba	59,34 Ab
TI	4,23 Ba	0,08 Cb	3,85 Cab	4,00 Ba	7,86 Ba	4,08 Ba	50,91 Aa	2,01 Cc
Mata Nativa-MN								
TS	4,12 Ba	1,32 Bb	7,41 Aa	1,94 Ca	9,36 Ba	3,26 Ba	20,74 Ba	40,46 Bc
TM	4,10 Ba	1,30 Bb	7,48 Aa	1,98 Ca	9,39 Ba	3,24 Ba	20,73 Ba	40,43 Bc
TI	4,16 Ba	1,35 Bb	7,46 Aa	1,92 Ca	9,32 Ba	3,21 Ba	20,70 Ba	40,40 Bc
Profundidade 20-40 cm								

Sistema Agroflorestal-SAF								
TS	5,27 Aa	0,09 Da	4,76 Ba	5,83 Ab	10,59 Ab	5,92 Ab	55,04 Aa	1,56 Da
TM	4,13 Ba	1,89 Aa	7,67 Aa	1,14 Cab	8,81 Aa	3,04 Ba	12,97 Ba	62,83 Ab
TI	4,17 Ba	0,63 Ca	3,57 Cb	2,86 Bb	6,43 Bab	3,50 Ba	43,95 Aa	18,64 Cb
Mata Nativa-MN								
TS	4,18 Ba	1,48 Bb	7,59 Aa	1,52 Ca	9,11 Aa	3,00 Ba	16,63 Ba	49,17 Bb
TM	4,15 Ba	1,49 Bb	7,57 Aa	1,51 Ca	9,15 Aa	3,02 Ba	16,60 Ba	49,16 Bb
TI	4,11 Ba	1,42 Bb	7,55 Aa	1,54 Ca	9,10 Aa	3,06 Ba	16,62 Ba	49,12 Bb
Profundidade 40-60 cm								
Sistema Agroflorestal-SAF								
TS	5,41 Aa	0,09 Da	4,45 Ba	4,80 Ac	9,25 Ab	4,90 Ab	51,9 Aa	1,99 Ca
TM	4,34 Ba	1,85 Ba	7,63 Aa	0,77 Bb	8,41 Aa	2,63 Ba	9,24 Ca	70,49 Aa
TI	4,24 Ba	0,62 Ca	4,24 Ba	1,34 Bc	5,58 Bb	1,96 Bb	23,97 Bb	31,70 Ba
Mata Nativa-MN								
TS	4,06 Ba	2,37 Aa	7,51 Aa	0,88 Bb	8,39 Aa	3,26 Ba	10,55 Ca	72,87 Aa
TM	4,08 Ba	2,32 Aa	7,56 Aa	0,85 Bb	8,37 Aa	3,22 Ba	10,54 Ca	72,85 Aa
TI	4,09 Ba	2,34 Aa	7,50 Aa	0,81 Bb	8,32 Aa	3,28 Ba	10,51 Ca	72,81 Aa

*Diferenças significativas são indicadas por letras diferentes pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$). Letras maiúsculas indicam diferenças as toposseqüências e letras minúsculas indicam diferenças entre as profundidades do solo, entre MN e SAF. TP- Topossequência; TS – Terço Superior; TS – Terço Médio; TS – Terço Inferior; MN – Mata Nativa; pH – potencial hidrogênio Al- alumínio trocável; H+Al - acidez potencial, SB - soma de bases; T - capacidade de troca catiônica a pH 7,0; t - capacidade de troca de cátions efetiva; V - saturação por bases; m – saturação por alumínio. Fonte - Os autores (2023).

O elemento Al obteve diferença significativa, com maiores valores médios para o TM do SAF, nas profundidades 0-20 e 20-40 cm. Comportamento que surge em decorrência do baixo teor de Ca e Mg (Tabela 03), que regulam o pH da região, uma vez que tais elementos agem prontamente na redução da acidez do solo (PEIXOTO et al., 2019), o que também foi encontrado por Lopes et al. (2019), nas camadas superficiais em sistemas de cultivo de café, com índice similar ao descrito na profundidade 0-20 cm.

Analisando as proporções em profundidade, foi possível perceber aumento nos teores de Al em MN, na camada 40-60, em todos os terços estudados (Tabela 4), ligados à redução do pH, tendo em vista que estes são inversamente proporcionais, além da presença de MO, que encontra-se em maior abundância nas zonas superficiais do solo (SILVA et al., 2022).

Comportamento similar foi encontrado por Melo et al. (2022), na região norte do Brasil, em áreas de capoeira, onde os índices foram igual a 1,14 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, quando comparado a SAFs, o que leva o autor a afirmar que tal ocorrência surge em detrimento da variação do potencial hidrogeniônico em profundidade.

Os valores da acidez potencial apresentaram diferenças consideráveis, onde as maiores médias foram encontradas em TM, para o SAF, e MN em todas as camadas (Tabela 4). Segundo pressupõe Santos et al. (2021), tal comportamento pode resultar em um alto poder tampão no solo, ou seja, o mesmo apresentará grandes resistências para elevar o seu pH, devido às altas taxas de alumínio presentes.

Altos teores de H+Al, também foram encontrados por Bezerra et al. (2019), onde os principais acúmulos foram detectados em MN, no entanto, houve decréscimo em profundidade, com índices entre 8,83 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e 6,99 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, contrariando os resultados deste estudo, que apresentou leve aumento na camada 20-40 e queda em 40-60 cm.

Em profundidade foi verificado incremento nos teores de H+Al, para a zona TI do SAF (Tabela 4). Santos et al. (2021a) explica que tal acréscimo, surge em decorrência ao aumento de Al em camadas mais profundas e redução da capacidade de troca catiônica, assim como MO, que interferem desfavoravelmente no aumento de bases, ao elevar a acidez do solo. Melo et al. (2022) relatam comportamento similar em plantações de mandioca, com teores que aumentam de 5,28 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para 5,76 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, conforme as camadas se aprofundam.

Em relação à soma de bases, os maiores índices foram encontrados no TS da agrofloresta, em todas as profundidades (Tabela 4), em virtude de esta região apresentar os maiores teores de Ca, Mg e K, demonstrando comportamento benéfico, uma vez que os altos índices de SB estão diretamente ligados a fertilidade natural do solo, sendo estes diretamente proporcionais (SOUZA et al., 2020).

Em estudos realizados em neossolos, Farias et al. (2020) encontraram respostas semelhantes, onde os maiores valores se concentraram no agroecossistema, quando analisado junto à MN e ainda afirma que características como o relevo e o manejo podem contribuir para o aumento de tal atributo.

Verificou-se ainda leve redução de SB em MN, de acordo com o aumento da profundidade (Tabela 04), situação que está ligada à redução dos teores de nutrientes no solo, que tendem a reduzir conforme aumenta a profundidade (COSTA et al., 2019), caso similar ao indicado por Melo et al. (2022) que diferiu de 0,96 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para 0,88 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$.

No que se refere à Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 (T) ou total, os maiores valores médios foram encontrados no TS do SAF (Tabela 4), por se tratar de uma região onde o solo apresenta maior estabilidade e MO, que segundo Poton et al. (2018), possuem grande potencial de absorção de nutrientes catiônicos.

Melo et al. (2022) obteve resultados semelhantes, onde o SAF apresentou os índices iniciais iguais a 7,07 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ com redução em profundidade, assim como neste estudo, ocasionada pela baixa nos teores de MO, e enfatiza que esta contribui consideravelmente para a elevação de T, podendo em solos tropicais, representar valores próximos ou até superiores a 80% do seu valor total.

Analisando os comportamentos conforme a profundidade, foi possível perceber redução em T, nos terços, tanto no SAF, como em MN (Tabela 4), reação ocasionada pela baixa nas porções de MO disponível no solo, dado que este elemento é imprescindível para a elevação de T (BRAVIN et al., 2019), reação semelhante ao apontado por Pavan et al. (2018) em estudos constituídos em agroflorestas.

No que corresponde ao parâmetro de Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), os maiores valores médios foram encontrados em TS para o SAF (Tabela 4), o que indica uma excelente qualidade do solo em realizar trocas de cátions, resultado da presença de MO, argila e elementos como o Ca, Mg e K (POTON et al., 2018), o que comprova os resultados encontrados para T, corroborados com as pesquisas de Melo et al. (2022).

Verificou-se redução das proporções conforme o aumento de profundidade, com maiores perdas médias em TM e TI no SAF (Tabela 4), em decorrência do aumento nos teores de alumínio (Al) e acidez potencial (H+Al), que interferem negativamente no processo de troca de cátions efetivos (PEREIRA et al., 2021), comportamento que difere dos resultados encontrados por Monteiro et al. (2018), onde constatou-se aumento em profundidade para as áreas inferiores.

Em relação à saturação por bases, os maiores índices foram detectados para o TS do SAF, apresentando o mesmo comportamento da Soma de Bases (SB) (Tabela 4), o que indica estabilidade no solo da região, devido à presença de nutrientes essenciais e MO, que resulta em excelentes níveis de fertilidade (SOARES et al., 2021).

Estudos realizados por Bezerra et al. (2018), mostram que os maiores valores também foram encontrados no SAF, diferindo apenas na redução em profundidade, onde a área de pastagem obteve maiores proporções.

Em profundidade, foi possível perceber baixa nos teores de V tanto no SAF, como em MN (Tabela 4), em decorrência da baixa de nutrientes e MO, enquadrando-se no nível crítico de fertilidade, sendo recomendados índices entre 50 e 70% (COSTA et al., 2019).

Corrêa et al. (2019) obtiveram resultados semelhantes em solos com diferentes sistemas agroflorestais, atribuindo os efeitos de tal comportamento à baixa fração de MO presente no solo e ao lento processo de decomposição que acontece em profundidade.

Para a saturação por alumínio (m), em camadas superficiais, os maiores valores foram obtidos no TM do SAF (Tabela 4), em consequência da elevada concentração de Al e H+Al, o que caracteriza o solo como ácido, podendo, este, apresentar toxicidade às plantas, na medida em que interfere no desempenho e nas atividades vitais da vegetação local (GORSKI et al., 2019; COSTA et al., 2019).

Efeitos semelhantes foram encontrados no SAF caracterizado em investigações de Melo et al. (2022), onde as camadas superficiais apresentaram as maiores grandezas, comparada a outros plantios e capoeira, em detrimento da baixa saturação por bases, corroborando com o comportamento perceptível neste estudo.

Em profundidade, observou-se aumento nos teores de m em todas as toposequências, com maiores teores para as áreas de MN (Tabela 4). Os níveis aceitáveis de 10%, sendo necessária a aplicação de medidas corretivas no solo, como a gessagem, a fim de minimizar a acidez (PICCIN; AMADO; FIORIN, 2022) o que

difere dos descritos por Emerick et al. (2021), que apresentou estabilidade nas camadas superficiais e redução em profundidade, com variação de 6,45% para 5,25%, ocasionado por leve redução de Al e H+Al.

Para o elemento boro, não houve diferenças significativas para as topossequências, tanto para o SAF, quanto para MN (Tabela 5), com exceção, apenas do TS do SAF, que apresentou as maiores quantidades, na camada 0-20, devido ao maior acúmulo de MO, por serapilheira, considerada uma das maiores retentoras deste nutriente, do pH, mais elevado que os demais, e dos baixos índices de alumínio no solo, segundo Tomicioli et al. (2020).

Tabela 5 - Microelementos dos solos em sistema agroflorestal, Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brasil.

TP	B	Cu	Mn	Zn	Fe
	-----mg kg ⁻¹ -----				
Profundidade 0-20 cm					
Sistema Agroflorestal-SAF					
TS	0,51 Aa	0,85 Aa	7,10 Aa	5,07 Aa	137,00 Aa
TM	0,38 Ba	0,41 Ba	1,68 Ba	0,53 Ca	163,75 Aa
TI	0,34 Ba	0,61 ABa	7,88 Aa	2,93 Ba	81,25 Ba
Mata Nativa-MN					
TS	0,35 Ba	0,54 Ba	3,97 ABa	1,59 BCa	144,75 Aa
TM	0,34 Ba	0,57 Ba	3,99 ABa	1,54 BCa	144,77 Aa
TI	0,31 Ba	0,52 Ba	3,93 ABa	1,52 BCa	144,73 Aa
Profundidade 20-40 cm					
Sistema Agroflorestal-SAF					
TS	0,44 Aa	0,58 Ab	6,05 Aa	4,07 Aa	128,00 Aa
TM	0,34 ABa	0,35 Aa	1,38 Ba	0,50 Ca	152,50 Aa
TI	0,31 Ba	0,51 Aa	6,60 Aa	2,41 ABa	69,50 Ba
Mata Nativa-MN					
TS	0,31 Ba	0,47 Aa	2,97 ABa	1,48 BCa	137,50 Aa
TM	0,33 Ba	0,42 Aa	2,96 ABa	1,43 BCa	137,55 Aa
TI	0,35 Ba	0,41 Aa	2,92 ABa	1,41 BCa	137,51 Aa
Profundidade 40-60 cm					
Sistema Agroflorestal-SAF					
TS	0,32 Ab	0,32 Ac	0,50 Ab	0,53 Ab	68,75 Cb
TM	0,34 Aa	0,28 Aa	0,65 Aa	0,57 Aa	111,00 Bb
TI	0,26 Aa	0,38 Aa	0,87 Ab	0,68 Ab	50,50 Ca
Mata Nativa-MN					
TS	0,28 Aa	0,39 Aa	1,18 Aa	1,30 Aa	149,00 Aa
TM	0,26 Aa	0,34 Aa	1,19 Aa	1,31 Aa	149,05 Aa
TI	0,22 Aa	0,31 Aa	1,12 Aa	1,36 Aa	149,07 Aa

*Diferenças significativas são indicadas por letras diferentes pelo teste Tukey a 5% de significância (P≤0,05).

Letras maiúsculas indicam diferenças as topossequências e letras minúsculas indicam diferenças entre as profundidades do solo, entre MN e SAF. TP- Topossequência; TS – Terço Superior; TM – Terço Médio; TI – Terço Inferior; MN – Mata Nativa; B – Boro; Cu – Cobre; Mn – Manganês; Zn – Zinco; Fe – Ferro. Fonte - Os autores (2023).

Resultados similares foram encontrados por Sperandio et al. (2022) em áreas com cultivo de leguminosas, corroborados pela MO em camadas superficiais, em virtude da deposição de serapilheira. Conforme se aumenta a profundidade, foi possível perceber incremento de B nas demais topossequências, sendo tal feito benéfico para o cultivo, posto que eleve consideravelmente a produtividade e a qualidade dos grãos, além de reduzir a perda de nutrientes por lixiviação, conforme ressalta Flores et al. (2018). Contrariando os resultados obtidos por Bezerra et al. (2018), onde foi constatado redução em profundidade nas áreas tanto do SAF, quanto de pastagem.

No que tange ao elemento cobre, em camada superficial, as maiores concentrações foram encontradas em TS para o SAF (Tabela 5). Comportamento benéfico para o café, uma vez que atua diretamente nos processos de crescimento e produção do grão, além de atuar na inibição de fungos, bactérias e fenômenos como a ferrugem, conforme explana Matiello (2020). O que divergiu dos resultados descritos por Oliveira Neto et al. (2022) em cultivares de café paraibano, onde este último apresentou índices inferiores ao necessário para o desenvolvimento vegetal.

De acordo com a profundidade, verificou-se considerável redução nos teores para a camada 40-60, principalmente em TS no SAF (Tabela 5). Assim como nos estudos realizados por Bezerra et al. (2018), onde as zonas de pastagem obtiveram menores teores em comparação ao SAF.

O microelemento Mn apresentou elevada concentração em camada superficial, para TS no SAF (Tabela 5). O que pode ser explicado pela estabilidade do solo local, quando comparado aos demais deste estudo, uma vez que baixas concentrações foram detectadas, principalmente, em ambiente onde há baixa umidade e quantidades de MO insuficientes, além de elevado pH, variável que inibe a sua disponibilidade no solo (VENDRUSCOLO; RAIMUNDO; SCHONINGER, 2020). Comportamento que corrobora com os estudos realizados por Maia e Conte (2019), onde grandes taxas desse elemento concentraram-se na fase superficial do solo.

Na profundidade 40-60 cm, os maiores teores de Mn concentraram-se em MN (Tabela 5). Diante deste contexto, pode resultar em reações negativas para o SAF, tendo em vista que baixas concentrações reduzem a fotossíntese, processo relevante para o crescimento e produtividade tanto do indivíduo, quanto dos grãos (MATIELLO et al., 2021). Caso inverso ao descrito por Bezerra et al. (2018), onde o SAF apresenta as maiores proporções.

Para o Zn, em camadas iniciais, foram encontradas diferenças significativas entre as topossequências, com maiores concentrações no TS no SAF (Tabela 5). O que se considera efeito da elevada presença de MO no solo, sendo tal componente essencial na formação de enzimas que colaboram com o crescimento vegetal, além da influência do pH, que conforme se eleva, facilita a formação de íons disponíveis (ROCHA et al., 2019), assim como descrito por Mundim et al. (2018).

Analisando os demais resultados, verificou-se redução considerável em TM em 0-20 cm, relacionado à topossequência, e para TS e TI, quanto à profundidade, nas camadas 40-60 cm, ambos no SAF (Tabela 5). Ação que surge em decorrência do aumento no acúmulo de fósforo nos referidos pontos, o que resulta em competição entre os dois elementos, inibindo a concentração de Zn no solo, que em baixas frações, pode ocasionar redução foliar dos indivíduos e desarranjo metabólico, devido a interferências no crescimento intermodal (MACHADO, 2022; SANTOS et al., 2019).

Quanto ao micronutriente Fe, as maiores concentrações médias foram encontradas em TM no SAF (Tabela 5). O que está intimamente ligado aos maiores teores de Al e H+Al, presentes na área de estudo, que demonstram características de um solo mais ácido, que, conseqüentemente, apresentam baixos índices soma de bases e cálcio (Tabela 4), fatores que colaboram para maior disponibilidade e interação deste elemento com o solo (PEIXOTO et al., 2019) o que contraria o resultados descritos por Mundim et al. (2018) onde os maiores teores estavam dispostos em profundidade.

Tal efeito justifica os baixos teores de Fe em TI da agrofloresta, na camada 0-20 cm, pelo fato desta região apresentar baixo teor de Al e H+Al, assim como maior valor médio de SB e Ca, comportamento visto em todas as áreas cafeeiras em profundidade, circunstância que aliada à presença de umidade, devido às condicionantes altimétricas, e aumento da atividade microbológica (Tabela 6), ampliam os processos dissolutivos dos óxidos de ferro, remobilizando-o no ambiente, como explicam Capoane e Santos (2018), resultando em altas taxas para a MN, o que também foi descrito por Bezerra et al. (2018).

Em relação aos atributos microbiológicos, pode-se afirmar que não houve diferenças significativas entre as topossequências, tanto para o SAF, quando para MN (Tabela 6).

Tabela 6 - Atividade microbológica do solo em sistema agroflorestal, Taquaritinga do Norte, Pernambuco, Brasil.

TP	Qualidade Microbiológica			
	RBS	CBM	qCO ₂	qMic
	Profundidade 0-5 cm			
	Sistema Agroflorestal-SAF			
TS	50,98 A	217,09 A	0,23 A	0,83 A
TM	54,56 A	205,55 A	0,27 A	1,11 A
TI	61,3 A	225,91 A	0,3 A	1,32 B
	Mata Nativa-MN.			

TS	54,59 A	179,62 A	0,31 A	0,89 A
TM	54,57 A	179,60 A	0,30 A	0,87 A
TI	54,52 A	179,66 A	0,34 A	0,80 A

*Diferenças significativas são indicadas por letras diferentes pelo teste Tukey a 5% de significância ($P \leq 0,05$).

Letras maiúsculas indicam diferenças as topossequências e letras minúsculas indicam diferenças entre as profundidades do solo. TP- Topossequência; TS – Terço Superior; TM – Terço Médio; TI – Terço Inferior; MN – Mata Nativa. RBS – Respiração Basal do Solo; CBM – Carbono da Biomassa Microbiana; qCO_2 – Quociente Metabólico do Solo; $qMic$ – Quociente Microbiano do Solo. Fonte - Os autores (2023).

Para RBS e CBM, os resultados encontrados mantiveram-se estáveis em ambas as variáveis de estudo, onde os maiores teores médios estão dispostos em TI, para o SAF (Tabela 6), oriundos da alta metabolização de carbono pela biomassa microbiana, comentado anteriormente, além de outros fatores como a cobertura vegetal e decomposição de MO, que pode ocorrer em maior intensidade, uma vez que o cenário apresenta-se com baixas altitudes, o que favorece a concentração destes (MELLONI et al., 2018; PAVAN et al., 2018).

Quanto ao qCO_2 , os maiores índices médios foram encontrados em MN, sem diferenças significativas entre as topossequências, com maiores valores médios em TI (Tabela 6). Tais resultados, comparado aos demais, indicam que este ambiente encontra-se mais suscetível a desencadear situações de estresse entre os microrganismos e, conseqüentemente, perda de carbono durante as atividades metabólicas, conforme Silva et al. (2020).

Cenário equivalente ao desta variável, também foi descrito por Santos et al. (2021), com base em procedimentos executados em camadas iniciais de um solo do semiárido cearense, onde os autores reforçam que altos índices podem resultar em influências negativas sobre a microbiota do solo, resultando em perda de nutrientes e, conseqüente, instabilidade do solo, prática comum a ambientes jovens e/ou que sofreram intervenções em curto intervalo temporal.

Em referência ao $qMic$, os maiores quantitativos encontram-se no SAF, principalmente em TM (Tabela 6). Altos índices desta variável indicam que o solo da região apresentam excelentes resultados quando se trata da produção de CBM, oriundos dos estoques de C disponíveis, isto é, melhor aproveitamento deste elemento pelos microrganismos (COLODEL et al., 2018).

Marcatti et al. (2020) encontraram comportamentos semelhantes, com altos índices para o SAF, que apresentou resultados significativos quando se trata de qualidade na MO do solo, ao ser comparado com o plantio convencional do grão, além de pastagem e MN.

Foi possível observar, diferença significativa entre as topossequências, com baixa concentração para o SAF, em TI, proveniente do aumento da densidade que influenciou negativamente na deposição de MO local, uma vez que tal variável consiste na relação entre o CBM e o C disponível no solo (LAURO, 2021; NOVAK et al., 2018), o que também foi encontrado por Pizzani et al. (2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sugere-se que para as características físicas do solo, o SAF obteve as melhores desenvolvimentos, visto que apresentou os melhores índices de porosidade e densidade do solo, bem como a presença de argila, uma vez que tal comportamento está diretamente ligado à regulação de água, agregação e estruturação do solo, o que proporciona resultados favoráveis para o sistema radicular da vegetação local.

Em vista aos atributos químicos, foi perceptível o aumento nas concentrações de elementos como N, P, K, Ca, Mn e Mg, para a agrofloresta, pelo fato de tais elementos serem disponibilizados, ao solo, por meio da decomposição de MO e ciclagem de nutrientes. Além disso, houve considerável enriquecimento quanto a soma de bases, CTC efetiva e pH, que resultam em boas condições de fertilidade do solo.

Comportamentos benéficos para a deposição de carbono e metabolização por microrganismos, também se concentraram no SAF, na medida em que tais ações somente podem ser viabilizadas em regiões estáveis, com disponibilidade de nutrientes, o que mostra potencial para redução de impactos, em função da quantidade de MO e condicionantes altimétricas da região.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – UFRPE, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – UFT pela infraestrutura e disciplinas ofertadas. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil biology and biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7)
- ANTUNES, R. S.; SHUSSLER, A. Comparação das análises físicas do solo de área de frutas cítricas e vegetação nativa. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc São Miguel do Oeste**, v. 6, p. e28066-e28066, 2021.
- ARAUJO, I. B. A. Mapeamento de detalhe em área de risco a movimento de massa e caracterização geológica de taludes em região do bairro Cidade Nova, Aracaju/SE. Universidade Federal de Sergipe. **Centro de Ciências Exatas e Tecnologia**. 2019.
- ARAUJO, L. A. N. de; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 771-777, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000800007>
- BAPTISTELLA, J. L. C. **Ciclagem de fósforo pela braquiária consorciada com o cafeeiro**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BARBOSA, T. C. S. et al. Qualidade física do solo em áreas sob manejo agroecológico e convencional. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 48899-48909, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-511>
- BARCELLOS, R. Influência da localização da fertirrigação nos teores de macronutrientes do cafeeiro. Monografia (Graduação em Agronomia). **Instituto Federal do Espírito Santo**. 2021.
- BARROS, J. F. C. Fertilidade do solo e Nutrição das plantas. **Universidade de Évora**. Departamento de Fitotecnia. 2020.
- BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 4, p. 1191-1192, 1988. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040055x>
- BASTOS, T. R. S. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em sistemas. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. **Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais**. Vitória da Conquista, BA. 2021.
- BERTALOT, M. J. A. Desempenho de diferentes sistemas agrícolas de produção de café na região de Garça – SP, Brasil. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, SP. Novembro, 2009.
- BEZERRA, C. B. et al. Latossolo húmico sob pastagem com diferentes intensidades de usos: atributos químicos e físico-hídricos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2019. https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2018a8
- BEZERRA, D. et al. Avaliação dos atributos químicos do solo em sistemas agroflorestais e pastagem, no município de Brasil Novo-Pará. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 09, 2018.
- BLANCO, L. C. et al. Alterações nos atributos químicos de um argissolo amarelo, submetido a três diferentes agroecossistemas. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 15, n. 28, 2018.
- BOREUX, V. et al. Agroforestry coffee production increased by native shade trees, irrigation, and liming. **Agronomy for sustainable development**, v. 36, n. 3, p. 1-9, 2016. SANTOS, S.R. Composição da macrofauna edáfica em áreas de cultivo de café [dissertação]. São João del-Rei: Programa de pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal de São João del-Rei; 2020.

- BRAVIN, N. P. et al. Atributos químicos do solo em função do manejo da adubação potássica e sistema de produção de cafeeiros. **SBI Café**. 2019. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12627>. Acesso em 14 janeiro de 2022.
- BUTZKE, A. G. et al. Fertilidade e carbono orgânico do solo em sistemas agroflorestais de duas décadas compostos de castanheira, cupuaçuzeiro e pupunheira na Amazônia Ocidental. **EMBRAPA: Científica**, Jaboticabal, v.48, n.2, p.160-169, 2020.
- CAPOANE, V.; SANTOS, D. R. Teores de ferro, alumínio e fósforo disponível em solos sob sistema plantio direto no planalto do rio grande do sul. **ResearchGate**. Maio, 2018.
- CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Mercator (Fortaleza)**, v. 19, 2020.
- COLODEL, J. R. et al. Atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho-Amarelo Amazônico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 287-297, 2018. <https://doi.org/10.19084/RCA17253>
- CORRÊA, F. L. O. et al. Fertilidade do solo sob diferentes usos agroflorestais na região central de Rondônia, Brasil. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 6, n. 4, p. 3-11, 2019.
- COSTA, B. P. et al. Uso do calcário e do gesso agrícola em duas épocas de implantação do Coffea arabica L. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 241-247, 2020.
- COSTA, H. S. et al. Indicadores químicos de qualidade de solos em diferentes coberturas vegetais e sistemas de manejo. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, v. 13, suplemento, p. 42-48, jul. 2019. <https://doi.org/10.17648/2446-4775.2019.759>
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: **REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS**, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p.
- EMERICK, M. B. D. et al. Aproveitamento da água do processamento dos frutos de café na fertirrigação de brachiaria mutica. 2021.
- EMERICK, M. B. D. Utilização da água do processamento dos grãos de café: potássio no solo, na planta e produção de capim angola. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Inovações Ambientais). Universidade Federal de Lavras. **Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais**. 2018.
- ESPINOSO, S. Q. et al. Fontes e localização de fósforo no crescimento de mudas de café catuaí vermelho IAC 44. In: **Cafeicultura no Caparaó: Resultados de Pesquisas III** / João Batista Pavesi Simão...[et al.], organizadores. – Alegre-ES: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, 2019. p. 9-24.
- FARIAS, P. K. P. et al. Caracterização de neossolos em agroecossistemas familiares. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.
- FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S. Importância econômica e social do café Conilon. **Vitória: Incaper**, 2015.
- FERNANDES JUNIOR, M. et al. Atividade da biomassa microbiana em diferentes sistemas de plantio. Monografia (Graduação em Agronomia). **Universidade Federal de Santa Catarina**. Curitibanos, SC. 2021.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FLORES, R. A. et al. Grain yield of Phaseolus vulgaris in a function of application of boron in soil. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 18, n. 1, p. 144-156, 2018.
- FONTES, M. P. F. Intemperismo de rochas e minerais. In: KER, João Carlos; CURI, Nilton; SCHAEFER, Carlos Ernesto G.R; TORRADO, Pablo Vidal. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG, **SBCS**, 343p. 2012.
- FREITAS, L. et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

- GEE, G. W.; OR, D.. 2.4 Particle-size analysis. **Methods of soil analysis: Part 4 physical methods**, v. 5, p. 255-293, 2002.
- GONÇALVES, M. S. et al. Métodos para quantificação do teor disponível de K no solo. **EMBRAPA**. XIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. 2018.
- GORSKI, M. R. et al. Variabilidade espacial da saturação por bases e da saturação por alumínio do solo, numa catena do pampa, cultivada com soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 5, p. 3660-3667, 2019.
- GROSSMAN, R B.; REINSCH, T. G. 2.1 Bulk density and linear extensibility. **Methods of soil analysis: Part 4 physical methods**, v. 5, p. 201-228, 2002.
- HENRIQUE, N. S.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A. Qualidade do solo em dois sistemas de cultivo do cafeeiro no domínio Amazônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 379-384, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p379-384>
- HENRIQUE, Nirvani Schroeder. Aporte e decomposição de serapilheira e qualidade do solo em sistemas de cafeeiro sombreado e a pleno sol. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista. **Programa de Pós-Graduação em Agronomia**. 2020.
- ISERMEYER, H. Um método simples para determinar a respiração do solo e os carbonatos do solo. **Jornal para nutrição de plantas, fertilização, ciência do solo**, v. 56, nº 1-3, p. 26-38, 1952.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of soils**, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.
- KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo. 150 f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.
- KOPPEN W. Climatologia: **con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo Cult. Econ., 1948.
- LAURO, M. F. B. Propriedades físico-hídricas em áreas sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola no Oeste da Bahia. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Humanas. Campus IX. 2021.
- LAZZARETTI, G. et al. Impacto de diferentes sistemas agrícolas e florestal na qualidade química e biológica do solo de uma propriedade rural. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 330-350, 2019.
- LIMA, A. P. et al. Frações de fósforo em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no sul do Brasil. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, **Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas**, Florianópolis, 2021.
- LOPES, V. S. et al. Combinações de adubos orgânicos não estabilizados e mineral no cultivo de café arábica. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2019.
- LUDWIG, Z.; LAJÚS, C. R.; CERICATO, A. Rendimento da cultura do milho submetida a diferentes doses de cálcio. **Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc São Miguel do Oeste**, v. 3, p. e18922-e18922, 2018.
- MACHADO, A. W. Zinco – tudo o que você precisa saber sobre este adubo. **Agrolink**. Junho, 2022. Disponível em https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes/zinco_466875.html. Acesso em 23 de Novembro de 2022.
- MAIA, G. M.; CONTE, A. M. Manejo nas entre linhas do cafeeiro, a influência nos teores nutricionais e produtividade. **Revista Cultivando o Saber**, v. 12, n. 2, p. 20-36, 2019.
- MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Informe Estatístico do Café**. 2016. Disponível em <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/Informe_Setembro_2016.xls>. Acesso em 30 de Setembro de 2021.
- MARCATTI, B. A. et al. Qualidade biológica dos solos sob diferentes usos e manejos no assentamento Florestan Fernandes–ES. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

- MATIELLO, J. B. Deficiência de cobre em cafeeiros – sintomas precisam ser mais conhecidos. **Café Point**. Out, 2020. Disponível em <https://www.cafepoint.com.br/colunas/folha-procafe-jose-braz-matiello/deficiencia-de-cobre-em-cafeeiros-221983/#:~:text=O%20cobre%20tem%20tr%C3%AAs%20fun%C3%A7%C3%B5es,efeito%20t%C3%B4xico%20promovendo%20redu%C3%A7%C3%A3o%20do>. Acesso em 10 de Novembro de 2022.
- MATIELLO, J. B. et al. Amarelão em cafeeiros novos. **Revista Campo e Negócios**. Maio, 2021. Disponível em <<https://revistacampoenegocios.com.br/amarelao-em-cafeeiros-novos/>>. Acesso em 18 Novembro de 2022.
- MELLONI, R. et al. Agroforestry system coffee-araucaria and its effect on soil microbiota and their processes. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 784-795, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509832392>
- MELO, V. S. et al. Atributos físicos e químicos de solos sob diferentes tipos de uso e manejo no assentamento Abril Vermelho, Amazônia Oriental. **Conjecturas**, v. 22, n. 1, p. 79-97, 2022.
- MENDONÇA, E. S. et al. Estoque de carbono e nitrogênio em sistemas agroflorestais de café conilon. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE AGROECOLOGIA, 6.; CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 10.; SEMINÁRIO DE AGROECOLOGIA DO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO, 5., 2017, Brasília, DF. **Agroecologia na transformação dos sistemas agroalimentares na América Latina: memórias, saberes e caminhos para o bem viver: anais**. Brasília, DF: Associação Brasileira de Agroecologia, 2017.
- MONTEIRO, E. C. et al. Influência de diferentes sistemas de uso e locais de amostragem nos atributos químicos do solo no sul do Estado do Espírito Santo. In: Cafeicultura do Caparaó II: **Resultados de pesquisas** / João Batista Pavesi Simão... [et al.], organizadores. – Alegre, ES: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, 2018. p. 21-28.
- MOURA, O. V. T. et al. Fósforo em agregados biogênicos e fisiogênicos sob diferentes sistemas de manejo agroecológico. **Agrarian**, v. 12, n. 46, p. 466-478, 2019.
- MUNDIM, D. A. et al. Atributos físico-hídricos e químicos do solo sob aplicação de vinhaça por anos consecutivos. **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 4, p. 321-329, 2018. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2018v33n4p321-329>
- NOVAK, E. et al. Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 603-611, 2018.
- OLIVEIRA CARVALHO, A. H. et al. Teor e estoque de carbono orgânico do solo em diferentes agroecossistemas de uma propriedade de base familiar do Caparaó Capixaba. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.
- OLIVEIRA NETO, J. G. et al. Crescimento e composição foliar de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal na microrregião do Brejo Paraibano. **Nativa**, v. 10, n. 3, p. 312-318, 2022.
- OLIVEIRA SILVA, M. et al. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-431>
- PAVAN, B. S. et al. Sistema agroflorestal cafeeiro-abacateiro e seus efeitos na qualidade do solo (Agroforestry system coffee-avocado and its effect on soil quality). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1917-1925, 2018.
- PEIXOTO, D. J. G. et al. Atributos químicos de solo após incubação com produtos com cálcio e magnésio. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 3, p. 62-68, 2019.
- PEREIRA, L. M. et al. Correlação da produtividade da soja com os atributos químicos do solo e o NDVI. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 430-438, 2021.
- PEREIRA, S. M. et al. Características químicas, físicas e microbiológicas de sistemas agroflorestais em diferentes estágios sucessionais em Brasília. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 3, p. 280-290, 2021. <https://doi.org/10.21206/rbas.v11i1.12711>
- PICCIN, M.; AMADO, T. J. C.; FIORIN, J. E. A Estratégias de manejo para melhoria da camada de enraizamento profunda de um Latossolo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 2, p. 174-183, 2020.

PINTO, L. C.; CHAGAS, W. F. T.; AMARAL, F. H. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes usos. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 3, 2018.
<https://doi.org/10.18406/2316-1817v10n320181103>

PIZZANI, R. et al. Atividade microbiana e indicadores microbiológicos em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Enciclopédia biosfera**, v. 15, n. 28, 2018.

POTON, D. M. et al. Análise da variação dos atributos do solo após adoção do cultivo consorciado de café arábica e banana. **Revista Científica Intelletto**, v. 3, n. 1, 2018.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: SAEAFS; 1996.

RAZAFIMBELO, T. M. et al. Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayey soil under Malagasy conventional and no-tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 98, n. 2, p. 140-149, 2008.

RIBEIRO, S. B. Atributos químicos, físicos e biológicos do solo em sistemas de uso da terra em Marabá, no sudeste do Pará. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista. **Faculdade De Ciências Agrárias E Veterinárias**. 2021.

RIOS, G. B. **Diferentes doses de Stimulate sobre mudas de café**. Centro Universitário do Sul de Minas. Varginha, MG. 2020.

ROCHA, A. C. et al. Absorção de zinco pelo cafeeiro arábica em função da saturação em bases e do fator capacidade do solo. 2019. In: In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. Inovação científica, competitividade e mudanças climáticas: anais... Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2019.

SALES, A. et al. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. In: **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**. 2018. p. 01-15.

SANTANA, M. S. et al. Stoichiometric ratios in the soil of native and forage areas in a seasonally dry tropical forest. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 14, 2020. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v14i0.6319>

SANTOS, A. L. P. et al. Atributos químicos do solo em áreas de produção de Banana (*Musa spp.*). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e233101018727-e233101018727, 2021.

SANTOS, H. G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: **Embrapa**. 2018

SANTOS, K.; ARAGÃO, D. V.; KATO, O. R. Atributos químicos dos solos em um sistema agroflorestal (SAF) no município de Tomé-Açú, Pará. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. Cadernos de Agroecologia, Porto Alegre, v. 13, n. 1, jul. 2018., 2018.

SANTOS, M. C.; LIMA, A. F. L.; SANTOS L. A. C. Caracterização química de um solo sob uma área de cultivo e de floresta nativa na região de Apuí-Amazonas, Educamazônia Educação, **Sociedade e Meio Ambiente**. 23:300-312. 2019.

SANTOS, M. R. G. et al. Sintomas de deficiência nutricional em cafeeiros clonais. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2019.

SANTOS, R. A. F. et al. Queimada e usos do solo na atividade e biomassa microbiana. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. Supl. 2, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14Supl.2.e8742>

SANTOS, S. R. Composição da macrofauna edáfica em áreas de cultivo de café [dissertação]. São João del-Rei: **Programa de pós-graduação em Ecologia**, Universidade Federal de São João del-Rei; 2020.

SARA, C. E. A. B. et al. Competitividade da cafeicultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**. 2019, 27(3), 9- 16.

SCOPEL, K. N. **Desenvolvimento inicial de mudas de café conilon submetidas a doses de fósforo**. Monografia (Graduação em Agronomia). Instituto Federal do Espírito Santo. 2022.

SILVA E. A. **Propriedades Físico-Hídricas do solo e desenvolvimento radicular do cafeeiro** [dissertação]. Lavras: ciência do solo, Universidade Federal de Lavras; 2017.

SILVA, B. M. et al. Critical soil moisture range for a coffee crop in an oxidic Latosol as affected by soil management. **Soil and Tillage Research**, v. 154, p. 103-113, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.013>

SILVA, L. F.; COGO, F. D. Estoque de carbono orgânico e atributos físicos do solo sob sistema agroflorestal com cafeeiro no sudoeste de Minas Gerais. **Intercursos Revista Científica**, v. 19, n. 2, 2020.

SILVA, M. D. P. et al. Nutrientes no solo e em coprólitos de minhocas nativas sob sistemas de produção convencional e agroecológico. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e530111133843-e530111133843, 2022.

SILVA, P. L. F. et al. Qualidade física de solo arenoso em ambiente semiárido sob sistema de integração Lavoura-Pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 4, p. 598-616, 2021.

SILVA, T. C. et al. Atributos químicos e atividade microbiológica em Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo com e sem queima em condições de semiárido. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 16, p. 575-588, 2020.

SOARES, A. F. et al. Características químicas do solo sob sistema agroflorestal e floresta primária no município de Pacajá, Pará, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 6, p. 45-59, 2021.

SOUZA GALLO, A. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 347-357, 2019.

SOUZA, I. G. et al. Biodiversidade e manejo agroflorestal favorecem a recuperação da fertilidade natural do solo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

SOUZA, J. M. **Atributos físico-hídricos do solo em lavoura de café conilon submetida à subsolagem**. 2013. <https://doi.org/10.13083/1414-3984.v22n05a03>

SPERANDIO, H. V. et al. Balanço de nutrientes em área com leguminosas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 04, p. 1691-1700, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.4.p1691-1700>

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3rd ed. Brasília: EMBRAPA, 2017.

TOMICIOLI, R. M. et al. Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. **South American Sciences**, v. 2, n. 1, p. e21100-e21100, 2021.
<https://doi.org/10.17648/sas.v2i1.100>

VENDRUSCOLO, B. E.; RAIMUNDO, C. B.; SCHONINGER, E. L. Formas de aplicação e fontes de manganês na soja em solo de cerrado. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 18, n. 2, p. 82-87, 2020.

WANG, Q.; OTSUBO, K.; ICHINOSE, T. **Digital map sets for evaluation of land productivity**, v. 6, 2005.

Recebido em: 16/02/2023

Aceito para publicação em: 24/07/2023