Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Instituto de Geografia

Rulian Pessoa Rodrigues

Qualidade física de solos sob pastagens submetidas a reflorestamentos em épocas distintas: Pinheiral-RJ

Rio de Janeiro
2021

Rulian Pessoa Rodrigues

Qualidade física de solos sob pastagens submetidas a reflorestamentos em épocas distintas: Pinheiral-RJ

Dissertação, apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Solos.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Portocarrero

Coorientador: Dr. Thiago Andrade Bernini

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

R696 Rodrigues, Rulian Pessoa.
Qualidade física de solos sob pastagens submetidas a reflorestamentos em épocas distintas: Pinheiral-RJ / Rulian Pessoa Rodrigues. – 2021.
76 f. : il.

Orientador: Hugo Portocarrero.
Coorientador: Thiago Andrade Bernini.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia.

1. Geografia humana – Solos – Rio de Janeiro (RJ) – Teses. 2. Solos – Propriedades físicas – Pinheiral (RJ) – Teses. 3. Solos – Degradação – Pinheiral (RJ) – Teses. 4. Degradação ambiental – Aspectos socioeconômicos – Teses. 5. Pastagens – Manejo – Teses. 6. Reflorestamento – Rio de Janeiro (Estado) – Teses. I. Portocarrero, Hugo. II. Bernini, Thiago Andrade. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. IV. Título.

CDU 911.3(815.3)

Bibliotecária responsável: Fernanda Lobo / CRB-7: 5265

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

_____ _____

Assinatura Data

Rulian Pessoa Rodrigues

Qualidade física de solos sob pastagens submetidas a reflorestamentos em épocas distintas: Pinheiral-RJ

Dissertação, apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Solos.

Aprovada em 25 de maio de 2021.

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. Hugo Portocarrero (Orientador)
Instituto de Geografia - UERJ

_____

Dr. Thiago Andrade Bernini (Coorientador)

Instituto Federal do Rio de Janeiro

_____

Prof. Dr. Antônio Soares

Instituto de Geografia – UERJ

_____

Dr. Aluísio Granato de Andrade

EMBRAPA Solos.

Rio de Janeiro

2021

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida e força nos momentos difíceis.

À minha companheira de vida, Vanessa Carvalho, e familiares (principalmente meus pais e meu irmão) pelo apoio emocional nestes dois anos.

Ao meu orientador, Hugo Portocarrero, pela orientação, apoio em trabalhos de campo e discussões valiosas que ampliaram meus horizontes, contribuindo para minha formação acadêmica e profissional.

Ao meu coorientador, Thiago Andrade Bernini, pelo apoio fundamental nos trabalhos de campo e pelas considerações feitas sobre esta dissertação.

Ao Antônio Soares pela contribuição valiosa para a versão final desta dissertação.

Ao Aluísio Granato de Andrade pela oportunidade de estagiar na Embrapa solos e pelas considerações muito importantes feitas sobre este trabalho.

Ao Júlio (meu grande amigo), Micael Oliveira e Vanderson Batista pelo apoio no trabalho de campo.

À Priscila pelo apoio nas análises de estabilidade de agregados realizadas na Embrapa Solos.

Ao Rafael Amorim pelo apoio fundamental nas análises laboratoriais realizadas no laboratório de Geografia Física da Uerj.

RESUMO

RODRIGUES, Rulian Pessoa. *Qualidade física de solos sob pastagens submetidas a reflorestamentos em épocas distintas: Pinheiral-RJ.* 2021. 76 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2021.

A degradação das terras, em um determinado espaço geográfico, está relacionada à história da sua ocupação antrópica e as formas de uso a que esta é e foi submetida. Na região do médio vale do Rio Paraíba do Sul, o modo como foram introduzidas as plantações de café ocasionou na destruição de grande parte da Mata Atlântica. Os plantios "morro acima" e a falta de práticas de conservação aceleraram o processo de degradação físico-química dos solos, fazendo com que os produtores de café desmatassem ainda mais áreas em busca de expansão das áreas de plantio e da manutenção dos lucros. Este trabalho teve como objetivo contribuir para a compreensão da influência de diferentes formas de uso e ocupação das terras nesta região, tais como pastagens e áreas submetidas reflorestamentos em épocas distintas, sobre a qualidade física dos solos, usando como recorte espacial a área do Campus Pinheiral do Instituto Federal do Rio de Janeiro – IFRJ. Para tal foram analisados, em três subáreas, através da abertura de minitrincheiras, os atributos morfológicos dos solos, sendo coletadas amostras para análises de granulometria, densidade de partículas, densidade dos solos, porosidade total, teores de matéria orgânica, estoques de carbono (C) e estabilidade de agregados. As pastagens degradadas, apesar de representarem um ambiente pouco sustentável, evidenciaram solos com boa qualidade física, embora exibindo alguns sinais de compactação. Isso ficou evidenciado pelos elevados teores de matéria orgânica, mostrando que as pastagens possuem elevada produção de biomassa, propiciando a formação de agregados com maiores diâmetros médios ponderados e geométricos. Nas pastagens queimadas observou-se redução nos teores de matéria orgânica e nos valores dos índices de agregação. Reflorestamentos de 5 anos apresentaram solos de qualidade intermediária considerando as áreas de pastagens e os reflorestamentos mais antigos. Os reflorestamentos de 20 anos apresentaram solos com melhor qualidade física, com uma morfologia, caracterizada por estrutura superficial em blocos subangulares a grumosa, favorecida por elevados teores de matéria orgânica, o que propiciou menores valores de densidade aparente, maiores estoques de carbono e melhores índices de agregação. As análises estatísticas através do teste de *Tukey* demostraram que os valores dos teores de matéria orgânica, especialmente nas profundidades de 0-10 cm, foram maiores nos reflorestamentos de 20 anos, apesar ter sido observada diferença em relação aos índices de agregação. Os resultados da dissertação permitiram concluir que os reflorestamentos influenciaram positivamente na qualidade física dos solos, propiciando elevados teores de matéria orgânica e índices de agregação. Tais práticas, uma vez que refletem no controle da erosão, permitiram também o retorno dos ecossistemas originais e dos serviços ambientais atrelados em áreas anteriormente degradadas.

Palavras-Chave: Degradação das terras. Propriedades físicas dos solos. Reflorestamentos.

ABSTRACT

RODRIGUES, Rulian Pessoa. *Soil physical quality under pastures submitted to reforestation at different times: Pinheiral-RJ*. 2021. 76 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2021.

The land degradation of a given geographical space is related to the history of its human occupation and the forms of use to which it is and has been subjected. In the region of the middle valley of the Paraíba do Sul River, the way coffee plantations were introduced resulted in the destruction of much of the Atlantic Forest. The "uphill" plantations and the lack of conservation practices accelerated the process of physical-chemical degradation of the soils, causing coffee producers to deforest even more areas in search of expanding the planting areas and maintaining profits. This work aimed to contribute to the understanding of the influence of different forms of land use and occupation in this region, such as pastures and areas submitted to reforestation at different times, on the physical quality of the soils, using the area of the land as a spatial cutout. Pinheiral Campus of the Federal Institute of Rio de Janeiro - IFRJ. Soil morphological aspects were identified in different sub-areas at two depths, with particle size analysis, particle density, soil density total porosity, organic matter content, carbon stocks and aggregate stability. Degraded pastures, despite representing an unsustainable environment, showed soils with good physical quality, although showing some signs of compaction, and this was evidenced by the high levels of organic matter, showing that the pastures have high biomass production, enabling the formation of aggregates with greater weighted and geometric mean diameters. In the burnt pastures there was a reduction in the contents of organic matter and in the values of aggregation indexes. 5-year reforestations showed intermediate-quality soils considering pasture areas and the oldest reforestations. The reforestation of 20 years showed soils with better physical quality, with a morphology, characterized by structure in subangular to lumpy blocks and favored by high levels of organic matter, which provided lower values of apparent density and higher rates of aggregation. Statistical analyzes through the Tukey test showed that the values of organic matter contents, especially at depths of 0-10 cm, were higher in reforestation for 20 years, although there is no difference in relation to aggregation rates. The results of the dissertation allowed to conclude that: the reforestation evaluated in its most advanced stages had a positive influence on the physical quality of the soils, providing soils with high levels of organic matter and aggregation indexes; such practices, since they reflect on the control of erosion, on the return of the original ecosystems and environmental services linked to previously degraded areas.

Key words: Land degradation. Soil physical properties. Reforestation.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	9
1	**REVISÃO DE CONCEITOS**	11
1.1	**Áreas degradadas**	11
1.2	**Qualidade física dos solos**	12
2.1	**Área de estudos**	15
2.1.1	Localização e clima regional	16
2.1.2	Substrato geológico	17
2.1.3	Geomorfologia regional	19
2.1.4	Cobertura pedológica	20
2.1.5	Uso e cobertura vegetal	23
3	**METODOLOGIA**	32
4	**RESULTADOS E DISCUSSÃO**	41
4.1	**Descrição das minitrincheiras**	41
4.2	**Análise granulométrica**	50
4.3	**Densidade de partículas**	52
4.4	**Densidade do solo e porosidade total**	54
4.5	**Teor de matéria orgânica**	57
4.6	**Estoque de carbono no solo**	61
4.7	**Estabilidade de agregados**	64
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	72

INTRODUÇÃO

A degradação ambiental de um determinado espaço geográfico está relacionada à história da sua ocupação antrópica e as formas de uso a que é e foi submetida. O conhecimento dessa história pode ser considerado de grande valia para a compreensão dos processos de degradação e recuperação do ambiente como um todo e, consequentemente, para tomadas de decisões que busquem formas sustentáveis para a ocupação e uso das terras.

Na região do médio vale do Rio Paraíba do Sul, o cultivo de plantações de café ocasionou a destruição de grande parte da Mata Atlântica. Os produtores desmatavam e queimavam áreas de floresta primária para o plantio do café, pois consideravam que seus solos, férteis e com elevados teores teor de matéria orgânica, eram extremamente propícios para o cultivo. As plantações de café "morro acima" e a falta de práticas de conservação aceleravam o processo de degradação físico-química dos solos, fazendo com que os produtores de café desmatassem ainda mais áreas com o objetivo de expandir as áreas de plantio e manter os lucros. Segundo Dantas & Coelho Netto (1996), esse padrão de ocupação levou ao desnudamento progressivo de praticamente todo o Médio Vale do Paraíba do Sul.

A derrubada das florestas para implantação dos cafezais foi a principal causa, mas não a única, do desflorestamento ocorrido no século XIX. O desenvolvimento da atividade cafeeira trouxe consigo o crescimento demográfico, a urbanização, a industrialização e a criação das ferrovias. Nos quarenta anos que antecederam a proibição do tráfico de escravos, 3,1 milhões de escravos chegaram ao Brasil, sendo a grande maioria no Rio de Janeiro (Dantas & Coelho Netto, 1996). Esses componentes, característicos do desenvolvimento da época, induziram a um aumento significativo da demanda de alimentos, para uma população cada vez maior, que seriam produzidos mediante uma agricultura tradicional, que também significaria outro obstáculo à manutenção da Mata Atlântica (Dean, 1997).

No início do século XX iniciou-se o que pode ser definido como um novo ciclo para região, caracterizado por uma concomitância de atividades extrativista e produtiva, através do crescimento da exploração de madeira para geração de energia (lenha e carvão) e da pecuária leiteira. Na verdade, a derrubada de remanescentes ou mesmo de capoeiras, formadas em áreas abandonadas pela cafeicultura, parece ter sido realizada para explorar sua madeira e, ao mesmo tempo, uma estratégia de ampliação e demarcação das áreas de pastagens. No entanto, apesar da decadência da atividade pecuária, a ocupação das terras na região por pastagens ainda

predomina, e nos últimos anos a pecuária de corte extensiva vem inclusive se expandindo. Ainda predominam, no contexto desta pecuária regional, práticas inadequadas de manejo das pastagens, com forte pressão de pastoreio e uso de queimadas frequentes para limpeza favorecendo a degradação dos solos pela intensificação da erosão (Menezes, 2008).

A erosão dos solos, evidenciada pela presença de uma grande quantidade de ravinas e voçorocas em toda a região, atualmente constitui um fenômeno claramente observado na paisagem da região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. A região do município de Pinheiral concentra uma das maiores proporções destas feições por metro quadrado em nível nacional e, para lidar com estes problemas, projetos de recuperação de áreas degradadas (RAD) envolvendo reflorestamentos têm sido realizados nos últimos 20 anos, o que pode estar resultando na recuperação da qualidade física dos solos e no restabelecimento do ambiente natural na região (Machado, 2007).

Este trabalho teve como objetivo contribuir para a compreensão da influência de diferentes formas de uso e ocupação das terras, tais como pastagens e áreas submetidas a reflorestamentos após períodos distintos, sobre a qualidade física dos solos, usando como recorte espacial a área do Campus Pinheiral do Instituto Federal do Rio de Janeiro – IFRJ, localizado na região do médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Para tal foram identificados, em três subáreas, através da abertura de minitrincheiras, os atributos morfológicos dos solos, sendo coletadas amostras para análises de granulometria, densidade de partículas, densidade dos solos, porosidade total, teores de matéria orgânica, estoques de carbono (C) e estabilidade de agregados.

1 REVISÃO DE CONCEITOS

1.1 **Áreas degradadas**

Em termos políticos, com o objetivo de evitar generalizações vagas e orientar o uso e manejo dos recursos naturais, foi criado uma definição sobre degradação ambiental, através do decreto n° 97.632, de 10 de abril de 1989, que regulamenta o artigo 2°, inciso VII da lei n° 6938, de 31 de agosto de 1981. Ficou estabelecido que:

> São considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas das suas propriedades, tais como a qualidade ou a capacidade produtiva dos recursos ambientais e que a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a estabilidade do ambiente.

O conceito de degradação ambiental é muito amplo, e tende a variar de acordo com a linha de pensamento que o caracteriza. De modo geral, refere-se às modificações feitas aos ecossistemas naturais, que alteram suas características físicas, químicas e biológicas de forma negativa, comprometendo sua capacidade de regeneração natural e/ou de uso agropecuário que anteriormente era possível.

Sobre os solos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) considera, na NBR 10703, que a degradação ocorre a partir de *"Alterações adversas das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto estabelecidos em planejamento quanto os potenciais"*. A maior causa da degradação dos solos está associada ao manejo inadequado dos recursos naturais. Na agricultura, destacam-se o monocultivo, o uso indiscriminado de agroquímicos e fertilizantes, a exposição do solo pelo desmatamento indiscriminado, pelas queimadas e/ou pelo manejo com cultivos que não propiciem proteção adequada ao solo e a destruição de sua estrutura original por práticas como aração e gradagem, excesso de tráfego de máquinas e manejo de animais acima da capacidade de suporte das pastagens. Já em áreas urbanas, as principais atividades que aceleram os processos de erosão dos solos, bem como a ocorrência de movimentos de massa, são a ocupação desordenada de encostas em áreas de risco, obras mal projetadas/executadas, como cortes e aterros sem sistemas eficientes de drenagem e revegetação, e a impermeabilização do solo com a construção de estradas e edificações concentrando águas pluviais superficiais (Chaves *et.al.*, 2012)

1.2 **Qualidade física dos solos**

A qualidade física dos solos refere-se à capacidade do solo para desempenhar funções relacionadas à sustentação da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde de plantas e animais e à sustentação de estruturas socioeconômicas e de habitação humana (Doran; Parkin, 1994).

A utilização de indicadores como a densidade do solo, a porosidade total, a estabilidade de agregados, o teor de matéria orgânica e estoque de carbono orgânico no solo é considerada essencial para o monitoramento de impactos de fenômenos naturais ou de ações antrópicas sobre a qualidade dos solos. Assim, a adoção de práticas de manejo contribui não só para a conservação das propriedades físicas e químicas dos solos, mas também para a organização territorial, favorecendo o planejamento ambiental e o uso sustentável do solo.

A densidade dos solos, definida como a propriedade física do solo que expressa a relação entre a massa das partículas secas do solo e seu volume total, revela grande sensibilidade a variações nos teores de matéria orgânica e nas práticas de manejo presentes (Corsini & Ferraudo, 1999), sendo sua importância em relação a produtividade vegetal diretamente relacionada ao espaço poral, essencial na estocagem de ar e água e ao crescimento radicular (Weil et al, 1993).

Segundo Marshal *et al* (1996) a porosidade é um dos atributos físicos de maior relevância na avaliação da qualidade física do solo. O espaço poral existe em função das inevitáveis aberturas no empacotamento das partículas do solo devidas aos distúrbios causados pelo desenvolvimento das raízes; atividades da fauna do solo; expansão e contração; quebra e redução pelo ciclo de umedecimento e secagem; e ainda pelo cultivo que altera os espaços existentes entre os agregados (porosidade inter-agregados) ou dentro deles (porosidade intra-agregados).

A estrutura é influenciada diretamente pela biologia do solo, sendo fator determinante da qualidade e do equilíbrio da biodiversidade do solo. Portanto, a adequada agregação das partículas dos solos reflete efeitos positivos do desenvolvimento da vegetação; por outro lado, quando as partículas se encontram dispersas, desagregadas ou muito coesas, os resultados são adversos à qualidade do solo e à atividade agrícola. Isto significa que é a estrutura dos solos que expressa mais claramente os impactos da antropização, cujas ações de origem física, química e biológica afetam seus processos dinâmicos, sua construção ou degradação,

interferindo diretamente na atividade biológica e, consequentemente, na fertilidade e capacidade produtiva.

A estabilidade dos agregados representa uma propriedade fundamental dos solos, já que está diretamente relacionada a sustentabilidade dos mesmos e à sua erodibilidade, não sendo possível estudar essa propriedade sem a interlocução com os processos químicos, físicos e biológicos presentes (Amézketa,1999). Nos agregados, as partículas estão ligadas por substâncias orgânicas e/ou minerais, como carbonatos, óxidos de ferro, de alumínio, entre outras (Ralisch *et.al* 2017).

Os agregados ou unidades estruturais, presentes nos diferentes horizontes que compõem os perfis de solos, são subdivididos para fins de pesquisa em unidades secundárias, ou microagregados (<25mm), e unidades primárias, ou macroagregados (>0,25mm) (Tisdall & Oades,1982). A presença de macroagregados, medida através do Diâmetro Médio Ponderado (DMP), reflete a resistência do solo à erosão, já que quanto maior for o agregado, maiores serão os espaços porosos entre agregados resultando numa maior infiltração de água (Roth *et al*,1986). A capacidade dos agregados em resistir a rupturas quando umedecidos, medida através do Índice de Estabilidade dos Agregados, é importante para a manutenção de maior condutividade hidráulica e aeração do solo e crescimento de raízes (Kemper & Rosenau, 1986).

A implantação de diferentes coberturas vegetais sob os solos promove modificações em suas propriedades físicas, alterando o regime de infiltração, o escoamento superficial e a sua erodibilidade. O solo sob vegetação nativa, em geral, apresenta propriedades físicas como estrutura, densidade e porosidade do solo adequadas ao desenvolvimento das plantas (Andreola *et al*., 2000). Na proporção em que se intensifica o uso agrícola os atributos físico-hídricos do solo tendem a sofrer alterações, geralmente adversas ao crescimento vegetal, que ficam mais nítidas quando os sistemas de uso são comparados com o estado do solo ainda sob vegetação natural (Santos, 2010).

Lanzanova *et al*. (2007), ao estudar atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto, observaram que a microporosidade do solo não foi significativamente alterada pelos sistemas de manejo das pastagens em nenhuma das camadas de solo estudadas. Contudo, a macroporosidade e a porosidade total sofreram alterações adversas ao crescimento vegetal devido ao pisoteio bovino na camada superficial, ambas diferindo da área não pastejada. Neste sentido, a passagem dos animais causa a compactação do solo, reduzindo a porosidade total e aumentando o escoamento superficial.

Cassol (2003) observou aumento na infiltração de água diretamente proporcional ao incremento da altura de resíduo da pastagem, evidenciando a degradação da qualidade do solo quando sob elevada pressão de pastejo.

Sobre a estabilidade de agregados, Salton *et.al* (2008), em estudo sobre agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul, observou que a formação de macroagregados parece estar relacionada a presença de raízes, que são mais abundantes sob pastagens de gramíneas, encontrando valores superiores a 4,76mm nos sistemas com pastagens. Silva e Mielniczuk (1998) em estudo sobre sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade dos agregados, notaram que a estabilidade dos agregados do solo tende a aumentar mais em solos sob gramíneas do que solos sob leguminosas.

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser entendida como todo material orgânico, vegetal ou animal, liteira, fragmentos de resíduos, biomassa microbiana, composto solúveis e a matéria orgânica ligada intimamente aos argilominerais (Guerra, 2005). A matéria orgânica do solo é um importante componente na definição dos sistemas agrícolas e no desenvolvimento das plantas, influenciando nos processos físicos, químicos e biológicos do solo. Neste sentido, A MOS constitui um sistema muito complexo em que se encontram resíduos das plantas e animais em diferentes graus de decomposição e produtos excretados pelos organismos vivos, com grande influência sob as propriedades químicas dos solos, o que é evidenciado pela disponibilização de elementos essenciais como nitrogênio, fósforo e enxofre, já que estes nutrientes são seus constituintes principais (Cunha *et. al*, 2016).

É considerada um dos indicadores mais úteis em relação a qualidade dos solos, pois sua interação com outros componentes tem efeito sobre: a retenção de água no solo; formação de agregados; densidade do solo; pH; capacidade de troca catiônica; disponibilização de nutrientes para as plantas; infiltração; aeração e atividade microbiana (Cidin, 2016).

Segundo Guerra (2005) a MOS é importante para a cimentação das frações e estabilidade dos agregados dos solos, sendo um importante bioindicador da qualidade ambiental. Neste sentido, *op.cit* (2005), através de uma ampla revisão bibliográfica, chegou à conclusão que o teor de matéria orgânica nos solos representa um excelente agente cimentante, aumentando a estabilidade dos agregados superficiais dos solos e diminuindo as suas erodibilidade.

Nota-se, também, que a matéria orgânica do solo é um indicador sensível de alterações do solo, decorrentes do seu uso e ocupação. O estoque, as formas de carbono orgânico e as características químicas do solo estão estreitamente relacionados e variam de acordo com as práticas de manejo. Segundo Távora (2019), no que diz respeito a prestação de serviços

ecossistêmicos pelo solo, o estoque de C é um bom indicador para o serviço de sequestro de carbono, pois é muito suscetível às alterações de uso da terra e o emprego de diferentes formas de manejo.

A conversão de ecossistemas naturais para uso agrícola pode exercer uma grande influência no destino do carbono (C) estocado nos solos. Mudanças no uso da terra alteram os processos biogeoquímicos do solo, com reflexos no estoque de C e no fluxo de gases entre o solo e a atmosfera. Dependendo das características da área e do sistema de manejo adotado, essas alterações podem representar uma mudança no papel do solo como reservatório de C, alterando as taxas de emissão de dióxido de carbono (CO2) e metano (CH4). As emissões líquidas desses gases estão associadas com as mudanças nas quantidades do C estocado. (Fernandes *et.al*, 2008).

Sobre o sequestro de C nos solos percebe-se que a humificação, agregação e sedimentação são os principais responsáveis (Machado, 2005). Por outro lado, os processos responsáveis pelas perdas de C no solo são erosão, decomposição, volatilização e lixiviação (*op. cit* 2005). Geralmente, as concentrações de C são maiores nas camadas superficiais e tendem a diminuir exponencialmente conforme aumenta a profundidade (*op.cit,* 2005). Estimativas mostraram que metade do C estocado no solo refere-se aos solos sob florestas, enquanto as áreas sob pastagens contêm cerca de 500 Pg e áreas sob cultivo agrícola, 170 Pg de C. Os solos tropicais armazenam 506 Pg C, sendo 66 Pg C concentrados na Amazônia brasileira (Cidin. 2016).

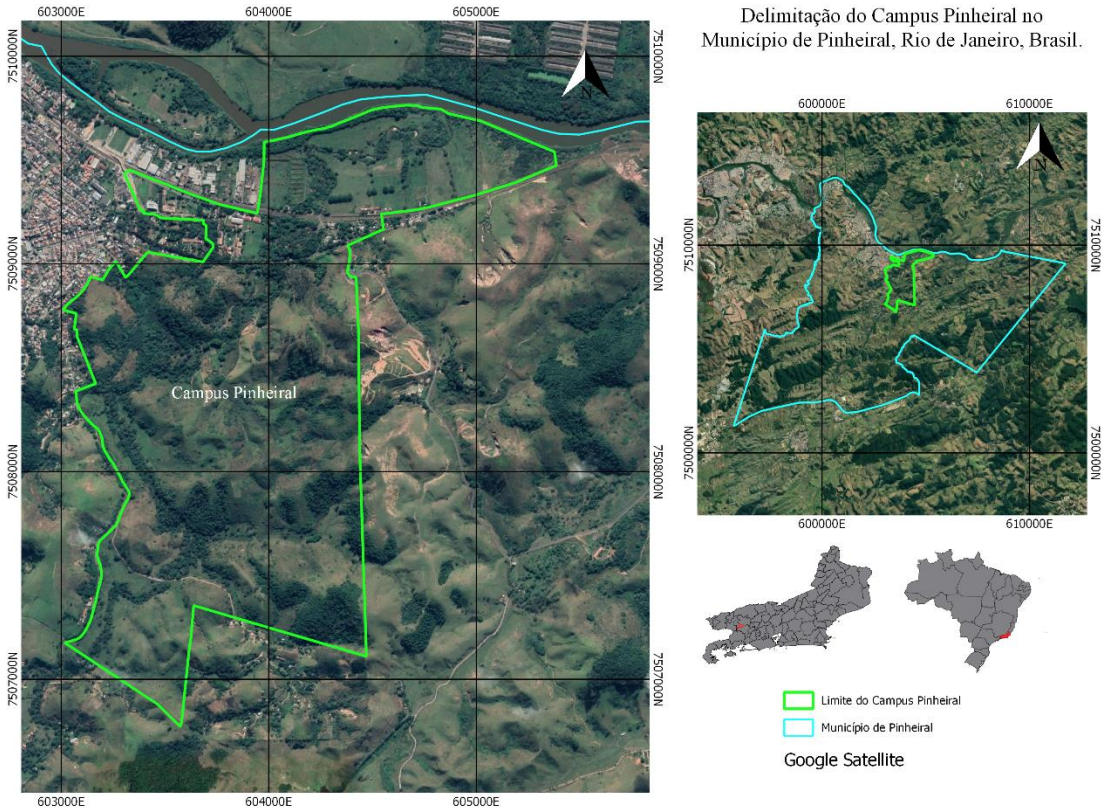
As atuais evidências da contribuição do CO2 atmosférico para o aquecimento global têm aumentado o interesse pelo carbono orgânico do solo, por ser um dos principais compartimentos do ciclo terrestre deste elemento (Lal, 2004). A maior parte do carbono orgânico fixado pelas plantas é capturada na fotossíntese, retornando para a atmosfera na forma de CO2, por decomposição dos resíduos vegetais (*op.cit*, 2004). O desmatamento e as práticas agrícolas intensivas, como as arações e gradagens, aumentam a transferência de carbono da biomassa para atmosfera (*op.cit*, 2004).

2.1 **Área de estudos**

2.1.1 Localização e Clima Regional

A área de estudos está situada no Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), campus Pinheiral, inserida dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ (Figura 1). A bacia hidrográfica do Ribeirão Cachimbal faz parte da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, situada em sua margem esquerda, na região do Médio Vale do Paraíba Sul, entre as latitudes 22°33'S e 22°38'S e entre as longitudes 43°57'W e 44°05'W (Oliveira, 1998). O clima da região, onde está situada a área de estudo, é caracterizado com inverno seco e verão chuvoso, classificado como *tipo Cwa* de acordo com a classificação Köppen. Segundo Toledo *et al* (2002) a temperatura média de máxima na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul é de 30,9 ºC em janeiro e de 16,8 ºC em julho, ficando a média anual em torno de 22 ºC, com precipitações que variam entre 1300 a 1500 mm ano.

Figura 1 - Localização do Campus Pinheiral – IFRJ.



Fonte: Base de dados do Instituto Federal do Rio de Janeiro IFRJ - Campus Pinheiral; município de Pinheiral (IBGE); Imagem do Google Earth/Satellite, 2021.

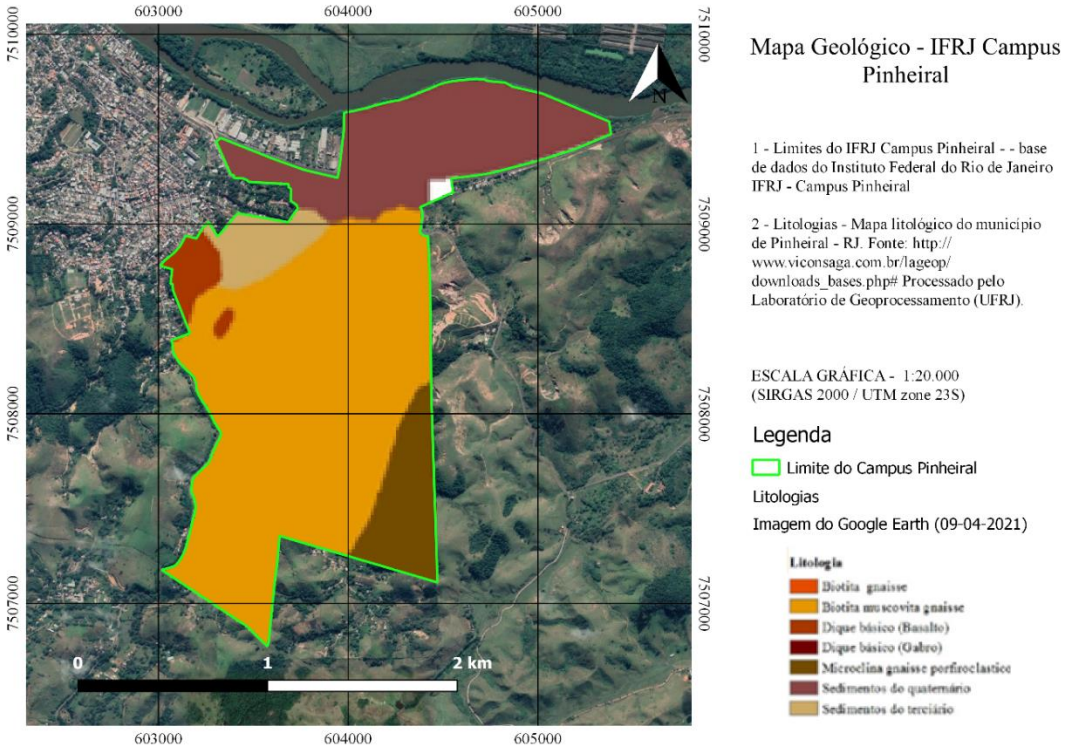
2.1.2 Substrato Geológico

A região do município de Pinheiral está inserida nas feições tectônicas e unidades litoestratigráficas do Complexo Paraíba do Sul, predominando rochas com distintos graus de metamorfismo. Segundo Nummer (2001) na região são encontradas rochas gnáissicas principais litotipos: ortognaisses, biotita gnaisse, hornblenda moscovita-biotita gnaisse, milonitos, granodiorito-tonalito, além de intrusões de rochas ígneas básicas. São também encontrados material de origem sedimentar como os sedimentos do quaternário, principalmente na calha do Rio Paraíba e sedimentos do terciário, esse segundo característico da Bacia de Vota Redonda (Sanson et al., 2006), demostrando a grande variação no arcabouço geológico da região.

Sobre a geologia da bacia do Ribeirão Cachimbal, na qual está inserida a área de estudos - Campus Pinheiral- de acordo com Oliveira (1998), Menezes (1999) e Santos (2009), foram identificados os seguintes materiais de origem: sedimentos do quaternário (sedimentos colúvio aluvionares) sobretudo nas margens do rio Paraíba do Sul; microclina gnaisse porfiroclástico; biotita muscovita gnaisse; biotita gnaisse; bacia de Volta Redonda (sedimentos do terciário); Diques básicos e rochas alcalinas.

Na Figura 2 encontram-se identificadas as diferentes litologias presentes no Campus Pinheiral considerando os dados do mapeamento supracitado: Biotita gnaisse, biotita muscovita gnaisse, diques básicos (basalto e gabro), microclina gnaisse porfiroclástico, sedimentos do quaternário e do terciário.

Figura 2- Geologia do Campus Pinheiral.



Fonte: Base de dados do Instituto Federal do Rio de Janeiro IFRJ - Campus Pinheiral; Mapa litológico do município de Pinheiral – RJ. Disponível em: http:// www.viconsaga.com.br; Imagem do Google Earth/Satellite, 2021.

2.1.3 Geomorfologia Regional

O município de Pinheiral está situado na unidade geomorfológica da depressão do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, subdivisão do grande domínio regional das faixas de dobramentos remobilizados, que geograficamente caracteriza praticamente toda a região sudeste do Brasil (Ab'Saber, 1996). Nessa depressão, cuja formação se deve a fenômenos tectônicos, o modelado geomorfológico se encontra condicionado a um acentuado controle estrutural que foi esculpido por sucessivas fases erosivas e deposicionais (Oliveira, 1998). A formação morfoestrutural é delimitada pelo delineamento estrutural no sentido Sudoeste-Nordeste, que é predominante na região. Essa formação explica o relevo acidentado que caracteriza a feição geomorfológica conhecida como "Mar de Morros" (Figura 3).

Figura 3 - Região de mar de morros. Pinheiral, RJ.

Fonte: O autor, 2021.

A identificação das principais feições geomorfológicas no município de Pinheiral, realizada pelo DG/IA/UFRRJ (Costa, 2015), revelou a existência de feições geomorfológicas

tais como: bancos de sedimentos arenosos, várzeas ou planícies de inundação, terraços fluviais, terraços alúvio coluvionares, rampas de colúvio, colinas estruturais aplainadas, colinas estruturais isoladas, encostas de tálus, encostas estruturais dessecadas, encostas adaptadas a falhamentos, vales estruturais, interflúvios estruturais, e canais meandrantes.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Cachimbal, por sua vez, exibe diversas feições geomorfológicas, onde destacam-se as colinas situadas em encostas com cobertura do tipo Talús e Rampa de colúvio. Cortando esta formação, observam-se vales estruturais que orientam a drenagem local, apresentando canais de hierarquia distribuídos de primeira à quinta ordem (Horton, 1945), bem distribuídos por toda área e apresentando grande variação nos padrões de drenagem (dendrítica, paralela e treliça). Além disso, observam-se pequenas várzeas em toda extensão da bacia, até o encontro da área de influência da grande várzea do Paraíba do Sul, situada na porção final da bacia (*op. cit*., 1998).

2.1.4 Cobertura pedológica

Segundo Costa (2015), através dos trabalhados realizados por Menezes (2008), Santos (2009) e Bernini & Silva (2012), que incluem a descrição e classificação de perfis de solos, de atividades de campo feitas por alunos na disciplina de Formação e Caracterização de Solos da UFRRJ/CPGA-CS nos anos de 2004, 2012 e 2013, acompanhados pelos professores Lúcia Helena Cunha dos Anjos e Marcos Gervásio Pereira, puderam ser identificadas as seguintes classes de solos no município de Pinheiral (RJ): Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Cambissolo Flúvico, Cambissolo Háplico, Gleissolo Háplico, Nitossolo Háplico, Neossolo Regolítico, Neossolo Flúvico**,** Chernossolo Argilúvico, Chernossolo Háplico e Planossolo Háplico. Nas várzeas próximas ao Ribeirão Cachimbal foram identificados solos influenciados tanto por sedimentos fluviais, quanto de colúvios dos morros e morrotes vizinhos, variando em função de proximidade de um ou outro.

Esses últimos solos possuem drenagem imperfeita a mal drenados, estando inseridos no contexto geomorfológico de áreas de baixadas, em vales pouco amplos, locais de deposição de material representando sistema de agradação. Quanto mais próximo do ribeirão, maior a influência dos sedimentos aluviais e menor o grau de pedogênese, sendo os perfis de Neossolos

Flúvicos caracterizados por camadas de sedimentos estratificados abaixo do horizonte A. Em locais com melhor drenagem forma-se o horizonte B incipiente, identificando Cambissolos Háplicos com drenagem imperfeita e, alguns perfis, com mosqueado e/ou cores acinzentadas em profundidade (*op. cit.*, 2015).

Como sistema de relevo agradacional também ocorre as planícies aluviais próximas ao Rio Paraíba do Sul e, assim como nos vales pouco amplos, os solos nessa feição recebem sedimentos tanto de origem coluvial como aluvial e possuem drenagem imperfeita e mal drenada ou foram artificialmente drenados. Além dos sedimentos o fluxo interno de água influi nas propriedades dos solos, sendo o relevo um importante fator uma vez que condiciona a influência constante do rio e as distintas épocas de regime hídrico (cheia e vazante). Tal fato pode ser evidenciado através da formação de diferentes camadas a cada deposição, com características distintas, principalmente nas variações na cor e granulometria. Os solos encontrados nessas áreas foram os Cambissolos Flúvicos, Gleissolos Háplicos e Planossolos Háplicos, variando o teor de argila e nutrientes, de acordo com a origem dos sedimentos (coluvial ou aluvial), a dinâmica interna de água no solo e os processos geoquímicos envolvidos (*op. cit.*, 2015)

Ainda dentro do sistema de relevo agradacional tem-se os definidos como fundos de vales estreitos, que são influenciados, principalmente, pelos morros e morrotes circundantes. Estes recebem exclusivamente sedimentos coluviais, que variam com a natureza do material de origem. Os solos nessa feição possuem maiores limitações de drenagem, são mal drenados, e estão em condições de vales mais fechados. Associados com esses alvéolos coluviais, a presença de quartzo no tamanho de cascalho foi observada nos horizontes, muitas vezes micáceo em profundidade e, por vezes, com indicação de descontinuidade litológica. Os solos encontrados nessas áreas foram classificados como Gleissolos Háplicos (*op. cit.*, 2015).

Os solos no sistema de relevo degradacional são em geral bem drenados e relativamente profundos, e ocorrem em feições de relevo onde predominam as colinas, morros e morrotes, em distintos materiais de origem, tais como as rochas: microclina gnaisse porfiroclástico, biotita muscovita gnaisse, materiais da bacia de Volta Redonda e diques básicos (gabro e basalto) (*op. cit.*, 2015).

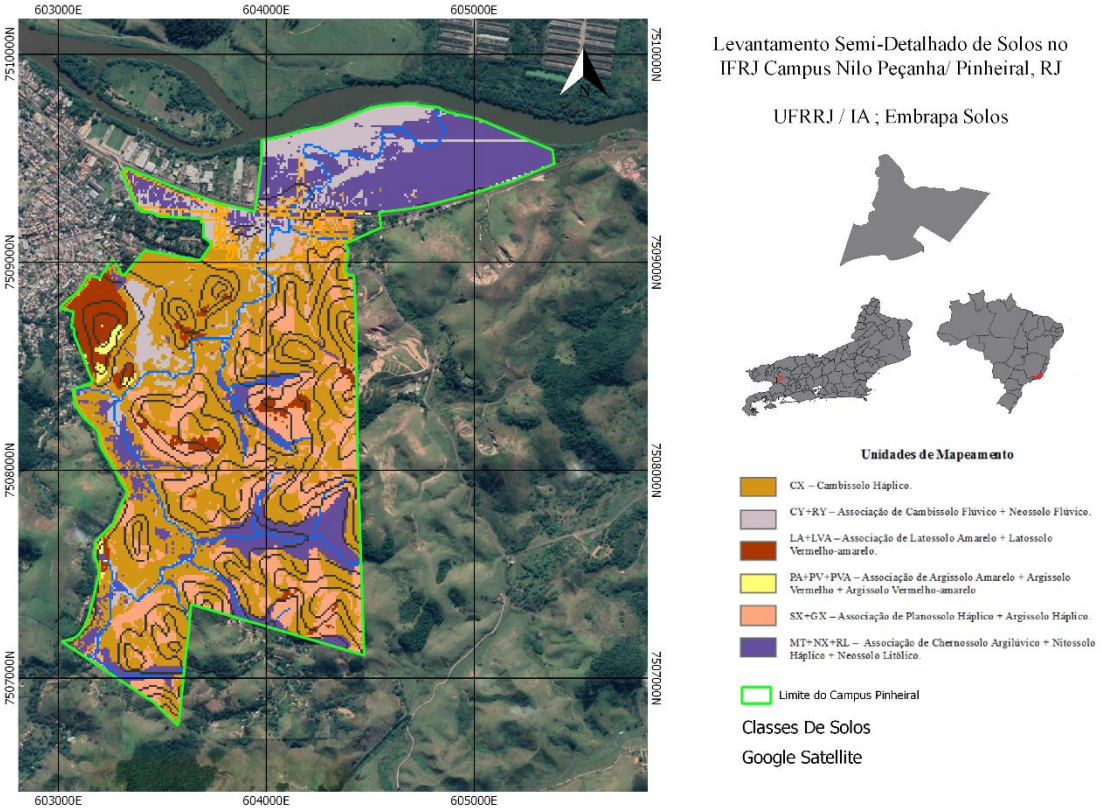
Foram identificadas nesses sistemas as classes de solos Nitossolos Háplicos e Latossolos Vermelho-Amarelos, nas condições relacionadas aos corpos intrusivos tabulares (diques de basalto), destacando-se a relevância do material de origem na gênese destes solos. Ainda nas áreas de ocorrência dos diques básicos, mas com a rocha gabro, foram identificados: Neossolos Litólicos e Chernossolo Háplico Órtico Léptico, mais rasos e menos desenvolvidos

no topo de encosta; e Chernossolos Argilúvicos e Argissolo Vermelho Eutrófico, nos terços superior, médio e inferiores. Além desta associação com o material de origem, as condições de relevo e clima favorecem a gênese de solos bem intemperizados e de estrutura bem desenvolvida nas encostas. O clima atua por meio da precipitação pluviométrica propiciando a transformação dos minerais primários facilmente intemperizados e a translocação de argila. O relevo contribui de forma a permitir uma boa drenagem e favorecendo perda de frações mais finas em superfície. A intemperização do material de origem, com a decomposição dos minerais ferro-magnesianos e a liberação dos elementos que levam a precipitação de óxidos de ferro, contribui para os tons brunados a avermelhados observados nestes solos (*op.cit*, 2015).

Nos solos relacionados ao material de origem mais ácido (microclina gnaisse porfiroclástico; biotita muscovita gnaisse, materiais da bacia de Volta Redonda), predominam as classes dos Latossolos Amarelos, Argissolos e Cambissolos (*op. cit.*, 2015). Os Argissolos Amarelos, e Latossolos Amarelos estão geralmente associados aos materiais de gnaisses e granitos. Os Argissolos estão localizados nas encostas côncavas e os Latossolos em condições de relevo aplainado em topo de elevação; em ambos os casos as cores amareladas são devidas a disponibilidade e o fluxo convergente de água orientado pela forma da vertente. O relevo e classificado como ondulado a forte ondulado, predominando declives superiores a 20%, proporcionando boas condições de drenagem, favorecendo a lixiviação de bases solúveis e o intemperismo químico. A elevada precipitação favorece a transformação dos minerais e, consequentemente, a remoção de bases e sílica. Neste sentido, o clima e o relevo se complementam no efeito sobre as perdas de bases e sílica. Os Argissolos Vermelho-Amarelos, assim como os Cambissolos Háplicos de cores avermelhadas e vermelho-amareladas, foram identificados nos morros e morrotes com fluxo divergente de água proporcionado pela forma convexa da paisagem (*op. cit.*, 2015).

Considerando o mapeamento de Costa (2015), especificamente no Campus Pinheiral, podem ser identificadas as seguintes classes de solos (Figura 4): Cambissolo Háplico (CX), associação de Cambissolo Flúvico + Neossolo Flúvico (CY+RY), associação de Latossolo Amarelo+ Latossolo Vermelho-Amarelo (LA+LVA), associação de Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho + Argissolo Vermelho-Amarelo (PA+PV+PVA), associação de Planossolo Háplico + Argissolo Háplico (SX + GX) e associação de Chernossolo Argilúvico + Nitossolo Háplico + Neossolo Litólico (MT + NX + RL)

Figura 4 - Distribuição dos solos na área de estudos.



Fonte: Costa, 2015.

2.1.5 Uso atual e cobertura vegetal

A região está inserida em bioma de Mata Atlântica, cuja vegetação original denomina-se Floresta Estacional Semidecidual Submontana (IBGE, 1992). Recebe denominação de Floresta Pluvial Baixo Montana, por estar em regiões entre 300 e 800 metros de altitude, com árvores mais altas alcançando entre 15 e 25 metros e não ultrapassando 40 a 60 cm de diâmetro a altura do peito (Figura 5).

Figura 5 – Presença de fragmentos de Mata Atlântica no interior do Campus Pinheiral.

Fonte: O autor, 2021.

O espaçamento entre as espécies é maior do que o verificado em locais mais baixos, com formação de três estratos aéreos: estrato arbóreo superior, inferior e arbustivo. A presença de espécies do estrato herbáceo é pequena, o que confere raleamento da vegetação, permitindo o trânsito de pessoas sem necessidade da abertura de trilhas. Observa-se a presença de lianas, palmeiras e epífitas (Oliveira,1998).

A vegetação atualmente dominante na região é constituída por pastagens, implantadas e espontâneas não manejadas, apresentando diferentes níveis de degradação, uso e/ou abandono, dando origem às demais formas de vegetação da área, como os pastos sujos e as capoeiras em diferentes estágios sucessionais (Menezes, 2008).

As pastagens são predominantes na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachimbal, tanto as implantadas (*Brachiaria spp*.) (Figura 6), como naturais (não manejadas), que se apresentam com diferentes níveis de uso e/ou abandono, formando pastos sujos e capoeiras. Nas pastagens predominam o capim-gordura (*Melinis minutiflora*) (Figura 7), o capim jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), o sapê (*Mperata brasiliensis*) (Figura 8), o capim rabo-de-burro (*Andropogon bicornis*) e a grama batatais (*Paspalum notatum*) (Oliveira,1998).

Figura 6 - Brachiaria spp.

Fonte: O autor, 2021.

Figura 7- capim-gordura (Melinis minutiflora).

Fonte: O autor, 2021.

Figura 8 - sapê (Mperata brasiliensis).

Fonte: O autor, 2021.

Esse quadro é oriundo da exploração dos recursos naturais, sobretudo no ciclo cafeeiro (1780-1880). Este período, que ficou caracterizado como de grande prosperidade econômica na região, gerou a substituição das florestas, em equilíbrio homeostático ajustados evolutivamente, por monocultura de café, com intensas modificações do solo e do ambiente (Oliveira 1998).

A cultura do café foi introduzida no Brasil em 1727 pela Amazônia e, em 1822, Saint Hilaire registra a visita a uma fazenda em São João Marcos (antiga sede da vila de Sant'Ana do Piraí) com mais de 100.000 pés de café, com um marco referencial da pujança econômica da região (*op. cit.*, 1998). Despontando como alternativa agrícola da economia brasileira, o café não poderia ficar distante da alçada da cidade-corte. O Vale do Paraíba, com suas excelentes terras e com sua proximidade geográfica do Rio de Janeiro, foi a solução suposta pela redefinição dos espaços de poder na província fluminense, criando assim um novo polo de força, que marcaria a história política e econômica do Brasil no século XIX (Azevedo & Araújo, 1997, *apud* Oliveira, 1998).

A riqueza e a pujança econômica do fim do período imperial foram sustentadas às custas de um processo agressivo de relação com o ambiente. O desmatamento, as queimadas e a implantação de milhões de hectares de café, plantados em morro acima, com o solo desprotegido boa parte do ano, ofereceram um cenário perfeito para a degradação dos solos de todo vale do rio Paraíba do Sul (*op. cit*., 1998).

Por volta da década de 70 do século XIX, a região já dava sinais de decadência econômica, quadro este que se arrasta por mais de um século, provocando uma série de

problemas ambientais com desdobramentos socioeconômicos: êxodo rural empobrecimento e envelhecimento da população, baixo nível educacional e consequente queda da capacidade produtiva (*op.cit*,1998).

Segundo Menezes (2008) no início do século XX começou o que pode ser definido como um novo ciclo para região, caracterizado por uma concomitância de atividades extrativista e produtiva, através do crescimento da exploração de madeira para geração de energia (lenha e carvão) e da pecuária leiteira. Na verdade, a derrubada de remanescentes ou mesmo de capoeiras, formadas em áreas abandonadas pela cafeicultura, parece ter sido realizada para explorar sua madeira e, ao mesmo tempo, uma estratégia de ampliação das áreas de pastagem (*op. cit.*2008).

No entanto, apesar da decadência da atividade pecuária, o tipo de uso que ainda predomina nas terras agrícolas da região é o mesmo, sendo que nos últimos anos a pecuária de corte extensiva vem se expandindo. Ainda predomina nessa pecuária regional o manejo inadequado das pastagens, com forte pressão de pastoreio e uso de queimadas frequentes para limpeza dos pastos, o que favorece a continuidade de degradação dos solos pela intensificação da erosão (Menezes, 2008).

Oliveira (1988), no seu estudo sobre a caracterização física da bacia do Ribeirão do Cachimbal – Pinheiral, RJ e de suas paisagens degradadas, recorte espacial onde está inserida a área de estudos do presente trabalho (Campus Pinheiral), identificou um mosaico com diferentes unidades de paisagens degradadas distribuídas em toda a bacia hidrográfica, com o predomínio de pastagens sujas, seguidos de pasto manejado, floresta secundária tardia, floresta secundária inicial, área com floresta invasora, agricultura e área de empréstimo.

O pasto sujo representa as áreas utilizadas para pastoreio do gado e que não sofreram investimentos para implantação de forragens, sem processo de manutenção. A vegetação, em geral, possui porte baixo com predominância de gramíneas: grama batatais (*Paspalum notatum*), capim gordura (*Melinis minutiflora*) e sapê (*Imperata brasiliensis*). E em alguns pontos ocorrem alguns arbustos como o assa-peixe (*Vernonia polyanttes*), juá (*Solanum aculeatissimum*) e o alecrim (*Rosmarinus officialis*). Essa área é submetida ao pastoreio desordenado onde é possível observar épocas alternadas de pastoreio com baixa disponibilidade de forragens, o que favorece o intenso pisoteio animal na área. O uso de queimadas é constante na região, sendo mais constante nesta unidade de paisagem. Algumas dessas áreas, próximas a rodovias, vêm sofrendo forte invasão do capim colonião, acrescentando uma nova fisionomia na área. Os processos erosivos nesta unidade de paisagem são intensos.

A área de pasto manejado é caracterizada por uma cobertura de forragens uniforme com predomínio de espécies de capim do gênero *Brachiaria*, baixa presença de árvores e de arbustos de espécies invasoras. O pastoreio é feito de forma controlada através do sistema de rodízios de pastos e piquetes. São áreas com fortes evidências de pisoteio e formação de trilhas e caminhos verificados na paisagem.

A área de floresta secundária tardia é caracterizada por uma grande diversidade de espécies florestais com copas homogêneas, altura média entre 10 e 15 metros, sub-bosque bem formado, banco de sementes, mudas bem formadas e uma presença expressiva de briófitas, epífitas e liquens. Essas formações são mais frequentes em encostas e dificilmente ocorrem em áreas de várzeas, localizando-se em topos de morros, regiões de alta declividade e de difícil acesso.

A área de floresta secundária inicial é caracterizada por cobertura vegetal desenvolvida e maior diversidade de espécies com altura média de 10 metros. Esta área sofre pressão antrópica devido a busca de madeira para cabos de ferramentas, lenhas e mourões para cerca. As principais espécies identificadas são: o camboatá (*Cupania vernalis*), embaúbas (*Cecropias sp*.), pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), quaresmeiras (*Tibouchina sp*.), pau-formiga (*Triplaris brasiliana*), monjoleiros (*fam. Leguminosae*), sangue-de-dragão (*Croton urucurana*), ingá (*Inga sp.*), mulungú (*Erythrina velutina*), ipê (*Tabebuia chrysotrica*) e jacarandá bico-de-pato (*Macherium aculeatum*).

A unidade de paisagem de floresta invasora é caracterizada pela formação vegetal de espécies arbóreas pioneiras em estágio inicial de sucessão. Essas áreas apresentam-se em formas de fragmentos, em pequeno número, dispersos e pouco expressivos na paisagem local. Em geral, corresponde a antigas áreas de pasto sujo em que o processo de sucessão vegetal avançou, formando-se a floresta pioneira. De acordo com o autor, a altura máxima das plantas chega a 4 metros e as espécies arbóreas, caracterizadas no local, são: aroeiras (*Schinus terebinthifolis*), goiabeiras (*Psidium guajava*), embaúbas (*Cecropias sp*.), maricás (*Mimosa bimucronata*), sangue-de-dragão (*Croton urucurana*), ipê mandioca (*Cybistax antisyphilitica*), ipê amarelo (*Tabebuia chrysotrica*), eritrina (*Erythrina speciosa*), mulungú (*Erythrina velutina*), pau-formiga (*Triplaris brasiliana*), camboatá (*Cupania Vernalis*), além de arbustos como o assa-peixe (*Veronia polyantes*). A presença do gado já não é frequente no local a não ser para proteger-se do sol. A ocorrência de gramíneas forrageiras é baixa, mas a presença do sapê (*Imperata brasiliensis*) é constante em encostas e em áreas de difícil acesso.

A agricultura é identificada por qualquer tipo de atividade agrícola itinerante. Em geral, a agricultura, presente na área, é de subsistência e ocorre principalmente na parte mais baixa da

bacia que sofre um processo de invasão de terras e divisão em pequenas propriedades. As culturas mais frequentes são: o feijão (*Phaseolus vulgaris*), mandioca (*Manihot utilíssima*) e milho (*Zea mays*) em áreas de encosta e as hortaliças nas áreas de várzeas no período de seca. São encontradas, também, a cultura da cana (*Saccharum officinarum*) e algumas frutíferas (*Citrus spp*).

A área de empréstimo é caracterizada pela intensa intervenção antrópica, identificada pela exposição dos horizontes subsuperficiais e retirada de parte do solo em determinadas áreas da região. O ponto em que ocorre essa área é considerado restrito, sendo fornecedor de matéria prima para as olarias da região ou usadas para aterro e saibreiras.

Nas últimas décadas, diversos projetos de Recuperação de Áreas degradadas foram desenvolvidos na região para restabelecer o ambiente natural e preservar os recursos hídricos. Destaca-se Machado (2007), que realizou estudos sobre a perda de solo e nutrientes em voçorocas (figura 9) com diferentes níveis de controle e recuperação na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, e também estudos sobre gerenciamento de recursos hídricos realizados por órgãos governamentais e comitês como o CEEIVAP e o CODIVAP, empresas públicas e privadas, estaduais e nacionais. Estes trabalhos atestam a importância da região, embora, em termos objetivos, a implantação dos projetos ambientais de desenvolvimento não tenha acompanhado o mesmo ritmo ocorrido em outras bacias, como a do Tietê e Paraná.

Figura 9 -Voçoroca encontrada na área de estudos.

Fonte: O autor, 2021.

Além disso, com vistas a recuperação ambiental e a educação ambiental foi criado o Espaço Ecológico Educativo (EEcoE) (Figura 10). Essa área no passado teve seus atributos ecológicos íntegros, com várias nascente e cursos d'água correntes para o Rio Cachimbal, afluente do rio Paraíba do Sul. Entretanto, com o quadro apresentado acima sobre o uso e ocupação dos solos na região do Médio Paraíba do Sul, foi extremamente degradado.

Figura 10 - Espaço Ecológico Educativo.

Fonte: O autor, 2021.

A área sempre sofreu com queimadas anuais. Além disso, outros fatores afetaram essa área, por exemplos, deposito de lixo do município de Pinheiral (1995 a 1996), invasões por moradores e seus animais de criação, além atividades de bovinocultura de corte (até o ano de 2005). Para minimizar os desequilíbrios ambientais derivados dessas ações antrópicas e revitalizar a área do Espaço Ecológico Educativo do IFRJ, a direção do Colégio Agrícola Nilo Peçanha ligado à Universidade Federal Fluminense até 2008, em 1997, começou a elaborar um plano de reflorestamento e inicialmente houve o plantio de 5.000 mudas de eucalipto.

Em 2006 o Ministério Público Federal (MPF) recomendou a proibição do despejo de lixo no local, o reflorestamento (Figura 11) da área com espécies nativas da Mata Atlântica e a criação de um espaço de vivência e educação ambiental, tanto para uso educacional quanto para uso de lazer da população do entorno. No entanto, a solução dada pelo órgão ambiental foi o corte de um morro para aterrar o lixão existente, o que fez o Ministério Público exigir mais uma vez a recuperação ambiental do local através de um Termo de Ajustamento de Conduta – TAC. Para financiar o cumprimento do TAC, o Colégio Agrícola firmou parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica, no Programa Florestas do Futuro. Nesse mesmo período a Petrolífera Repsol também buscando cumprir suas obrigações ambientais, se associou

Inicialmente foram plantadas, em 2006, 10.000 mudas de espécies nativas da Mata Atlântica e em 2007 mais 10.000 mudas, recobrindo uma área aproximada de 15 hectares (150 mil metros quadrados). Assim, foram plantadas mais de 70 espécies florestais em diversos espaçamentos conforme bioindicação local. Hoje a área conta com áreas de pasto sujo (15,3ha), capoeira (14ha) Floresta (7,7ha). Na restauração não foi seguida uma metodologia específica, foi utilizada a técnica do Eco Caos. Quanto as espécies foram plantadas tanto indivíduos exóticos como nativos, sendo cerca de 70% de espécies pioneiras.

Figura 11 - Área reflorestada.

Fonte: O autor,2021

3 **METODOLOGIA**

Neste trabalho foram avaliados, através das propriedades físicas, a qualidade de solos sob pastagens, em diferentes estágios de conservação, submetidas a reflorestamentos em épocas distintas. No processo de escolha das subáreas ponderou-se o uso atual e a cobertura vegetal dentro do Campus Pinheiral, considerando-se aspectos como a posição topográfica (altitude e declividade), a geologia, a geomorfologia e a cobertura pedológica.

Observa-se atualmente dentro do Campus Pinheiral o predomínio de pastagens e, em menor proporção, reflorestamentos com idades em torno de 5 anos e 20 anos. Estes três tipos de uso e cobertura vegetal seriam equivalentes as unidades de paisagens degradadas tipo pasto sujo, floresta invasora e floresta secundária inicial descritas para a região por Oliveira (1998).

Foram selecionadas três subáreas, todas sob cobertura pedológica de Cambissolos (predominantes na região), em diferentes posições geomorfológicas, onde foi identificada a presença concomitante destes três tipos de uso e cobertura vegetal.

A caracterização morfológica dos solos dos pontos estudados foi realizada através da descrição, em diferentes subáreas, de minitrincheiras.de solos, a partir do qual foram coletadas amostras para análises físicas em laboratório. Neste sentido, foram abertas, em três diferentes subáreas, nove minitrincheiras, a primeira caracterizada pela presença de Cambissolo Háplico (CX) Ta (eutrófico), a segunda por Cambissolo Flúvico (CY) e a terceira por Cambissolo Háplico (CX) Tb (distrófico).

As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm e após isso, estas faixas de profundidades foram classificadas seguindo metodologia proposta pelo *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo* (Santos *et al*, 2013), onde as seguintes variáveis foram observadas:

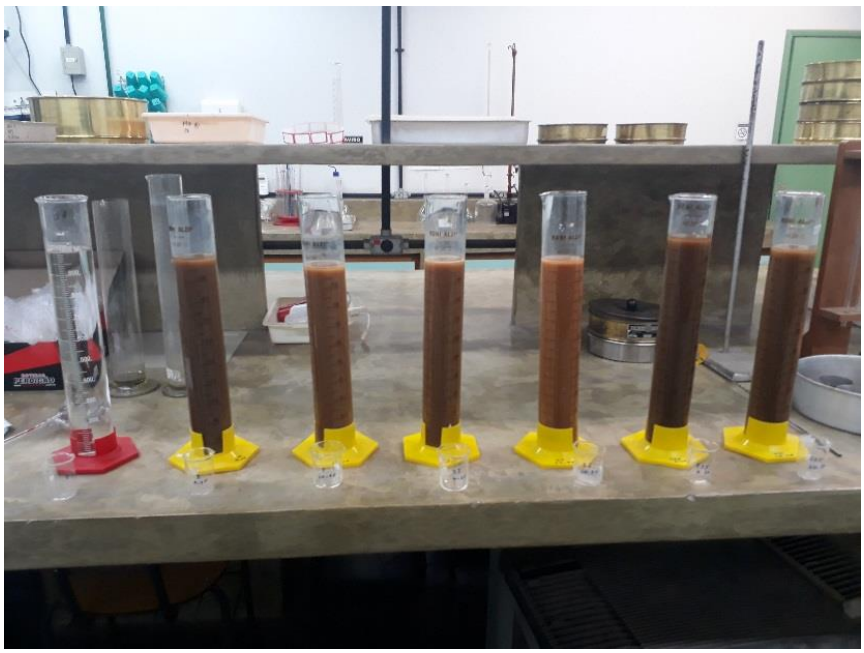
a) cor (amostra seca e amostra úmida), usando a Carta de Munsell;
b) estrutura [tamanho (pequeno, médio e grande), grau (fraca, moderada e forte) e forma (laminar, prismática, colunar, blocos angulares, blocos subangulares e granular)];
c) consistência [seca (solta, macia, ligeiramente dura, dura, muito dura e extremamente dura), úmida (solta, muito friável, friável, firme, muito firme e extremamente firme) e molhada (não plástica, ligeiramente plástica,

plástica, muito plástica, não pegajoso, ligeiramente pegajoso, pegajoso e muito pegajoso)].

Para a caracterização das propriedades físicas dos solos e do estoque de carbono foram realizados os seguintes procedimentos laboratoriais:

d) ensaios de granulometria. Para a análise da distribuição granulométrica dos solos (Figura 12), ou seja, a quantificação das respectivas frações do solo, silte, argila e areia, foi utilizado o método sugerido pelo Manual de Métodos de Análises de Solos da Embrapa (EMBRAPA, 1997), que indica os seguintes procedimentos: suspensão (fração silte + fração argila), determinação da temperatura da suspensão para estabelecer o tempo de sedimentação e, após esse período, realização da coleta da suspensão da fração argila, utilizando o método da pipeta. A proporção da fração silte no sistema é calculada por subtração das outras frações em relação à amostra original;

Figura 12 - Análise granulométrica - Método da pipeta.



Fonte: O autor, 2021.

e) densidade de partículas. Para obtenção de dados referentes a densidade de partículas foi utilizado o método do Manual de Métodos de Análises de Solos da Embrapa (EMBRAPA, 1997). Os seguintes procedimentos foram

seguidos. Foram pesadas 20g de solo para cada amostra, colocadas em lata de alumínio de peso conhecido, que foram levadas à estufa a fim de se obter o peso de cada amostra seca a 105°C. Por fim, cada amostra foi transferida para um balão volumétrico de 50ml e adicionado álcool etílico, agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar que se formavam, completando o volume e anotando o mesmo. Abaixo, é apresentada a equação utilizada neste estudo para o cálculo da densidade de partículas (equação 1);

$$\text{Densidade de partículas (g /cm3)} = \text{a / 50 – b} \quad (1)$$

Onde *a* é o peso da amostra seca a 105°C e *b* o volume de álcool gasto.

f) densidade do solo. Para a análise da densidade dos solos da área estudada foi utilizado o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), o qual segue os seguintes procedimentos: amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas através de um anel de aço (Kopecky) de bordas cortantes e volume interno de 62.28 cm³ (adaptado), em seguida as amostras foram pesadas em recipiente de peso conhecido e inseridas em estufa a 105° C. Após 48 horas as amostras foram retiradas da estufa pesadas. A seguinte equação foi usada para o cálculo da densidade aparente (equação 2);

$$\text{Densidade do solo (g /cm3)} = \text{a / b} \quad (2)$$

Onde *a* é o valor do peso da amostra seca a 105ºC (g) e *b* o volume do anel ou cilindro (cm3).

g) o cálculo da porosidade total está relacionado diretamente com os resultados obtidos a partir das análises da densidade do solo e densidade da partícula. A porosidade total foi dada pela seguinte equação (equação 3);

$$\text{Pt} = 100\frac{\text{a} - \text{b}}{\text{a}} \quad (3)$$

Onde Pt é o valor da porosidade total, a é densidade de partículas e b é o valor da densidade do solo.

h) teor de matéria orgânica. Para as análises de Carbono Orgânico foram necessárias a separação de 10g de solo de amostra deformada na peneira de

0,180 mm (ABNT nº80), e desse material, são separados 0,5g - Erlenmeyer. Após a separação do solo, adiciona-se, com uma pipeta, 10ml da solução de Dicromato de Potássio e agita-se o Erlenmeyer. Em seguida, adiciona-se uma pequena quantidade de Sulfato de prata, em cada amostra, e espera-se um período de 5 minutos. É necessário que seja separado 10ml de Dicromato de Potássio para cada solução de Sulfato Ferroso Amoniacal, pois este será destinado ao "branco" das amostras. O Dicromato de Potássio oxidará (via úmida), estando em temperaturas elevadas e em meio ácido, o Carbono presente no solo, transformando o C.O em CO2 e titulação com sulfato ferroso amoniacal medido em excesso. As amostras de C.O estão sendo desenvolvidas dentro do laboratório de Geografia Física da UERJ (LageFis), seguindo a metodologia adotada em EMBRAPA (1997). Segue abaixo a formula usada (equação 4);

$\mathrm{C\ (g/kg)} = (40 - \text{volume gasto})$ x f x 0,6;.....(4)

Onde = (40/volume gasto de sulfato ferroso para o branco)

i) a análise do Estoque de CO2 teve como base a metodologia empregada no trabalho Rosendo & Rosa (2012). Esses autores usaram o carbono orgânico total dos solos (COT), a densidade (Ds) e o tamanho da camada do solo amostrada (e) para determinar o estoque de CO2 (equação 5);

$\mathrm{ECO2} = \mathrm{COT} * \mathrm{Ds} * \mathrm{e}$.....(5)

j) nas análises de estabilidade de Agregados, não foi utilizado o método padrão (YODER, 1936), uma vez que neste são excluídos dos ensaios unidades estruturais com diâmetro superior a 4 mm (agregados grandes) e inferior a 2 mm (agregados pequenos), o que pode representar uma limitação ao exame dos processos de estruturação dos solos. Neste sentido, Teixeira et al. (2017) vêm ressaltando que a determinação pelo método tradicional resulta em informações sobre a qualidade de determinado agregado (classe de tamanho entre 2 mm e 4 mm) e não sobre a qualidade estrutural do solo como um todo. Uma vez que as análises de estabilidade de agregados foram realizadas

no laboratório da Embrapa Solos sob supervisão do referido pesquisador, foi utilizado nesta dissertação o método por ele proposto (op. cit., 2017), desenvolvido na Embrapa Agropecuária Oeste. Uma vez que a metodologia utilizada se encontra ainda em fase de experimentação e aperfeiçoamento, sendo utilizada atualmente por uma quantidade restrita de pesquisadores, a seguir são detalhados os procedimentos para a obtenção dos diferentes teores de agregados de acordo com o este método;

h) coleta de torrão de solo no campo (Figura 13);

Figura 13-Torrão de solo coletado na área de estudos.

Fonte: O autor, 2021.

i) em laboratório, fragmentação manual do torrão de solo, sempre buscando a ruptura em superfícies de fraqueza e descartando faces planas geradas durante a coleta, pedras, cascalhos e material vegetal (Figura 14);

Figura 14 - Torrão de solo destorroado.

Fonte: O autor, 2021.

j) Peneiramento (malha 9,52 mm), rejeitando o material retido. Quarteamento da fração menor que 9,52mm para obtenção de 50g para o tamisamento via úmida (Salton *et al*, 2012). Coleta de solo para determinação de umidade gravimétrica a fim de calcular o fator f e corrigir a massa de solo seco;

k) Disposição dos 50g de solo em papel filtro para umedecimento via capilaridade durante 2 h; uma vez úmida, a amostra é uniformemente disposta na peneira mais alta do conjunto de peneiras, que compreende as malhas 4 mm – 2 mm – 1 mm –0,5 mm – 0,25 mm – 0,105 mm – 0,053 mm (Figura 15). O nível de água do tanque (Figura 16) deve encobrir a amostra no nível mais alto da oscilação. As amostras são agitadas verticalmente por 15 min, a 42 oscilações por minuto;

Figura 15-Conjunto de peneiras.

Fonte: O autor, 2021.

Figura 16- Tanque que foi utilizado para fazer os ensaios de estabilidade de agregados.

Fonte: O autor, 2021.

l) Extração do solo testado em cada peneira com pissete, despejando-as em placas de petri (figura 17) a serem conduzidas à estufa (60°C, 4 dias).

Figura 17- placas de petri com os agregados.

Fonte – O autor, 2021.

Independente da metodologia para realização dos ensaios de estabilidade de agregados, de posse dos resultados referentes as massas retidas em cada uma das peneiras utilizadas no ensaio, os cálculos dos diâmetros médios ponderados (DMP) e dos diâmetros médios geométricos (DMG) foram efetuados considerando-se as equações 6 e 7. Maiores valores do DMP indicam agregados grandes, enquanto o DMG estima o tamanho da classe de agregados de maior ocorrência (Castro Filho *et al*., 1998).

$$\mathrm{DMP} = \sum \frac{\mathrm{w_i}}{\mathrm{wt}} \times \mathrm{x_i} \quad (6)$$

Onde:

DMP = Diâmetro Médio Ponderado;

wi = massa retida na peneira i;

wt = massa de amostra usada no tamisamento;

xi = diâmetro médio da peneira.

$$\mathrm{DMG} = \mathrm{EXP} = [\sum \left(\frac{\mathrm{w_i}}{\mathrm{w_t}} \times \ln \mathrm{x_i}\right)] \quad (7)$$

Onde: DMG = Diâmetro Médio Geométrico.

Finalizados os ensaios laboratoriais, análises estatísticas foram conduzidas para avaliação de todos os parâmetros, exceto a distribuição granulométrica, densidade das partículas, densidade dos solos, porosidade total e estoque de carbono. As análises consistiram de Teste Anova (fator duplo com repetição) e determinação das diferenças médias

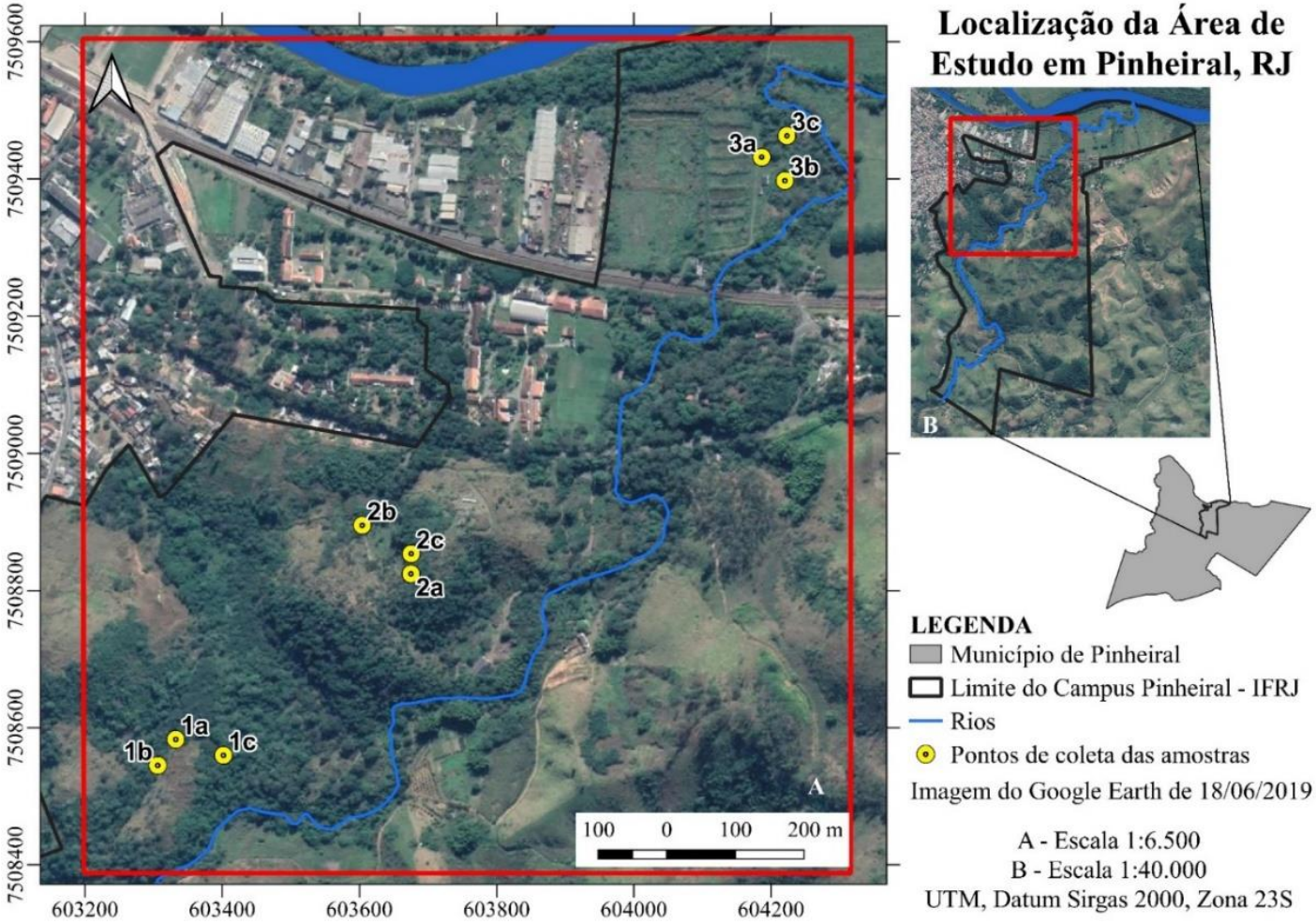
significativas, ao nível de 5% de probabilidade, com testes de Tukey utilizando ábaco para determinação dos valores de amplitude total estudentizada. As análises foram realizadas utilizando-se a ferramenta de análise de dados em planilha do Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Descrição das minitrincheiras

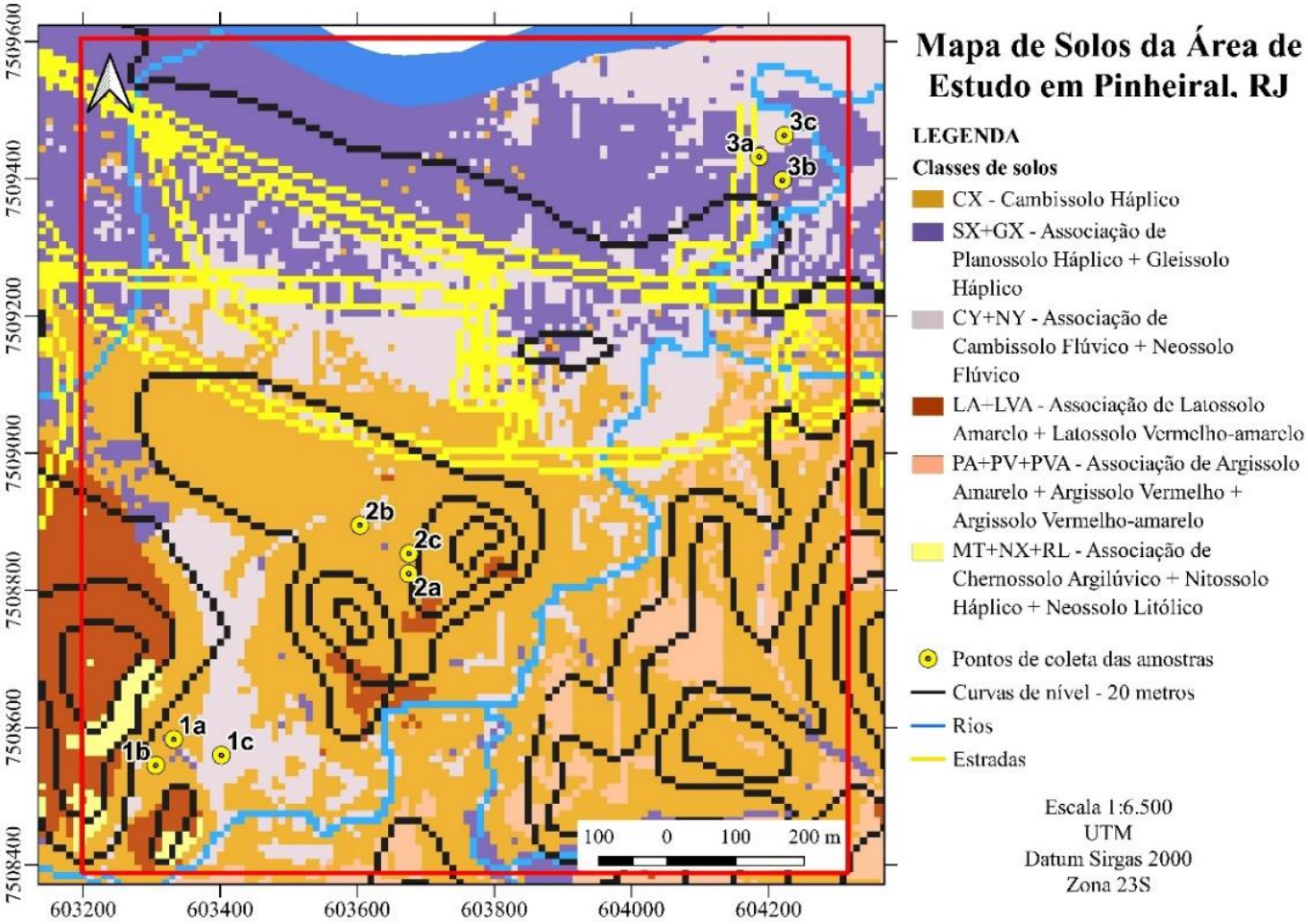
As figuras 18 a 21 e os quadros 1 a 3 ilustram a localização das três subáreas com os pontos de coleta dentro do Campus Pinheiral, a cobertura pedológica, a declividade e altitude das três subáreas e a caracterização morfológica dos solos analisados.

Figura 18 - Localização das três subáreas em análise com os pontos de coleta.



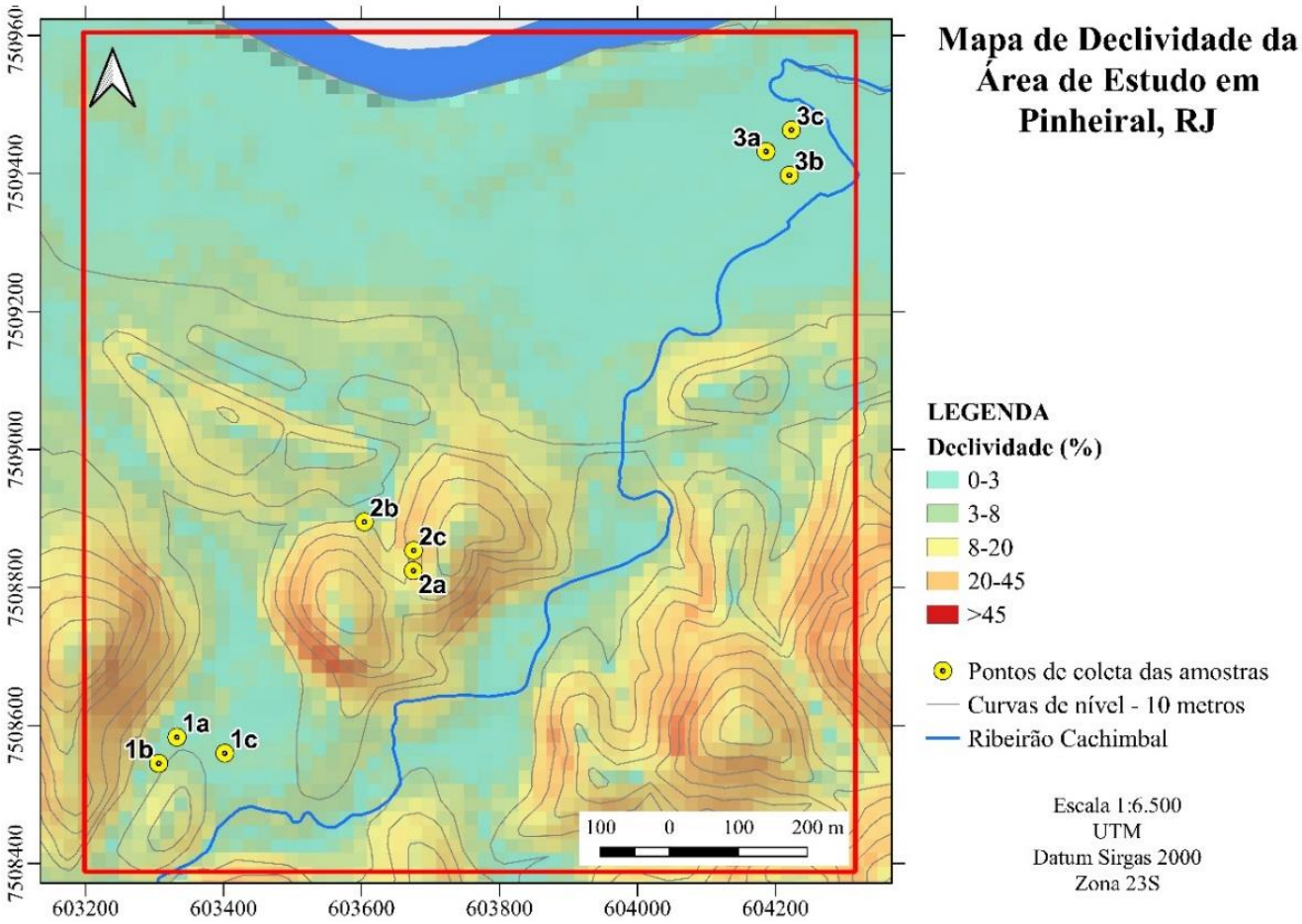
Fonte: Google Earth, 2019.

Figura 19 - Cobertura pedológica das subáreas selecionadas.



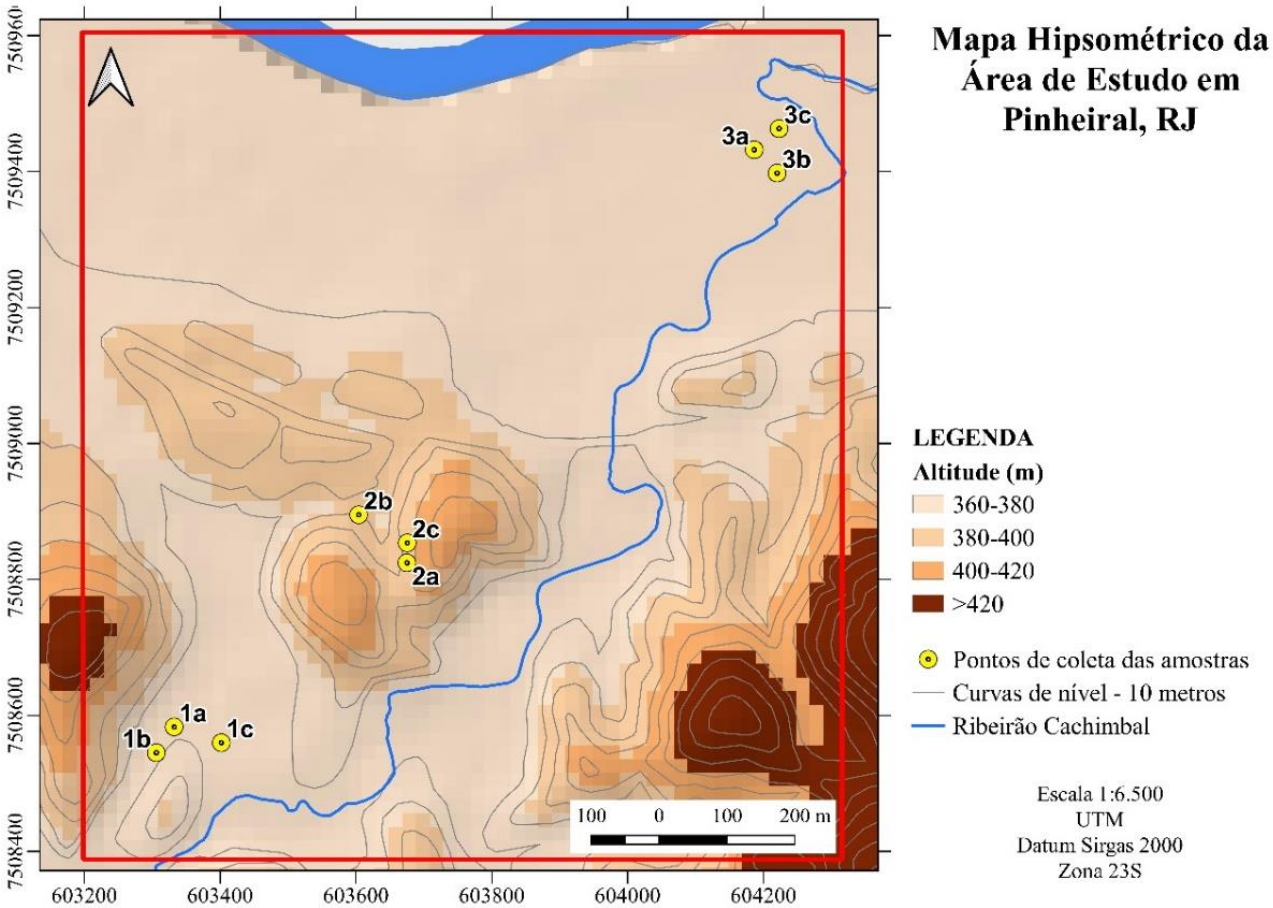
Fonte: Adaptado de Costa, 2015.

Figura 20 - Mapa de declividade das três subáreas em análise.



Fonte: Base de dados do Instituto Federal do Rio de Janeiro IFRJ - Campus Pinheiral, 2021.

Figura 21 - Mapa de altitude das três subáreas em análise.



Fonte: Base de dados do Instituto Federal do Rio de Janeiro IFRJ - Campus Pinheiral, 2021.

Quadro 1 - Subárea 1: 1a, 1b e 1c; uso atual e cobertura vegetal; visualização e descrição morfológica das minitrincheiras considerando as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Subárea 1			Morfologia			
Pto.	**Uso e cobertura vegetal**	**Minitrincheira**	**Prof. (cm)**	**Cor**	**Estrutura**	**Consistência**
1a			0-10	Seca, 10YR 5/3 Úmida, 10YR 3/3	Tamanho, médio e grande. Grau, forte. Forma, blocos subangulares e granular (grumosa).	Seca, ligeiramente dura. Úmida, friável. Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
			10-20	Seca, 10YR 6/4 claro) Úmida, 10YR 3/3	Tamanho, médio. Grau, forte. Forma, blocos subangulares.	Seca, dura. Úmida, friável. Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
1b			0-10	Seca, 10YR 4/3 Úmida, 10YR 3/3	Tamanho, médio. Grau, forte. Forma, granular a blocos subangulares.	Seca, dura. Úmida, solta. Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
			10-20	Seca, 5YR 4/4 Úmida, 7.5 YR ¾ (	Tamanho, médio e grande Grau, forte. Forma, granular a blocos subangulares.	Seca, dura. Úmida, solta. Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
1c			0-10	Seca, 10YR 4/2 Úmida, 10 YR 2/2	Tamanho, médio e grande Grau, moderada. Forma, granular a blocos subangulares.	Seca, ligeiramente dura. Úmida, solta. Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
			10-20	Seca, 10YR 4/2 Úmida, 10 YR 2/2	Tamanho, médio e pequeno. Grau, forte. Forma, granular a blocos subangulares.	Seca, dura. Úmida, solta. Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.

Fonte: O autor, 2021.

Quadro 2 - Subárea 2: 2a, 2b e 2c; uso atual e cobertura vegetal; visualização e descrição morfológica das minitrincheiras considerando as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Subárea 2			Morfologia			
Pto.	**Uso e cobertura vegetal**	**Minitrincheira**	**Prof. (cm)**	**Cor**	**Estrutura**	**Consistência**
2a			0-10	Seca, 10YR 5/4 Úmida, 10YR 4/4	Tamanho, médio Grau, moderada Forma, blocos subangulares	Seca, ligeiramente dura Úmida, solta Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
			10-20	Seca, 10YR 5/4 Úmida, 10YR 4/4	Tamanho, médio. Grau, moderada Forma, blocos subangulares	Seca, dura Úmida, solta Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
2b			0-10	Seca, 10YR 5/3 Úmida, 10YR 3/3	Tamanho, pequeno Grau, fraca Forma, granular	Seca, ligeiramente dura Úmida, solta Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
			10-20	Seca, 10YR 6/4 Úmida, 10YR 5/4	Tamanho, médio Grau, moderada Forma, blocos subangulares	Seca, ligeiramente dura Úmida, firme Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
2c			0-10	Seca, 10YR 4/2 Úmida, 10 YR 2/2	Tamanho, pequeno Grau, moderada Forma, granular a blocos subangulares	Seca, ligeiramente dura Úmida, firme Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
			10-20	Seca, 10YR 4/2 Úmida, 10 YR 2/2	Tamanho, pequeno. Grau, moderada Forma, granular a blocos subangulares	Seca, dura Úmida, solta Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.

Fonte: O autor, 2021.

Quadro 3 - Subárea 3: 3a, 3b e 3c; uso atual e cobertura vegetal; visualização e descrição morfológica das minitrincheiras considerando as profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Subárea 3			Morfologia			
Pto.	**Uso e cobertura vegetal**	**Minitrincheira**	**Prof. (cm)**	**Cor**	**Estrutura**	**Consistência**
3a			0-10	Seca, 10YR 5/3 Úmida, 10YR 3/3	Tamanho, médio e grande. Grau, moderada Forma, blocos subangulares	Seca, dura Úmida, solta Molhada, não plástica e ligeiramente pegajoso.
			10-20	Seca, 10YR 5/3 Úmida, 10YR 3/3	Tamanho, médio. Grau, moderada Forma, blocos subangulares	Seca, dura Úmida, solta Molhada, não plástica e ligeiramente pegajoso.
3b			0-10	Seca, 10YR 5/3 Úmida, 10YR 3/3 (	Tamanho, médio. Grau, moderada Forma, blocos subangulares	Seca, dura Úmida, solta Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
			10-20	Seca, 10YR 5/3 Úmida, 10YR 3/3	Tamanho, médio Grau, moderado Forma, blocos subangulares	Seca, ligeiramente dura Úmida, solta Molhada, plástica e ligeiramente pegajoso.
3c			0-10	Seca, 10YR 4/2 (Úmida, 10 YR 2/2	Tamanho, grande Grau, forte Forma, granular (grumosa)	Seca, dura Úmida, firme Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.
			10-20	Seca, 10YR 4/2 Úmida, 10 YR 2/2	Tamanho, médio Grau, forte Forma, granular a blocos subangulares.	Seca, dura Úmida, firme Molhada, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso.

Fonte: O autor, 2021.

De acordo com as Figuras 18, 19, 20 e 21 e os Quadros 1, 2 e 3, as três subáreas em avaliação apresentaram as seguintes características:

a) a subárea 1 caracteriza-se pela presença de Cambissolo Háplico (CX) Ta (eutrófico), desenvolvido a partir de material coluvionar. As declividades variam de 3% a 8%, com altitudes em torno de 360m a 380m. Os solos dessa subárea apresentaram, nas camadas de 0-10cm e 10-20cm, cores (quando seca - quando úmida) mais escuras no ponto 1c (Bruno-acinzentado-escuro e Bruno muito escuro nas duas camadas) e cores menos escuras no ponto 1a (Bruno e Bruno-escuro - Bruno-amarelado-claro e Bruno-escuro) e 1b (Bruno e Bruno escuro - Bruno-avermelhado e Bruno escuro). A estrutura variou de granular a blocos subangulares, apenas na faixa de 10-20cm, ponto 1b, o solo apresentou estrutura predominantemente subangular. O tamanho dos blocos variaram, predominantemente, de médio a grande, sendo o grau forte, apenas no ponto 1c observou-se grau moderado na camada de 0-10cm;

b) a subárea 2 caracteriza-se pela presença de Cambissolo Háplico (CX) Tb (distrófico), desenvolvido a partir de biotita muscovita ganisse. As declividades variam de 8% a 20%; com altitudes em torno de 380m a 400m. Os solos dessa subárea apresentaram, nas camadas de 0-10cm e 10-20cm, cores (quando seca - quando úmida) mais escuras no ponto 2c (Bruno-acinzentado-escuro e Bruno muito escuro nas duas camadas) e cores menos escuras no ponto 2a (Bruno-amarelado e Bruno-amarelado escuro nas duas camadas) e 2b (Bruno e Bruno-escuro - Bruno-amarelado-claro e Bruno-amarelado). A estrutura variou de granular a blocos subangulares. Os tamanhos dos blocos variaram, predominantemente, de pequeno a médio, sendo o grau moderado na maioria dos pontos, apenas no ponto 2b o solo apresentou grau fraco na camada de 0-10cm;

c) a subárea 3 caracteriza-se pela presença de Cambissolo Flúvico (CY), desenvolvido a partir de material aluvial. As declividades variam de 0% a 3%; com altitudes em torno de 360m a 380m. Os solos dessa subárea apresentaram, nas camadas de 0-10cm e 10-

20cm, cores (quando seca - quando úmida) mais escuras no ponto 3c (Bruno-acinzentado-escuro e Bruno muito escuro nas duas camadas) e cores menos escuras no ponto 3a (Bruno e Bruno-escuro nas duas camadas) e 3b (Bruno e Bruno-escuro nas duas camadas). A estrutura variou de blocos subangulares a granular. Os tamanhos dos blocos variaram, predominantemente, de médio a grande, variando o grau entre moderado a forte na maioria dos pontos.

As descrições morfológicas (Quadro 1, 2 e 3) indicaram características morfológicas como cor e estrutura similares entre os reflorestamentos em estágios mais avançados (pontos 1c, 2c e 3c).

4.2 **Análise granulométrica**

Os resultados das análises granulométricas (Tabela 1) evidenciaram uma homogeneidade textural nas amostras, predominado a textura franca, o que favorece a viabilidade de análises comparativas entre as diferentes subáreas em avaliação.

Tabela 1 - Resultados das análises granulométricas.

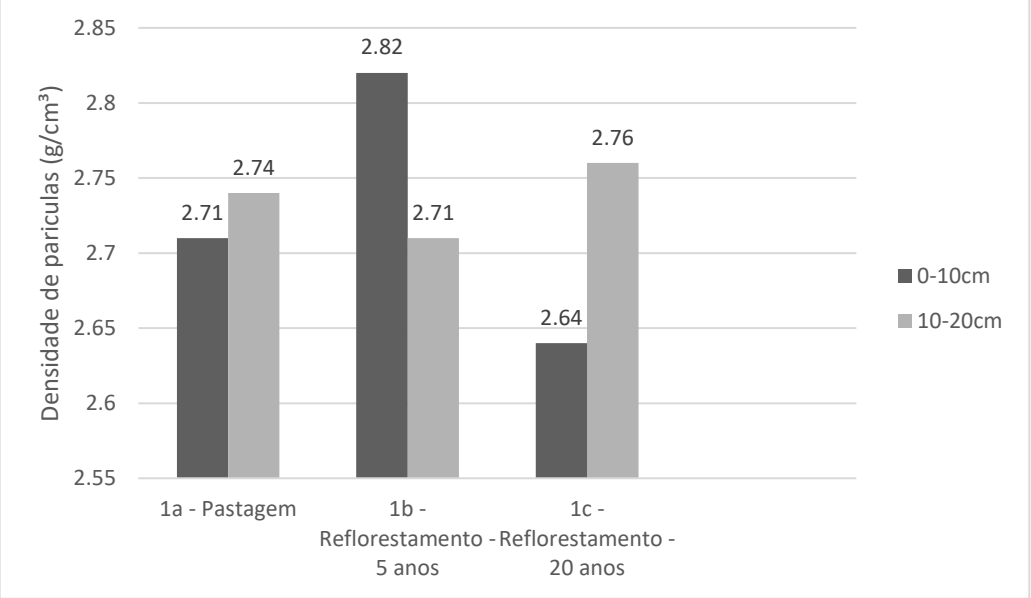
Subárea	Ponto (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila(g/kg)	Textura
1	1a (0-10)	216,5	493,5	290	Franca
	1a (10-20)	190,5	479,5	330	Franca
	1b (0-10)	189	511	300	Franca
	1b (10-20)	119	371	510	Franca argilosa
	1c (0-10)	152,5	607,5	240	Siltosa
	1c (10-20)	144,5	595,5	260	Siltosa
2	2a (0-10)	627,65	232,35	140	Franca
	2a (10-20)	564,35	212,65	223	Franca
	2b (0-10)	517,55	177,45	305	Franca
	2b (10-20)	433,35	119,45	447	Franco Argilosa
	2c (0-10)	527,65	208,35	264	Franca
	2c (10-20)	532,85	180,15	287	Franca
3	3a (0-10)	493,9	273,1	233	Franca
	3a (10-20)	513,4	241,6	245	Franca
	3b (0-10)	725,55	203,45	71	Franca
	3b (10-20)	717,8	142,2	140	Franca
	3c (0-10)	182,1	408,9	409	Franco Argilosa
	3c (10-20)	218,5	370,5	411	Franco argilosa

Fonte: O autor, 2021.

4.3 **Densidade de partículas**

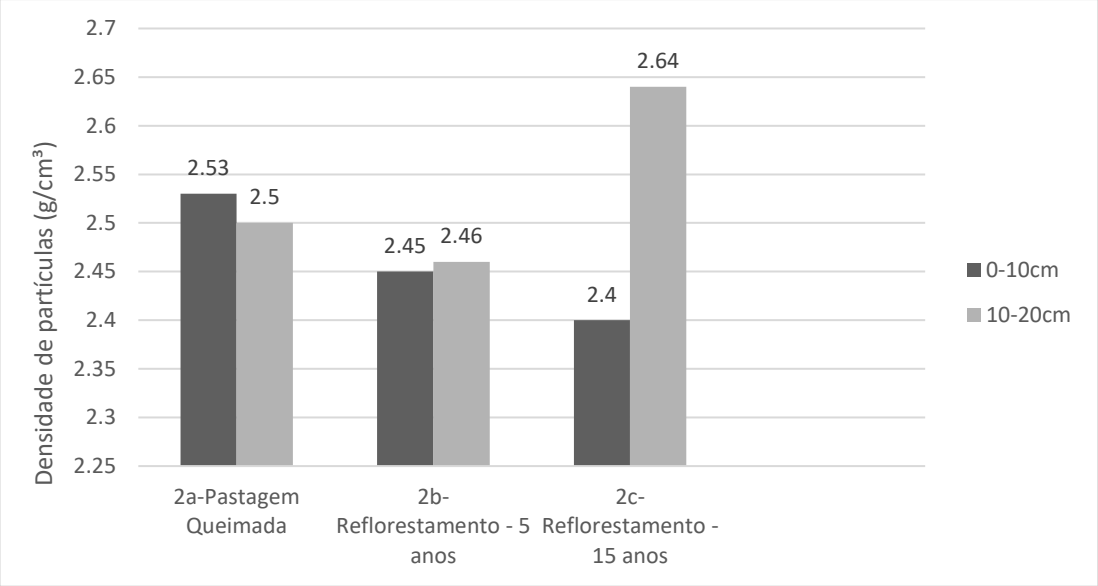
Os valores de densidade de partículas não apresentaram grande variabilidade (gráficos 1, 2 e 3), o que indica a presença de um material de origem homogêneo para os diferentes solos avaliados. O uso e cobertura vegetal dos solos não gera influência expressiva na densidade de partículas, sendo a mineralogia o principal fator responsável por essa variação (Manfré *et.al*, 2011). Neste sentido, essa pequena variação facilita a comparação das diferentes subáreas em avaliação e indica que o material de origem é homogêneo.

Gráfico 1 - Resultados das avaliações de densidade de partículas (subárea 1).



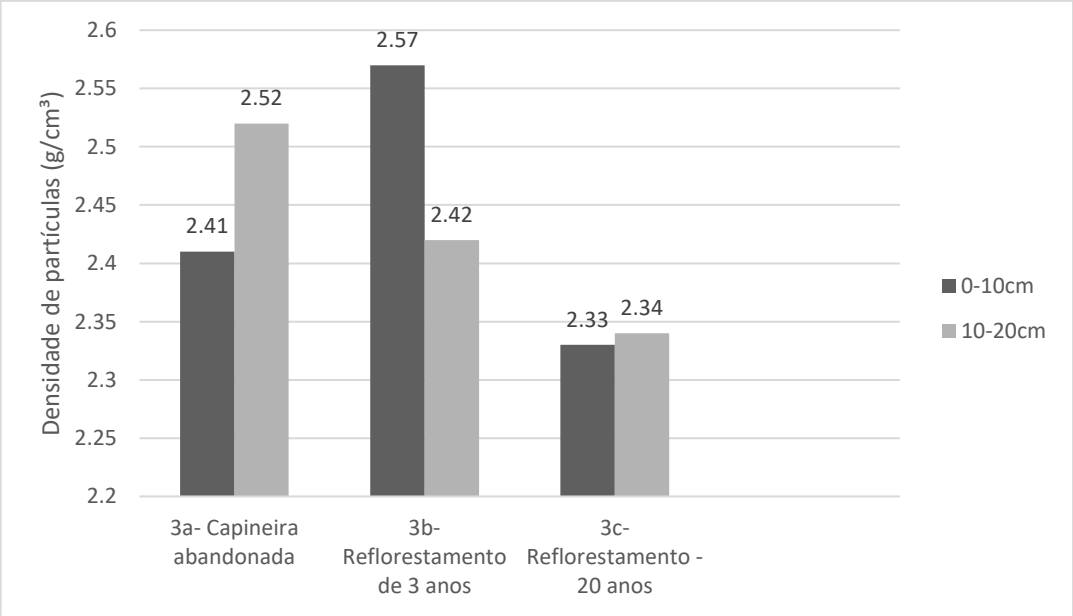
Fonte: O autor, 2021

Gráfico 2 - Resultados das avaliações de densidade de partículas (subárea 2).



Fonte: O autor: 2021.

Gráfico 3 - Resultados das avaliações de densidade de partículas (subárea 3).



Fonte: O autor,2021.

4.4 **Densidade do solo e porosidade total**

Os resultados das análises de densidade dos solos e porosidade total (tabela 2) indicaram que, dentre as amostras coletadas nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm (tabela 2), a pastagem (ponto 1a) e a pastagem queimada (ponto 2a) apresentaram os maiores valores de densidade do solo (1,23g/cm³ e 1,53 g/cm³) e (1,13g/cm³ e 1,30g/cm³, respectivamente) e os seguintes valores de porosidade total (54,613% e 44,161%) e (55,336% e 48%, respectivamente). Os reflorestamentos de 20 anos (pontos 1c e 3c) apresentaram os menores valores de densidade do solo (0,98g/cm³ e 1g/cm³) e (1 g/cm³ e 0,98 g/cm³, respectivamente) e os seguintes valores de porosidade total (62,879% e 63,768%) e (57,082% e 58,120%, respectivamente).

Tabela 2- Resultados das análises de densidade dos solos e porosidade total.

Subárea	Ponto (cm)	Densidade do solo (g/cm³)	Porosidade Total (%)
1	1a (0-10)	1,23	54,613
	1a (10-20)	1,53	44,161
	1b (0-10)	1,24	56,028
	1b (10-20)	1,25	53,875
	1c (0-10)	0,98	62,879
	1c (10-20)	1	63,768
2	2a (0-10)	1,13	55,336
	2a (10-20)	1,3	48
	2b (0-10)	1,05	57,143
	2b (10-20)	1,16	52,846
	2c (0-10)	1,21	49,583
	2c (10-20)	1,28	51,515
3	3a (0-10)	1,13	53,112
	3a (10-20)	1,24	50,794
	3b (0-10)	1,07	58,366
	3b (10-20)	1,17	51,643
	3c (0-10)	1	57,082
	3c (10-20)	0,98	58,120

Fonte: O autor, 2021.

Através dos resultados, pode-se inferir que os solos em áreas de pastagens apresentaram maior densidade e menor porosidade total, sobretudo na faixa de 10-20, em relação aos situados

em áreas de reflorestamentos, tendo sido identificada uma menor densidade dos solos e uma maior porosidade total nos reflorestamentos de 20 anos.

A maior densidade dos solos e a menor porosidade total nos pontos 1a e 2a, o primeiro situado sob uma pastagem formada por *brachiaria spp* e o segundo sob uma pastagem queimada, podem estar relacionadas ao pisoteio bovino e ao incremento de argila em profundidade (Tabela 1) no ponto 1a e a diminuição do conteúdo de matéria orgânica (gráfico 6) devido a queimada no ponto 2a. A menor densidade dos solos nos reflorestamentos em torno de 20 anos (pontos 1c e 3c) pode estar relacionada ao maior incremento de matéria orgânica (gráficos 5, 6 e 7) sobretudo na profundidade de 0-10cm. A proteção diferencial da superfície do solo, proporcionada pelas copas das árvores de maior porte e a menor intervenção antrópica a que foi recentemente ou estão sendo submetidas estas áreas deve ter contribuído para os menores valores de densidade dos solos.

Tal como ressaltado por Bertol *et. al* (1998) para áreas de pastagem, o aumento da pressão exercida pelo pisoteio de animais é transmitido em profundidade, aumentando a compactação.

Uma das conclusões de Costa e Silva (2015), em estudo sobre o aumento da erosão pela compactação do horizonte superficial causada pelo pisoteio bovino em Santo Antônio de Pádua-RJ, é a de que nos ambientes sob pastagem os solos mostram-se visivelmente compactados. Neste sentido, A criação do gado de forma extensiva exponencia os efeitos do clima, gerando um quadro de desgaste do solo e seus nutrientes.

Lanzanova *et al*. (2007), ao estudar atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto, observaram que a microporosidade do solo não foi significativamente alterada pelos sistemas de manejo das pastagens em nenhuma das camadas de solo estudadas. Contudo, a macroporosidade e a porosidade total sofreram alterações adversas ao crescimento vegetal devido ao pisoteio bovino na camada superficial, ambas diferindo da área não pastejada. Neste sentido, a passagem dos animais causa a compactação do solo, reduzindo a porosidade total e aumentando o escoamento superficial.

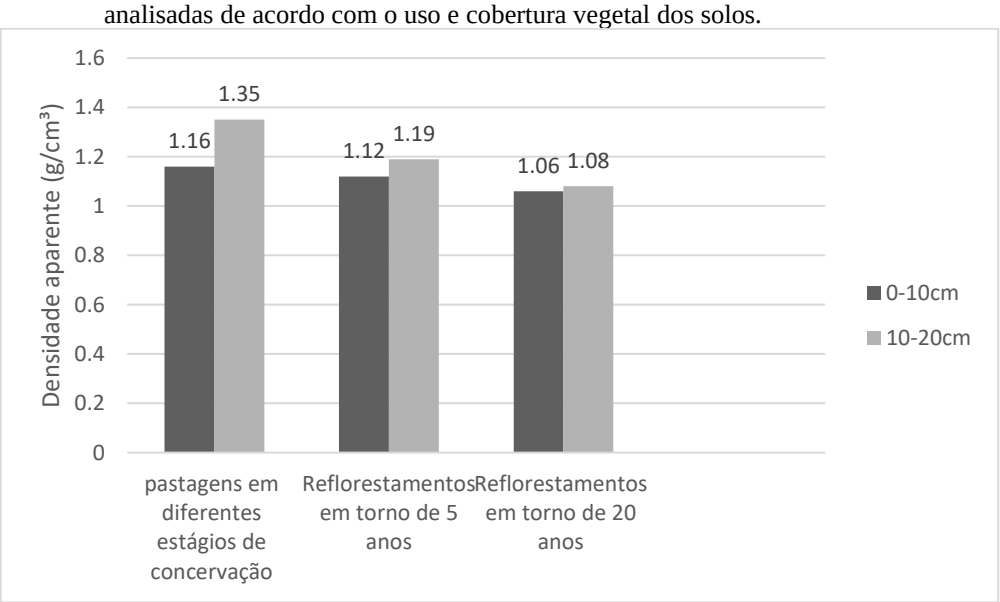
A textura do solo apresenta grande importância no processo de compactação. Quando determinada pressão externa é aplicada ao solo por máquinas, equipamentos de transporte ou animais ocorre um novo acomodamento e/ou arranjamento das partículas, diminuindo o espaço aéreo do solo, incrementando a densidade e a resistência à penetração e consequentemente, aumentando a compactação. O teor e o tipo de argila também afetam o funcionamento compressivo do solo, determinando, portanto, a profundidade de transmissão e a persistência

da compactação. Assim, quanto maior o teor de argila, maior a profundidade a qual a pressão é transmitida e maior a espessura da camada compactada (Richart, A. *et al*, 2005).

Sobre a relação entre os teores de matéria orgânica dos solos e as densidades, percebe-se que houve aumento da densidade do solo no ponto 2a provavelmente devido ao baixo aporte de matéria orgânica, proporcionado pela queimada, e a diminuição da densidade dos solos nos pontos 1c e 3c graças ao maior aporte de material orgânico e a ciclagem. Soane (1990) descreveu diversos mecanismos pelos quais a matéria orgânica dos solos influencia na capacidade dos solos em resistir às forças de compactação: a) força de união entre partículas e entre agregados, b) elasticidade, c) efeito de diluição, d) efeito de cargas elétricas, e) efeito na fricção. Dentre estes mecanismos, a estabilidade dos agregados é fator determinante (Richart, A. *et al*, 2005). McBride e Bober (1989) afirmaram que a susceptibilidade do solo à compactação decresce com o incremento no teor de carbono orgânico no solo devido à redução da faixa de umidade na qual o solo exibe propriedades plásticas.

O gráfico 4 apresenta as médias das avaliações de densidade dos solos em relação ao conjunto das subáreas, usos e coberturas vegetais analisados.

Gráfico 4 - Médias das avaliações de densidade do solo em relação ao conjunto das subáreas analisadas de acordo com o uso e cobertura vegetal dos solos.



Fonte: O autor, 2021.

Dentre as amostras coletadas nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm, as pastagens, em diferentes estágios de conservação, apresentaram os maiores valores médios de densidade do solo (1,16g/cm³ e 1,35g/cm³), os reflorestamentos em torno de 5 anos apresentaram valores

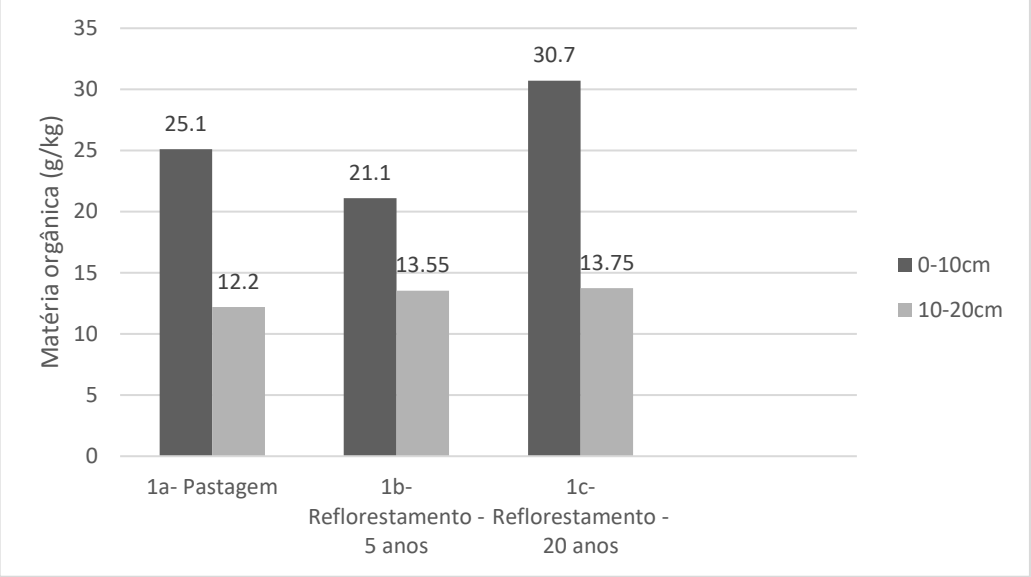
médios de (1,12g/cm³ e 1,19g/cm) e os reflorestamentos em torno de 20 anos apresentaram os menores valores médios (1,06g/cm³ e 1,08g/cm³).

Desse modo, os solos em áreas de pastagens apresentaram uma maior densidade dos solos e menor porosidade total, consequentemente mais compactados em relação aos situados em áreas de reflorestamentos, tendo sido identificada uma menor densidade dos solos e uma maior porosidade total nos reflorestamentos mais antigos.

4.5 **Teor de matéria orgânica**

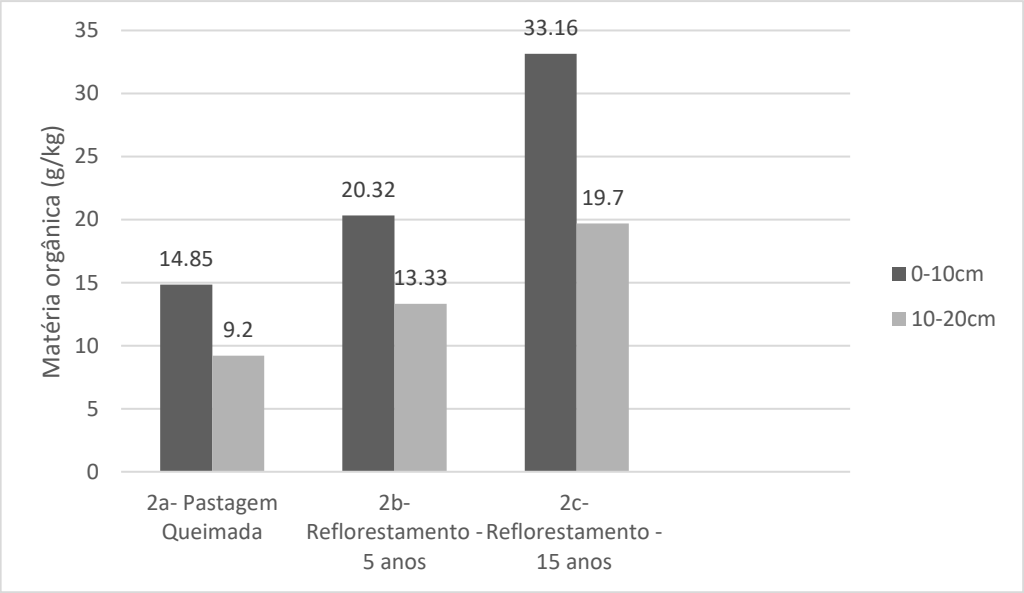
Os resultados das avaliações dos teores de matéria orgânica, expressos nos gráficos 5, 6 e 7, indicaram que, dentre as amostras coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20, os reflorestamentos de 20 anos (pontos 1c e 3c) e o reflorestamento de 15 anos (ponto 2c) apresentaram os maiores teores de matéria orgânica (30,7g/kg e 13,75g/kg), (30,7g/kg e 13,23g/kg) e (33,16g/kg e 19,7g/kg). A pastagem queimada (ponto 2a) apresentou os menores valores (14,85g/kg e 9,2g/kg). Percebe-se, também, que a pastagem (ponto 1a) e a capineira abandonada (ponto 3a) apresentaram valores elevados (25,1g/kg e 12,2g/kg) e (20,63g/kg e 15,85g/kg).

Gráfico 5 - Resultados das avaliações de matéria orgânica (subárea 1).



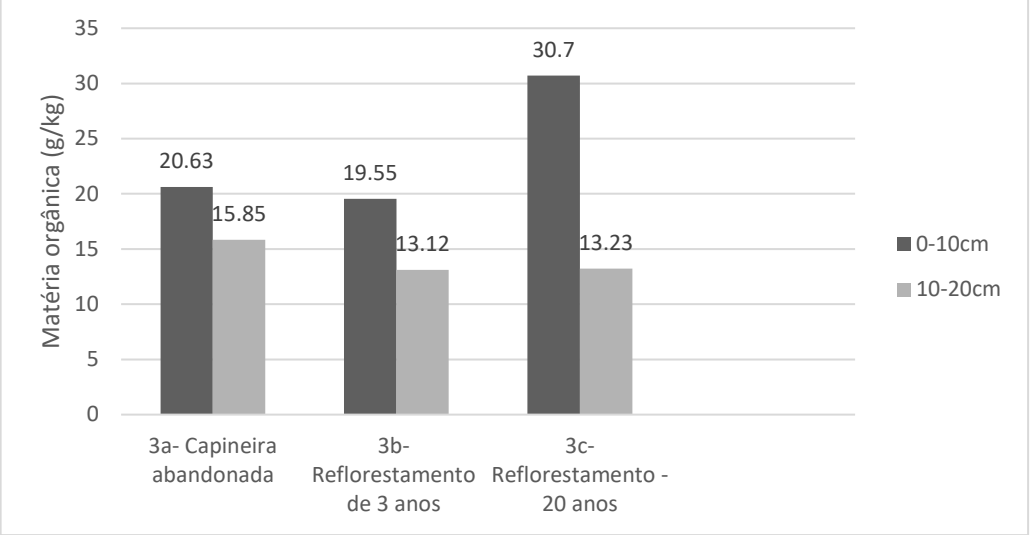
Fonte: O autor, 2021.

Gráfico 6- Resultados das avaliações de matéria orgânica (subárea 2).



Fonte: O autor, 2021.

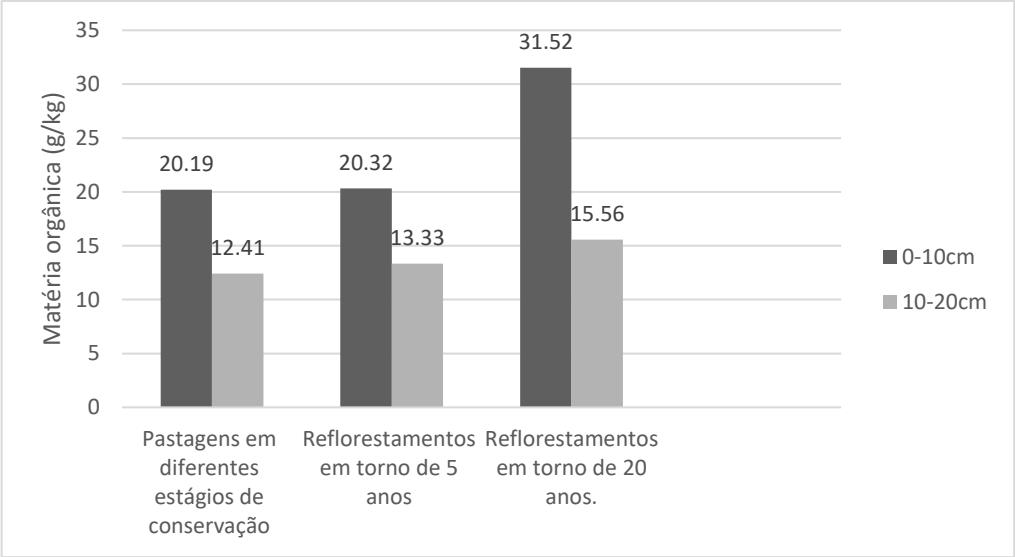
Gráfico 7 - Resultados das avaliações de matéria orgânica (subárea 3).



Fonte: O autor, 2021.

O gráfico 8 apresenta as médias das avaliações dos teores de matéria orgânica dos solos em relação ao conjunto das subáreas, usos e coberturas vegetais analisados.

Gráfico 8 - Médias das avaliações do teor de matéria orgânica em relação ao conjunto das subáreas analisadas de acordo com o uso e cobertura vegetal.

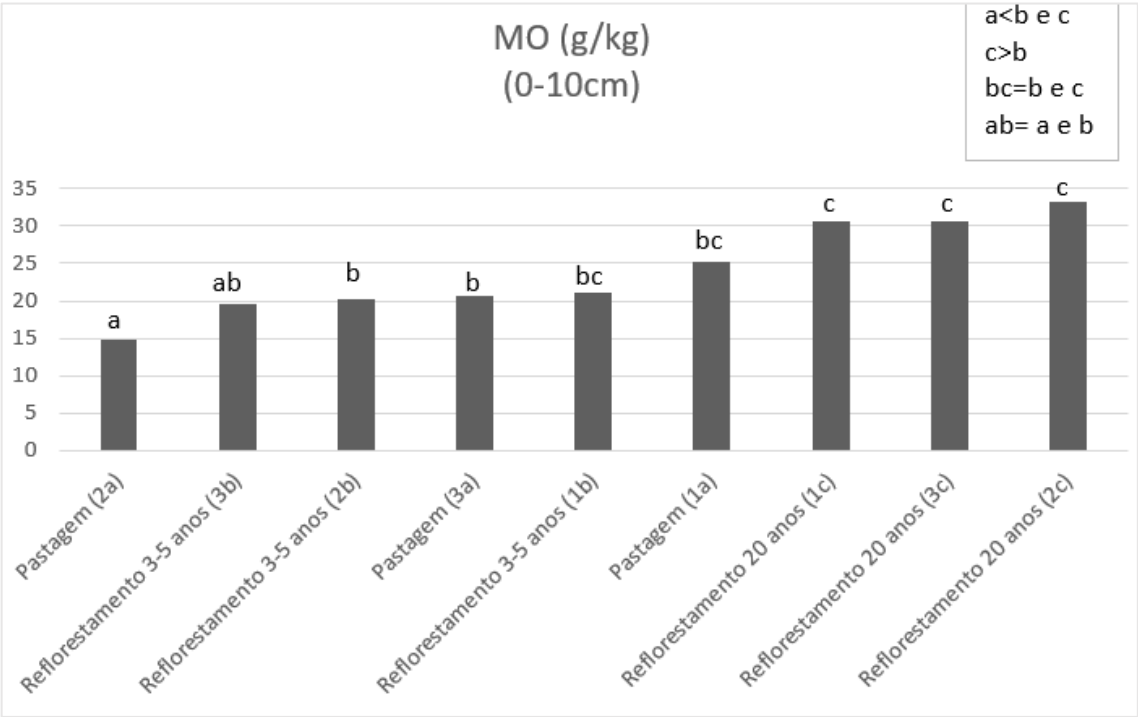


Fonte: O autor, 2021.

Nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm, as pastagens, em diferentes estágios de conservação, apresentaram os menores valores médios de teor de matéria orgânica (20,19g/kg e 12,41g/kg), os reflorestamentos em torno de 5 anos apresentaram valores médios de (20,32g/kg e 13,33g/kg) e os reflorestamentos em torno de 20 anos apresentaram os maiores valores médios (31,52g/kg e 15,56g/kg).

Através do teste estatístico de *Tukey* (gráfico 9), verifica-se que os valores de teores de matéria orgânica, na profundidade de 0-10cm, foram maiores nos reflorestamentos em torno de 20 anos (c). Com isso, algumas áreas de pastagens e de reflorestamentos em torno 5 anos apresentaram uma diferença estatística significativa em relação aos reflorestamentos em torno de 20 anos, tendo sido encontrados menores teores de matéria orgânica nas áreas de pastagens. Os reflorestamentos em torno de 20 anos (Pontos 1c, 3c e 2c) diferiram estatisticamente da pastagem (a- ponto 2a), do reflorestamento de 3-5 anos (ab - 3b), do reflorestamento de 3-5 anos (b – 2b) e da pastagem (b – 3a), sendo detectado o menor teor na pastagem (a – ponto 2a). Por outro lado, o reflorestamento de 3-5 anos (bc – ponto 1b) e a pastagem (bc- ponto 1a) não diferiram estatisticamente.

Gráfico 9 -: Resultados do teor de matéria orgânica obtidos através do teste estatístico de Tukey a 5%.



Fonte: O autor, 2021.

Pode-se inferir, através desses resultados, que há um aumento considerável de teor de matéria orgânica em solos submetidos a reflorestamentos, sendo o teor de matéria orgânica maior em reflorestamentos de estágios mais avançados.

Percebe-se, que os reflorestamentos de maior idade (20 e 15 anos) apresentaram os maiores teores de matéria orgânica, demonstrando que as florestas em estágio de sucessão mais avançado favorecem melhorias nos atributos físicos e químicos dos solos. Neste sentido, Baldotto *et. al* (2015) observou que os valores de matéria orgânica foram superiores na área de

Mata e Eucalipto, mostrando que sistemas florestais produzem uma maior quantidade de serrapilheira, o que resulta em teores de matéria orgânica mais expressivos.

Corroborando com o resultado, Melloni *et al* (2008), em um estudo sobre a avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais**,** observou que a mata apresentou, em virtude das melhores condições físicas e químicas dos solos, o menor estresse ambiental.

As cores mais escuras identificadas como Bruno-acinzentado-escuro (quando seca) e Bruno muito escuro (quando úmida), e a estrutura granular (quadros 1, 2 e 3) nos reflorestamentos mais avançados (pontos 1c, 2c e 3c) podem estar associadas aos maiores teores de matéria orgânica. Segundo Streck *et. Al* (2008) as cores mais escuras observadas nos horizontes superficiais dos solos indica a presença de matéria orgânica.

Neste sentido, a produção de serrapilheira e a proteção diferencial desses recortes espaciais de acões antrópicas podem estar favorecendo o incremento de matéria orgânica, sobretudo nas camadas superficiais.

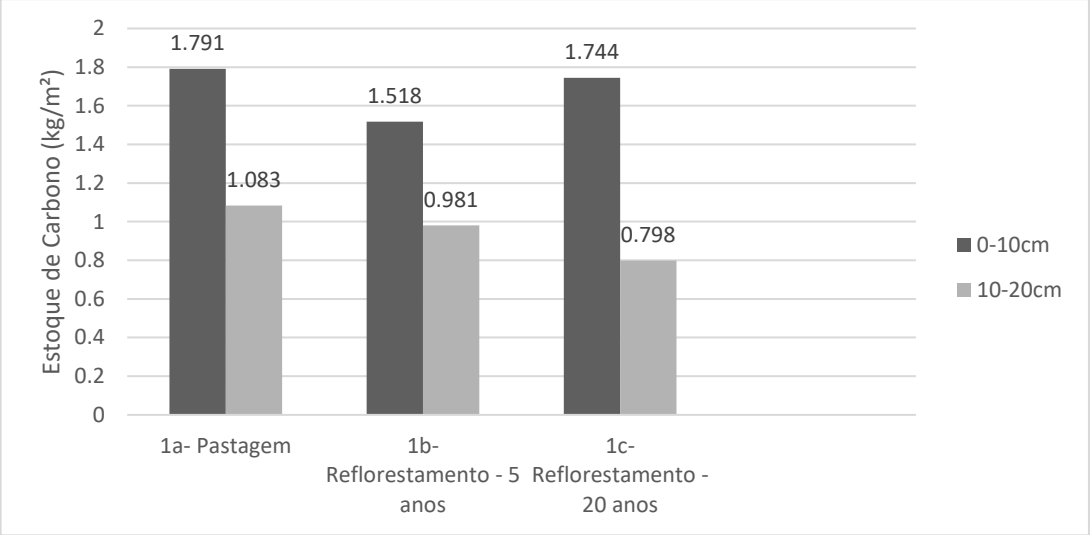
Os resultados indicaram que as pastagens, quando conservadas, pontos 1a e 3a, em função da elevada produção de biomassa, aumenta consideravelmente o teor matéria orgânica nos solos, sobretudo nos horizontes superficiais.

4.6 **Estoque de carbono no solo**

Os resultados das avaliações do estoque de carbono total, expressos nos gráficos 10, 11, 12, indicaram que, dentre as amostras coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20, a pastagem (ponto 1a) e os reflorestamentos de estágios mais avançados (pontos 1c, 2c e 3c apresentaram os maiores valores: (1,791kg/m² e 1,083kg/m²); (1,744kg/m² e 0,798kg/m²); (2,155kg/m² e 0,983kg/m²); (1,924kg/m² e 1,12kg/m²), respectivamente. Já a capineira abandonada (ponto 3a) apresentou os menores valores (0,973kg/m² e 0,662kg/m²).

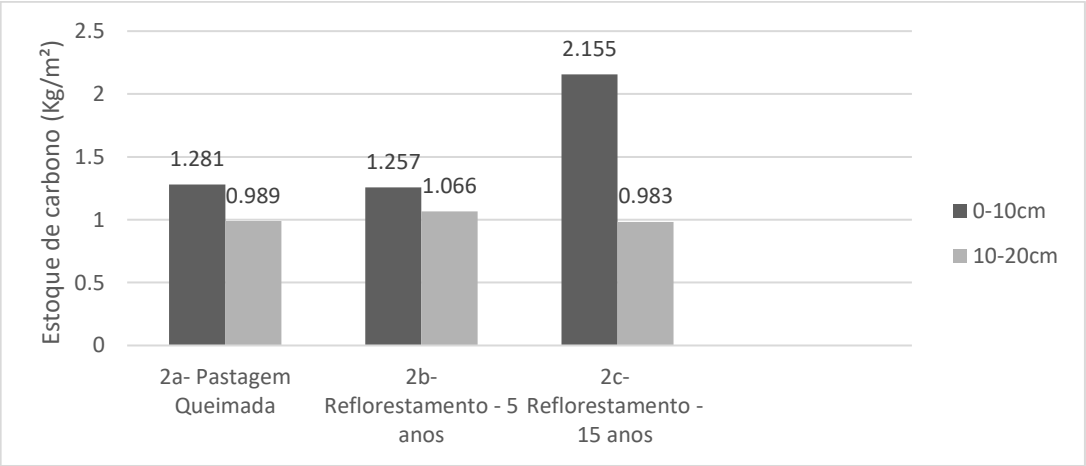
Foram observados menores estoques de carbono entre 10 e 20 cm de profundidade. Segundo Machado (2005) geralmente as concentrações de C tendem a diminuir exponencialmente com o aumento da profundidade.

Gráfico 10 - Resultados das avaliações do estoque de carbono total (subárea 1).



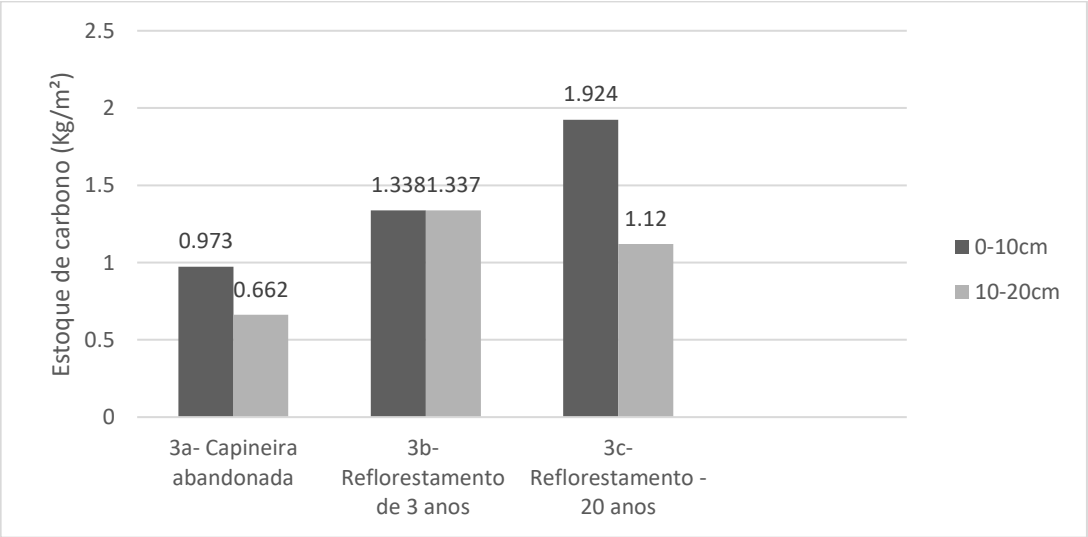
Fonte: O autor, 2021.

Gráfico 11- Resultados das avaliações do estoque de carbono total (subárea 2).



Fonte: O autor, 2021.

Gráfico 12 - Resultados das avaliações do estoque de carbono total (subárea 3).



Fonte: O autor, 2021.

Corroborando com os resultados da presente pesquisa, onde os maiores valores de estoque de carbono foram encontrados em áreas de reflorestamentos mais avançados (pontos 1c, 2c e 3c), Baldotto *et. al* (2015), em estudo sobre estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária, observaram que o remanescente da mata nativa tendeu a manter os estoques de carbono e a fertilidade natural, sendo superior em relação área de agricultura e pastagem. Com isso a floresta apresentou a maior quantidade e estabilidade dos estoques de carbono do solo (persistência do "sequestro" de C).

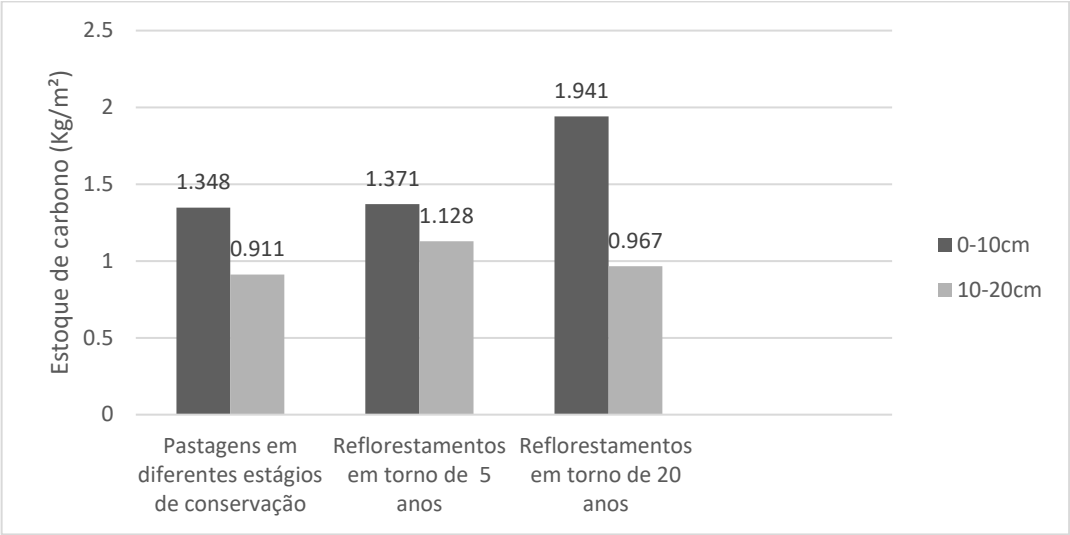
Estimativas mostraram que metade do C estocado no solo refere-se aos solos sob florestas, enquanto as áreas sob pastagens contêm cerca de 500 Pg e áreas sob cultivo agrícola, 170 Pg de C. Os solos tropicais armazenam 506 Pg C, sendo 66 Pg C concentrados na Amazônia brasileira (Cidin. 2016).

Neste sentido, a conversão de ecossistemas naturais para uso agrícola pode exercer uma grande influência no destino do carbono (C) estocado nos solos. Mudanças no uso da terra alteram os processos biogeoquímicos do solo, com reflexos no estoque de C e no fluxo de gases entre o solo e a atmosfera. Dependendo das características da área e do sistema de manejo adotado, essas alterações podem representar uma mudança no papel do solo como reservatório de C, alterando as taxas de emissão de dióxido de carbono (CO2) e metano (CH4). As emissões líquidas desses gases estão associadas com as mudanças nas quantidades do C estocado. (Fernandes *et.al*, 2008).

As atuais evidências da contribuição do CO2 atmosférico para o aquecimento global têm aumentado o interesse pelo carbono orgânico do solo, por ser um dos principais compartimentos do ciclo terrestre deste elemento (Lal, 2004). A maior parte do carbono orgânico fixado pelas plantas é capturada na fotossíntese, retornando para a atmosfera na forma de CO2, por decomposição dos resíduos vegetais (*op.cit*, 2004). O desmatamento e as práticas agrícolas intensivas, como as arações e gradagens, aumentam a transferência de carbono da biomassa para atmosfera (*op.cit*, 2004).

Sabendo-se que o estoque de carbono total é altamente susceptível a modificações do uso e cobertura vegetal, no gráfico 13 este parâmetro é avaliado observando-se, no conjunto das subáreas analisadas, sua variação de acordo com o uso atual e a cobertura vegetal.

Gráfico 13 - Médias das avaliações do estoque de carbono em relação ao conjunto das subáreas analisadas de acordo com o uso e cobertura vegetal.



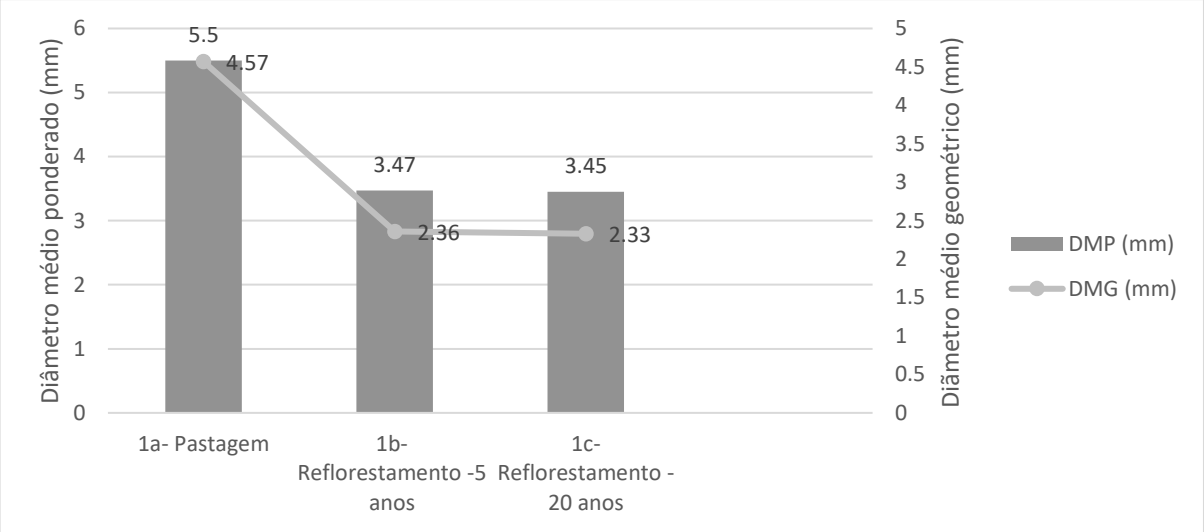
Fonte: O autor, 2021.

Dentre as amostras coletadas nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm, as pastagens, em diferentes estágios de conservação, apresentaram os menores valores médios de estoque de carbono (1,348kg/m² e 0,911kg/m²), os reflorestamentos em torno de 5 anos apresentaram valores médios de (1,371kg/m² e 1,128kg/m²) e os reflorestamentos em torno de 20 anos apresentaram os maiores valores médios (1,941kg/m² e 0,967kg/m²). Através dos dados apresentados percebe-se que os reflorestamentos de estágios mais avançados têm uma grande importância no sequestro de carbono da atmosfera.

4.7 **Estabilidade de agregados**

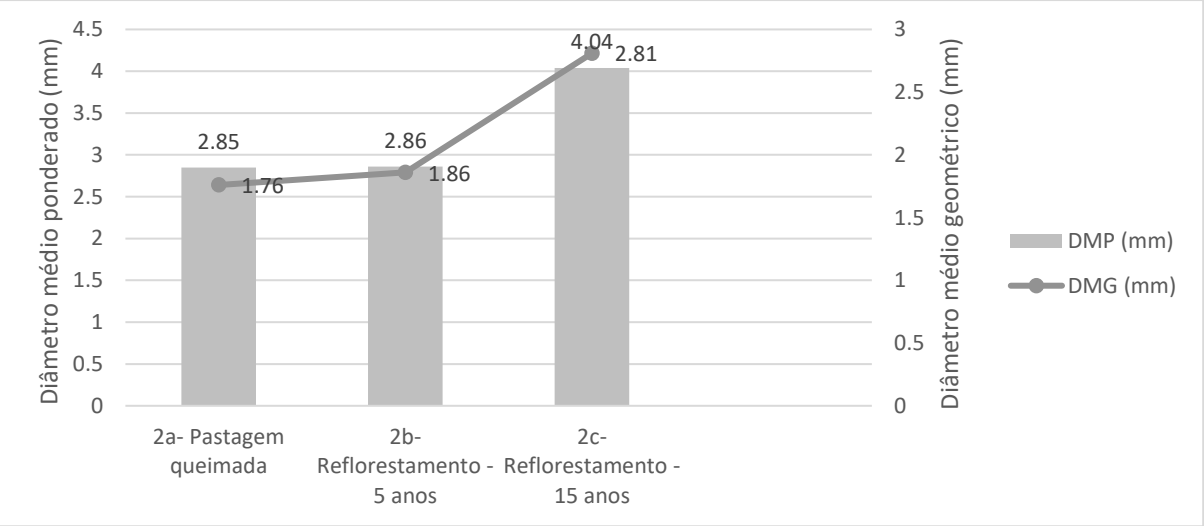
Os resultados das avaliações de estabilidade de agregados expressos em valores de diâmetros médios ponderados (DMP) e geométricos (DMG) encontram-se expostos nos gráficos 14, 15 e 16.

Gráfico 14 - Resultados das avaliações do diâmetro médio ponderado e geométrico (subárea 1).



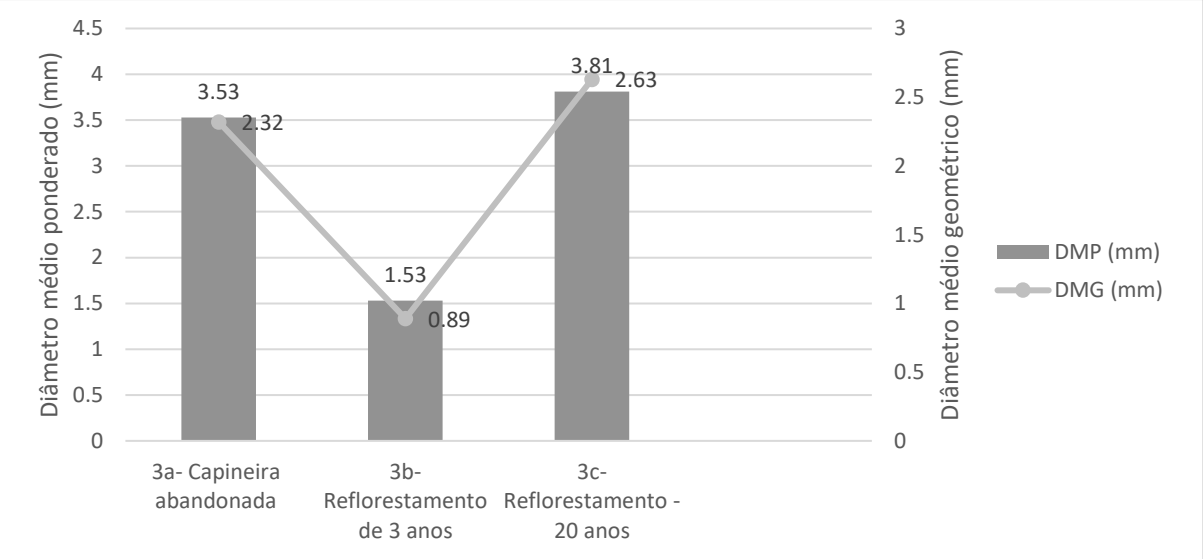
Fonte: O autor, 2021.

Gráfico 15 - Resultados das avaliações do diâmetro médio ponderado e geométrico (subárea 2).



Fonte: O autor, 2021.

Gráfico 16 - Resultados das avaliações do diâmetro médio ponderado e geométrico (subárea 3)

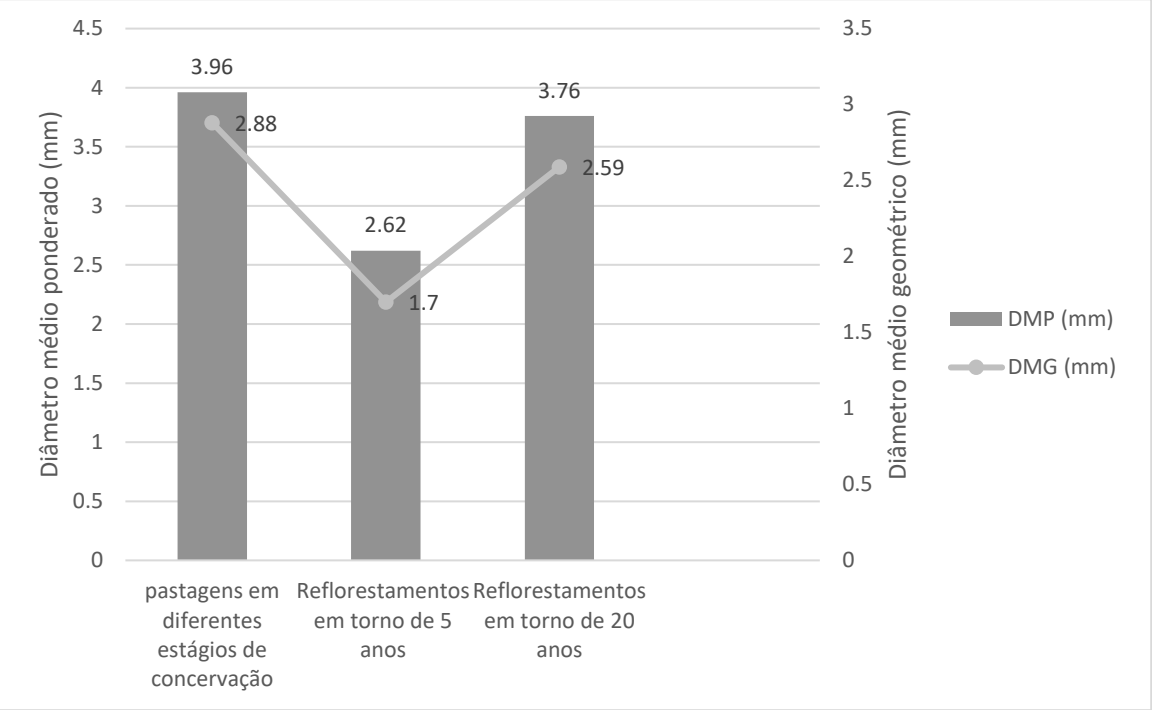


Fonte: O autor, 2021.

Dentre as amostras coletadas na profundidade de 0-10cm, a pastagem (ponto 1a), num estágio de conservação melhor em relação as outras pastagens analisadas neste estudo, apresentou os maiores valores (5,5mm) e (4,57mm) e a capineira abandonada (ponto 3a) valores de (3,53mm) e (2,32mm). Os reflorestamentos de estágios mais avançados (20 e 15 anos) apresentaram valores de 3,45mm e 2,33mm (ponto 1c), 3,81mm e 2,63mm (ponto 3c) e de 4,04mm e 2,81mm (ponto 2c), os dois primeiros resultados referem-se aos reflorestamentos de 20 anos e o último ao de 15 anos, respectivamente. Por outro lado, os menores valores foram encontrados no reflorestamento de 3 anos (ponto 3b) 1,53mm e 0,89mm e na área de pastagem queimada (ponto 2a) 2,85mm e 1,76mm.

O gráfico 17 apresenta as médias dos resultados das avaliações do diâmetro médio ponderado e geométrico em relação ao conjunto das subáreas analisadas de acordo com o uso e cobertura vegetal solos.

Gráfico 17 - Médias dos resultados das avaliações do diâmetro médio ponderado e geométrico em relação ao conjunto das subáreas analisadas de acordo com o uso e cobertura vegetal solos



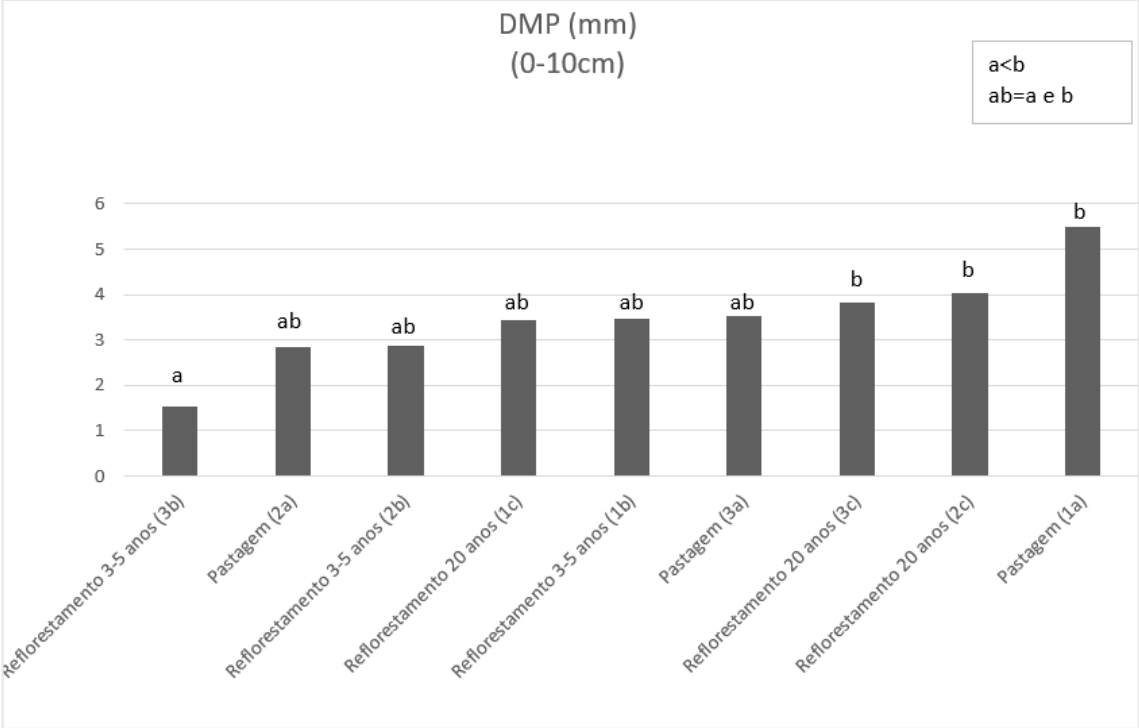
Fonte: O autor, 2021.

Percebe-se que, dentre as amostras coletadas na profundidade de 0-10cm, as pastagens, em diferentes estágios de conservação, apresentaram os maiores valores médios do diâmetro médio ponderado e geométrico (3,96mm e 2,88mm), os reflorestamentos em tornos de 5 anos apresentaram os menores valores médios (2,62mm e 1,7mm) e, por fim, os reflorestamentos de 20 anos apresentaram valores médios de (3,76mm e 2,59mm).

Analisando a estabilidade de agregados, verifica-se, através do teste estatístico de *Tukey*, que os valores do Diâmetro Médio Ponderado (DMP) (gráfico 18), na profundidade de 0-10 cm, que apenas os reflorestamentos de 20 anos (b – pontos 3c e 2c) e a pastagem (b – ponto 1a) diferiram estatisticamente do reflorestamento de 3-5 anos (a – ponto 3b), sendo o DMP maior nos reflorestamentos de 20 anos e na pastagem.

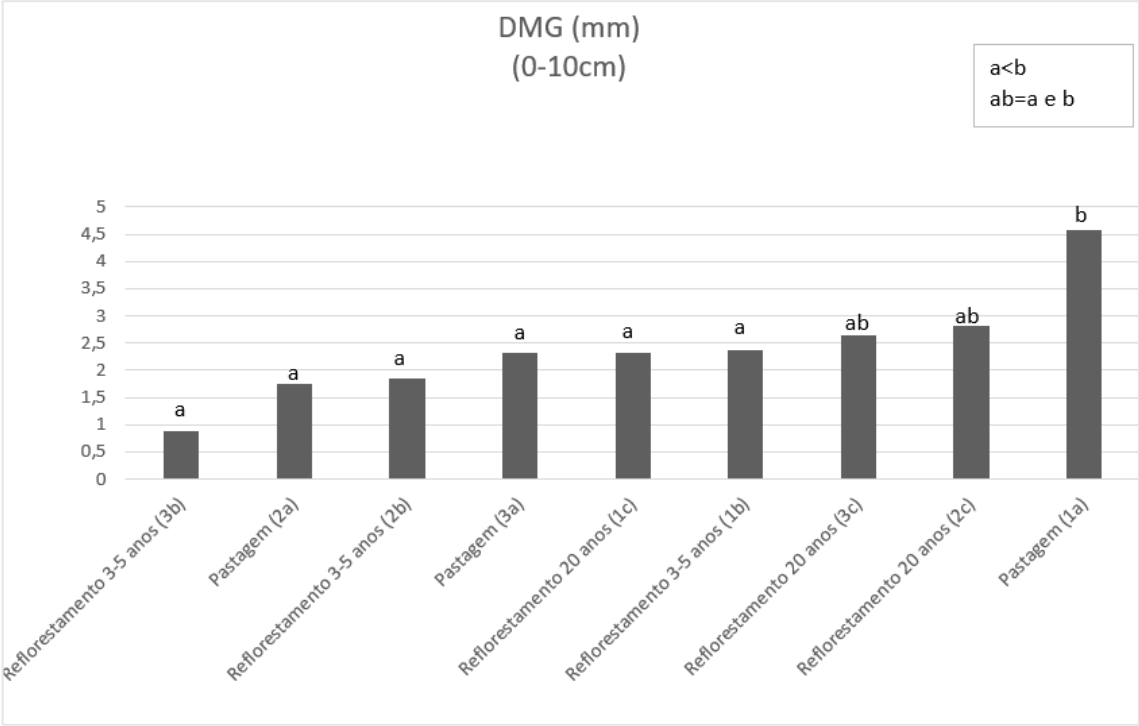
A análise dos valores do Diâmetro Médio Geométrico (DMG) através do teste estatístico de *Tukey* (gráfico 19) revelou que apenas a pastagem (ponto 1a) teve diferença estatística das demais pastagens (pontos 2a e 3a), dos reflorestamentos em torno de 5 anos (pontos 1b, 2b e 3b), sendo o DMG maior na área do ponto 1a.

Gráfico 18 - Resultados do Diâmetro Médio Ponderado obtidos através do teste estatístico de Tukey (5%).



Fonte: O autor, 2021.

Gráfico 19 - Resultados de Diâmetro Médio Geométrico obtidos através do teste estatístico de Tukey (5%).



Fonte: O autor, 2021.

Salton *et.al* (2008), em estudo sobre agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul, observou que a formação de macroagregados parece estar relacionada a presença de raízes, que são mais abundantes sob pastagens de

gramíneas, encontrando valores superiores a 4,76mm nos sistemas com pastagens. Silva e Mielniczuk (1998) em estudo sobre sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade dos agregados, notaram que a estabilidade dos agregados do solo tende a aumentar mais em solos sob gramíneas do que solos sob leguminosas.

Neste sentido, pode-se inferir que os sistemas de pastagem favoreceram a agregação das partículas do solo, formando macroagregados >25mm, o que diminuiu a erosão dos solos, já que quanto maior for o DMP menor é a erodibilidade. Os reflorestamentos de maior idade, por sua vez, apresentaram maiores valores em relação aos de menor idade. Neste sentido, a vegetação se mostrou importante para a formação dos agregados, o que pode estar relacionado à ação mecânica das raízes ou à excreção de substâncias cimentantes, tal como destacado por Kiehl (1979).

Percebe-se, também, que os maiores diâmetros médio ponderados e geométricos evidenciados nas áreas de pastagens mais conservadas (pontos 1a e 3a) e nos reflorestamentos em torno de 20 anos (pontos 1c, 2c e 3c) apresentaram uma correlação positiva com os teores de matéria orgânica expressos nas figuras 27, 28 e 29, pois a matéria orgânica do solo tem uma grande importância na agregação das frações dos solos.

Para Guerra (2005) a MOS é importante para a cimentação e estabilidade dos agregados dos solos, sendo um importante bioindicador da qualidade ambiental. Neste sentido, *op.cit* (2005), através de uma ampla revisão bibliográfica, chegou à conclusão que o teor de matéria orgânica nos solos representa um excelente agente cimentante, aumentando a estabilidade dos agregados superficiais dos solos e diminuindo as suas erodibilidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta dissertação possibilitaram o entendimento de diversos aspectos sobre a maneira como as formas de uso e ocupação das terras na área de estudos, marcadas pela degradação em função do ciclo cafeeiro (1780-1880) e pela pecuária leiteira (século XX), influenciaram em suas qualidades físicas.

Nas avaliações de densidade dos solos, porosidade total, teor de matéria orgânica, estoque de carbono total nos solos, e estabilidade de agregados (diâmetros médios ponderados e geométricos), foi possível observar diferenças significativas em termos estatísticos. As pastagens, principalmente no Ponto 1a, apesar de representarem um ambiente pouco sustentável, evidenciaram boas condições físicas, embora alguns sinais de compactação tenham sido detectados. Isso ficou evidenciado pelos elevados teores de matéria orgânica e pelos maiores valores de diâmetros médios ponderados e geométricos, mostrando que as pastagens possuem elevada produção de biomassa, propiciando elevados teores de matéria orgânica nos primeiros centímetros dos solos e o aumento da estabilidade dos agregados, corroborando com estudos como os de Rodrigues *et al.* (2008), Amézketa (1999), Silva & Mielniczuk (1998) e Salton *et.al.* (2008). Foi possível observar ainda o quanto os solos em ambientes de pastagens queimadas (ponto 2a) têm seus teores de matéria orgânica e seus diâmetros médios ponderados e geométricos reduzidos.

Os resultados da dissertação sugerem que os reflorestamentos com 5 anos (pontos 1b, 2b e 3b) podem ser considerados ecossistemas com solos de qualidade física intermediária entre as áreas de pastagens e dos reflorestamentos de 20 anos. Os reflorestamentos de 20 anos (pontos 1c, 2c e 3c) apresentaram as melhores condições físicas em seus solos, demonstrado tratar-se de um ambiente mais estável devido ao maior avanço em termos sucessionais. A morfologia dos seus solos, caracterizada por cores mais escuras e uma estrutura de blocos, ganulares (0-10cm) e granulares a subangulares (10-20cm), favorecida por elevados teores de matéria orgânica, propiciou menores valores de densidade aparente, maiores valores de porosidade total, e maiores valores de diâmetros médios ponderados e geométricos. Além disso, tal ambiente propiciou maior estocagem de carbono no solo, demostrando grande importância sob o ponto de vista da problemática atual do aquecimento global.

As análises estatísticas, através do teste estatístico de *Tukey*, sobre teores de matéria orgânica, diâmetros médios ponderados e diâmetros médios geométricos demostraram que:

a) os valores do teor de matéria orgânica, na profundidade de 0-10, foram maiores nos reflorestamentos de 20 anos. Pastagens e de reflorestamentos de 5 anos apresentaram teores de matéria orgânica estatisticamente inferiores em relação aos reflorestamentos de 20 anos. Neste sentido, os reflorestamentos de 20 anos (Pontos 1c, 3c e 2c) se diferiram estatisticamente da pastagem queimada (ponto 2a), do reflorestamento de 3-5 anos (ponto 3b), do reflorestamento de 3-5 anos (ponto 2b) e da capineira abandonada (ponto 3a), sendo detectado o menor teor na pastagem queimada (ponto 2a);
b) os valores do diâmetro médio ponderado, na profundidade de 0-10 cm, não diferiram em termos estatísticos;
c) a análise dos valores do diâmetro médio geométrico, através do teste estatístico de Tukey, também não apontou diferenças estatísticas. Apenas a pastagem (ponto 1a) diferiu estatisticamente do reflorestamento de 3-5 anos (ponto 3b), sendo o DMG maior na primeira.

Os resultados da dissertação permitiram concluir que os reflorestamentos influenciaram positivamente na qualidade física dos solos, propiciando elevados teores de matéria orgânica e índices de agregação. Tais práticas, uma vez que refletem no controle da erosão, permitiram também o retorno dos ecossistemas originais e dos serviços ambientais atrelados em áreas anteriormente degradadas.

Como continuidade ao estudo proposto nesta dissertação, a abertura de minitrincheiras adicionais e a realização das mesmas análises de solos, em cada das subáreas avaliadas, poderão trazer resultados estatísticos mais aprimorados. Análises das propriedades dos solos a partir da delimitação e descrição dos horizontes pedogenéticos, com a caracterização morfológica dos mesmos e, por fim, a inclusão de análises da retenção hídrica da serrapilheira, poderão gerar grande número de informações, subsidiando investigações sobre a influência do uso atual e da cobertura vegetal sobre a qualidade física dos solos.

REFERÊNCIAS

Ab' Saber, A. (1996) **Domínio Morfoclimático e Solos do Brasil. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. SBCS e UFV, Viçosa-MG, p.1–18.

Amézketa, E. (1999). **Soil aggregate stability**: a review. Journal of sustainable agriculture, 14(2-3), 83-151.

Andreola, F.; Costa, L. M.; Olszevski, N. (2000) **Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.857-865.

Baldotto, M. A., Vieira, E. M., Souza, D. D. O., & Baldotto, L. E. B. (2015). **Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária**. Revista Ceres, 62(3), 301-309.

Bertol, I., Gomes, K. E., Denardin, R. B. N., Machado, L. A. Z., & Maraschin, G. E.7 (1998) **Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 33(5), 779-786.

Bernini, T. A.; Silva, M. S. (2012) **Levantamento de solos como auxílio no planejamento de atividades da microbacia do córrego Nilo Peçanha, Pinheiral-RJ**. XIX Reunião Brasileira de Manjo e Conservação do Solo e da Água, Lajes-SC.

Brasil. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. **Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 12 de abril de 1989, Seção 1, p. 5517. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm>. Acesso em: 13.04.2021.

Castro Filho, C. D., Muzilli, O., & Podanoschi, A. L. (1998). **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22(3), 527-538.

Cassol, L. C. (2003) **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície.** Tese Doutorado. Porto Alegre: UFRGS, 157p.

Chaves, T. D. A., de Andrade, A. G., Lima, J. D. S., & Portocarrero, H. (2012). **Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural. Embrapa Solos**-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E).

Cidin, A. C. M. (2016) **Estoque de Carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa**.

Corsini, P. C., & Ferraudo, A. S. (1999). **Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 34(2), 289-298.

Costa, E. M. (2015). **Mapeamento digital de solos por regressão logística múltipla em ambiente de Mar de Morros em Pinheiral, RJ.**

Costa, G. C. P. D., & Silva, A. S. D. (2015). **Aumento da erosão pela compactação do horizonte superficial causada pelo pisoteio bovino em Santo Antônio de Padua–RJ.** In 15 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Rio Grande do Sul.

Cunha, TJF; Mendes, AMS; Giongo, V. (2016). **Matéria orgânica do solo.** Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE).

Dantas, M. E., & Netto, A. L. C. (1996). **Resultantes geo-hidroecológicas do ciclo cafeeiro (1780-1880) no médio vale do rio Paraíba do Sul: uma análise quali-quantitativa.** Anuário do Instituto de Geociências, 19, 61-78.

Dean, W. (1997). **A ferro e fogo: a história de devastação da mata atlântica brasileira. Companhia de letras.** São Paulo.

Doran, J. W.; Parkin, T. B. (1994). **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J. W. et al. (Ed). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America Journal, Madison, Special Publication, n. 35, p. 3-22, 1994.

Fernandes, F. A., & Fernandes, A. H. B. M. (2008). **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo.** Embrapa Pantanal-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).

Gama-Rodrigues, E. F. D., Gama-Rodrigues, A. C. D., Paulino, G. M., & Franco, A. A. (2008). **Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do Estado do Rio de Janeiro.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32(4), 1521-1530.

Guerra, T.J.A. (2005) **Processos Erosivos nas Encostas.** In: Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos, Antônio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha. 6° edição. – Rio de Janeiro: Bertrand, 2005. 472 pg. Pp. 149-209.

Horton, R.E. (1945) **Erosional development of streams and their drainage basins hidrophysical approach to quantitative morphology.** America Bolletin, v.56, n.2, p.275-370.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira.** 1992. IBGE, Rio de Janeiro. 92 p.

Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). **Aggregate stability and size distribution.**

Kiehl, E.K. (1979) **Manual de edafologia: relações solo-planta.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 262p.

KOPPEN, W. (1938) **Das Geographisiche System der Klimate. Handbuch der Klimatologie**. Berlim: Borhtraeger.

Lanzanova, M. E.; Nicoloso, R. S.; Lovato, T.; Eltz, F. L. F.; Amado, T. J. C.; Reinert, D. J. (2007) **Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1131-1140.

Lal R (2004) **Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security**. Science, 304:1623-1627.

Machado, P. L. O. A. (2005) **Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global.** Química Nova, v.28, n.2, p. 329-334.

Machado, L.R. (2007) **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, RJ.** Dissertação de Mestrado. Seropédica, UFRRJ.

Manfré L.A, Marco S.A, Custódio U. R. (2011) **Atributos de qualidade de solos sob dois diferentes tipos de manejo no município de Ibiúna/SP, Brazil.** Interciência, v. 36, n. 10.

Marshall, T.J.; Holmes, J.W. & Rose, C.W. (1996) **Soil Physics.** Cambridge University Press, Cambridge-USA. 453 p.

Menezes, C. (1999). **Diagnóstico de degradação do solo em função da topografia e cobertura vegetal no município de Pinheiral, RJ**.

Menezes, C. E. G (2008) **Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ.**

Melloni, R., Melloni, E. G. P., Alvarenga, M. I. N., & Vieira, F. B. M. (2008). **Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32(6), 2461-2470.

McBride, R.A.; Bober, M.L. (1989) **Are-examination of alternative test procedures for soil consistency limit determination: I. A compression-based procedure.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v.53, p.178-183.

Nummer, A. R. (2001) **Geometria e cinemática de alojamento do maciço granítico de Arrozal Sudoeste do Estado do Rio de Janeiro.**

Oliveira, J. A. O. (1998). **Caracterização Física da Bacia do Ribeirão Cachimbal-Pinheiral, RJ e de suas principais paisagens degradadas.**

Oliveira, J. C.; Dias, H. C. T (2005) **Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica.** Revista Árvore, Viçosa, v. 29, n. 1.

Ralisch, R., Debiasi, H., Franchini, J. C., Tomazi, M., Hernani, L. C., Melo, A. D. S., & de Bona, F. D. (2017). **Diagnóstico rápido da estrutura do solo** (DRES). Embrapa Solos-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E).

Richart, A., Tavares Filho, J., Brito, O. R., Llanillo, R. F., & Ferreira, R. (2005). **Compactação do solo: causas e efeitos.** Semina: Ciências Agrárias, 26(3), 321-343.

Roth, C. H., Pavan, M. A., Chaves, J. C. D., Meyer, B., & Frede, H. G. (1986). **Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros.** Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Rosendo J. S., Rosa. R. (2012) **Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado.** Sociedade & Natureza.

Santos, A. C. (2009) **Pedogênese e Alterações Geoquímicas em Área de Mar de Morros, na Região do Médio Vale do Paraíba: Estudo em uma Litosseqüência no Grupo Paraíba do Sul.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Santos, G. G. (2010) **Impacto de sistemas de integração lavoura pecuária na qualidade física do solo.** Tese Doutorado. Goiânia: UFG, 122p.

Santos, R. D. dos; Lemos, R. C. de; Santos, H. G. dos; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C., Shimizu, S.H. dos (2013). **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Editora da UFV; Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Editora da UFRRJ,100p.

Sanson, M. S. R.; Ramos, R. R. C.; Mello C. L. (2006) **Bacia Sedimentares Brasileiras: Bacia de Volta Redonda.** Phoenix, Fundação Paleontológica Phoenix. p. 1-6.

Salton, J. C.; Silva, W. M.; Tomazi, M.; Hernani, L. C. (2012) **Determinação da agregação do solo – metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 8 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 184).

Salton, J. C., Mielniczuk, J., Bayer, C., Boeni, M., Conceição, P. C., Fabrício, A. C. & Broch, D. L. (2008). **Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do solo, 32(1), 11-21.

Silva, I. D. F., & Mielniczuk, J. (1998). **Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22(2), 311-317.

Solos, E. (1997). **Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.**

Soane, B.D. **Process of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it.** In: LAL, R.; Sanchez, P.A.; Cummings, R.W. Land clearing and development in the tropics. Rotterdam: Balkema Publisher, 1986. p.265-297.

Streck, E. V., Kampf, N., Dalmolin, R. S. D., Klamt, E., Nascimento, P. D., Schneider, P., & Pinto, L. F. S. (2008). **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: UFRGS: EMATER/RS-ASCAR.

Távora, G. S.G. (2019). **Avaliação dos serviços ecossistêmicos prestados pelos solos em áreas agrícolas inseridas no Bioma Mata Atlântica, na região serrana do estado do Rio de Janeiro.**

Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., & Teixeira, W. G. (2017). **Manual de métodos de análise de solo. Brasília:** Embrapa Solos.

Tisdall, J. M., & Oades, J. (1982). **Organic matter and water-stable aggregates in soils.** Journal of soil science, 33(2), 141-163.

Toledo, L. de O.; Pereira, M. G.; Menezes, C. E. G. (2002**) Produção de Serapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na Região de Pinheiral-RJ.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16.

Yoder, R. E. (1936) **A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses**. Journal of the American Society of Agronomy, Madison, v. 28, n. 5, p. 337-251.

Weil, R. R., Lowell, K. A., & Shade, H. M. (1993**). Effects of intensity of agronomic practices on a soil ecosystem.** American Journal of Alternative Agriculture, 5-14.