



**BRENDA BUENO DE ALMEIDA MARCELINO**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DE  
CAMBISSOLOS EM AMBIENTES NATIVO E  
ANTROPIZADO: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE  
BRASIL E PORTUGAL**

**LAVRAS - MG**

**2023**

**BRENDA BUENO DE ALMEIDA MARCELINO**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DE CAMBISSOLOS EM  
AMBIENTES NATIVO E ANTROPORIZADO: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE  
BRASIL E PORTUGAL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do  
Curso de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para a obtenção do título de  
Bacharel.

Prof. Dr. Bruno Montoani Silva

Orientador

Prof. Dr. Tomás d' Aquino Freitas Rosa de Figueiredo

Coorientador

**LAVRAS - MG**

**2023**

*Ao meu pai e ao meu irmão, Osvaldo Marcelino e Yan Bueno de Almeida Marcelino,  
por todo sacrifício, apoio e incentivo, sempre.*

*À minha mãe e ao meu irmão, Marisa Bueno de Almeida Marcelino e Zack Bueno de  
Almeida Marcelino (**in memoriam**), por acreditarem em mim e estarem sempre por perto.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

À Deus por me oferecer todas as ferramentas e oportunidades que me fizeram seguir o caminho que me trouxe até este momento.

À minha família, em especial meu pai, Osvaldo Marcelino, e meu irmão, Yan Bueno de Almeida Marcelino, sem os quais essa jornada não seria possível. Por todo incentivo emocional e sacrifício financeiro que permitiu que eu realizasse esse sonho. Espero que eu os tenha orgulhado.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, parceria e por fazerem essa jornada ser mais prazerosa e feliz.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciências do Solo e também ao Instituto Politécnico de Bragança, por todo aprendizado e pela oportunidade de me tornar uma profissional de excelência e um ser humano melhor.

Ao CNPq pelos recursos financeiros destinados aos programas de pesquisa e projetos de iniciação científica nas universidades.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Bruno Montoani Silva, e coorientador, Prof. Dr. Tomás d' Aquino Freitas Rosa de Figueiredo, pela confiança, aprendizado e motivação. A paixão e entusiasmo de vocês pela pesquisa e ensino são inspiração para mim.

Aos companheiros de trabalho, da equipe de física do solo do DCS-UFLA e do laboratório de solos do IPB, que me proporcionaram momentos de muito aprendizado. Em especial, Vanêssa Lopes de Faria, que além de ser minha coorientadora de iniciação científica, foi uma parceira muito paciente e gentil e também uma amiga.

Aos colegas de equipe que me forneceram dados bibliográficos para este trabalho, Érika, Samara e em especial Monna Lysa, que foi muito paciente e generosa.

Por fim, a todos que contribuíram com minha jornada acadêmica de alguma forma. Minha sincera gratidão.

## RESUMO

A conservação do solo é fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental e a segurança alimentar, pois desempenham um papel crucial na produção agrícola, na regulação hídrica e na manutenção da biodiversidade. Este estudo comparativo entre Cambissolos, sob mesmo material de origem, no Sudeste do Brasil e Nordeste de Portugal, foi conduzido utilizando dados compilados na literatura. O objetivo foi avaliar a influência de diferentes práticas de manejo nas características físicas e químicas do solo, considerando áreas sob vegetação nativa e áreas antropizadas com Culturas Perenes, Pastagem e Floresta Plantada. Os atributos do solo analisados incluíram textura, macroporosidade, microporosidade, capacidade de água disponível, capacidade de campo relativa, capacidade de aeração, densidade do solo e teor de matéria orgânica. Os resultados revelaram variações notáveis nos solos das duas regiões, refletindo as diferenças climáticas e práticas agrícolas adotadas. O emprego de análises estatísticas, como a Correlação linear, a Análise de Componentes Principais, e a visualização por meio de gráficos boxplot, proporcionaram uma compreensão aprofundada das tendências e variações observadas nos parâmetros analisados. A qualidade física do solo mostrou-se sensível às práticas de manejo, evidenciando a importância de estratégias sustentáveis e adaptadas às características locais. Solos de Cultura Perene do Brasil se mostraram mais conservados que Portugal, ao contrário das Pastagens e Floresta Plantada. Este estudo contribui para a compreensão das dinâmicas de preservação do solo, fornecendo interpretações valiosas para a gestão eficaz do solo em contextos agrícolas diversos, dentro das particularidades de cada região.

**Palavras-chave:** Preservação do solo. Manejo conservacionista. Práticas agrícolas sustentáveis.

## ABSTRACT

Soil conservation is essential to ensure environmental sustainability and food security, as it plays a crucial role in agricultural production, water regulation, and biodiversity maintenance. This comparative study between Cambisols, with the same parent material, in Southeast Brazil and Northeast Portugal, was conducted using data compiled from the literature. The objective was to assess the influence of different management practices on the physical and chemical characteristics of the soil, considering areas under native vegetation and areas affected by human activities with Perennial Crops, Pasture, and Planted Forest. The analyzed soil attributes included texture, macroporosity, microporosity, available water capacity, relative field capacity, aeration capacity, soil density, and organic matter content. The results revealed notable variations in the soils of the two regions, reflecting climate differences and adopted agricultural practices. The use of statistical analyses, such as linear correlation, principal component analysis, and visualization through boxplot graphs, provided a deep understanding of the trends and variations observed in the analyzed parameters. The physical quality of the soil proved to be sensitive to management practices, highlighting the importance of sustainable strategies adapted to local characteristics. Perennial Crop Soils in Brazil were found to be more conserved than those in Portugal, unlike Pastures and Planted Forests. This study contributes to understanding soil preservation dynamics, providing valuable insights for effective soil management in diverse agricultural contexts, considering the specificities of each region.

**Keywords:** Soil preservation. Conservation management. Sustainable agricultural practices.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Caracterização dos solos no Sudeste do Brasil</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Caracterização dos solos no Nordeste de Portugal</b>	<b>13</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>15</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>21</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Diferentes regiões do mundo adotam práticas agrícolas variadas devido às distintas interações entre processos geológicos, climáticos e culturais que moldam o ambiente natural. As diferentes condições entre Brasil e Portugal, como diversidades de temperatura, umidade, matéria orgânica e fator biológico implica em técnicas particulares para o uso e manejo dos solos. Ao examinar estes processos, fica claro sua contribuição para a criação de um vasto conjunto de cenários e estratégias na gestão dos recursos agrícolas.

O intemperismo é um conceito fundamental para explicar as diferenças marcantes entre as duas regiões. Refere-se a um procedimento prolongado e gradual de decomposição das rochas, decorrente da interação com agentes físicos, químicos e biológicos, desempenhando um papel essencial na criação e modificação do ambiente. Os elementos desencadeadores dessa fragmentação englobam temperatura, umidade e organismos vivos, resultando na formação de minerais e solos distintos em cada ambiente. Portugal e Brasil são impactados de forma diferente pelo seu clima no que diz respeito ao intemperismo. Enquanto o clima tropical brasileiro fomenta uma intensa lixiviação, resultando em solos ácidos como Latossolos e Argissolos, o clima mediterrâneo de Portugal, caracterizado por verões secos e chuvas concentradas, contribui para solos calcários e menos lixiviados.

Brasil e Portugal apresentam divergências marcantes em suas condições climáticas e nos padrões de precipitação devido à localização geográfica e suas formações geológicas distintas. O Brasil, apesar de abranger uma vasta área geográfica e experimentar climas variados, desfruta de um clima predominantemente tropical que é favorável ao crescimento de uma ampla gama de culturas. Já o clima mediterrânico de Portugal resulta numa precipitação limitada durante verões e invernos extremos, permitindo assim culturas resistentes à seca.

O clima tropical brasileiro, caracterizado por sua umidade e temperaturas elevadas, propicia um processo de intemperismo mais acentuado, resultando em solos mais argilosos, (quando comparados solos desenvolvidos de materiais de origem semelhante), profundos e com uma menor proporção de matéria orgânica. Além disso, o componente biológico costuma ser mais ativo devido às maiores quantidades de água disponíveis no solo e maiores temperaturas. Por outro lado, Portugal, com seu clima mediterrâneo caracterizado por temperaturas mais frias e condições mais secas na maior parte do ano, contribui para a formação de solos que tendem a ser mais resilientes e ricos em matéria orgânica.

Essas diferentes condições climáticas também têm repercussões nas escolhas de plantio de culturas perenes e anuais. A agricultura de culturas perenes, como árvores frutíferas



e vinhas, é favorecida em Portugal, onde a estabilidade climática permite colheitas repetidas ao longo dos anos. No Brasil, tanto as culturas perenes quanto as anuais são populares devido à diversidade do clima e solos. Culturas anuais, como milho e feijão, se adaptam melhor em áreas com chuvas regulares, enquanto culturas perenes, como a cafeicultura, por exemplo, é favorecida por climas subtropicais mais frios. A escolha do tipo de cultura a ser cultivada em um local interfere tanto nos impactos ambientais daquele solo, como na cultura e economia daquela região.

As diferentes abordagens entre as culturas perenes e anuais refletem extremos contrastantes dentro do âmbito da agricultura, considerando sua durabilidade e as consequências ambientais resultantes. As culturas perenes, que incluem árvores frutíferas, videiras e arbustos, diferem das culturas anuais, como cereais e legumes, principalmente por seus ciclos de colheita mais prolongados. Em geral, as culturas perenes são consideradas mais conservadoras em relação aos recursos naturais do que as culturas anuais e isso ocorre por diversas razões.

Culturas perenes mantêm a cobertura vegetal do solo ao longo do ano, contribuindo para a diminuição da erosão provocada pela água da chuva. Em contraste, as culturas anuais tendem a deixar o solo desprotegido após a colheita, o que eleva o seu risco de degradação. Além disso, o ciclo de vida mais prolongado das culturas perenes reduz a necessidade de preparo do solo e replantio frequente, minimizando os efeitos prejudiciais na sua estrutura. As práticas de manejo para culturas perenes tendem ainda a ser menos invasivas, resultando em menos perturbações no solo e menos necessidade de maquinário pesado, o que minimiza o impacto ambiental.

A avaliação da qualidade física do solo envolve diversos parâmetros, como textura, estrutura, densidade, porosidade, condutividade hidráulica, capacidade de retenção de água e resistência à compressão. Esses parâmetros desempenham papéis fundamentais na caracterização geral do solo: a textura influencia a retenção de água e nutrientes; a estrutura afeta a aeração e a circulação de água; a densidade do solo e a porosidade são indicadores de compactação e capacidade de armazenamento de água; a condutividade hidráulica determina a drenagem do solo; a capacidade de retenção de água afeta a disponibilidade hídrica; a resistência à compressão está relacionada à penetração de raízes e à circulação de ar. A compreensão desses parâmetros é essencial para a gestão adequada do solo em diversas aplicações, desde a agricultura até a engenharia ambiental.

A disponibilidade de água no solo é um elemento que pode ser relevante no estudo dos contrastes entre Brasil e Portugal em termos de agricultura, manejo de recursos hídricos e

preservação ambiental. A curva de retenção de água no solo é utilizada para descrever como este retém e libera água em relação à sua umidade, informando sobre sua capacidade de armazenar água e as melhores condições de cultivo e manejo.

A relação entre a umidade do solo e o potencial matricial da água é caracterizada pela curva de retenção de água. À medida que o solo perde umidade, o potencial matricial aumenta, tornando a água menos acessível para as plantas. Em contrapartida, em condições de solo úmido, o potencial matricial diminui, facilitando a disponibilidade de água para as plantas.

A obtenção dessa curva envolve normalmente a realização de experimentos em laboratório, com amostras de solo coletadas e expostas a diferentes níveis controlados de tensão de umidade. O potencial matricial e a quantidade de água retida em cada nível de umidade são medidos com precisão. Os dados resultantes são então utilizados para plotar a curva de retenção de água específica para o tipo de solo analisado. A curva de retenção de água no solo fornece informações vitais, como na agricultura, ajudando os agricultores a determinar quando e quanto irrigar suas culturas, maximizando o uso eficiente da água.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a qualidade física de Cambissolos em ambiente nativo e antropizado no Sudeste do Brasil e Nordeste de Portugal. Desta forma, ser possível:

- 1) Investigar qual uso do solo exerce maior degradação nos atributos físicos do solo;
- 2) Verificar se as condições da qualidade física do solo sob vegetação nativa são semelhantes nas duas regiões de estudo;
- 3) Analisar estratégias para aprimorar o manejo dos solos em cada região, considerando as particularidades locais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O solo desempenha um papel crucial como um recurso natural vital para a sustentação da vida na Terra. Sua natureza não renovável ao longo da escala temporal da existência humana destaca a importância de uma compreensão abrangente dos recursos pedológicos. Essa compreensão é essencial para identificar as potencialidades, limitações e riscos associados ao uso atual e futuro do solo (FIGUEIREDO, 2013).

O solo, formado a partir do intemperismo de rochas ou pelo acúmulo de sedimentos minerais e/ou orgânicos, é um estudo multidisciplinar que compreende partes sólidas, líquidas e gasosas cobrindo a superfície terrestre. Sua formação é influenciada por diversos fatores, como a natureza do material original, clima, atividade biológica, topografia e tempo. À

medida que os diferentes tipos de rochas intemperizam, os solos desenvolvem propriedades únicas, como características químicas, físicas e mineralógicas. Essas diferenças se manifestam em camadas horizontais, chamadas horizontes, que compõem o perfil do solo e são fundamentais para distinguir os diversos tipos de solos entre si. Compreender essa complexidade é crucial no estudo dos solos (FAO, 2015).

A degradação do solo é destacada pela Organização das Nações Unidas (ONU) como um dos cinco principais problemas contemporâneos. Quando associada às atividades humanas intensas, ela pode ameaçar a segurança alimentar da população. A lista de fatores que contribuem para a degradação do solo é longa e inclui processos erosivos, desmatamento, uso inadequado do solo, agricultura intensiva, monoculturas, superexploração de pastagens, compactação do solo, selagem e impermeabilização, perda de matéria orgânica e nutrientes, contaminação, salinização, acidificação, alcalinização, mudanças climáticas, entre outros. A maioria dessas práticas resulta na intensificação da erosão, considerada o principal fator de degradação do solo (FAO; ITPS, 2015).

A monitorização dos atributos físicos do solo deve ser incorporada no planejamento das atividades agrícolas, com o propósito de estabelecer sistemas produtivos mais sustentáveis. Esse acompanhamento, permite atribuir uma avaliação qualitativa desde que as medições sejam comparadas a um solo sem intervenção humana ou a valores previamente estabelecidos como ideais para que este possa desempenhar eficazmente seus serviços e funções no ambiente (DORAN; PARKIN, 1994). Esse monitoramento é fundamental para a adoção de práticas de manejo que não apenas conservem as propriedades físicas e químicas do solo, mas também para contribuir com o planejamento territorial e promover o uso sustentável do solo no contexto do planejamento ambiental.

Vezanni e Mielniczuk (2009) enfatizam a importância de buscar indicadores de qualidade do solo, com um foco especial nos sistemas produtivos sustentáveis. Um indicador eficaz deve ter a sensibilidade necessária para abranger um conjunto de propriedades que possibilitem a compreensão dos processos dinâmicos que ocorrem no solo (MELLONI et al., 2008).

A avaliação da relação entre o manejo e a qualidade do solo em sistemas agrícolas pode ser realizada considerando seus efeitos sobre suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Entre as propriedades físicas, observam-se alterações mais acentuadas, relacionadas à mata natural, nos sistemas convencionais de preparo em comparação com os sistemas conservacionistas. Estas se evidenciam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e na estabilidade dos agregados, influenciando a infiltração

da água, a erosão hídrica e desenvolvimento do sistema radicular das plantas (BERTOL et al., 2004).

Estudos voltados ao monitoramento da qualidade do solo com base em seus atributos físicos desempenham um papel fundamental na avaliação e manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Além disso, esses estudos fornecem orientações essenciais para o manejo apropriado do ambiente, com o intuito de conservar o solo e maximizar sua produtividade. Um atributo que indica a qualidade do solo deve ser capaz de refletir de forma sensível as variações decorrentes do manejo ao qual o solo está submetido (MOTA et al., 2013).

Embora o teor de matéria orgânica no solo não seja estritamente um indicador da qualidade física, ele exerce um papel crucial ao influenciar, direta ou indiretamente, diversas propriedades que definem essa qualidade. Um dos processos do solo que mais sofre influência da matéria orgânica é a agregação que impacta atributos físicos como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água, entre outros. Esses atributos são fundamentais para a capacidade produtiva do solo (BAYER & MIELNICZUK, 2008; CHRISTENSEN & JOHNSTON, 1997).

## **2.1 Caracterização dos solos no Sudeste do Brasil**

A região Sudeste do Brasil é marcada por características geográficas distintas, incluindo planaltos e áreas serranas com elevações superiores a 2.000 metros. O clima varia de tropical, com verões quentes em regiões mais baixas, a mais ameno em áreas montanhosas. Geralmente encontramos solos bem desenvolvidos, mas com baixa fertilidade natural (MANZATTO et al, 2002).

Os solos nas regiões tropicais apresentam características particulares devido às condições ambientais, como clima, relevo, material de origem e vegetação. Nessas áreas, observa-se um processo pedogenético acelerado, influenciado pelo clima tropical úmido, temperaturas elevadas e intensa ação da água, além da presença abundante de organismos que desempenham um papel fundamental na formação do solo. A abundância de água, especialmente em chuvas intensas e frequentes, favorece o intemperismo acentuado. Como resultado, os minerais primários das rochas passam por transformações químicas, resultando em solos com uma maior proporção de minerais secundários, refletindo as variações na composição mineralógica do material original. Nas condições tropicais, são prevalentes os solos caulíníticos, lateríticos e ricos em óxidos de ferro, alumínio e titânio. Estes solos, em sua maioria, são altamente intemperizados e geralmente apresentam baixa a muito baixa

fertilidade. Apresentam grande heterogeneidade em termos de morfologia, composição química e propriedades físico-hídricas (ZARONI, 2021).

As pastagens degradadas são prevalentes na região do Sistema Cantareira (Uezu et al., 2017), resultando em uma produção de biomassa insuficiente para uma proteção eficaz do solo e expondo-o à erosão. As áreas avaliadas por Santana (2023) foram pensadas com base nos usos representativos da terra e no manejo adotado pelos agricultores locais, que incluem floresta nativa, plantações de eucalipto, pastagem rotacionada e pastagem extensiva. As plantações de eucalipto são colhidas a cada 5 a 7 anos, com espaçamento variando entre 3 x 3 m e 3 x 3,5 m, e utilizando *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, além de outras espécies e clones. A prática de pastoreio extensivo foi estabelecida aproximadamente há 30 anos, com uma taxa de encabeçamento de 0,7 a 1,7 UA ha<sup>-1</sup>, sem a aplicação de quaisquer fatores adicionais de produção. O pastoreio rotacional foi implementado em 2014, com uma taxa de lotação variando entre 1,5 e 3,0 UA ha<sup>-1</sup>. A média de permanência em cada cercado durante a rotação é de 2 a 3 dias (SANTANA, 2023).

Em relação ao estudo conduzido por Barbosa (2018), houve correção do solo empregando 3 kg m<sup>-3</sup> de calcário dolomítico (com 87% de poder relativo de neutralização total, 39,7% de CaO e 13,38% de MgO), que foi incorporado ao solo por meio de gradagem. A preparação dos sulcos foi realizada com um preparador de solo (Mafes, 2017) para sulcar até 0,60 m de profundidade com mistura profunda nessa mesma profundidade. Para mitigar o severo processo de erosão foram adotadas práticas mecânicas associadas a medidas vegetativas, incluindo o cultivo de *Brachiaria sp* nas entrelinhas (BARBOSA, 2018).

Antes da introdução das lavouras comerciais, as áreas de Cambissolo avaliada por Silva (2017) eram originalmente cobertas por pastagem de *Brachiaria decumbens*, estabelecida após a supressão da vegetação nativa de Cerrado. Os preparativos do solo ocorreram seguindo práticas tradicionais da região, incluindo aração e duas gradagens. Além disso, houve correção química, com a aplicação de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (16-17% de MgO) em toda a área, seguida pela adição de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola em superfície. O plantio do cafeeiro (*Coffea arabica L.*) foi realizado com um espaçamento semi-adensado de 2,50 x 0,65 m. Durante o plantio, sulcos foram feitos com uma cavadeira-adubadora a uma profundidade de 0,60 m e largura de 0,50 m, promovendo a mistura de corretivos e fertilizantes. Adicionalmente, no sulco de plantio, foram aplicados 2 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (16-17% MgO) e 220 kg m<sup>-1</sup> de 08-44-00 com 1,5% Zn e 0,5% B para melhorar a fertilidade na camada de 0,60 m (SILVA, 2017).

## 2.2 Caracterização dos solos no Nordeste de Portugal

Em climas mediterrâneos, a precipitação é predominante durante o inverno, período em que as condições de temperatura e insolação geralmente se mostram menos propícias ao desenvolvimento vegetal. Com risco de geadas inverniais e verões extremamente secos, as características climáticas singulares dessas regiões influenciam de maneira marcante na vegetação, no uso da terra e na formação do solo, estabelecendo distinções notáveis em relação a outras zonas climáticas (LEPSCH, 2011).

As classes de temperatura média anual, que diferenciam os domínios climáticos regionais (Terra Fria, Terra Quente e a zona de transição), juntamente com as classes de precipitação média anual adotadas na subdivisão desses domínios, são consideradas indicadores significativos da influência do clima na formação dos solos na região do Nordeste de Portugal (AGROCONSULTORES E COBA, 1991). Em síntese, os solos mais rasos e pedregosos ocorrem predominantemente nas zonas mais quentes e secas nesta região, assim como o teor de matéria orgânica dos solos, indicado pela frequência de unidades secundárias úmblicas, é maior em solos com clima mais frio e chuvoso (FIGUEIREDO, 2013).

A escassez de água no solo é pronunciada e atinge níveis muito críticos em aproximadamente três quartos da extensão da região. Isso se deve a fatores edáficos e climáticos, resultando em um período de carência hídrica que persiste, em média, por mais de quatro meses a cada ano. Nas áreas de maior aridez, onde o clima é descrito como "Terra Quente" e em solos mais finos, a escassez de água pode se estender por mais de oito meses anualmente, em média. Apenas nas regiões mais ocidentais e em elevações significativas, a escassez de água no solo não é uma preocupação significativa, predominantemente devido aos níveis mais elevados de precipitação, em contraste com fatores edáficos (FIGUEIREDO, 2013).

O declive do terreno na região também constitui uma restrição significativa. Conforme as diretrizes da boa prática agrônômica, mais da metade da área total não é adequada para operações agrícolas mecanizadas, devido a declives superiores a 12-15%. As áreas com declive mais suave, abaixo de 5-6%, são de extensão muito limitada no território, enquanto as áreas com declives superiores a 25-30% abrangem aproximadamente um quarto da região. Estas áreas são consideradas limitações severas até mesmo para operações mecanizadas no setor florestal (FIGUEIREDO, 2013).

Ainda segundo Figueiredo (2013), a aptidão das terras para usos agrícolas na região é predominantemente classificada como nula, abrangendo aproximadamente 75% da ocupação

de usos agrícolas e 60% de pastagem melhorada. No caso do uso florestal, cerca de 60% da terra é classificada como marginal. Apenas 1% do território exibe uma aptidão agrícola considerada elevada, enquanto cerca de 7% da área não possui aptidão para nenhum dos usos mencionados.

As comunidades humanas na região nordeste de Portugal exercem uma influência significativa no desenvolvimento ou degradação dos solos, principalmente por meio de atividades relacionadas à agricultura, pastorícia e silvicultura. As práticas de mobilização do solo, nivelamento e armação de patamares de rega e fertilização têm desempenhado um papel crucial nesse contexto (AGROCONSULTORES E COBA, 1991).

Dentre as perturbações no perfil do solo, destacam-se a utilização contínua em agricultura de terras declivosas ou com solos de elevada erodibilidade. A prática de mobilizações frequentes sem técnicas adequadas resulta na erosão intensa dos níveis superiores do perfil, incorporando frequentemente substratos (horizonte B, BC ou C) na camada arável (Ap). Esses solos degradados representam uma parcela significativa, abrangendo aproximadamente 40-50% da superfície total ou 70-80% da área utilizada em agricultura na região (AGROCONSULTORES E COBA, 1991).

Na implantação de pomares, vinhas e plantações florestais, a execução de subsolagens profundas é comum, visando aumentar a espessura útil do solo para a penetração de raízes e infiltração de água. Em plantações florestais, especialmente de pinheiros e folhosas, as lavouras profundas para a preparação do solo representam um fator importante na degradação, invertendo horizontes e destruindo a vegetação em certas zonas, especialmente onde predominam Cambissolos úmbricos (AGROCONSULTORES E COBA, 1991).

A armação de terrenos em patamares ou socacos, com ou sem muros de suporte, também perturba os solos. Essa prática, antiga e crucial para a sobrevivência de comunidades em áreas de solo delgado e pouco produtivo, tem o objetivo de reduzir o declive das superfícies cultivadas e aumentar a espessura útil do solo. Os patamares podem ser categorizados em três tipos, variando na construção e preenchimento com solo original e materiais de desmantelamento de rochas (AGROCONSULTORES E COBA, 1991).

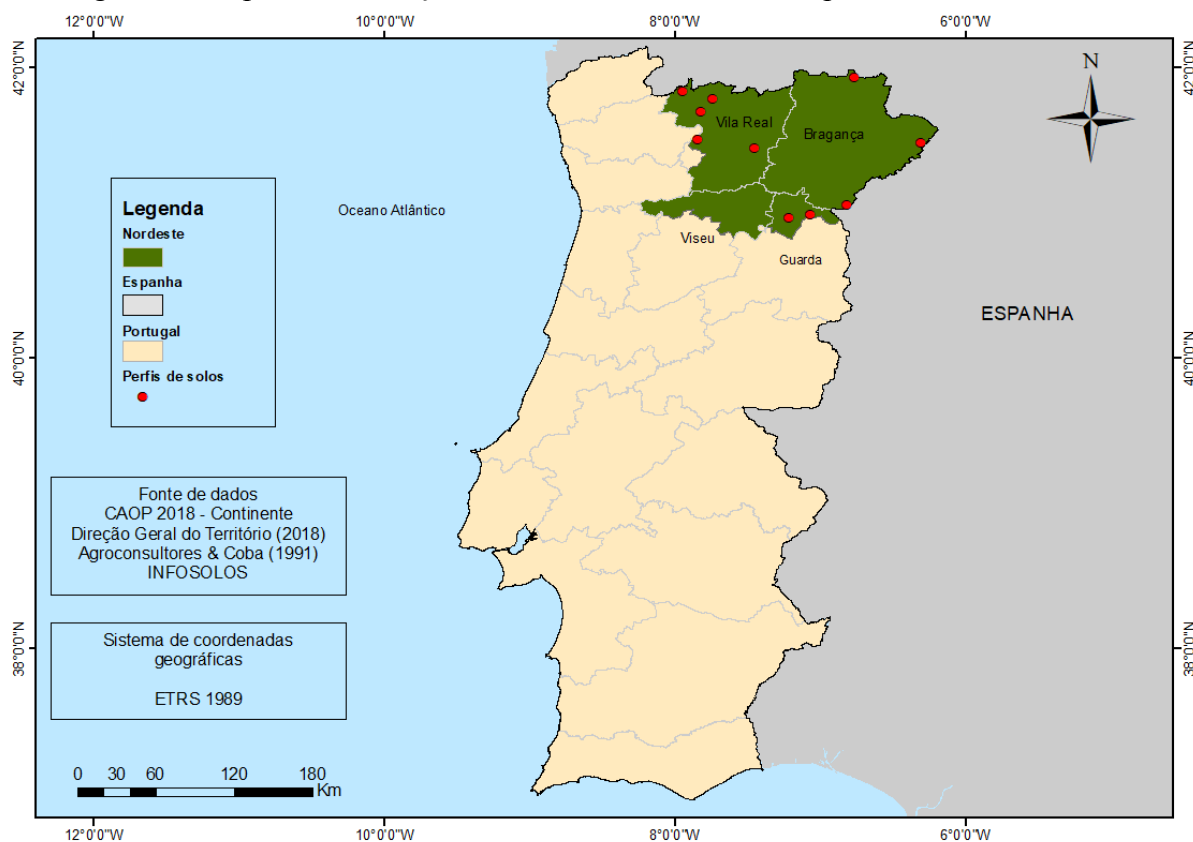
Em áreas de cultivo intensivo, como pomares, a aplicação frequente de estrumes e corretivos orgânicos, juntamente com fertilizações diversas, enriquece consideravelmente os solos em matéria orgânica e elementos nutritivos. Em alguns casos, isso pode resultar na formação de um horizonte A húmico. Além disso, a irrigação continuada em lameiros durante períodos longos é um fator de alteração e perturbação dos solos, conferindo-lhes

características hidromórficas, especialmente nos níveis superiores do perfil (AGROCONSULTORES E COBA, 1991).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O recorte das áreas de estudo, ilustrado nas Figuras 1 e 2, foram as regiões Sudeste do Brasil e Nordeste de Portugal, este último sendo definido na Carta de Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991).

Figura 1 - Mapa da localização e divisão administrativa da primeira área de estudo.



Fonte: Do autor (2023).



Figura 2 - Mapa da localização e divisão administrativa da segunda área de estudo.



Fonte: Do autor (2023).

Foram analisados parâmetros de qualidade física e química de Cambissolos do Sudeste do Brasil e Nordeste de Portugal, utilizando dados de trabalhos disponíveis na literatura. Esses parâmetros foram: textura, macroporosidade, microporosidade, umidade no ponto de inflexão ( $\theta_{pi}$ ), capacidade de água disponível a 10 kPa (CAD.100) e no ponto de inflexão (CAD.pi), capacidade de aeração a 10 kPa (CA.100) e no ponto de inflexão (CA.pi), capacidade de campo relativa a 10 kPa (RFC.100) e no ponto de inflexão (RFC.pi), índice de sorção (Índice S), densidade do solo (Ds) e teor de matéria orgânica (MO). Foram ainda reunidos uma série de dados qualitativos referente ao clima, relevo, altitude, litologia, manejo e localização de cada perfil.

A textura é a distribuição quantitativa das partículas sólidas e individuais do solo quanto ao tamanho, divididos em argila (partículas com diâmetro inferior a 0,002 mm), silte (partículas com diâmetro entre 0,002 mm e 0,05 mm) e areia (partículas com diâmetro entre 0,05 mm e 2 mm). A macroporosidade refere-se aos espaços porosos maiores entre as partículas do solo ( $>50 \mu\text{m}$ ), que permitem a movimentação de água, ar e raízes. A

microporosidade, por sua vez, descreve espaços menores ( $<50\mu\text{m}$ ) relevantes para a retenção de água e nutrientes. A  $\theta_{pi}$  representa a umidade no ponto onde o potencial tende a permanecer constante. A CAD equivale à faixa de umidade entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), onde a água é inteiramente disponível para as plantas. A CA refere-se ao espaço que fica livre de ar no solo. A RFC dá a ideia do equilíbrio entre o ar e a água do solo. O índice S trata-se da declividade da curva característica de retenção da água do solo em seu ponto de inflexão. A densidade do solo corresponde à massa de sólidos por unidade de volume. A MO indica a quantidade de material orgânico no solo.

O banco de dados utilizado para os solos portugueses foi a Carta dos Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta da Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991). Já para os solos brasileiros foi utilizado o Repositório Institucional da UFPA, onde foram selecionados trabalhos de pesquisa realizados no Departamento de Ciências do Solo.

Foi realizada uma análise comparativa entre as duas regiões e sob as perspectivas de uso antropizado e natural, a partir dos parâmetros citados. Para o uso de solo antropizado (dentre cultura perene, pastagem e floresta plantada), foram selecionados seis perfis portugueses e cinco brasileiros. Além disso, quatro perfis de solo com vegetação nativa em cada um dos países. Dessa forma, de maneira relativa e proporcional, foi analisada a melhoria ou piora da qualidade dos solos frente a cada uso e manejo utilizado.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os dados qualitativos dos perfis de solo estudados em cada país. A classificação climática dos perfis brasileiros foi realizada de acordo com a classificação de Köppen. Já para os perfis de solos portugueses, a categorização foi construída pelos próprios autores da base de dados utilizada.

Tabela 1 - Dados qualitativos dos perfis de solo brasileiros em estudo.

Referência	Unidade Pedológica	Classificação	Região	Local	Geologia e Litologia	Altitude	Classificação Climática	Usos da Terra
BARBOSA (2018)	CXbd	Cambissolo Háplico distrófico Tb típico	Alto Rio Grande (MG)	Nazareno	Rochas Pelíticas	935 m	A área é caracterizada por um clima tropical de altitude com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. As chuvas concentram-se de novembro a março, com uma precipitação anual variando de 1.200 a 1.500 mm (INMET, 2018). A temperatura média anual varia de 18 a 19°C (Antunes, 1986).(Cwa)	Cafeicultura; Mata Nativa
SANTANA (2023)	CXbd	Cambissolo Háplico distrófico Tb típico	Sistema Cantareira (SP)	Nazaré Paulista	Granito Gnaisse	800 m	O clima predominante na região é caracterizado por invernos frescos e secos e verões quentes e húmidos (Alvares et al., 2013). A precipitação média anual é de 1.570 mm e as temperaturas anuais variam de 18 a 20 °C (Uezu et al., 2017). (Cwb)	Eucalipto; Pastagens contínua e rotacionada; Mata Nativa
SILVA (2017)	CXbd	Cambissolo Háplico distrófico Tb típico	Alto São Francisco (MG)	São Roque de Minas e Vargem Bonita	Rochas Pelíticas	900 m	A precipitação média anual é de 1.344 mm, com estação seca bem definida nos meses de maio a setembro. A temperatura média anual é de 20,7 °C, a umidade relativa média é 60% (Menegasse et al., 2002). (Cwa)	Cafeicultura; Mata Nativa
Disciplina de Física do Solo, UFLA, (2023).	CXbd	Cambissolo Háplico distrófico Tb típico	Alto Rio Grande (MG)	Lavras	Granito Gnaisse	918 m	O clima predominante na região é caracterizado por inverno seco e chuvas predominantes no verão, com precipitação total média anual de 1530 mm e temperatura média anual de 19,4°C (BRASIL, 1992 e DANTAS, CARVALHO e FERREIRA, 2007). (Cwa)	Mata Nativa

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 2 - Dados qualitativos dos perfis de solo portugueses em estudo (continua).

Perfil	Unidade Pedológica	Classificação	Região	Local	Geologia e Litologia	Relevo e Topografia	Altitude	Zona Climática	Uso da Terra Principal
530C	Buox1	Cambissolo úmbrico órtico	Bragança	Montesinho	Xistos do Silúrico	Relevo acidentado; cimo de encosta/cabeço, com 5%	1090 m	Terra Fria de Montanha com precipitação superior a 1200 mm (M <sub>1</sub> )	Inculto de matos (Im), urzes, carqueja, sargaço ( <i>Halimium sp.</i> )
648 C	Beg1	Cambissolo êutrico	Miranda/Mogadouro	Vale de Mira	Ortoznaisses, do Complexo Gnáissico de Mirando do Douro	Relevo ondulado suave; encosta com 5-6%	750 m	Terra Fria de Planalto com precipitação entre 500 e 700 mm (F <sub>4</sub> /F <sub>5</sub> )	Inculto de matos (Im) (genista, rosmano, tomilho) e zimbro e azinheiras dispersos
96 Q	Buos1	Cambissolo úmbrico órtico	Barroso	Gralhos	Sedimentos detriticos não consolidados	Cimo de encosta; platô com 4%	900 m	Terra Fria de Planalto com precipitação superior a 1200 mm (F <sub>1</sub> )	Inculto de matos (Im)
452 Q	Bdog1	Cambissolo dístrico órtico	Douro Superior	Almendra	Granito	Planalto suavemente ondulado, encosta com 3%	510 m	Terra de Transição com precipitação inferior a 600m (T <sub>5</sub> )	Inculto com giestas, rosmano e sobro (Im)
95 F	Buog2	Cambissolo úmbrico órtico	Tâmega	Escarei	Depósito de vertentes em área de granitos	Muito ondulado; socalco (15-20%) em encosta (30-35%)	480 m	Terra de Transição com precipitação superior a 1200m (T <sub>1</sub> )	Lameiro húmido (Lh), em área de culturas arvenses de regadio (Cr) com milho e batata
197 F	Buog3	Cambissolo úmbrico órtico	Barroso	Pitões	Gnaisse granítico (coluvião)	Ondulado suave a ondulado, fundo de encosta com 3%	1180 m	Terra Fria de Montanha com precipitação superior a 1200 mm (M <sub>1</sub> )	Lameiro húmido (Lh)

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 2 - Dados qualitativos dos perfis de solo portugueses em estudo (conclusão).

Perfil	Unidade Pedológica	Classificação	Região	Local	Geologia e Litologia	Relevo e Topografia	Altitude	Zona Climática	Uso da Terra Principal
462F	Bxs1	Cambissolo crômico	Douro Superior	Longroiva	Sedimentos detríticos pouco consolidados e consolidados	Fundo de vale plano-côncavo; encosta com 8-10%	330 m	Terra Quente com precipitação inferior a 600 mm (Q <sub>5</sub> )	Olival e cultura arvenses de sequeiro (trigo) (Po e Cs)
481 F	Bxx2	Cambissolo crômico	Douro Superior	Penedo Durão	Depósito de vertentes em área de quartzitos e xistos	Vertente para o Douro e cerro dominado por crista quartzítica com 45-50%	340 m	Terra Quente com precipitação volta de 400 mm (Q <sub>5</sub> )	Olival e Amendoal (Po, Pd)
16 C	Buog1	Cambissolo úmbrico órtico	Padrela	Serra Preta (Murça)	Granitos alcalinos	Acidentado, encosta com 20-25%	870 m	Terra Fria de Planalto com precipitação de cerca de 1000 mm (F <sub>2</sub> /F <sub>3</sub> )	Pinhal disperso com matos (Mp): giesta branca, urze arbórea, etc.
184 C	Buog2	Cambissolo úmbrico órtico	Barroso	Alturas	Depósito de vertente em área de granitos alcalinos	Muito ondulado a acidentado, encosta com 35-40%	940 m	Terra Fria de Planalto com precipitação superior a 1200 mm (F <sub>1</sub> )	Pinhal ( <i>P. nigra</i> ) com matos (carqueja, urzes, tojo, etc.) (Mp)

Fonte: Do autor (2023).

Dos 192 perfis de solo do banco de dados portugueses foram filtrados os Cambissolos com litologias de granito e rochas sedimentares, que foram os dois tipos comuns com os perfis de solos brasileiros selecionados. Em seguida, os perfis foram categorizados em quatro tipos: Mata Nativa (MN), Pastagem (Pg), Cultura Perene (CP) e Floresta Plantada (FP). Para complementar o delineamento estatístico foram utilizados dois perfis de solo portugueses com material de origem de xisto para substituir as lacunas do grupo dos solos com material de origem sedimentar. Um de Mata Nativa e um de Cultura Perene.

Primeiramente, foram elaboradas as curvas de retenção de água de cada perfil utilizando o software RTEC para determinação dos parâmetros da curva de Van Genuchten nos solos de Portugal. Foi necessário converter os dados de umidade desses solos de medidas gravimétricas para medidas volumétricas. Essa conversão foi feita utilizando a densidade do solo, visto que os dados coletados no Brasil baseiam-se em amostragem de solo indeformado em cilindros volumétricos, enquanto em Portugal, as medições são realizadas a partir de terra fina seca ao ar, e portanto, de amostras deformadas.

A partir da curva, foi possível calcular os parâmetros físicos mais relevantes, que passaram por uma análise de correlação linear a partir do pacote “Hmisc” do software R, que utiliza como método a correlação de Pearson. Aqueles com resultados mais promissores para a discussão receberam tratamento gráfico para melhor interpretação.

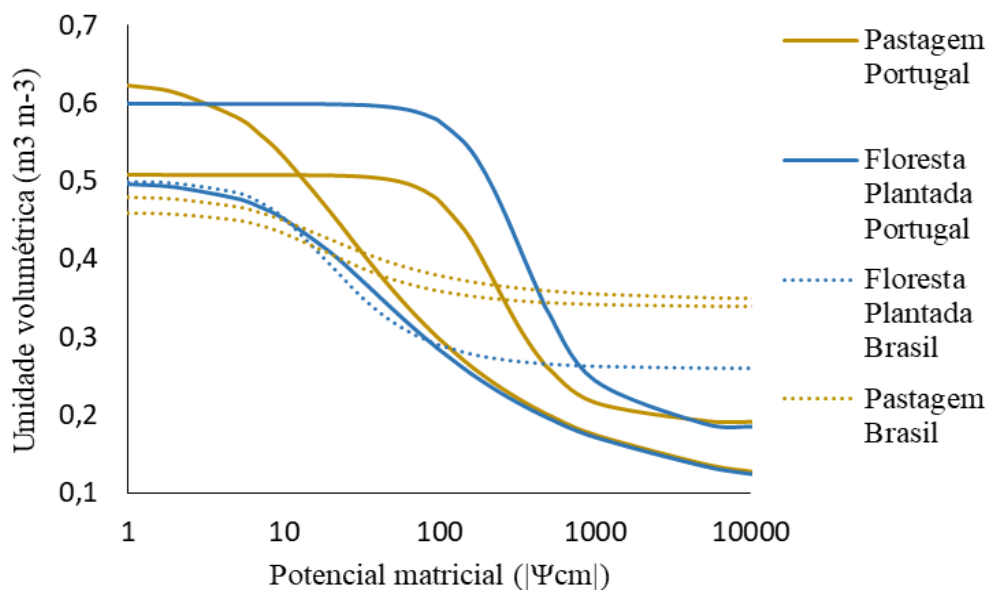
Foi aplicada a Análise de Componentes Principais (PCA) para identificação da variabilidade dos parâmetros de interesse ao longo de todo o conjunto de dados a fim de se obter uma melhor visualização do agrupamento das categorias de uso em cada país. Para isso foi utilizado o pacote “Factoshiny” do software R para elaboração das figuras e tabela com correlação de cada parâmetro aos componentes principais.

Utilizando o pacote “ggplot2”, ainda do software R, foram gerados gráficos boxplot para análise de média e variância dos parâmetros mais pertinentes em cada tratamento, separando por uso do solo, país e material de origem.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

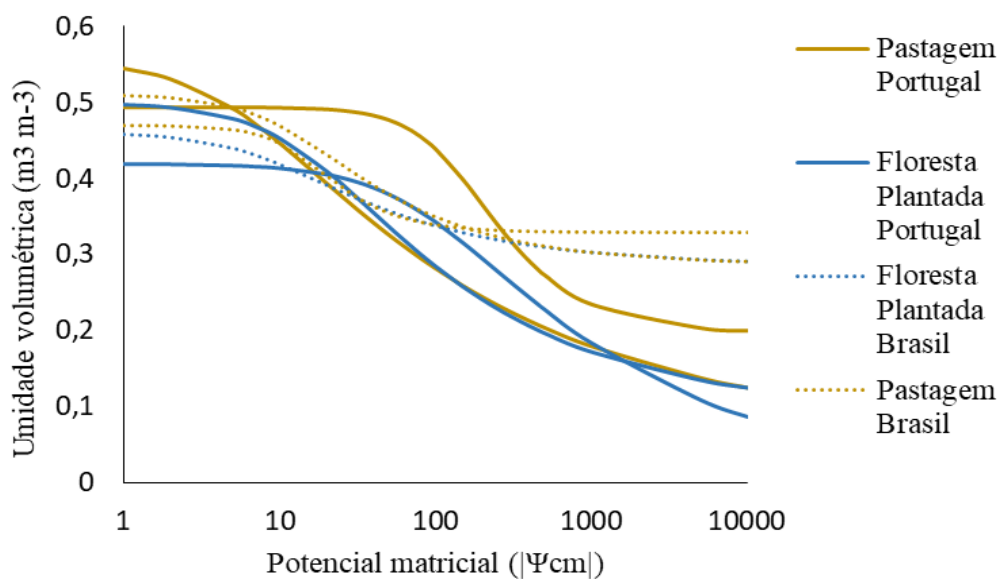
As curvas de retenção de água podem ser observadas nas Figuras 3 a 10, onde os perfis de solo brasileiros e portugueses foram confrontados de acordo com seu material de origem (granito ou rochas sedimentares), uso do solo (nativo ou antropizado) e horizonte de análise (A ou B).

Figura 3 - Curva de retenção de água de solos de granito antropizados, horizonte A.



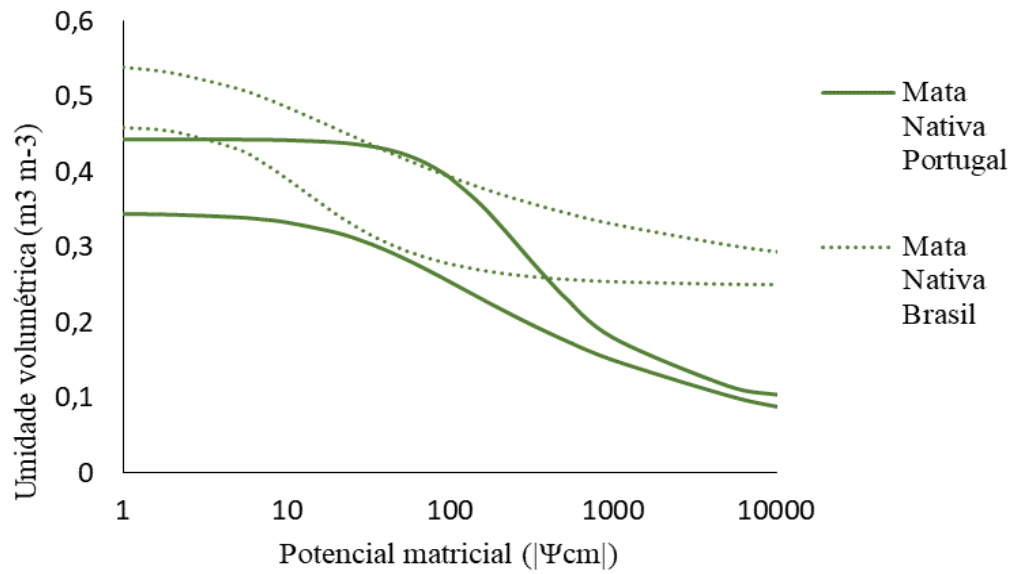
Fonte: Do autor (2023).

Figura 4 - Curva de retenção de água de solos de granito antropizados, horizonte B.



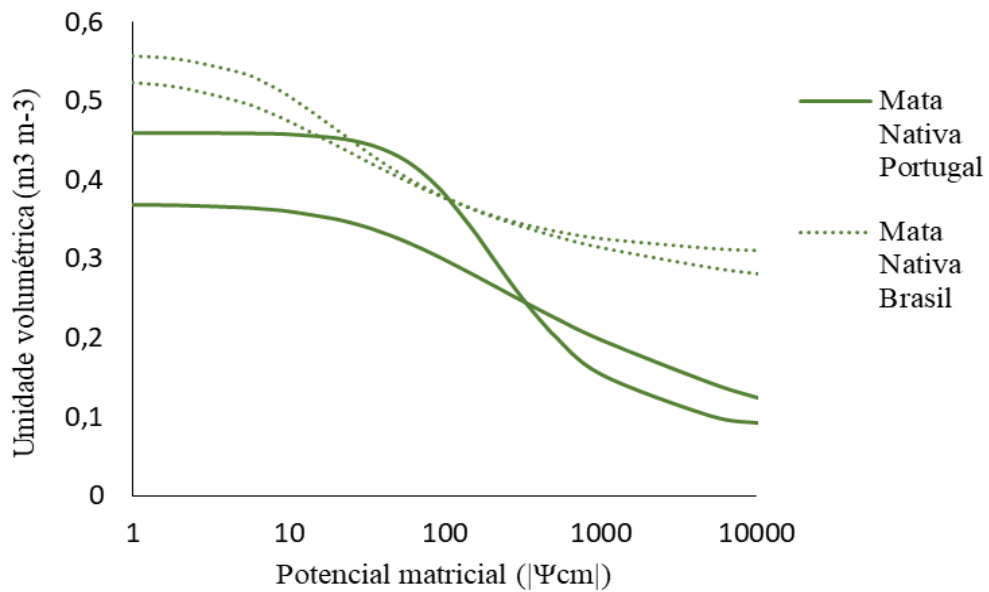
Fonte: Do autor (2023).

Figura 5 - Curva de retenção de água de solos de granito naturais, horizonte A.



Fonte: Do autor (2023).

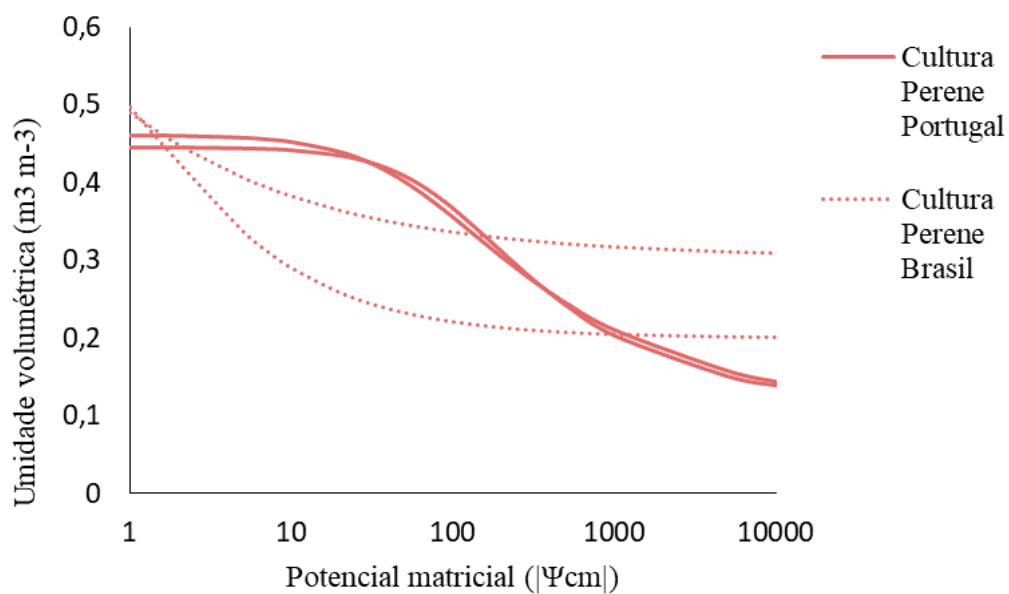
Figura 6 - Curva de retenção de água de solos de granito naturais, horizonte B.



Fonte: Do autor (2023).

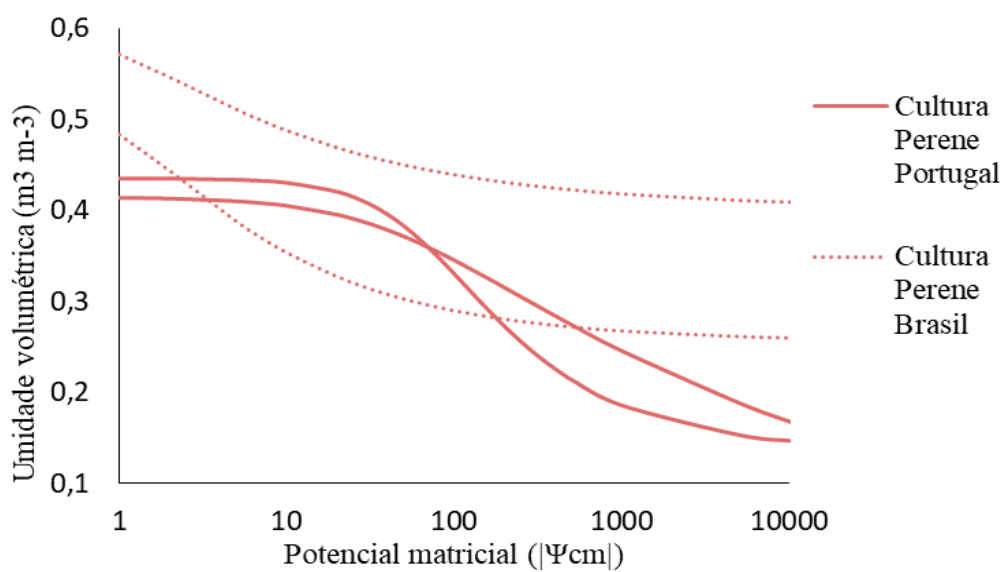


Figura 7 - Curva de retenção de água de solos sedimentares antropizados, horizonte A.



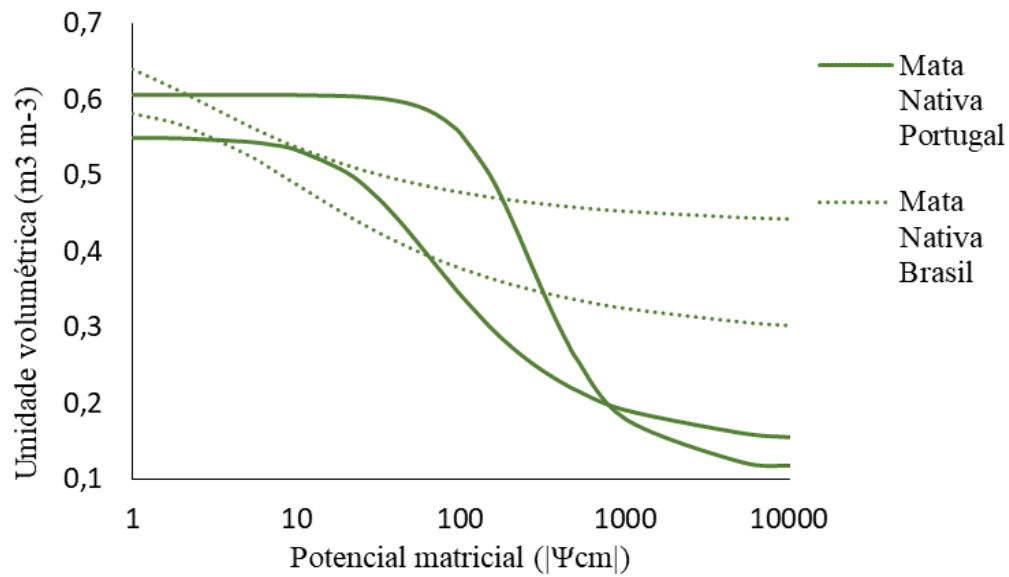
Fonte: Do autor (2023).

Figura 8 - Curva de retenção de água de solos sedimentares antropizados, horizonte B.



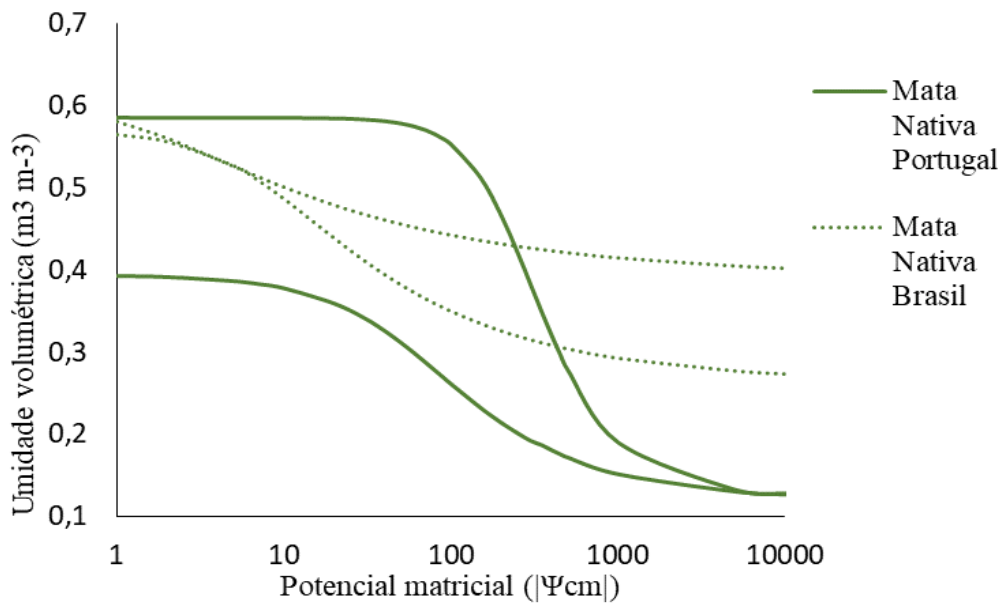
Fonte: Do autor (2023).

Figura 9 - Curva de retenção de água de solos sedimentares naturais, horizonte A.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 10 - Curva de retenção de água de solos sedimentares naturais, horizonte B.



Fonte: Do autor (2023).

O resultado que primeiro se destaca ao analisar as curvas de retenção de água é que os perfis de solo brasileiros apresentam um ponto de murcha permanente (PMP) de duas a três vezes maior do que em comparação com o perfil português correspondente. Isso indica que os solos brasileiros conseguem manter uma umidade mínima mais elevada. A explicação para este resultado pode se dar tanto pelas características físicas do solo quanto pelas condições

climáticas. Os perfis de solos brasileiros são mais argilosos e por isso tenderiam a ter uma capacidade de retenção de água maior. Além disso, como no Brasil as chuvas são mais regulares, a oferta de água é mais constante.

Por outro lado, as curvas dos perfis de solo portugueses são mais íngremes/verticalizadas, o que é comprovado pelo Índice S mais elevado. A inclinação está diretamente relacionada à taxa com que o solo retém ou libera água em resposta a alterações nas condições ambientais. Curvas com uma inclinação mais íngreme indicam uma rápida resposta do solo às mudanças na umidade, sugerindo que o solo tem uma capacidade de retenção de água mais dinâmica em condições de umidade mais baixa, ou seja, respondem rapidamente às chuvas, absorvendo a água de forma eficiente. Esses solos podem experimentar flutuações mais significativas na umidade, passando de níveis mais altos para níveis mais baixos em um curto período de tempo, podendo ser considerados mais resilientes em contextos de seca. Eles conseguem se adaptar e reter água de maneira eficiente, o que pode beneficiar as plantas durante períodos de estresse hídrico.

Este resultado pode ser explicado devido ao tipo de argila nos solos do Nordeste de Portugal, que são essencialmente argilas silicatadas 2:1 (esmectitas, montmorillonitas e ilitas), e portanto, muito mais ativos quimicamente que as argilas oxídicas que dominam nos solos tropicais (LEPSCH, 2011). Essa afirmação comprova-se pelos teores de capacidade de troca catiônica observados nos dois países (Portugal:  $9,93 \pm 5,52$ ; Brasil:  $6,8 \pm 3,32$ ). Isso associado aos maiores teores de matéria orgânica proporcionaram a observação de uma maior capacidade de retenção de água nos solos portugueses, apesar do menor teor de argila.

Em seguida, a Figura 11 apresenta as correlações entre os parâmetros estudados com o valor-p indicado na seção superior, evidenciado com base em seu grau de significância. As células em branco não apresentaram significância (valor-p > 5%); as células verde-claro apresentaram significância aceitável (valor-p entre 5% e 1%), e as células verde-escuro apresentaram significância forte (valor-p < 1%). As células destacadas em negrito na seção inferior apresentaram maior relevância para a discussão, já que revelam a correlação significativa entre as variáveis explicativas e variáveis resposta. Verifica-se que os parâmetros relacionados ao ponto de inflexão apresentaram mais resultados significativos do que aqueles com referências à 100 kPa e, por isso, foram priorizados nas demais análises.

Figura 11 - Correlações lineares com respectivos valor-p entre todos parâmetros analisados dos perfis de solo estudados.

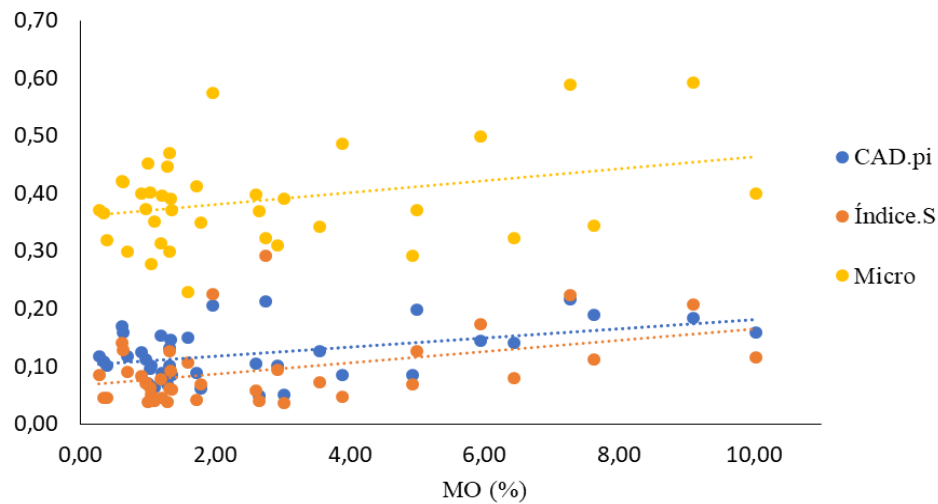
	$\alpha$	n	$\theta_s$	$\theta_r$	m	Micro	Macro	CAD.100	CA.100	RFC.100	Índice.S	$\theta_{pi}$	CAD.pi	CA.pi	RFC.pi	Ds	MO	Areia	Silte	Argila
$\alpha$	1,000	0,241	0,004	0,047	0,154	0,478	0,001	0,046	0,004	0,031	0,305	0,028	0,618	0,755	0,405	0,073	0,986	0,001	0,026	0,005
n	-0,195	1,000	0,514	0,486	0,000	0,091	0,034	0,006	0,025	0,010	0,000	0,840	0,020	0,265	0,282	0,431	0,026	0,036	0,221	0,047
$\theta_s$	0,454	-0,109	1,000	0,001	0,619	0,024	0,000	0,452	0,000	0,026	0,569	0,000	0,161	0,247	0,048	0,001	0,032	0,001	0,008	0,006
$\theta_r$	0,324	-0,116	0,511	1,000	0,471	0,419	0,042	0,000	0,124	0,292	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,859	0,819	0,000	0,057	0,000
m	-0,236	0,867	-0,083	-0,120	1,000	0,033	0,018	0,001	0,022	0,011	0,000	0,633	0,002	0,185	0,139	0,347	0,094	0,016	0,191	0,020
Micro	-0,119	0,278	0,365	0,135	0,347	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,058	0,058	0,960	0,311	0,674	0,047	0,422	0,012	0,736
Macro	0,507	-0,344	0,561	0,332	-0,382	-0,566	1,000	0,000	0,000	0,000	0,101	0,021	0,673	0,329	0,415	0,015	0,909	0,032	0,920	0,006
CAD.100	-0,326	0,438	-0,126	-0,667	0,501	0,616	-0,659	1,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,002	0,001	0,907	0,056	0,000	0,832	0,000
CA.100	0,459	-0,364	0,548	0,254	-0,371	-0,568	0,990	-0,603	1,000	0,000	0,143	0,056	0,977	0,159	0,674	0,012	0,776	0,106	0,897	0,028
RFC.100	-0,350	0,413	-0,362	-0,176	0,407	0,711	-0,953	0,649	-0,970	1,000	0,049	0,274	0,678	0,255	0,899	0,037	0,849	0,313	0,392	0,069
Índice.S	-0,171	0,833	0,095	-0,398	0,817	0,399	-0,270	0,724	-0,242	0,322	1,000	0,516	0,000	0,093	0,348	0,800	0,007	0,002	0,447	0,000
$\theta_{pi}$	0,357	0,034	0,733	0,930	0,080	0,311	0,373	-0,451	0,313	-0,182	-0,109	1,000	0,073	0,001	0,000	0,313	0,377	0,000	0,035	0,000
CAD.pi	-0,084	0,376	0,232	-0,624	0,485	0,310	-0,071	0,778	0,005	0,070	0,805	-0,294	1,000	0,000	0,001	0,088	0,010	0,000	0,624	0,000
CA.pi	0,052	-0,185	0,192	-0,704	-0,220	0,008	0,163	0,494	0,233	-0,189	0,276	-0,526	0,714	1,000	0,000	0,013	0,180	0,012	0,841	0,001
RFC.pi	0,139	0,179	0,323	0,904	0,245	0,169	0,136	-0,502	0,071	-0,021	-0,156	0,869	-0,505	-0,850	1,000	0,615	0,931	0,000	0,557	0,000
Ds	-0,295	0,132	-0,512	-0,030	0,157	-0,071	-0,391	-0,020	-0,405	0,340	-0,043	-0,168	-0,281	-0,398	0,084	1,000	0,000	0,549	0,251	0,902
MO	0,003	0,361	0,348	-0,038	0,276	<b>0,325</b>	0,019	0,313	0,048	0,032	<b>0,434</b>	0,147	<b>0,415</b>	0,222	0,015	-0,548	1,000	0,156	0,491	0,151
Areia	-0,508	0,341	-0,527	-0,809	0,388	-0,134	-0,348	0,580	-0,266	0,168	0,481	-0,735	0,542	0,402	-0,577	0,100	0,235	1,000	0,000	0,000
Silte	0,362	-0,203	0,423	0,312	-0,217	0,402	0,017	-0,036	-0,022	0,143	-0,127	0,343	-0,082	0,034	0,098	-0,191	-0,115	-0,672	1,000	0,070
Argila	0,448	-0,324	0,439	0,866	-0,377	-0,057	<b>0,439</b>	-0,728	0,356	-0,298	<b>-0,549</b>	<b>0,753</b>	<b>-0,652</b>	<b>-0,538</b>	<b>0,688</b>	-0,021	-0,238	-0,906	0,297	1,000

Legenda:  $\alpha$ , n,  $\theta_s$ ,  $\theta_r$  e m: parâmetros da equação de Van Genuchten; Micro: microporosidade; Macro: macroporosidade; CAD.100: capacidade de água disponível à 100 kPa; CA.100: capacidade de aeração à 100 kPa; RFC.100: capacidade de campo relativa à 100 kPa; Índice S: índice de sorção;  $\theta_{pi}$ : umidade no ponto de inflexão; CAD.pi: capacidade de água disponível no ponto de inflexão; CA.pi: capacidade de aeração no ponto de inflexão; RFC.pi: capacidade de campo relativa no ponto de inflexão; Ds: densidade aparente do solo; MO: teor de matéria orgânica.

Fonte: Do autor (2023).

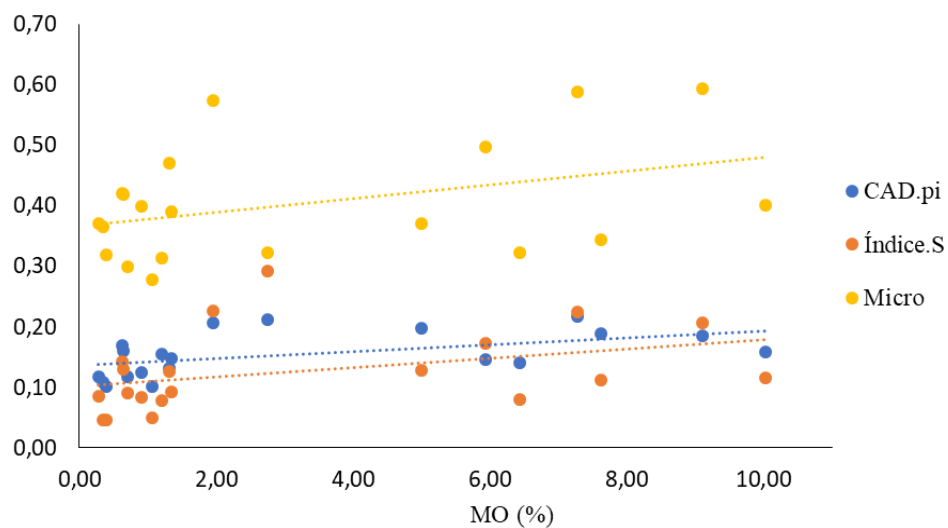
Nas Figuras 12 a 17, estão apresentados de maneira gráfica as correlações mais pertinentes, que foram entre os teores de argila e matéria orgânica e os parâmetros físicos capacidade de água disponível no ponto de inflexão (CAD.pi), capacidade de aeração no ponto de inflexão (CA.pi), índice de sorção (Índice S), macro e microporosidade.

Figura 12 - Correlações lineares significativas do teor de matéria orgânica (MO) para todos os perfis de solo.



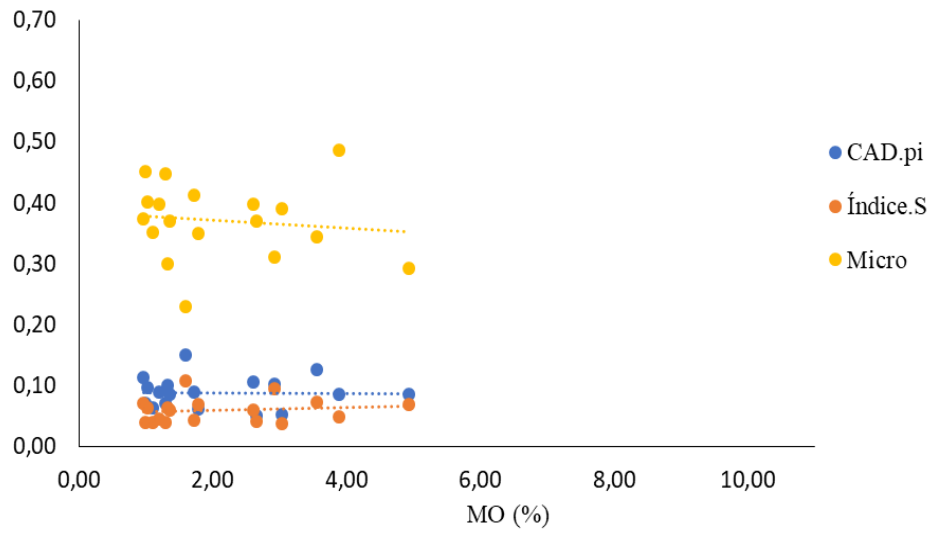
Fonte: Do autor (2023).

Figura 13 - Correlações lineares significativas do teor de matéria orgânica (MO) para os perfis de solo de Portugal.



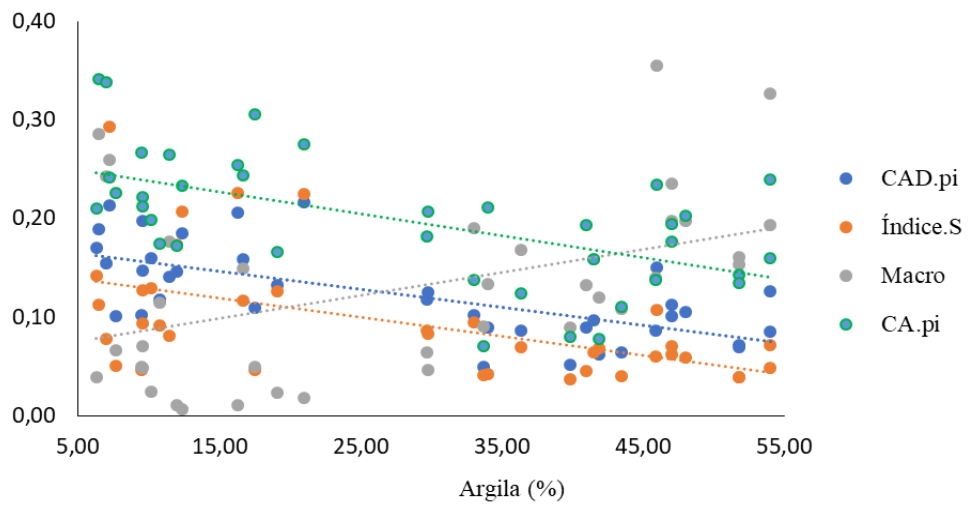
Fonte: Do autor (2023).

Figura 14 - Correlações lineares significativas do teor de matéria orgânica (MO) para os perfis de solo do Brasil.



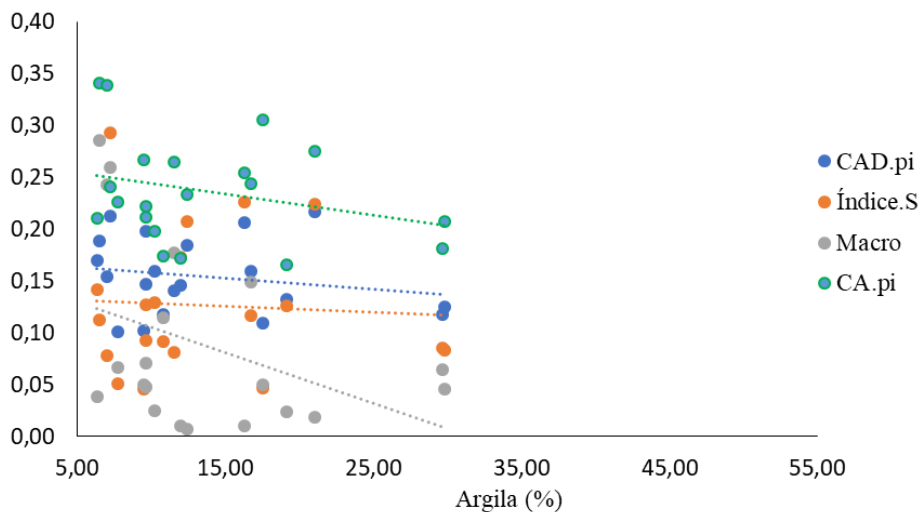
Fonte: Do autor (2023).

Figura 15 - Correlações lineares significativas do teor de argila para todos os perfis de solo.



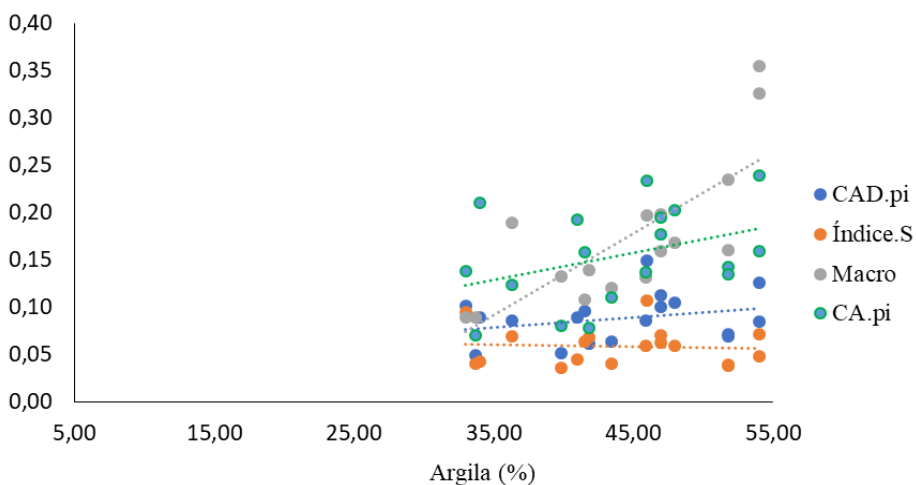
Fonte: Do autor (2023).

Figura 16 - Correlações lineares significativas do teor de argila para os perfis de solo de Portugal.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 17 - Correlações lineares significativas do teor de argila para os perfis de solo do Brasil.



Fonte: Do autor (2023).

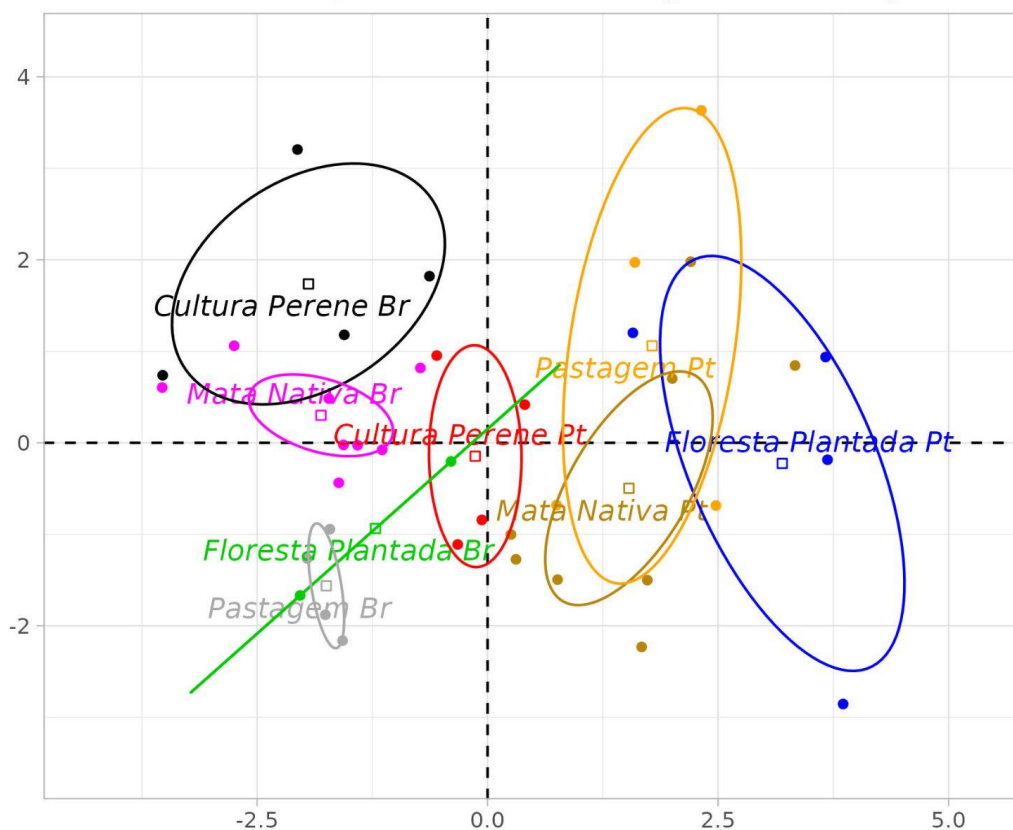
De forma geral, os parâmetros CAD pi, Índice S e microporosidade, apresentaram uma correlação linear positiva em relação à matéria orgânica, influenciado pelos perfis de solos portugueses, que possuem uma abrangência muito maior desse elemento. Para o Brasil, as relações foram negativas, com exceção do Índice S, que apresentou um crescimento pouco evidenciado com o aumento da matéria orgânica.

Ao se observar o comportamento dos parâmetros CAD pi, Índice S, macroporosidade e CA pi em relação à argila, houve uma correlação linear negativa e de forma mais acentuada

que as relações com MO, com exceção da macroporosidade que aumentou quanto maior o teor de argila, seguindo a tendência do Brasil, que possui uma maior abrangência deste componente. Este aumento pode estar associado a uma melhor estruturação do solo, uma vez que o elevado teor de argila em um solo de clima tropical sugere que o processo de intemperismo foi eficaz, maturando o solo em direção a um Argissolo, que possui estrutura bem desenvolvida e maior quantidade de macroporos e mesoporos.

As Figuras 18, 19 e Tabela 3, apresentam o resultado da PCA, onde foram analisados os atributos físicos explicativos do solo e sua influência com as características de retenção e aeração provenientes da curva de Van Genuchten. As elipses foram construídas de modo a categorizar cada uso do solo em cada região estudada. A variância acumulada nos dois primeiros componentes principais foi de 61,71 %.

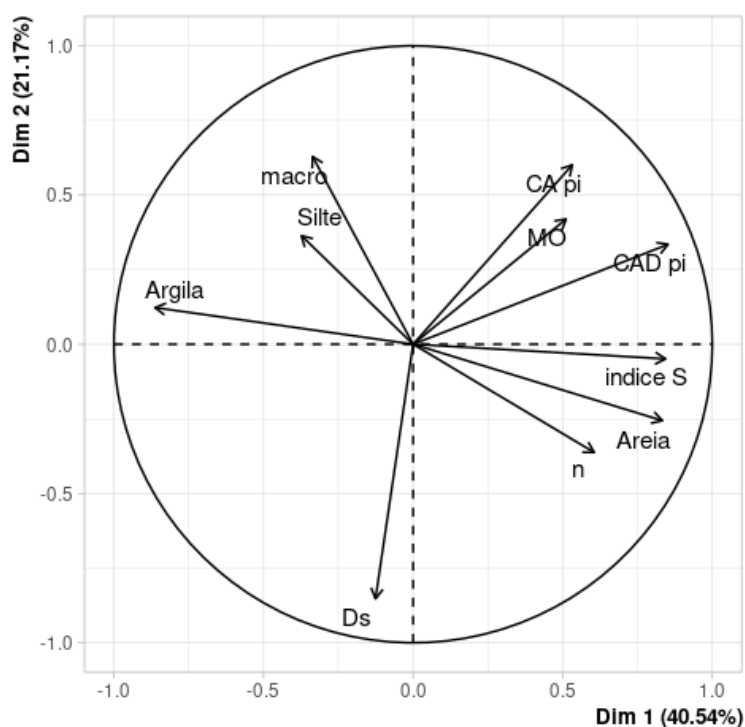
Figura 18 - Elipses de interação entre tratamentos da Análise de Componentes Principais.



Fonte: Do autor (2023).



Figura 19 - Vetores de direção e magnitude da Análise de Componentes Principais.



Fonte: Do autor (2023).

Tabela 3 - Correlações entre os parâmetros analisados e os componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2).

Parâmetro	CP1	CP2
n	0,6051	0,3623
macro	-0,3358	-0,6288
Índice S	0,8438	0,0489
CAD pi	0,852	-0,3347
CA pi	0,5319	-0,6007
Ds	-0,1255	0,8524
MO	0,5114	-0,4194
Areia	0,8332	0,2559
Silte	-0,3731	-0,3636
Argila	-0,8622	-0,1226

Fonte: Do autor (2023).

É observado que apesar dos mesmos usos e classe de solo, os resultados da análise dos perfis de solo são significativamente influenciados pelo país em que o estudo é conduzido, apesar da Floresta Plantada do Brasil ter apresentado semelhança com a Cultura Perene de Portugal.

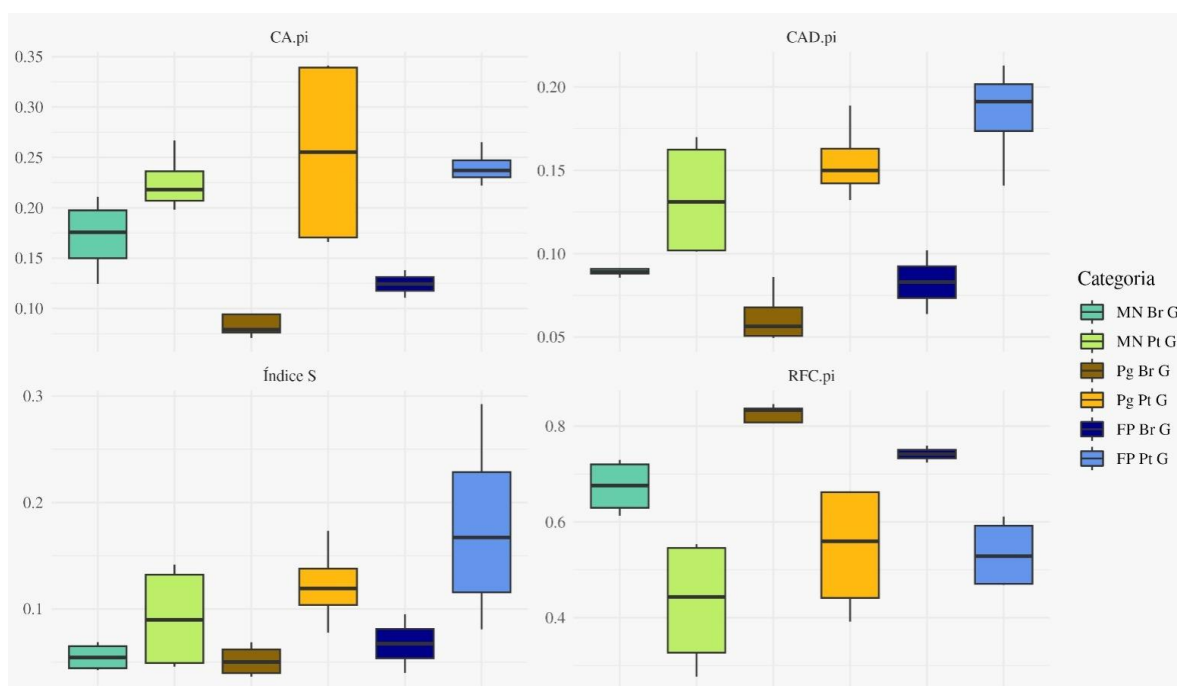
Os solos portugueses estudados não apresentaram diferenciação entre os usos de Pastagem, Floresta Plantada e Mata Nativa, o que é um bom indicativo sobre as baixas interferências do manejo desses usos na qualidade do solo. Já para Cultura Perene, observou-se uma piora significativa na qualidade do solo em relação à sua referência. Isso demonstra o que foi observado por Agroconsultores e Coba (1991) à respeito de como grande parte da área utilizada em agricultura na região sofre com a prática de mobilizações frequentes sem técnicas adequadas, causando grandes perturbações no solo que resultam na erosão intensa e inversão de camadas do solo.

Para os solos brasileiros, a Cultura Perene é o único uso que se aproxima das características da mata nativa. Isso mostra que o manejo conservacionista do café, que já é consagrado pelos produtores na região (SILVA, 2017), tem se mostrado eficaz na preservação da qualidade do solo. Nesse sistema de manejo, o condicionamento físico do solo é alcançado por meio de preparo profundo (sulcamento a 60 cm de profundidade), correções químicas, e fertilização, incluindo doses não convencionais de gesso agrícola em superfície (SERAFIM et al., 2011; SILVA et al., 2016). A manutenção da braquiária nas entrelinhas envolve cortes periódicos, com os resíduos direcionados para a linha de plantio, contribuindo continuamente com matéria orgânica ao solo (SILVA et al., 2014, 2016). Terraços em patamar nas áreas declivosas, combinados com a cobertura vegetal nas entrelinhas, solidificam o sistema como prática conservacionista eficiente (SILVA et al., 2016).

Para os demais usos houve diferenciação com a referência, dando indícios de maior compactação com o aumento da densidade do solo e diminuição de macroporos. O maior prejuízo nas pastagens brasileiras em comparação com as portuguesas se justifica pela presença de animais de maior porte no Brasil, resultando numa pressão de pastejo maior. Além disso, esses animais permanecem a maior parte do tempo na pastagem, diferente dos lameiros úmidos de Portugal que, por permanecerem alagados no inverno, força a realocação desses animais.

As Figuras 20 e 21 mostram o resultado da análise de médias para os parâmetros de CA<sub>pi</sub>, CAD<sub>pi</sub>, Índice S e RFC<sub>pi</sub> para cada uso e país e diferenciados de acordo com material de origem.

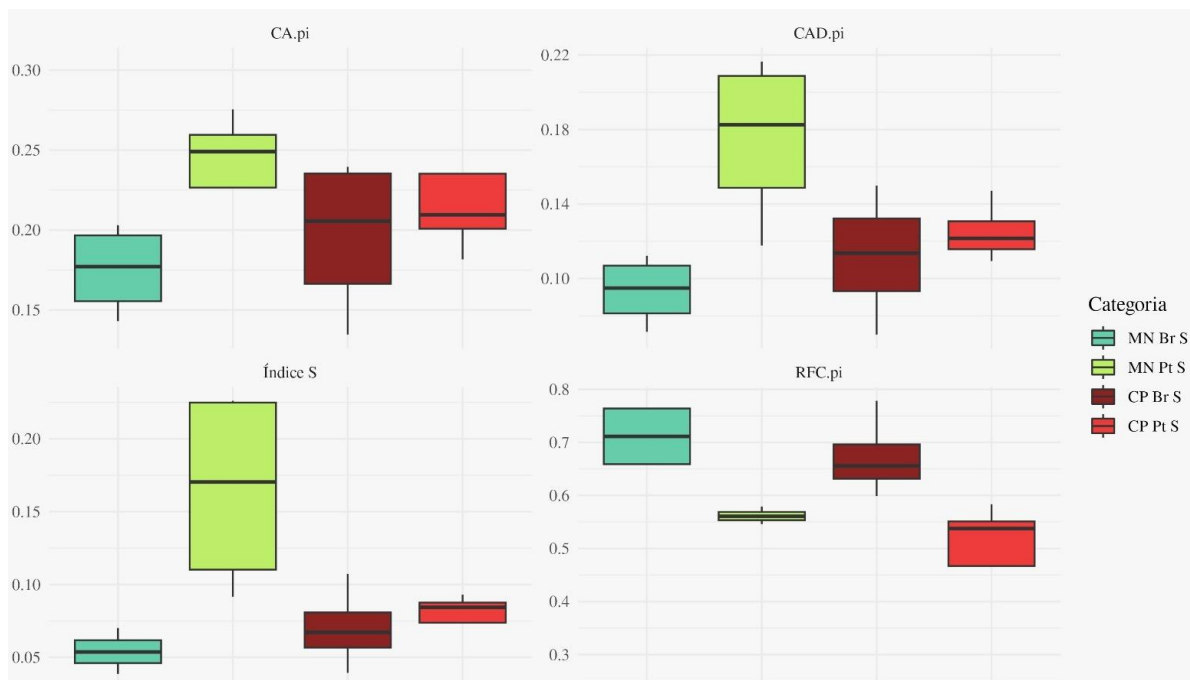
Figura 20- Gráfico boxplot dos parâmetros físicos dos solos de Granito.



Legenda: MN Br G: Mata Nativa, do Brasil, com litologia de granito; MN Pt G: Mata Nativa, de Portugal, com litologia de granito; Pg Br G: Pastagem, do Brasil, com litologia de granito; Pg Pt G: Pastagem, de Portugal, com litologia de granito; FP Br G: Floresta Plantada, do Brasil, com litologia de granito; FP Pt G: Floresta Plantada, de Portugal, com litologia de granito.

Fonte: Do autor (2023).

Figura 21 - Gráfico boxplot dos parâmetros físicos dos solos de Rochas Sedimentares.



Legenda: MN Br S: Mata Nativa, do Brasil, com litologia de rochas sedimentares; MN Pt S: Mata Nativa, de Portugal, com litologia de rochas sedimentares; Pg Br S: Pastagem, do Brasil, com litologia de rochas sedimentares; Pg Pt S: Pastagem, de Portugal, com litologia de rochas sedimentares; FP Br S: Floresta Plantada, do Brasil, com litologia de rochas sedimentares; FP Pt S: Floresta Plantada, de Portugal, com litologia de rochas sedimentares.

Fonte: Do autor (2023).

De forma geral, com exceção do RFC.pi, Portugal atingiu melhores resultados do que o Brasil quando comparados os usos de forma relativa. Para os solos de granito, o Índice S apresentou similaridade entre as matas nativas dos dois países e a pastagem de Portugal obteve melhores resultados do que a pastagem e floresta plantada do Brasil. Mais uma vez é constatado o alto nível de degradação das pastagens brasileiras. Em relação à CAD.pi, Portugal apresentou um melhor desempenho e, de forma acentuada, em relação ao Brasil. Ao se observar os solos de rochas sedimentares, nota-se mais uma vez que a cultura perene do Brasil perde menos em qualidade do que Portugal em relação aos parâmetros estudados.

Por fim, constata-se que independentemente do tipo de rocha que originou os Cambissolos, o efeito do manejo prevaleceu na diferenciação da qualidade dos solos dos dois ambientes.

## 5 CONCLUSÃO

Ao examinar o impacto de diferentes usos do solo nos atributos físicos, destacou-se impactos significativos de certas práticas, indicando a necessidade de estratégias específicas

para mitigar esses efeitos. A Cultura Perene, no contexto brasileiro, assemelha-se notavelmente à Mata Nativa, sugerindo que suas práticas de manejo contribuem para a preservação da qualidade física do solo. Por outro lado, os usos de Pastagem e Floresta Plantada estão associados a problemas como compactação e redução de macroporos. Na realidade portuguesa, a agricultura é vinculada à perda da qualidade física do solo, revelando-se associada a práticas que geram alterações significativas, ao contrário dos demais usos avaliados.

Ao analisar as condições do solo sob vegetação nativa, observou-se semelhanças pontuais entre as duas regiões estudadas. Essa verificação sugere que, as diferenças geográficas, e portanto, climáticas, influenciam de fato a análise da qualidade física dos solos. Ademais, a vegetação nativa desempenha um papel vital como referência para avaliar alterações no solo e práticas de manejo sustentáveis.

Além disso, ao considerar oportunidades para aprimoramento no manejo do solo, o estudo aponta para a importância de aprender com as características específicas de cada região. O Brasil tem melhorias a desenvolver quanto ao manejo de florestas e, principalmente, pastagens, enquanto as estratégias conservacionistas adotadas na cultura perene brasileira oferecem oportunidades de aperfeiçoamento para preservar a qualidade do solo de Portugal. Essa troca de conhecimentos entre as regiões pode contribuir para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis e adaptadas a contextos específicos.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12. n.138, p.9-13, 1986.

BARBOSA, S. M. **Manejo de Cambissolos e Argissolos na implantação de cafeeiros**. 2018. 90 p. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.7-18.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961- 1990)**. Brasília: 1992. 84 p.

CHRISTENSEN, B.T. & JOHNSTON, A.E. Soil organic matter and soil quality: Lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted. In: GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R., eds. **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam, Elsevier, 1997. p.399-430.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 31, n. 6, p. 1862- 1866, nov./dez. 2007.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B.A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society American**, 1994. n. 35, Cap 1, p.3-22.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

FAO; ITPS. (2015). **Status of the World 's Soil Resources (SWSR) - Main Report**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.

FIGUEIREDO, Tomás D'Aquino Freitas Rosa de. **Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano**. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2013.

HARRELL Jr. F. **Hmisc: Harrell Miscellaneous**. Versão do pacote R 5.1-1, 2023. Disponível em: <https://hbiostat.org/R/Hmisc/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 19 de nov. 2023.

LEPSCH, Igo F. **19 lições de pedologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MANZATTO, Celso Vainer; FREITAS JUNIOR, Elias de; PERES, José Roberto Rodrigues. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

MELLONI, R.; MELLONI E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, 2008.

MENEGASSE L. N.; GONÇALVES J. M.; FANTINEL L. M. Disponibilidades hídricas na Província cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Rev. Águas Subterrâneas** 16:9–21, 2002.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.s; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 37, n. 5, p. 1196-1206, out. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000500009>.

SANTANA, Monna Lysa Teixeira. **Soil health and ecosystem services related to water recharge in the Cantareira System**. 2023. 81 p. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

SERAFIM, M. et al. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, nov./dez. 2011.

SILVA, É. A. **Propriedades físico-hídricas do solo e desenvolvimento radicular do cafeeiro**. 2017. 110 p. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SILVA, É. A. et al. Aggregates morphometry of a Inceptisol under conservationist system. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 37, n. 3, p. 1165-1176, maio/jun. 2016.

SILVA, É. A. et al. Aggregate stability by the "high energy moisture characteristic" method in an oxisol under differentiated management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1633-1642, set./out. 2014.

UEZU, A.; SARCINELLI, O.; CHIODI, R.; JENKINS, C.; MARTINS, C.; EXANDRE, SARCINELLI OSCAR, CHIODI RAFAEL, JENKINS JENKINS, M. C. **Atlas dos serviços ambientais do sistema Cantareira**, 1 ed., vol.1. Instituto de Pesquisas Ecológicas, 2017.

VAISSIE P.; MONGE A.; HUSSON F. **Factoshiny: Perform Factorial Analysis from 'FactoMineR' with a Shiny Application**. Versão do pacote R 2.4, 2021. Disponível em: <http://factominer.free.fr/graphs/factoshiny.html>. Acesso em: 19 nov. 2023.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

WICKHAM H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag New York, 2016.

ZARONI, M. J. Embrapa Solos. **Formação do solo Tropical**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/formacao-do-solo-tropical>. Acesso em: 19 nov. 2023.