



Gênese e atributos de solos de uma topossequência sob diferentes práticas agrícolas na baixada fluminense, Rio de Janeiro

Genesis and attributes of soils in a toposequence under different agricultural practices in the Baixada Fluminense region, Rio de Janeiro

Tiago Paula da Silva 

Mestre em Agronomia/Ciência do Solo
UFRRJ, Brasil
tiago8paula6@hotmail.com

Amanda Sales Alves 

Mestre em Agronomia/Ciência do Solo
UFRRJ, Brasil
amandasalesalves@ufrj.br

Caio Simões dos Santos Nicolau 

Agrônomo
ESALQ/USP, Brasil
cssnicolau@gmail.com

Carlos Wagner Ribeiro Junqueira 

Agrônomo
UFRRJ, Brasil
carloswrjunqueira@gmail.com

Gilsonley Lopes dos Santos 

Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais
UFRRJ, Brasil
jeylopes85@hotmail.com

Nivaldo Schultz 

Professor do Departamento de Solos
UFRRJ, Brasil
nsufrrj@yahoo.com.br



<https://doi.org/10.28998/rca.23.17913>

Artigo publicado sob a Licença Creative Commons 4.0

Submetido em: 13/07/2024

Aceito em: 06/03/2025

Publicado: 30/06/2025

e-Location: 17913

Marcos Gervasio Pereira 
Professor do Departamento de Solos
UFRRJ, Brasil
mgervasiopereira01@gmail.com

Resumo

Na Baixada Fluminense, o relevo é um dos principais fatores de formação responsáveis pela variabilidade de solos. Adicionalmente, a geologia, em sua grande parte, composta principalmente por rochas ácidas influência nos atributos do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a gênese e os atributos dos solos de uma topossequência sujeita a diferentes intensidades de uso agrícola na Baixada Norte Fluminense na região sudeste do Brasil. Foi selecionada uma topossequência e abertas trincheiras nas posições de terço superior (P1), terço médio (P2) e terço inferior (P3). Foi realizada a descrição morfológica, as análises dos atributos físicos e químicos e a classificação dos perfis de solo. Em relação aos atributos morfológicos, foi observada cores mais escuras no horizonte superficial de todos os perfis. Quanto à classe textural, houve predominância da textura argilosa para o P1, textura argiloarenosa para o P2, e textura arenosa para o P3. Os perfis foram classificados como PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Eutrófico típico (P1), ARGISSOLO AMARELO Distrófico abrúptico (P2), e PLANOSOLO HÁPLICO Distrófico espessarênico (P3). Em P1 o pH e V% mais elevados refletem as práticas agrícolas mais intensas. Enquanto os menores teores de fósforo (P) disponível em P2, podem estar associados a adsorção de P nos coloides e a complexação com a matéria orgânica (MO), influenciada pela deposição de palhada e menor intensidade de uso agrícola. Já em P3, os menores teores de bases trocáveis e maior acidez estão relacionados principalmente menor intensidade de realização de práticas de adubação e calagem. Os maiores teores de carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico associado aos minerais (Coam) foram observados em P2, em função menor revolvimento e maior adição de MO pelas gramíneas. Os maiores teores de COp em P1, quando comparado a P2, ocorre em função do revolvimento e uso mais intenso do solo. A gênese dos solos analisados foi influenciada por processos pedogenéticos distintos ao longo da topossequência, conforme a variação topográfica e as condições de hidromorfismo. Em P1, o processo de plintização resultou das oscilações do lençol freático em períodos passados. Em P2, a elutrião e lessivagem foram evidenciados pelo aumento do teor de argila nos horizontes Bt. Já em P3, a gleização e a ferrólise favoreceram a remoção de bases e a acidificação dos horizontes subsuperficiais. Destaca-se que os atributos químicos e físicos dos perfis são resultantes da interação entre relevo, clima e material de origem. Adicionalmente, o uso agrícola pode impactar significativamente os atributos do solo, especialmente os químicos.

Palavras-chave: Pedogênese; Fertilidade do solo; Uso agrícola; Manejo do solo.

Abstract

In the Baixada Fluminense, relief is one of the main formation factors responsible for soil variability. In addition, the geology, most of which is composed mainly of acid rock, influences soil attributes. The

aim of this study was to evaluate the genesis and soil attributes of a toposequence subject to different intensities of agricultural use in the Baixada Norte Fluminense in the southeast of Brazil. A toposequence was selected and trenches were opened in the upper third (P1), middle third (P2) and lower third (P3) positions. A morphological description was carried out, the physical and chemical attributes were analysed and the soil profiles were classified. With regard to morphological attributes, darker colours were observed in the surface horizon of all the profiles. As for the textural class, there was a predominance of clay texture for P1, clay-sandy texture for P2 and sandy texture for P3. The profiles were classified as PLINTOSOLO ARGILÚVICO Eutrófico típico (P1), ARGISSOLO AMARELO Distrófico abrúptico (P2), and PLANOSOLO HÁPLICO Distrófico espessarênnico (P3). In P1, the higher pH and V% reflect the more intensive agricultural practices. The lower levels of available phosphorus (P) in P2 may be associated with the adsorption of P in colloids and complexation with organic matter (OM), influenced by the deposition of straw and lower intensity of agricultural use. In P3, on the other hand, the lower levels of exchangeable bases and higher acidity are mainly related to the lower intensity of fertilisation and liming practices. The highest levels of total organic carbon (TOC) and organic carbon associated with minerals (Coam) were observed in P2, due to less disturbance and greater addition of OM by the grasses. The higher COp levels in P1, when compared to P2, are a result of the more intense tilling and use of the soil. The genesis of the soils analysed was influenced by different pedogenetic processes along the toposequence, according to topographic variation and hydromorphic conditions. In P1, the plinthisation process resulted from the oscillations of the water table in past periods. In P2, elutriation and lessivage were evidenced by the increased clay content in the Bt horizons. In P3, gleization and ferrolysis favoured the removal of bases and acidification of the subsurface horizons. It should be emphasised that the chemical and physical attributes of the profiles are the result of the interaction between relief, climate and source material. In addition, agricultural use can have a significant impact on soil attributes, especially chemical ones.

Keywords: Pedogenesis; Soil fertility; Agricultural use; Soil management.

INTRODUÇÃO

O processo de formação do solo resulta da interação dos fatores de formação, a saber: material de origem, relevo, clima, tempo e organismos, cuja influência pode variar em função das condições ambientais. Em estudos de topossequência, destaca-se a influência do relevo nos processos pedogenéticos. Essa relação do processo de formação do solo é amplamente compreendida através de pesquisas em pedologia e geomorfologia (Pereira et al., 2022a), evidenciando como as características do relevo podem contribuir nas propriedades e atributos do solo (Jenny, 1941).

A teoria da Catena, proposta por Milne (1934), revelou variações nas classes de solos ao longo da vertente. Estudos recentes, como os de Pinheiro Junior et al. (2019a), enfatizam que as variações no relevo exercem uma influência significativa na dinâmica hídrica da paisagem, afetando os processos de formação do solo e, por consequência, seus atributos. Segundo Alves et al. (2024) a variação topográfica influencia na distribuição e a textura dos solos, no fluxo de água, no tipo de cobertura vegetal e no rendimento agrícola. Além disso, o movimento lateral na topografia, também desempenha um papel essencial no

desenvolvimento pedológico (Alves et al., 2024). Segundo Juhász (2006), a interação dos fatores de formação do solo, em conjunto com os processos geomorfológicos e a infiltração de água, são responsáveis pela formação de solos distintos em uma mesma vertente.

Pesquisas em topossequência, especialmente em ambientes de Mar de Morros, revelam a influência da posição na paisagem sobre a variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos dos solos, assim como o grau de desenvolvimento destes (Santos et al., 2010; Mulugeta; Sheleme, 2010). Contudo, é importante ressaltar que o grau de declividade do relevo pode interferir no grau de pedogênese dos solos, conforme destacado por Pereira et al. (2022b), principalmente em áreas com pequenas variações de altitude, interferindo na atuação dos processos pedogenéticos.

Além das características do relevo, os solos encontrados em ambientes de Mar de Morro são influenciados pelo material de origem de natureza ácida e pelas condições climáticas tropicais (Santos et al., 2010). Estudos mais recentes, como o de Santos et al. (2021) corroboram essa linha, indicando que a formação dos solos nesses ambientes é fortemente afetada pela composição do material parental, especialmente pela presença de rochas ácidas, que influenciam tanto a química quanto a mineralogia dos solos formados. Considerando essas características, o manejo inadequado pode acelerar processos de degradação, sobretudo a erosão, que se intensifica em áreas de maior declividade (Paz et al., 2022).

Nesse contexto, torna-se essencial compreender a gênese de solos na região da Baixada Norte Fluminense, devido a importância das características topográficas na sua formação. Nessas áreas, as perdas de partículas do solo, nutrientes e matéria orgânica, das partes mais altas da paisagem para as mais baixas, podem desempenhar forte influência na pedogênese. Além disso, as práticas de manejo não sustentáveis do solo podem exercer alteração nas propriedades do solo, especificamente em relação à fertilidade e aos teores de carbono orgânico.

Diante disso, as hipóteses deste estudo são que a variação topográfica promove a formação de diferentes classes de solos ao longo da topossequência. Além disso, as diferentes práticas de manejo agrícola modificam os atributos do solo, acelerando a decomposição da matéria orgânica e intensificando as perdas de nutrientes, principalmente nas partes mais altas da paisagem.

Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar a gênese e os atributos do solo em uma topossequência sob diferentes intensidades de uso agrícola em ambiente da região Norte Fluminense do Rio de Janeiro.

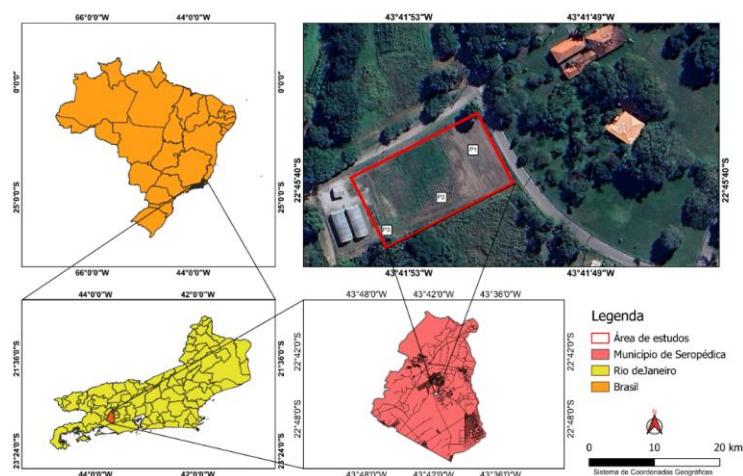
MATERIAL E MÉTODOS

Localização, cobertura vegetal e clima

A área de estudo está situada no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, região sudeste do Brasil (Figura 1), no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. O clima regional é classificado como Aw (tropical quente e úmido) conforme a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013), precipitação pluviométrica anual média de 1.225 mm, com os maiores valores ocorrendo no período de novembro a abril (meses mais quentes). A temperatura média anual de 23,9 °C e evaporação média anual de 1352 mm (Carvalho et al., 2011).

A vegetação nativa da região é do tipo floresta subcaducifólia (Pinheiro Junior et al., 2019b). Com relação aos aspectos geológicos e geomorfológicos, a região é caracterizada pela presença de morros com topos arredondados e encostas côncavo-convexas, com rochas ácidas do Complexo Paraíba do Sul (gnaisses) e sedimentos derivados do intemperismo dessas rochas (Silva et al., 2001).

Figura 1 - Localização da área de estudo situada na região sudeste do Brasil



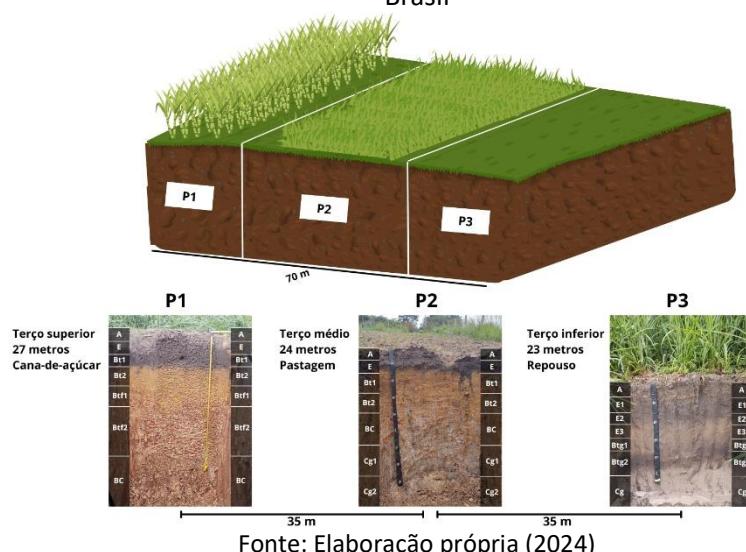
Fonte: Elaboração Própria (2024)

Amostragem

Na área de estudo, foi selecionada uma topossequência, na qual foram abertas trincheiras em três pontos distintos da paisagem: o terço superior (P1), o terço médio (P2) e o terço inferior (P3) (Figura 2). A área de estudo apresentava uma inclinação aproximada de

5%, em cada ponto da paisagem as áreas foram submetidas a diferentes formas de manejo e cobertura do solo.

Figura 2 - Representação esquemática e imagens dos perfis de solo em uma topossequência sob diferentes tipos de manejo na Baixada Norte Fluminense situada na região sudeste do Brasil



Fonte: Elaboração própria (2024)

Legenda: P1 – Terço superior, cultivado com cana-de-açúcar; P2 – Terço médio, sob pastagem; P3 – Terço inferior, mantido em pousio.

A área de estudo faz parte do campo experimental do Departamento de Fitotecnia do Instituto de Agronomia da UFRRJ. Essa área foi utilizada por vários anos, desde a década de 1990 com cultivo de culturas agrícola, sendo a maior intensidade de cultivo realizada nos terços superior e médio. No terço superior, o cultivo de cana-de-açúcar iniciou-se por volta de junho de 2019, sendo removido em junho de 2022. Em seguida, a área foi cultivada com soja, e, posteriormente, com milho. Tanto o terço médio quanto o superior foram conduzidos como pastagem desde julho de 2018. No entanto, no terço superior, a pastagem foi substituída pela cana-de-açúcar, enquanto no terço médio permaneceu inalterada. O terço inferior manteve-se em pousio desde julho de 2018. As amostras foram coletadas em outubro de 2021.

Descrição dos perfis e coleta de amostras

A coleta e descrição dos perfis foi feita segundo o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015), incluindo amostras indeformadas e deformadas em cada horizonte. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, destorreadas e passadas por peneira (< de 2,0 mm), obtendo-se a fração de terra fina seca ao ar (TFSA) a qual foi utilizada

para as análises de caracterização dos atributos físicos (cor, estrutura, consistência, grau de desenvolvimento, granulometria), e químicos (pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e Na^+ , Al^{+3} , H+Al, S, T, V%), (Teixeira et al., 2017). O carbono orgânico total (COT) foi determinado segundo Yeomans e Bremner (1988) e o fracionamento granulométrico da matéria orgânica, determinando o carbono orgânico particulado (COp) e o carbono associado aos minerais (Coam) segundo Cambardella e Elliott (1992).

Granulometria do solo

Os teores de areia grossa (diâmetro entre 0,2 – 2,0 mm) e areia fina (diâmetro entre 0,2 – 0,053 mm) foram quantificados por peneiramento, enquanto os teores de argila total e natural (dispersa em água), a partir de uma alíquota da suspensão, considerando a velocidade de sedimentação das partículas. O teor de silte foi determinado pela diferença entre areia total e argila total (Staff, 2014; Teixeira et al., 2017). A partir dos resultados, foram calculados o grau de floculação da argila e as relações entre areia fina/areia grossa e silte/ argila.

Análises dos atributos químicos e frações de carbono do solo

Na TFSA foram realizadas as seguintes análises químicas: pH em água, bases trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e Na^+), Al^{+3} trocável, acidez potencial (H+Al) e P disponível (Teixeira et al., 2017). O pH em água foi determinado na relação 1:2,5 (solo: água), deixando o solo em contato com água destilada durante o período de 1 hora, e posteriormente efetuado a leitura dos valores em um pHmetro de bancada. A quantificação de Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} trocáveis utilizou o extrator cloreto de potássio (KCl) 1 mol L⁻¹, e analisados por titulometria. O P, Na^+ e K^+ extraídos pelo método Mehlich-1 e analisados por colorimetria (P) e fotometria de chama (K^+ e Na^+). A acidez potencial (H+Al), com emprego de acetato de cálcio ($\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) 0,5 mol L⁻¹, analisados por titulometria (Teixeira et al., 2017).

O teor de carbono orgânico total (COT) foi quantificado a partir da oxidação do dicromato de potássio a 0,2 mol L⁻¹ em meio ácido e pela titulação por sulfato ferroso amoniacial a 0,1 mol L⁻¹ (Yeomans e Bremner, 1988). A partir dos resultados obtidos foram calculados a soma de bases (S), capacidade de troca catiônica do solo (valor T), saturação por bases (V%) e atividade da fração argila (Santos et al., 2018).

Para o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo, foram usados 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametafosfato de sódio (5 g L⁻¹), e a solução resultante foi

agitada por 15 h em um agitador horizontal a 160 rpm (Cambardella e Elliott, 1992). A suspensão foi então passada por uma peneira de 53 µm usando um jato de água.

O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COp) associado à fração de areia, foi seco em uma estufa a 60 °C, quantificado em relação à sua massa, moído em um gral de porcelana e analisado quanto ao teor de COT de acordo com Yeomans e Bremner (1988). O material que passou pela peneira de 53 µm, que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COam) das frações silte e argila, foi obtido pela diferença entre COT e COp. Para minimizar possíveis erros analíticos, as análises foram realizadas em triplicata.

Classificação dos Solos

Com base nas propriedades morfológicas, físicas, químicas, os solos foram classificados até o quarto nível categórico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos solos (SiBCS) (Santos et al., 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

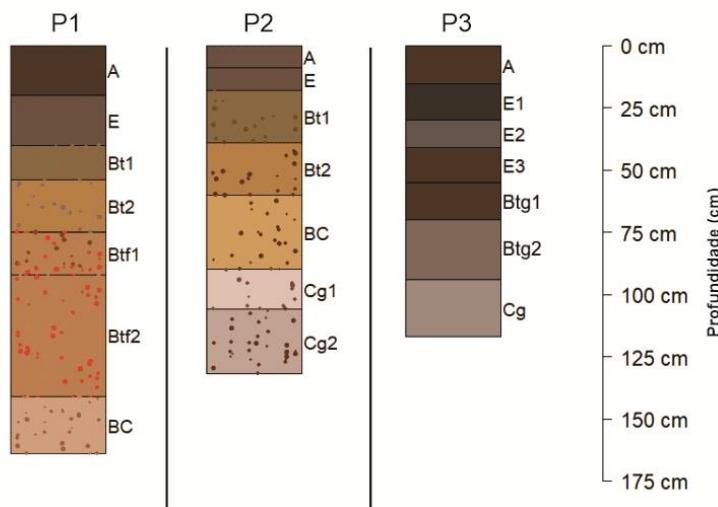
Atributos Morfológicos

Nos horizontes superficiais de P1, P2 e P3 foram verificadas cores cinzentas com matiz 7,5YR, valores de 3 e 4, e croma 1 (Figura 3). Em contraste, nos horizontes subsuperficiais (E e Bt), as cores variando entre amarelas, brunadas e vermelhas, com matizes entre 10YR e 2,5YR. Em profundidade, P1 exibe valores e croma mais elevados em comparação ao P2 e P3. Além disso, em P1 e P2, ocorrem mosqueados com matizes entre 7,5YR e 10R, valores variando de 3 a 6, e cromas de 2 a 6 (Figura 3 e Tabela 1).

Todos os perfis apresentam sequência de horizontes A-E-Bt, com pequenas variações nas profundidades e espessuras dos horizontes. A estrutura, nos horizontes superficiais de P1 e P2, é granular de tamanho médio e grau de desenvolvimento moderado. Nos horizontes subsuperficiais, predominam blocos angulares e subangulares em P1, enquanto em P2 ocorrem blocos subangulares no P2, variando de médio a grande e com grau de desenvolvimento moderado. No horizonte E do P1 e P2, predominam grãos simples, sem a

formação de unidades estruturais. Já em P3, tanto nos horizontes superficiais quanto nos subsuperficiais, o solo se caracteriza por baixa coesão e estrutura de grãos simples.

Figura 3 - Representação da cor do solo (Munsell) nos perfis em uma toposequência sob diferentes tipos de manejo na Baixada Norte Fluminense situada na região sudeste do Brasil.



Granulometria do Solo

A fração areia grossa predominou em relação à areia fina, com valores mais elevados no P3 (Tabela 2). A areia grossa variou de 230 a 721 g kg⁻¹, enquanto a areia fina de 40 a 160 g kg⁻¹. A relação areia grossa e areia fina foi superior a 2 em todos os horizontes de P1, P2 e P3. Em P3, a distribuição areia grossa e areia fina foi irregular.

Os teores de argila aumentam em profundidade nos perfis P1 e P2. Em P3, a argila foi inferior a 150 g kg⁻¹ em todo perfil. Os teores de silte variaram de 30 a 310 g kg⁻¹, com tendência de aumento em subsuperfície em P1 e P2. A relação silte/argila nesses perfis foi inferior na maioria dos horizontes, sugerindo maior intemperismo em relação a P3.

Nos perfis P1 e P2, os valores de argila dispersa em água foram mais elevados nos horizontes superficiais do que em profundidade, resultando em menor grau floculação nos horizontes A e E. Em P3, os valores de argila dispersa em água e grau de floculação variaram ao longo do perfil.

Tabela 1 - Atributos morfológicos de perfis de solo em uma topossequência sob diferentes tipos de manejo na região sudeste do Brasil

Hor.	Prof.	Cor	Mosqueado	Estrutura			Classe textural
				Grau	Tam.	Tipo	
Perfil 1 (P1)							
A	0-20	7,5YR 3/1	na	mo	me	gr	Francoarenosa
E	20-40	7,5YR 4/1	na	gs	gs	gs	Areia Franca
Bt1	40-54	10YR 5/4	7,5YR 5/6	mo	me	ba	Franco Argiloarenosa
Bt2	54-75	10YR 6/6	5YR 5/2	mo	me	bsa	Argilosa
Btf1	75-92	7,5YR 6/6	5YR 4/6	mo	me	ba	Argilosa
Btf2	92-141	7,5YR 6/6	2,5YR 6/6	mo	me	bsa	Muito argilosa
BC	141-164	7,5YR 7/4	2,5YR 5/6	mo	me	bsa	Franco argilosa
Perfil 2 (P2)							
A	0-9	7,5YR 4/1	na	mo	me	gr	Franco-argiloarenosa
E	9-18	10YR 4/1	na	gs	gs	gs	Francoarenosa
Bt1	18-39	7,5YR 5/4	10R 4/4	mo	me	bsa	Argilosa
Bt2	39-60	7,5YR 5/3	2,5YR 4/6	mo	me	bsa	Argilosa
BC	60-90	10YR 7/6	2,5YR 3/6	mo	me	bsa	Argilosa
Cg1	90-106	2,5YR 8/1	2,5YR 4/4	mo	me	bsa	Francoarenoso
Cg2	106-132	2,5YR 7/1	2,5YR 3/6	mo	me	bsa	Francoarenoso
Perfil 3 (P3)							
A	0-15,5	7,5YR 4/1	na	gs	gs	gs	Areia Franca
E1	15,5-30	7,5YR 2,5/1	na	gs	gs	gs	Areia Franca
E2	30-41	5YR 4/1	na	gs	gs	gs	Arenosa
E3	41-55	7,5YR 4/1	na	gs	gs	gs	Areia Franca
Btg1	55-70	7,5YR 4/1	na	gs	gs	gs	Francoarenosa
Btg2	70-94	7,5YR 5/1	na	gs	gs	gs	Francoarenosa
Cg	94-117	7,5YR 6/1	na	gs	gs	gs	Arenosa

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Legenda: Hor.: horizonte; Prof.: profundidade; P1: terço superior; P2: terço médio; P3: terço inferior; Tam: tamanho; me: médio; gr: grande; mo: moderado; frt: forte; gr: granular; ba: blocos angulares; bsa: blocos subangulares; na: não aplicável/ausente; gs: grãos simples.

Quanto à classe textural, P1 apresenta textura francoarenosa no horizonte superficial, enquanto P2 possui textura franco argiloarenosa e P3, areia franca. Nos horizontes Bt, há predomínio de textura argilosa em P1 e P2, enquanto P3 mantém a textura francoarenosa. A análise da classe textural em profundidade revela um aumento nos teores de argila nos horizontes subsuperficiais de P1 e P2, variando de franco argiloarenosa a muito argilosa. Já em P3, foi observado um aumento do conteúdo de areia, variando de francoarenosa a arenosa.

Atributos Químicos do Solo

O pH em água variou de 5,80 a 4,30 em P1; 5,34 a 5,02 em P2; e 5,56 a 4,70 em P3, apresentando um padrão de redução em profundidade (Tabela 3).

Tabela 2 - Atributos físicos dos perfis de solo em uma topossequência sob diferentes tipos de manejo na região sudeste do Brasil

Hor.	Prof.	Areia T.	Areia F.	Areia G.	Silte	Arg.	Arg. N.	Areia G. Areia F.	Silte Arg.	Grau F.
	cm	g kg ⁻¹								%
Perfil 1 (P1)										
A	0-20	770	160	610	110	120	77	3,81	0,92	36
E	20-40	844	123	721	83	73	40	5,86	1,14	45
Bt1	40-54	649	114	535	83	268	30	4,69	0,31	89
Bt2	54-75	410	70	340	110	480	6	4,86	0,23	99
Btf1	75-92	400	40	360	190	410	8	9,00	0,46	98
Btf2	92-141	290	60	230	30	680	12	3,83	0,04	98
BC	141-164	410	115	295	200	390	5	2,57	0,51	99
Perfil 2 (P2)										
A	0-9	570	70	500	190	240	102	7,14	0,79	58
E	9-18	590	150	440	230	180	108	2,93	1,28	40
Bt1	18-39	360	70	290	90	550	507	4,14	0,16	8
Bt2	39-60	379	56	323	93	528	36	5,77	0,18	93
BC	60-90	340	60	280	200	460	292	4,67	0,43	37
Cg1	90-106	577	96	481	226	197	19	5,01	1,15	90
Cg2	106-132	636	147	489	170	194	19	3,33	0,88	90
Perfil 3 (P3)										
A	0-15,5	856	120	736	75	69	5	6,13	1,09	93
E1	15,5-30	840	200	640	80	80	30	3,20	1,00	63
E2	30-41	890	120	770	38	72	1	6,42	0,53	99
E3	41-55	790	250	540	150	60	0	2,16	2,50	100
Btg1	55-70	570	140	430	310	120	88	3,07	2,58	27
Btg2	70-94	800	200	600	70	130	49	3,00	0,54	62
Cg	94-117	932	29	903	38	30	5	31,14	1,27	83

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Legenda: Hor.: horizonte; Prof.: profundidade; Areia T.: areia total; Areia F.: areia fina; Areia G.: areia grossa; Arg. Argila; Arg. N.: argila natural; Grau F.: grau de floculação; P1: terço superior; P2: terço médio; e P3: terço inferior.

Os teores de Ca^{+2} oscilaram entre 1,70 a 2,60 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em P1; 0,00 a 1,60 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em P2; 0,00 a 2,10 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em P3 (Tabela 3). A soma de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ superou 3,00 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em todos os perfis, com variações irregulares em profundidade (Tabela 3). O fósforo (P) variou de 0,48 a 1,31 mg dm^{-3} em P1; 0,52 a 0,72 mg dm^{-3} em P2; 0,79 a 1,49 mg dm^{-3} em P3 (Tabela 3).

Nos perfis P1, P2 e P3 os teores de K^+ variaram de 0,14 a 0,51 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em P1; 0,21 a 0,84 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em P2; 0,07 a 0,69 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em P3, sendo observados os maiores teores nos horizontes superficiais de cada perfil com redução gradual em profundidade (Tabela 3). Enquanto os teores de Na^+ variaram de 0,20 a 0,27 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em P1; 0,22 a 1,90 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em

P2; 0,15 a 0,19 cmol_c kg⁻¹ em P3, com valores mais baixos em P1 e P3 e aumento em profundidade em P2 (Tabela 3).

Tabela 3 - Atributos químicos dos perfis de solo em uma topossequência sob diferentes tipos de manejo na região sudeste do Brasil

Hor.	Prof.	pH	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al	K	Na	P	S	T	V
	cm				cmol _c kg ⁻¹				mg dm ⁻³	cmol _c kg ⁻¹	%	
Perfil 1 (P1)												
A	0-20	5,80	1,90	4,50	0,00	2,09	0,51	0,20	1,31	5,21	7,30	74
E	20-40	5,73	1,70	7,00	0,00	4,62	0,21	0,21	0,84	7,43	12,05	62
Bt1	40-54	5,44	1,90	4,00	0,00	5,28	0,20	0,21	0,56	4,42	9,70	45
Bt2	54-75	5,62	2,60	4,00	0,00	4,13	0,16	0,22	0,53	4,39	8,51	52
Btf1	75-92	5,50	2,60	6,50	0,00	4,29	0,14	0,24	0,57	6,88	11,17	62
Btf2	92-141	4,79	2,30	5,60	0,00	5,61	0,16	0,25	0,52	6,01	11,62	52
BC	141-164	4,30	2,00	3,70	1,00	6,60	0,18	0,27	0,48	4,16	10,76	39
Perfil 2 (P2)												
A	0-9	5,02	1,60	4,10	0,00	7,26	0,84	0,22	0,72	5,16	12,42	42
E	9-18	5,22	1,30	4,50	0,00	7,10	0,72	0,30	0,71	5,51	12,61	44
Bt1	18-39	5,17	1,30	5,50	0,00	6,60	0,21	1,14	0,56	6,86	13,46	51
Bt2	39-60	5,26	0,70	3,40	0,20	7,10	0,21	1,60	0,54	5,21	12,31	42
BC	60-90	5,26	0,00	4,20	0,50	7,10	0,47	1,90	0,53	6,57	13,66	48
Cg1	90-106	5,26	0,00	3,90	1,80	7,59	0,55	1,59	0,52	6,04	13,63	44
Cg2	106-132	5,34	0,00	4,10	1,80	8,58	0,53	1,72	0,53	6,35	14,93	43
Perfil 3 (P3)												
A	0-15,5	5,56	2,10	4,20	0,00	6,27	0,69	0,19	1,49	5,07	11,34	45
E1	15,5-30	5,23	0,50	2,00	0,00	6,60	0,26	0,16	1,18	2,42	9,02	27
E2	30-41	4,94	0,50	3,30	0,20	6,77	0,17	0,16	0,87	3,64	10,40	35
E3	41-55	4,78	0,00	3,60	0,50	6,60	0,13	0,15	0,79	3,88	10,48	37
Btg1	55-70	4,70	0,00	3,20	0,30	6,27	0,12	0,16	0,79	3,49	9,76	36
Btg2	70-94	4,95	0,00	3,10	0,20	5,94	0,09	0,15	0,95	3,34	9,28	36
Cg	94-117	4,95	0,00	3,50	0,00	4,95	0,07	0,15	0,87	3,72	8,67	43

Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Legenda: P1: terço superior; P2: terço médio; P3: terço inferior; Hor.: horizonte; Prof.: profundidade; S: soma de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺); T (valor T): capacidade potencial de troca catiônica (S + (H+Al)); H+Al: acidez potencial; V%: saturação por bases; K: potássio; P: fósforo; Na: sódio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; e Al: alumínio.

A da acidez potencial (H+Al) variou de 2,09 a 6,60 cmol_c kg⁻¹ em P1; 6,60 a 8,58 cmol_c kg⁻¹ em P2; 4,95 a 6,77 cmol_c kg⁻¹ em P3 (Tabela 3). O H⁺ foi predominante quando comparado a Al³⁺. Os teores de Al³⁺ aumentaram em profundidade em P1 e P2, e teve distribuição irregular em P3 (Tabela 3).

Os valores da soma de bases (S) foram baixos em todos os perfis, com valores variando entre 4,16 a 7,43 cmol_c kg⁻¹ em P1; 5,16 a 6,86 cmol_c kg⁻¹ em P2; e 2,42 a 5,07 cmol_c kg⁻¹ em

P3 (Tabela 3). A capacidade de troca catiônica (T) oscilou entre 7,30 a 12,05 cmol_c kg⁻¹ em P1; 12,31 a 14,93 cmol_c kg⁻¹ em P2; 8,67 a 11,34, cmol_c kg⁻¹ em P3 (Tabela 3).

O percentual de saturação por bases (V%) foi maior em P1, com valores superiores a 70% nos primeiros 0,20 m. Em P2 e P3, os valores não ultrapassaram 45% nessa mesma profundidade, cerca de 64% menor que em P1 (Tabela 3).

Frações de Carbono do Solo

Quanto aos teores de COT variou entre 1,04 a 6,64 g kg⁻¹ em P1; 1,61 a 11,24 g kg⁻¹ em P2 e 1,26 a 6,98 g kg⁻¹ em P3 (Figura 4a). No terço superior foram quantificados os menores teores, em contrapartida, os maiores valores de COT foi quantificado no perfil P2, localizado no terço médio da paisagem.

Fonte: Elaboração própria (2024).

Os valores de COp variaram de 0,98 a 3,03 em P1; 0,51 a 4,07 g kg⁻¹ em P2; e 1,26 a 6,98 g kg⁻¹ em P3 (Figura 4b). Pode se observar que essa fração no primeiro horizonte de P2 foi em torno de 20% menor que P1 e P3 (Figura 4b). Enquanto em COam os valores variaram de 0,06 a 5,50 g kg⁻¹ em P1; 0,03 a 10,74 g kg⁻¹ em P2; e 0,04 a 4,31 g kg⁻¹ em P3 (Figura 4c). Diferente dos teores de COp, a fração COam o P2 tem cerca de 35% a mais que quando comparado a P1 e P3 no primeiro horizonte.

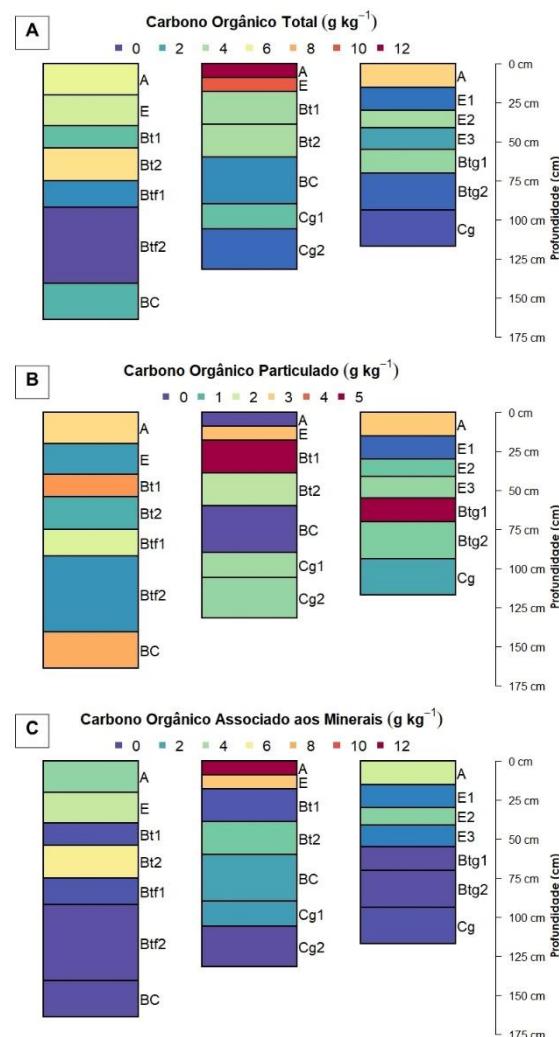
Classificação dos Solos

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o P1 foi classificado como Plintossolo Argilúvico Eutrófico típico, devido à presença de um horizonte plíntico e B textural associada à saturação por bases alta.

O P2 foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico abrúptico, devido à presença de um horizonte B textural, com predomínio de cores com matiz 7,5YR ou mais amarelo, baixa saturação por bases e ocorrência de mudança textural abrupta.

Enquanto o P3, foi classificado como um Planossolo Háplico Distrófico espessarênico, devido à mudança textural abrupta associada às propriedades redoximórficas, com predominância de cores acinzentadas e muito claras no horizonte E e baixa saturação por bases. Além disso, observou-se um predomínio de textura muito arenosa em todo o perfil, exceto nos horizontes Bt.

Figura 4 - Teores das frações de carbono orgânico total (COT) (a), carbono orgânico particulado (COp) (b) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) (c) em uma topossequência sob diferentes tipos de manejo na região sudeste do Brasil



DISCUSSÃO

Gênese do solo

A distribuição dos solos ao longo da topossequência evidencia a influência da variação do relevo e das condições hidrológicas sobre os processos pedogenéticos. Apesar da proximidade dos perfis na paisagem, foram observadas diferenças nos atributos físicos, químicos e morfológicos, resultando na ocorrência de um Plintossolo no terço superior, um Argissolo no terço médio e um Planossolo no terço inferior da topossequência. Esses solos

refletem distintos mecanismos de formação, sendo controlados principalmente pela translocação de argila, oscilação do lençol freático e dinâmica dos óxidos de ferro.

No terço superior, a presença do Plintossolo indica condições pretéritas de flutuação do lençol freático, promovendo a translocação e a posterior oxidação de ferro, formando plintita nos horizontes Btf1 e Btf2 (Oliveira et al., 2021; Pereira et al., 2022a).

Esse processo, denominado plintitização, ocorre devido à alternância entre ambientes saturados e secos, levando à precipitação de óxidos de ferro na forma de mosqueados e nódulos macios (Van Breemer e Buurman, 2002; Kämpf & Curi, 2012; Eze et al., 2014).

A presença do horizonte E nos perfis pode estar relacionada ao processo pedogenético de ferrólise, especialmente no P3, onde ocorre com maior espessura. Nesse processo, as oscilações do lençol freático nas partes mais baixas da paisagem, ocasionam a redução e, posteriormente, a oxidação do ferro, resultando na destruição dos minerais primários, caulinita e das argilas expansivas. Diante disso, a ferrólise leva à redução das bases, acidificação do solo, aumento de hidróxidos de alumínio e a baixa cristalinidade dos aluminossilicatos em subsuperfície (Brinkman, 1979; Barbiero et al., 2010; Silva et al., 2019).

As características observadas nos horizontes E1 a E3 de P3, reforçam a atuação da ferrólise na formação do solo, pelos valores de pH mais baixo (4,78 a 5,23) em comparação ao horizonte A (5,56) (Tabela 3). Esse processo também leva ao aumento da atividade do alumínio trocável, evidenciado pela presença de Al^{3+} nos horizontes E2 ($0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), E3 ($0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e Bt1 ($0,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), enquanto no horizonte A o alumínio é ausente (Tabela 3). Além disso, a soma de bases (S) é menor nos horizontes E, reforçando a translocação de nutrientes (Tabela 3).

Em todos os perfis, verificou-se um aumento do teor de argila na transição do horizonte E para o horizonte B, refletindo a atuação do processo de lessivagem. Esse processo reforça a existência de aumento gradual de argila em subsuperfície nos perfis do solo favorecidas pelas condições climáticas e topográficas (Quenárd et al., 2011; Silva et al., 2019).

A lessivagem consiste na translocação vertical de argila ao longo do perfil (eluviação/iluviação), resultando em alterações físicas do solo, como a formação de um gradiente textural (P1 e P2) e mudança textural abrupta (P3), devido ao aumento da proporção de argila nos horizontes iluviais (Medeiro et al., 2013).

No perfil P2, além da lessivagem, a elutrição pode ter contribuído para o desenvolvimento do gradiente textural. Esse processo, que promove a remoção da fração argilosa do horizonte A e seu acúmulo no horizonte Bt, explica o aumento expressivo da argila nesse horizonte (Pinheiro Junior et al., 2020). Já no perfil P3, a textura predominantemente arenosa e a descontinuidade granulométrica entre areia grossa/areia fina e silte/argila sugerem que sua formação está associada ao transporte e deposição de sedimentos (Buol et al., 2011; Pereira et al., 2022b). Essas características indicam que os processos erosivos e pedogenéticos atuaram de forma distinta ao longo da paisagem, resultando em perfis com propriedades texturais contrastantes.

Nos perfis P2 e P3, identificou-se um horizonte glei (Cg), indicando influência do processo de gleização. Esse fenômeno resulta da saturação prolongada do solo, promovendo a redução do ferro e a consequente coloração acinzentada da matriz, que se deve à redução e remoção do ferro em função do ambiente redutor, o que propicia a expressão das cores acinzentadas da caulinita e do quartzo, resultando do processo pedogenético específico de gleização, evidenciada em profundidade nesses perfis (Pereira et al., 2013). Contudo, o horizonte glei não atende completamente aos critérios diagnósticos, pois sua espessura e posição variam em relação às exigências taxonômicas (Santos et al., 2018; Souza et al., 2023).

A observação dos resultados da análise granulométrica (Tabela 2) reforça essas inferências, evidenciando um maior teor de argila nos horizontes Bt dos perfis P1 e P2, enquanto no P3 predominam teores mais elevados de areia fina. Essa característica pode estar associada à deposição de material arenoso transportado das posições mais altas da paisagem, resultando em um perfil com propriedades texturais distintas (Oyebiyi et al., 2024). Além disso, a argila dispersa em água é mais abundante nos horizontes superficiais de P1 e P2, o que favorece sua remoção e transporte ao longo da toposequência (Silva et al., 2001).

A variação dos solos ao longo da toposequência evidencia a forte influência do relevo e da drenagem nos processos pedogenéticos atuantes. No terço superior, a plintitização e a lessivagem controlam a formação do Plintossolo. No terço médio, a lessivagem intensa e a elutrição resultam em um Argissolo com clara distinção textural entre os horizontes. Já no terço inferior, a presença de horizonte glei e ferrólise sugere condições de saturação temporária, formando um Planossolo. A diversidade de solos na área reflete a interação entre

material de origem, relevo e processos pedogenéticos. A presença de Plintossolo em posições mais elevadas, associada a Planossolos e Argissolos nas posições mais baixas, indica a influência passada de oscilações redoximórficas e transgressões marinhas na formação dos solos da região (Pereira et al., 2022a).

Manejo do Solo

Atributos químicos do solo

Os maiores valores de pH em P1, pode estar relacionado à atividade agrícola, onde a manutenção de um pH ideal é necessário para atender as exigências nutricionais das culturas. Além disso, em P1 os valores de saturação por bases (V%) foi mais elevada em comparação aos demais perfis, valores estes que podem estar associados ao cultivo mais intenso do solo, pelo cultivo de cana-de-açúcar, bem como também pela necessidade de as adubações de correção e implantação da cultura.

Em relação aos demais perfis, foi observada maior acidez e menores teores de bases trocáveis (Ca^{+2} + Mg^{+2} , Na^+ e K^+), e com pouca variação em profundidade. Embora estudos de Rodrigues et al. (2016) em topossequência com floresta Ombrófila Mista Aluvial, indiquem um aumento dos teores de cálcio e magnésio nas partes mais baixas da paisagem, os resultados deste estudo mostraram uma redução nos teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} nessas áreas. Essa divergência pode estar relacionada ao grau de utilização do solo, uma vez que locais mais intensivamente manejados tendem a receber maior aporte de nutrientes. Além do relevo, as condições climáticas da região e o material de origem, proveniente de depósitos sedimentares, também influenciam diretamente a fertilidade desses solos, possivelmente contribuindo para essa variação nos teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} .

Os menores teores de P em P2 associado a valores de pH mais ácidos, pode estar associado a adsorção de fósforo nos coloides, além disso, os maiores teores de matéria orgânica podem contribuir para a fixação de fósforo no solo, tornando o fósforo menos disponível para absorção pelas plantas (Nobile et al., 2018).

Carbono orgânico total e suas frações de matéria orgânica no solo

As cores mais escuras dos horizontes superficiais nos perfis avaliados podem estar associadas ao maior teor de carbono orgânico, um dos principais agentes pigmentantes do solo. Pereira et al. (2022a) também observaram cores mais escuras no horizonte superficial,

em função do conteúdo de carbono orgânico, em perfis localizados na região de Mar de Morros do Rio de Janeiro. Quanto ao COT, o P1 apresentou os menores teores em superfície, tendência que pode estar associado a maior intensidade de uso agrícola, principalmente pelo revolvimento no processo de implantação da cultura da cana-de-açúcar, que acelera a decomposição da matéria orgânica (Kunde et al., 2016).

Em P1, o aumento de COT em Bt2 pode estar relacionado à maior profundidade do sistema radicular da cana-de-açúcar, uma cultura perene cuja melhor distribuição radicular, associada ao aporte de nutrientes para manutenção da produtividade, favorece a incorporação de matéria orgânica em camadas mais profundas do solo (Briedis et al., 2012). Já o maior acúmulo relativo de COp em Bt1 pode estar associado tanto ao manejo do solo e à natureza da cultura, devido ao sistema radicular profundo da cana (Pinheiro et al., 2015), quanto às características do solo, especialmente granulometria e grau de floculação. O horizonte Bt1 apresenta maior quantidade de argila dispersa e menor grau de floculação em comparação ao Bt2, favorecendo o acúmulo de frações mais lábeis de carbono (Pinto et al., 2020).

Os maiores teores de COT em P2 podem ser atribuídos ao uso predominante da área para pastagens, que apresentam práticas de manejo menos intensivas e menor aplicação de insumos em comparação com as áreas de cana-de-açúcar. O cultivo de cana por envolver práticas como correção da acidez do solo, aplicação de fertilizantes, resultam em maior impacto no solo (Freitas et al., 2024). Em função das gramíneas possuírem alta capacidade de produção de biomassa, além das raízes das gramíneas serem mais eficientes em adicionar carbono ao solo, pela exsudação de fotoassimilados, o que também pode contribuir para o aumento do COT no solo (Roselem et al., 2016). Enquanto, em P3 a condição de hidromorfismo e maior proximidade do lençol freático são fatores limitantes no processo de decomposição da matéria orgânica, explicando os teores mais elevados no horizonte superficial de COT, quando comparado terço superior e COp quando ao terço médio (Fontana et al., 2014). A maior proporção de COp no horizonte Bt em P3 pode estar associada ao fato do solo estar em pousio, que favorece a deposição e manutenção da matéria orgânica. Além disso, o baixo teor de argila e menor grau de floculação reduzem a formação de complexos

argilo-orgânicos, o que pode dificultar a estabilização da matéria orgânica no solo (Pinto et al., 2020), favorecendo a translocação da matéria orgânica particulada (COp).

Os maiores teores de COam em P2, quando comparado ao terço superior e inferior, podem estar associados a composição química e pelo aporte de resíduos vegetais das gramíneas, cuja decomposição ocorre de forma mais lenta, favorecendo assim o aumento dos teores de carbono ligados as frações de argila e silte, formando complexos organominerais (Nanzer et al., 2019).

De forma geral a fração COp é mais sensível as alterações de manejo em curto prazo, e seus teores são menores que de COam (Kunde et al., 2016). Os maiores teores de COp em P1, quando comparado ao P2, pode estar associado ao incremento de biomassa da cana-de-açúcar, mas em uma fração menos estável, resultante do cultivo mais intensivo nessa posição de paisagem, que diminui a estabilização e acelerar a mineralização da matéria orgânica (Kunde et al., 2016; Nanzer et al., 2019).

Os teores de COT, COp e COam refletem a influência das práticas de manejo e das características da paisagem na dinâmica da matéria orgânica do solo. O manejo agrícola condiciona os processos de estabilização e decomposição do carbono. Em P1, o cultivo intensivo da cana-de-açúcar resultou em menores teores de COT e maior instabilidade da matéria orgânica, enquanto em P2, a presença de pastagem favoreceu o acúmulo de carbono em frações mais estáveis. Já em P3, a influência do lençol freático restringiu a decomposição, resultando em maior preservação da matéria orgânica nos horizontes superficiais.

A dinâmica entre COp e COam nos perfis analisados apresentou um padrão semelhante, com maiores teores de COp em Bt1 e menores em Bt2. Em contrapartida, os teores de COam foram mais baixos em Bt1 e mais elevados em Bt2. Esse padrão pode estar relacionado à constituição granulométrica e ao grau de floculação do solo. Nos horizontes Bt1, a maior dispersão da fração argila e o menor grau de floculação podem comprometer a agregação do solo, resultando em um maior acúmulo da fração mais lábil de carbono, o que explica os elevados teores de COp nesse horizonte (Pinto et al., 2020). Por outro lado, nos horizontes Bt2, a redução da argila natural e o aumento na floculação favorecem a formação de agregados, promovendo a proteção física da matéria orgânica por meio da formação de complexos argilo-orgânicos, que são menos suscetíveis à decomposição (Gatto et al., 2010).

Esse processo corrobora os maiores teores de COam observados nesse horizonte. Dessa forma, os resultados sugerem que a variação nos teores de COp e COam entre os horizontes Bt1 e Bt2 pode estar associada tanto à dinâmica de estabilização da matéria orgânica quanto às propriedades mineralógicas do solo, especialmente no que diz respeito à dispersão e floculação da argila.

Os resultados evidenciaram a influência das práticas de manejo e das características da paisagem sobre os atributos químicos e a dinâmica da matéria orgânica do solo.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 20 jun.2024.

ALVES, G.B. et al. Toposequence: What are we talking about? **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 48, e0230137, 2024. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230137>. Acesso em: 20 jun.2024.

BARBIERO, L. et al. Ferrolysis induced soil transformation by natural drainage in Vertisols of sub-humid South India. **Geoderma**, v. 156, n. 3, p. 173–188, 15 maio 2010. Acesso em: 15 jun.2024.

BRIEDIS, C. et al. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1483–1490, nov. 2012. Acesso em: 20 jun.2024.

BRINKMAN, R. **Ferrolysis, a soil-forming process in hydromorphic conditions**. 20 abr. 1979.

BUOL, S. W et al. **Soil genesis and classification**. 6. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. In: BRUSSAARD, L.; KOOISTRA, M. J. (Orgs.). Soil Structure/Soil Biota Interrelationships. Amsterdam: Elsevier, 1993. p. 449–457.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81490-6.50036-4>. Acesso em: 20 jun.2024.

CARVALHO, D.F et al. Coeficientes da equação de Angström-Prescott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 838–844, ago. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800011>. Acesso em: 30 jun.2024.

EZE, P. N.; UDEIGWE, T. K.; MEADOWS, M. E. Plinthite and Its Associated Evolutionary Forms in Soils and Landscapes: A Review. **Pedosphere**, v. 24, n. 2, p. 153–166, 1 abr. 2014.
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60002-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60002-3). Acesso em: 15 jun.2024.

Fontana, A. et al. Matéria orgânica de horizontes superficiais em topolitossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, 2014, 45, 2, 221-229. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200001>. Acesso em: 10 jun.2024.

GATTO, A. et al. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1069–1079, ago. 2010.
<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400007>. Acesso em: 02 jun.2024.

JENNY, H. *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. New York: McGraw-Hill, 1941. 271 p.

KÄMPF, N; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, João Carlos; CURI, Nilton; SCHAEFER, Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud; VIDAL-TORRADO, Pablo (org.). *Pedologia: fundamentos*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 207–302. Acesso em: 20 jun.2024.

KUNDE, R.J et al. Frações físicas da matéria orgânica em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, p. 1520–1528, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900051>. Acesso em: 12 jun.2024.

MEDEIROS, P.S et al. Caracterização e classificação de solos graníticos em topossequência na região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 43, p. 1210–1217, jul. 2013. Acesso em: 20 jun.2024.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly of East African soils. **Soil Research. Supplements to the Proceedings of the International Society of Soil Science**, v. 3, p. 183–198, 1935. Acesso em: 20 jun.2024.

NANZER, M.C et al. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 18, n. 1, p. 136–145, 2019.
Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811711812019136>. Acesso em: 20 jun.2024
NOBILE, C et al. Phosphorus sorption capacity and availability along a toposequence of agricultural soils: effects of soil type and a decade of fertilizer applications. **Soil Use and Management**, v. 34, n. 4, p. 461–471, 2018. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/sum.12457>. Acesso em: 15 jan.2025

OLIVEIRA, A.S et al. Caracterização morfológica, física e química de solos da bacia hidrográfica do médio curso do rio Teles Pires, no Município de Alta Floresta-MT. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, e34210918157, 2021.
Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18157>. Acesso em: 15 jan.2025

OYEBIYI, O.O et al. Evaluation of soil properties variability along a toposequence in Wasinmi, Southwest Nigeria. **Agricultura Tropica et Subtropica**, v. 57, p. 90–99, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/ats-2024-0009>. Acesso em: 15 jan.2025

PAZ, Y.M et al. Avaliação espacial da produção de sedimentos e estratégias para redução dos processos erosivos em bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. **Derbyana**, v. 43, e753, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/derb.v43.753>. Acesso em: 15 jan.2025.

PEREIRA, M.G et al. Caracterização e classificação de solos em uma topossequência sobre calcário na Serra da Bodoquena, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 25–36, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100003>. 20 jun.2024

PEREIRA, M.G et al. Soil genesis on the soft slopes of ancient coastal plains, southeastern Brazil. **Catena**, v. 210, 105894, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105894>. 20 jun.2024.

PEREIRA, Marcos Gervasio et al. Genesis and transformation of basic rock-derived soils with shiny ped faces under tropical conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, e0220028, 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220028>. 15 jan.2025.

PINHEIRO, É.F.M et al. Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter. **Agricultural Systems**, v. 132, p. 35–39, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.008>.

PINHEIRO JUNIOR, Carlos Roberto et al. Pedogenesis in a topo-climosequence in the Agreste region of Pernambuco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 2, p. 177–187, 2019a. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190021>. 15 jan.2025.

PINHEIRO JUNIOR, C.R et al. Caracterização dos solos e limitações de uso em uma topossequência na Baixada Litorânea Fluminense, RJ. In: TULLIO, L. (org.). *Características dos Solos e sua Intereração com as Plantas*. Atena Editora, p. 25–37, 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.1781917103>. 10 jan.2025

PINHEIRO JUNIOR, C.R et al. Solos do Brasil: gênese, classificação e limitações ao uso. In: RIBEIRO, José Carlos (org.). *Ciências Exatas e da Terra: conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país*. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, p. 183–199, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.60220020715>. Acesso em: 25 jan. 2025.

PINTO, L.A.S.R et al. Carbono orgânico e agregação do solo em áreas sob diferentes densidades de plantio da cultura da bananeira. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10268–10285, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-053>. Acesso em: 25 jun. 2024.

RODRIGUES, A.L *et al.* Atributos de um solo florestal em uma topossequência e relações com a comunidade arbórea. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 145–154, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rf.v46i2.36219>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SANTOS, A.C *et al.* Weathering and pedogenesis of mafic rock in the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 111, 103452, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103452>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SANTOS, A.C et al. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio Vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1297–1314, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-0683201000400027>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SANTOS, H.G *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

SANTOS, R.D *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**, 2015, 7º Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

SILVA, M.B *et al.* Estudo de topossequência da Baixada Litorânea Fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 965–976, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000400019>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SILVA, L.F *et al.* Genesis, morphology and mineralogy of Planosols developed from different parent materials in southern Brazil. **Geoderma**, v. 341, p. 46–58, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.010>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SOUZA, D.S *et al.* Gleysols genesis and fluvial dynamics in a quaternary floodplain of the meandering river, Minas Gerais, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 131, 104615, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104615> Acesso em: TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

VAN BREEMEN, N; BUURMAN, P. **Soil Formation**. 2. ed. **Dordrecht: Kluwer Academic Publishers**, 2002. 404 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-0-585-31788-5>. Acesso em: 25 jun. 2024.

YEOMANS, John Chandler; BREMNER, John Murray. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467–1476, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>. 20 jan. 2024

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).