



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO

KÉZIA ROLIM NUNES

CARACTERIZAÇÃO POR ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA DE
HORIZONTES COM E SEM CARÁTER COESO DE SOLOS DO NORDESTE
BRASILEIRO

FORTALEZA

2023

KÉZIA ROLIM NUNES

CARACTERIZAÇÃO POR ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA DE HORIZONTES
COM E SEM CARÁTER COESO DE SOLOS DO NORDESTE BRASILEIRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
de Título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Raul Shiso Toma

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N925c Nunes, Kézia Rolim.
Caracterização por espectroscopia de reflectância de horizontes com e sem caráter coeso de solos do
nordeste brasileiro / Kézia Rolim Nunes. – 2023.
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Raul Shiso Toma.

1. Intensidade de reflectância. 2. Caráter coeso. 3. Biblioteca espectral. I. Título.

CDD 630

KÉZIA ROLIM NUNES

CARACTERIZAÇÃO POR ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA DE HORIZONTES
COM E SEM CARÁTER COESO DE SOLOS DO NORDESTE BRASILEIRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
de Título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 03/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raul Shiso Toma (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Rebeca Mendes Feitoza
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Francisca Evelice Cardoso de Souza
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Edson Pereira Nunes e Kátia
de Araújo Rolim.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me amparado nos momentos difíceis, dando-me forças e fazendo com que eu pudesse ter discernimento para continuar firme na caminhada.

Aos meus amados pais e irmão, Edson, Kátia e João Victor, por todo o esforço, amor e dedicação que tiveram comigo, sendo a minha base, incentivando-me sempre para seguir no caminho certo e alcançar os meus objetivos.

Ao meu amor, Marcos da Silva, que esteve sempre presente ao longo da minha graduação, por todo o amor, carinho, companheirismo e apoio. Obrigada por ser o meu melhor amigo e ter tornado tudo mais leve.

A minha tia Neta, por ser uma segunda mãe para mim, por toda sua dedicação ao longo da minha educação, por todos os conselhos e por sempre ter estado presente na minha vida.

A minha vó, Maria Luiza, a qual foi fundamental na formação de quem sou hoje, infelizmente não pôde acompanhar essa fase da minha vida, para sempre honrarei a mulher forte que ela foi.

Ao meu orientador, professor Dr. Raul Shiso Toma, por toda compreensão e paciência. Obrigada por todos os ensinamentos, oportunidades, e por ser um excelente orientador.

A Ms. Rebeca Mendes Feitoza, por toda ajuda durante e depois da bolsa de iniciação científica.

Aos meus amigos do 2017.2, e todos aqueles que passaram pela minha vida acadêmica, com toda certeza vocês tornaram essa caminhada mais leve. Principalmente, a minha dupla eterna: Mateus Teixeira, muito obrigada por ter me aguentado durante esses anos.

As minhas amigas: Sabrina, Isabelly, Gabrielle e Letícia, obrigada por sempre estarem comigo, dividindo os momentos bons e ruins.

A todos os professores do curso de agronomia da UFC.

“Os sonhos são como uma bússola, indicando os caminhos que seguiremos e as metas que queremos alcançar. São eles que nos impulsionam, nos fortalecem e nos permitem crescer.”

Augusto Cury

RESUMO

O sensoriamento proximal tem sido bastante aplicado no decorrer dos anos em relação aos estudos de solos. Esta técnica permite caracterizar o comportamento espectral dos solos, contribuindo na geração de um banco de dados espectral, também conhecido como biblioteca espectral. Desta forma, este estudo teve como objetivo desenvolver bibliotecas espectrais vis-NIR de horizontes com e sem o caráter coeso dos solos coletados de diferentes estados do Brasil, avaliando descritivamente as variações em seus dados espectrais. Amostras de solos dos estados de Maranhão, Ceará, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia foram coletadas, sendo dois horizontes de cada solo, um com e sem o caráter coeso. Análises químicas para a determinação do pH (H₂O e KCl), fósforo, sódio, potássio, alumínio, acidez potencial, cálculo da CTC e da saturação por bases, teor de carbono orgânico, cálcio e magnésio, e as análises físicas para a granulometria e fracionamento da areia, que foram realizadas para a caracterização dos horizontes; assim como a coleta de dados espectrais das amostras, utilizando-se o espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR 3 (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colorado, USA), e a análise da linha do solo. A partir do fator de reflectância bidirecional foram obtidos os espectros, através da realização de três leituras espectrais para cada amostra e com os seus valores médios, posteriormente, calculados. Para a realização da avaliação descritiva das curvas espectrais, foram observadas tanto as formas geradas de cada amostra ao longo do espectro eletromagnético, como as suas intensidades de reflectância, atentando-se ainda para as feições de absorção existentes em ambos os horizontes dos solos. Além disso, os dados também foram avaliados utilizando a linha do solo, a qual utilizou bandas presentes nas curvas espectrais para que fosse possível, também, a identificação de diferenças entre os solos que possuem o caráter coeso, daqueles que não o possuem. Logo, com a utilização das análises física e químicas, juntamente com as análises dos dados espectrais e linha do solo, foi possível encontrar diferenças nas intensidades de reflectância presentes nas amostras de solos com e sem a presença do caráter coeso, as quais variaram conforme as suas texturas e quantidades de matéria orgânica.

Palavras-chave: intensidade de reflectância; caráter coeso; biblioteca espectral.

ABSTRACT

Proximal sensing has been widely applied over the years in relation to soil studies. This technique allows characterizing the spectral behavior of soils, contributing to the generation of a spectral database, also known as a spectral library. Thus, this study aimed to develop vis-NIR spectral libraries of horizons with and without the cohesive character of soils collected from different states of Brazil, descriptively evaluating the variations in their spectral data. Soil samples from the states of Maranhão, Ceará, Pernambuco, Alagoas, Sergipe and Bahia were collected, with two horizons for each soil, one with and one without the cohesive character. Chemical analyzes to determine pH (H₂O and KCl), phosphorus, sodium, potassium, aluminum, potential acidity, calculation of CEC and base saturation, organic carbon, calcium and magnesium content, and physical analyzes for granulometry and sand fractionation, which were carried out for the characterization of the horizons; as well as the collection of spectral data from the samples, using the FieldSpec Pro FR 3 spectroradiometer (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colorado, USA), and the analysis of the soil line. From the bidirectional reflectance factor, the spectra were obtained, through the performance of three spectral readings for each sample and with their average values, later, calculated. In order to carry out the descriptive evaluation of the spectral curves, both the generated shapes of each sample along the electromagnetic spectrum were observed, as well as their reflectance intensities, paying attention to the existing absorption features in both soil horizons. In addition, the data were also evaluated using the soil line, which used bands present in the spectral curves so that it was also possible to identify differences between soils that have the cohesive character and those that do not. Therefore, with the use of physical and chemical analyses, together with the analysis of the spectral data and soil line, it was possible to find differences in the reflectance intensities present in the soil samples with and without the presence of the cohesive character, which varied according to the their textures and amounts of organic matter.

Keywords: reflectance intensity; cohesive character; spectral library.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | – Regiões de coleta das amostras de solos | 20 |
| Figura 2 | – Fluxograma da metodologia utilizada | 22 |
| Figura 3 | – Geometria da aquisição de dados espectrais com leitura de sonda por contato | 25 |
| Figura 4 | – Curvas espectrais dos horizontes com e sem o caráter coeso estudados no Maranhão | 33 |
| Figura 5 | – Curvas espectrais dos horizontes com e sem o caráter coeso estudados no Ceará | 34 |
| Figura 6 | – Curvas espectrais dos horizontes com e sem o caráter coeso estudados no Ceará | 35 |
| Figura 7 | – Curvas espectrais de horizontes com e sem o caráter coeso estudados em Pernambuco | 36 |
| Figura 8 | – Curvas espectrais de horizontes com e sem o caráter coeso estudados em Alagoas | 37 |
| Figura 9 | – Curvas espectrais de horizontes com e sem o caráter coeso estudados em Sergipe | 38 |
| Figura 10 | – Curvas espectrais de horizontes com e sem o caráter coeso estudados na Bahia | 39 |
| Figura 11 | – Linha do solo das amostras de horizontes com e sem o caráter coeso obtida pela relação da reflectância entre as bandas 3 e 4 | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Localização das coletas, tipos de solos e identificação dos horizontes | 21 |
| Tabela 2 – Distribuição da fração areia | 23 |
| Tabela 3 – Valores de argila, silte, areia e a classe textural | 28 |
| Tabela 4 – Fracionamento e grau das areias de acordo com os parâmetros de Folk e Ward (1957) | 30 |
| Tabela 5 – Resultado das análises químicas | 32 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1 | Caráter Coeso | 15 |
| 2.2 | Espectroscopia de Reflectância | 16 |
| 2.2.1 | Sensoriamento Proximal | 17 |
| 2.2.2 | Biblioteca Espectral | 18 |
| 2.3 | Linha do Solo | 19 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 20 |
| 3.1 | Granulometria | 22 |
| 3.2 | Fracionamento da Areia | 22 |
| 3.3 | Análises Químicas | 23 |
| 3.4 | Dados Espectrais | 24 |
| 3.4.1 | Linha do Solo | 25 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 4.1 | Granulometria e Fracionamento da Areia | 27 |
| 4.2 | Análises Químicas | 31 |
| 4.3 | Dados Espectrais | 33 |
| 4.3.1 | Linha do Solo | 40 |
| 5 | CONCLUSÃO | 42 |
| | REFERÊNCIAS | 43 |

1 INTRODUÇÃO

O solo é classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), como um englobamento de corpos naturais, os quais são formados por partes que contém elementos sólidos, líquidos e gasosos, podendo ser tridimensionais, dinâmicos, sendo formados a partir de materiais minerais orgânicos. O mesmo possui uma distribuição em seções paralelas, podendo ser organizados em horizontes, o qual é formado devido ao intemperismo de rochas ou sedimentos em geral (SANTOS *et al.*, 2018).

Desta forma, os horizontes irão se diferenciar do seu material de origem devido as mudanças ocasionadas ao longo do tempo como: adição, perda, translocação e transformação de energia e matéria presentes nos mesmos, os quais são características que sofrem com a influência do clima, organismos e relevo.

Assim, de acordo com Santos *et al.* (2018), os horizontes que possuem caráter coeso são constituídos de textura média, argilosa ou muito argilosa, contendo uma formação estrutural fraca, uma vez que geralmente são maciços ou tem tendências para a formação de blocos.

Além disso, no Brasil, o horizonte que possui o caráter coeso é marcado pela diferença entre seus graus de consistência, uma vez que o solo quando seco possui um grau diferente de quando o solo se encontra úmido, tais características podem ser encontradas nos horizontes da faixa dos tabuleiros costeiros, principalmente nas regiões Sudeste e Nordeste do País (GAIROLA *et al.*, 2001).

Devido as diferenças de consistência presentes nesses horizontes que possuem o caráter coeso, como serem duros a extremamente duros quando secos, acabam reduzindo a profundidade efetiva presente no solo, prejudicando diretamente o movimento da água dentro do mesmo, além de impedir o aprofundamento do sistema radicular das culturas a serem cultivadas (SOUZA *et al.*, 2008).

A região dos Tabuleiros Costeiros, possuem predominantemente solos dos tipos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos, porém, também, é possível encontrar em uma menor proporção os Espodossolos, Argissolos Acinzentados, Neossolos Quartzarênicos e os Plintossolos (JACOMINE, 1996).

Existem diversas pesquisas envolvendo a gênese dos horizontes coesos, contudo, os resultados obtidos acabam sendo de certa forma inconclusivos, uma vez que são contraditórios em relação aos dados esperados (CORRÊA *et al.*, 2008). Desta forma, os

aspectos que envolvem a gênese desse caráter acabam ficando pouco esclarecidos, influenciando, assim, na determinação dos agentes que causam a coesão dos solos.

Ao longo dos anos, o sensoriamento proximal tem sido bastante estudado, principalmente o seu uso voltado para análises de solos. Permitindo, assim, realizar a caracterização do comportamento espectral dos solos, como, também, estimar os atributos físico-químicos através dos dados espectrais, o qual também pode-se chamar de biblioteca espectral (SHEPHERD WALSH, 2002).

Com o uso do sensoriamento proximal é possível realizar a análise do solo, através da avaliação do comportamento ou assinatura espectral do mesmo, sendo essa técnica produto da interação entre o solo e a radiação eletromagnética (REM) (NANNI E DEMATTÊ, 2006). Essa energia, a qual é irradiada, interage com o solo e é refletida em diferentes comprimentos de onda, sendo captada por sensores, que resultam em formas gráficas, as quais são denominadas como curvas espectrais (DEMATTÊ *et al.*, 2015).

Existem diversos fatores que podem afetar o comportamento espectral do solo, como: coloração, quantidade de matéria orgânica e óxidos de ferro, granulometria e a umidade. Devido a essa diversidade, cada solo tem sua condição individual, possuindo, assim, um comportamento único nas suas curvas espectrais.

Além da técnica de espectroscopia de reflectância, também há análise da linha do solo, a qual utiliza as curvas espectrais para a geração de dados. Fazendo uso de uma regra matemática que resulta em uma banda, sendo está uma representação de uma combinação de bandas originais, realçando assim as diferenças espectrais (NANNI E DEMATTÊ, 2006).

Tendo em vista que as diferentes classes de solos apresentam particularidades distintas nas suas curvas espectrais, para que ocorra a sua caracterização através do sensoriamento proximal, é necessário a existência de uma biblioteca espectral. Logo, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver bibliotecas espectrais vis-NIR de horizontes com e sem caráter coeso dos solos coletados de diferentes estados do Brasil, avaliando descritivamente as alterações existentes nos dados espectrais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caráter Coeso

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o termo caráter coeso passou a ser utilizado para diferenciar aqueles solos que possuem horizontes pedogenéticos subsuperficiais com adensamento, os quais têm como característica serem muito duros a extremamente duros quando estão no seu estado seco, e podendo serem friáveis ou até mesmo firmes quando se encontram úmidos (SANTOS *et al.*, 2018).

Os horizontes que possuem o caráter coeso contêm textura média, argilosa ou muito argilosa, com uma fraca organização estrutural, podendo ser maciços ou com formação de blocos. Podendo, geralmente, terem também sua textura do tipo franco-argilo-arenosa ou até mesmo mais fina, uma vez que o seu grau de coesão é proporcional ao aumento do seu teor de argila (JACOMINE, 2001; ARAÚJO, 2017).

Além disso, sua presença é comum nos horizontes de transição AB ou BA, porém também é possível que ocorra o seu prolongamento nos horizontes Bw ou Bt (JACOMINE, 2001). A coloração desses horizontes é geralmente bruno-amarelada, possuindo uma maior tendência para os tons pálidos, como: bruno-amarelado claro, bruno claro acinzentado, como também uma tendência para colorações mais pálidas, além da presença de pequenos mosqueados e bruno forte (RIBEIRO, 2001).

A formação de solos com horizontes que possuem o caráter coeso ocorre de maneira natural, a qual está ligada a diversos processos, como a ocorrência do entupimento de poros devido ao acúmulo de argila iluvial, a dispersão de óxidos de Fe e argila nos microporos, dentre outros (LIMA NETO *et al.*, 2009).

Devido essas características, e ao seu adensamento, o solo que possui o caráter coeso acaba dificultando o desenvolvimento das raízes, como, também, o crescimento das plântulas, além de limitar o percurso da água e do ar, ocasionando, assim, as zonas saturadas, a qual influencia na respiração radicular, e por consequência afeta diretamente na produtividade das culturas (SOUZA *et al.*, 2008).

Desta forma, a coesão presente nos solos que têm o caráter coeso acaba, também, dificultando o desenvolvimento das atividades agrícolas, ocasionando uma redução na disponibilidade de nutrientes para as plantas (CORRÊA *et al.*, 2008). Contudo, as regiões que possuem a predominância desse caráter nos seus solos são de grande importância

socioeconômica, ou seja, tem uma elevada atividade agrícola, como é o caso da região Nordeste (SOUZA & SOUZA, 2012).

Além disso, esse adensamento pode estar ligado à composição textural desse horizonte, como, também, a sua umidade e o modo como os mesmos foram formados (HILLEL, 1980). Os solos arenosos também podem ter influência no adensamento, uma vez que, mesmo tendo uma menor tendência para a compactação ao ser comparado com os solos de textura argilosa, os solos de textura arenosa podem ter altas proporções de areia fina, o que contribui com o empacotamento (LOPES, 1989).

Pode-se encontrar o caráter coeso em algumas classes de solos, as quais são provenientes de sedimentos da Formação Barreira, tendo em vista que aparecem com uma maior frequência em ambientes como os Tabuleiros Costeiros, como os Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos e os Argissolos Acinzentados (JACOMINE, 2005). Os solos que se encontram dentro dessas formações, estão localizados nas regiões litorâneas de zonas úmidas, como é o caso das regiões Norte, Nordeste e Sudeste (GAIROLA & SILVA, 2002).

Além disso, os solos que possuem o caráter coeso apresentam como característica a saturação por bases com valores baixos ($V < 50\%$), teor de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) com a porcentagem menor do que 8%, e a sua relação K_i é maior ou igual a 1,7, logo, são solos com características caulínicas (JACOMINE, 2001).

2.2 Sensoriamento Proximal

O sensoriamento próximo é um termo usado para uma prática que recolhe informações de um determinado objeto em uma curta distância, podendo ser realizado tanto em campo, quanto em laboratório. As informações obtidas são repassadas do objeto para o sensor por meio da energia eletromagnética (DEMATTE, 2015).

A energia eletromagnética, a qual é refletida ou emitida pelos objetos que estão sendo estudados, como o solo, são registradas por sensores remotos. Essa interação energia-objeto é ocasionada pelas propriedades do tipo físico-químicas e biológicas que estão presentes nesses objetos, em que é possível de serem observadas nas imagens e nos dados coletados pelos sensores (MOREIRA, 2012).

Os sensores tornaram-se ferramentas que têm a capacidade de encontrar e registrar a presença da radiação eletromagnética na faixa do espectro eletromagnético, após isso, é possível obter dados, os quais serão transformados em um resultado de fácil entendimento (SOUZA *et al.*, 2011).

O sensoriamento próximo voltado para o estudo das ciências do solo tem como base que cada tipo de solo, por possuírem características diferentes, absorvem e refletem a energia eletromagnética em diferentes comprimentos de ondas, uma vez que vai ocorrer de acordo com os atributos químicos, físicos e mineralógicos presentes no mesmo, os quais vão realizar a diferenciação (ANDRONIKOV E DOBROVOLSKIY, 1991).

O comprimento de onda presente na energia eletromagnética pode apresentar diferença, a qual tem relação com a quantidade de energia contida nessa onda, ocasionando assim a diferenciação nas formas de radiação (NOVO, 1989).

Como o alvo, também denominado de objeto, absorve uma parte específica do espectro eletromagnético devido às suas diferentes propriedades, acaba favorecendo a formação de uma assinatura, a qual vai identificar a radiação eletromagnética. Essa assinatura também é conhecida como assinatura espectral, em que um determinado valor de reflectância que se encontra dentro do espectro eletromagnético, faz com que o sensoriamento remoto diferencie os mais variados materiais ou objetos (PACHECO *et al.*, 2006).

Os sensores podem produzir os mais variados produtos como: não-imageadores, os quais não geram uma imagem da superfície que está sendo sensoriada, um exemplo seria os radiômetros e os espectrorradiômetros; imageadores, em que é possível gerar imagem da superfície estudada, como por exemplo o sistema de varredura e o sistema de quadros (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

2.2.1 Espectroscopia de Reflectância

A espectroscopia é uma técnica na qual recolhe informações sobre os elementos que constituem um determinado objeto de estudo, e isso ocorre devido a energia radiante que está sendo distribuída no mesmo. Essa interação, objeto e energia eletromagnética, pode ocorrer tanto por uma fonte natural, quanto por uma artificial, ocasionando fenômenos como: absorção, reflexão e transmissão (CLARK; ROUSH, 1984).

Logo, a espectroscopia de reflectância, consiste em uma técnica presente dentro do sensoriamento remoto, a qual coleta dados sobre o fluxo de radiação eletromagnética liberada pelo objeto de estudo, como o solo, porém não há contato direto entre este e o sensor (DALMOLIN *et al.*, 2005).

Contudo, ao realizar a espectroscopia no solo existem certos constituintes que afetam os resultados do seu comportamento espectral, como é o caso da matéria orgânica (DALMOLIN, 2002) e os óxidos de Fe (DEMATTE *et al.*, 2003). Além disso, outros fatores

também têm influência em relação a resposta espectral que ocorre no solo, como: a mineralogia da fração argila (DRURY, 2001), a rugosidade e umidade presente no solo (HUMMEL *et al.*, 2001), e o tamanho das partículas (MENESES & MADEIRO NETTO, 2001).

A espectroscopia de reflectância é uma nova técnica que tem como alternativa trabalhar com grande volume de amostras de solos de maneira rápida e com um menor custo (SOUSA JUNIOR *et al.*, 2011), contudo, a sua precisão está ligada à inovação no surgimento e desenvolvimento de modelos mais apropriados (NANNI & DEMATTÊ, 2006).

Desde os anos 2000, com o salto no desenvolvimento no uso de técnicas voltadas para a análise do solo, que inúmeros trabalhos envolvendo a espectroscopia nas regiões do visível (VIS = 400 a 700 nm), infravermelho próximo (NIR = 700 a 1100 nm) e infravermelho médio (MID = 2500 a 50000 nm) vem gerando resultados satisfatórios (LEE *et al.*, 2003; MOUAZEN *et al.*, 2007).

Existem solos que apresentam uma alta frequência, e outros uma baixa frequência do seu comprimento de onda, sendo o primeiro tipo devido a sua granulometria que possui uma grande quantidade de areia, minerais provenientes do quartzo, e aqueles solos que também são formados por rochas metamórficas; e o segundo tipo, que são solos compostos por uma quantidade expressiva de argila, ou por serem formados de rochas ígneas, as quais são ricas em cálcio e ferro (DEMATTÊ *et al.*, 2019).

2.2.2 Biblioteca Espectral

Biblioteca espectral ou banco de dados espectrais, é o termo usado para se referir a uma base de dados referentes aos mais variados tipos de solos do mundo, os quais possuem uso científico (DEMATTÊ *et al.*, 2019). Logo, a biblioteca espectral nada mais é do que o conjunto de curvas que vai caracterizar o comportamento espectral dos objetos de estudo, no caso o solo (SANTOS, 2015).

Para que seja possível a criação de uma biblioteca espectral, é necessário que a mesma contenha um número considerável de amostras para que consiga representar a variabilidade de solos contido no mundo, além de que as amostras devem ser separadas e preparadas de uma forma cuidadosa para não interferir na sua curva espectral (DUNN *et al.*, 2002; SHEPHERD & WALSH, 2002).

Mundialmente, existe uma biblioteca espectral com amostras de solos de aproximadamente 58 países, como África, Europa, Ásia e as Américas, a qual recebeu o nome

de ICRAF-ISRIC (World Agroforestry Center – International Soil Reference and Information Centre) (BROWN *et al.*, 2006). No Brasil, a biblioteca espectral possui mais do que 39.000 amostras de solos, as quais pertencem 50% à região Sudeste e 24% à região Central (DEMATTE *et al.*, 2019).

2.3 Linha do Solo

A linha do solo, se enquadra nas novas tecnologias que surgiram para aperfeiçoar os estudos voltados para os solos. Logo, essa ferramenta possui uma relação linear entre a reflectância do solo, a qual é observada em duas bandas de onda diferentes, na faixa do vermelho, e a reflectância no infravermelho próximo (DEMATTE *et al.*, 2004).

Essa técnica utiliza uma equação matemática específica, empregando dados de duas bandas para resultar em uma banda representativa, desta forma é possível demonstrar através de um gráfico as diferenças espectrais contidas neste par de bandas (NANNI E DEMATTE, 2006).

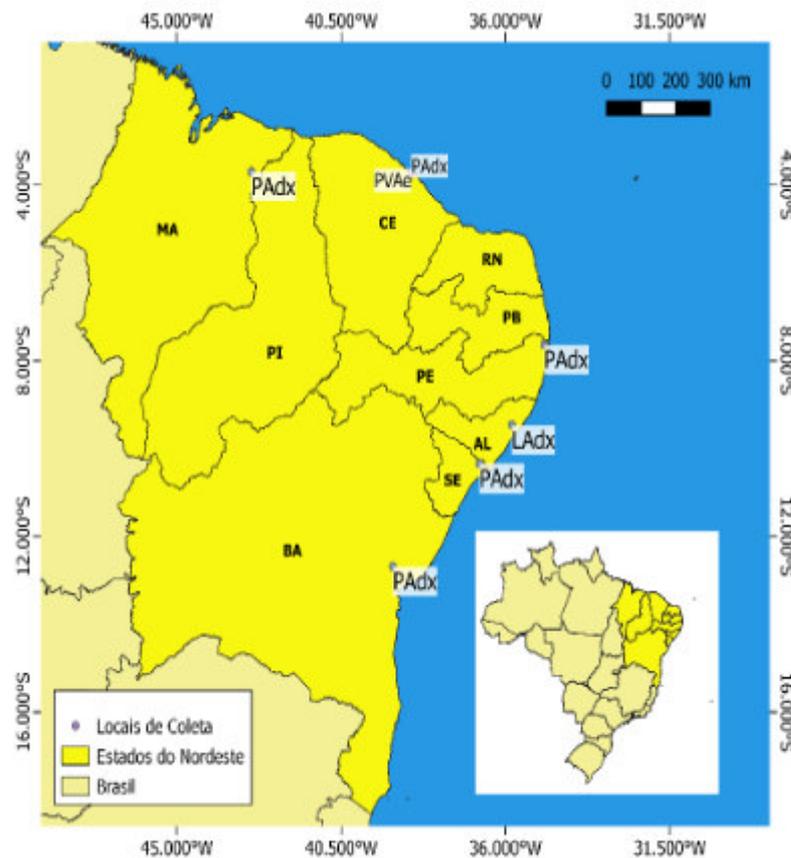
Desta forma, a linha do solo é conceituada no fato de que a reflectância presente nos solos que estão expostos vai determinar a curva linear para dois comprimentos de onda. Além disso, essa técnica é resultante da combinação de fatores como: a variação de rugosidade, umidade, e configuração da fonte, para que assim seja possível determinar o tipo de solo e o seu conjunto de comprimento de onda (BARET *et al.*, 1993).

Contudo, deve-se realizar, com antecedência, algumas avaliações nas regiões a serem estudadas, uma vez que pode ocorrer a presença de solos que sofrem constantes modificações químicas e físicas, as quais irão influenciar em possíveis alterações espectrais (CHICATI *et al.*, 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

No total foram utilizadas 14 amostras de solos, coletadas de 6 estados brasileiros pertencentes a região Nordeste do Brasil (Figura 1), as quais se encontravam armazenadas no Laboratório de Levantamento de Solos do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Figura 1. Regiões de coleta das amostras de solos.



Fonte: Feitoza, R.M. (2023)

Cada local teve dois tipos de horizontes analisados, com e sem o caráter coeso (Tabela 1).

Tabela 1. Localização das coletas, tipos de solos e identificação dos horizontes.

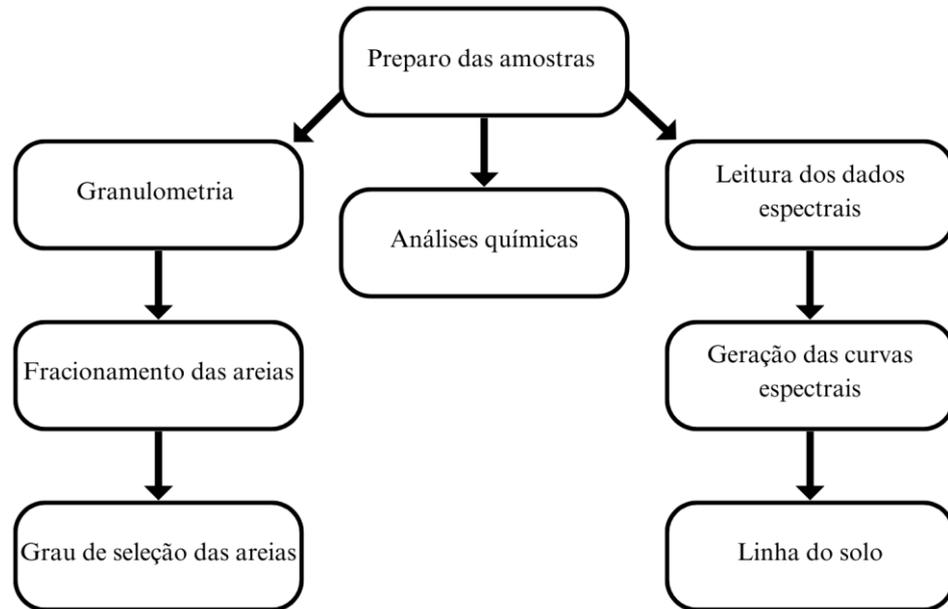
| Local | Solo | Horizontes | | Profundidade (cm) | |
|-------------------|----------------------------|------------|-----------|-------------------|-----------|
| | | Coeso | Não Coeso | Coeso | Não coeso |
| Brejo-MA | ARGISSOLO Amarelo | AB | Bt1 | 43-60 | 60-100 |
| Fortaleza-CE | ARGISSOLO Amarelo | Bt2 | Bt1 | 79-112 | 63-79 |
| Fortaleza-CE | ARGISSOLO Vermelho-Amarelo | Bt1 | BE | 96-145 | 62-96 |
| Goiana-PE | ARGISSOLO Amarelo | Bt | Bw | 43-70 | 135-190 |
| Rio Largo-AL | LATOSSOLO Amarelo | BA | Bw2 | 35-60 | 115-170 |
| Neópolis-SE | ARGISSOLO Amarelo | Bt1 | Bt3 | 25-50 | 95-160 |
| Cruz das Almas-BA | ARGISSOLO Amarelo | Bt1 | Bt2 | 114-148 | 148-190 |

Fonte: Elaborada pela autora.

As amostras de solos que foram coletadas em Fortaleza, tiveram seus dois pontos de coleta no campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC). A seleção dos perfis ocorreu durante a realização de uma aula prática, no qual foi possível observar características morfológicas como: consistência, estrutura e resistência à penetração, as quais estão presentes no caráter coeso.

Com as amostras preparadas, foram feitas análises químicas e físicas, as quais serviram para caracterizar os horizontes com e sem o caráter coeso, também foram realizadas leituras espectrais do material coletado, com o solo seco em estufa, destorroado e peneirado em malhas de abertura de 2 mm (Figura 2).

Figura 2. Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: Elaborada pela autora.

3.1 Granulometria

A análise granulométrica ocorreu no Laboratório de Pedologia do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC). Foi utilizado o hidróxido de sódio (NaOH) como dispersante e realizado agitação rápida por 10 minutos, após isso, utilizou-se o tamisamento para a separação da fração areia. O método da pipeta (Camargo *et al.*, 2009) foi usado para a quantificação da argila. A determinação do silte ocorreu pela diferença entre o total da amostra, terra fina seca ao ar, e os valores de areia e argila (EMBRAPA, 2017).

3.2 Fracionamento da areia

De acordo com a metodologia de classificação granulométrica do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o fracionamento da areia é classificado em cinco classes de tamanho (Tabela 02).

Tabela 2. Distribuição da fração areia.

| Fração | Diâmetro (mm) | Escala ϕ |
|--------------|--------------------------|----------------------|
| Muito Grossa | ≤ 2 a > 1 | ≤ -1 a > 0 |
| Grossa | ≤ 1 a $> 0,5$ | ≤ 0 a > 1 |
| Média | $\leq 0,5$ a $> 0,25$ | ≤ 1 a > 2 |
| Fina | $\leq 0,25$ a $> 0,105$ | ≤ 2 a $> 3,32$ |
| Muito Fina | $\leq 0,105$ a $> 0,053$ | $\leq 3,32$ a $4,32$ |

Fonte: Elaborada pela autora.

Os dados correspondentes a granulometria da fração areia foram avaliados estatisticamente através do programa PHI, Programa de Microcomputador para Análise Estatística da Granulometria, o qual foi desenvolvido por Jong van Lier e Vidal - Torrado (1992), o mesmo usa padrões desenvolvidos por Folk e Ward (1957).

Com a utilização do programa PHI, aqueles dados de entrada são referentes às porcentagens absolutas de cada fração granulométrica presente na amostra, e ao seu diâmetro na escala phi ($\phi = -\log_2 D(\text{mm})$).

3.3 Análises Químicas

As análises químicas, que as amostras coletadas foram submetidas, ocorreram no Laboratório de Pedologia do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC). Essas análises foram realizadas usando a metodologia descrita pela Embrapa (2017).

Para o pH em H₂O e KCl foi necessário imergir eletrodo em uma suspensão solo/líquido na proporção 1:2,5.

O alumínio trocável foi extraído através da solução de cloreto de potássio (KCl 1M), e determinação volumétrica com a solução diluída de hidróxido de sódio (NaOH) e acidez potencial (H⁺ e Al³⁺), através da extração com acetato de cálcio e a determinação volumétrica com a solução de hidróxido de sódio (NaOH) em presença de fenolftaleína como indicador.

Para analisar o cálcio e magnésio foi necessário determiná-los por espectrometria de absorção atômica após a extração do acetato de amônio contendo o pH 7,0.

O sódio e potássio foram determinados por espectrofotometria de chama após a extração com acetato de amônio com pH 7,0;

Para a extração do fósforo foi utilizada a solução Mehlich⁻¹, e para a sua determinação foi usada a espectrofotometria.

Desta forma, com os resultados obtidos dessas análises, foi possível calcular e obter os resultados para a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação por bases (V%) para cada horizonte que formava as amostras.

Para a análise do teor de carbono orgânico foi utilizado a metodologia descrita pela literatura de Mendonça e Matos. Sua obtenção ocorreu pelo método da oxidação por via úmida, sendo necessário a utilização do dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em um meio ácido como agente oxidante, além do uso de uma fonte externa de calor. A titulação do dicromato ocorreu em solução de sulfato ferroso amoniacal (sal de mor - $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) e como indicador o ferroin (MENDONÇA; MATOS, 2005).

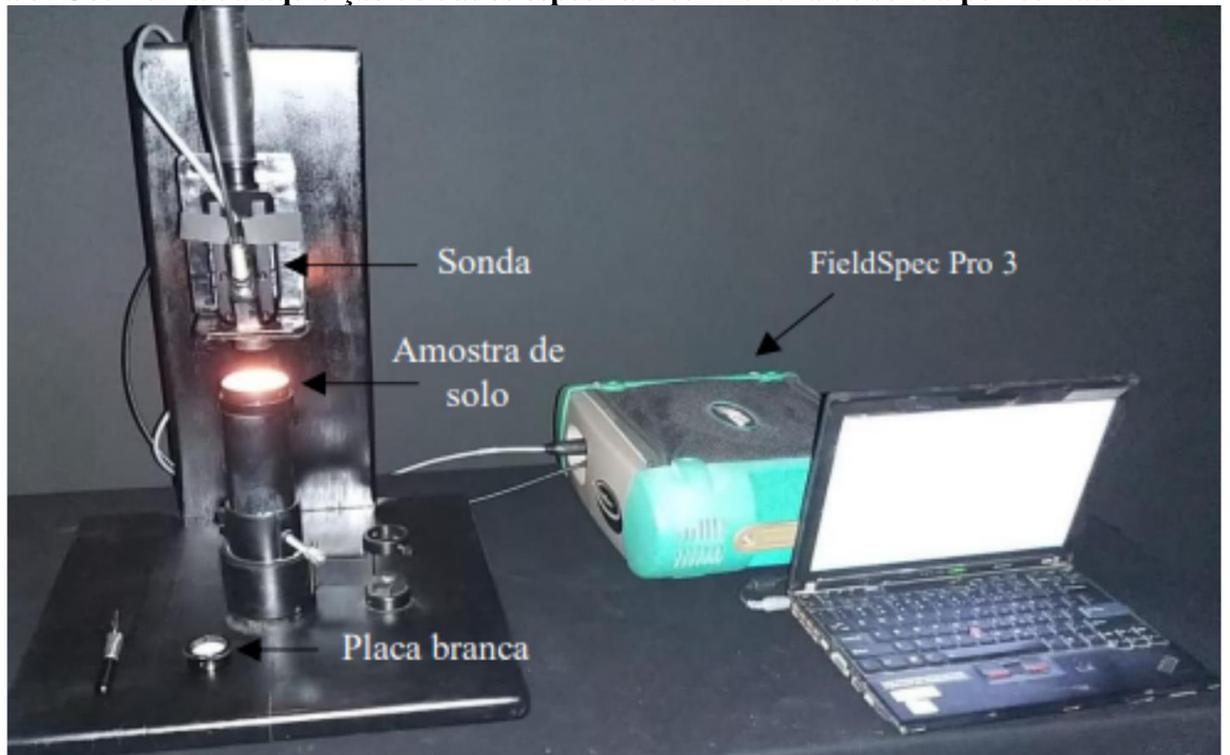
3.4 Dados Espectrais

A realização da coleta de dados espectrais das amostras de solo que foram preparadas ocorreram em uma sala escura, utilizando o equipamento espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR 3 (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colorado, USA), instrumento que pertence ao Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC).

O sensor hiperespectral que foi utilizado recobre a faixa espectral entre 350 e 2500 nm, possuindo uma resolução espectral de 1 nm entre 350 e 1100 nm, e de 2 nm entre 1100 e 2500 nm. Essas faixas espectrais são correspondentes ao visível, VIS = 400 a 700 nm, infravermelho próximo, NIR = 700 a 1100 nm, e o infravermelho de ondas curtas, SWIR = 1100 a 2500 nm.

As amostras já coletadas foram previamente moídas, passadas em peneiras com malha de abertura 2 mm, e secas em estufa a uma temperatura de 45 °C durante 24 horas para que ocorresse a homogeneização dos efeitos da umidade e rugosidade (EPIPHANIO *et al.*, 1992). Essas amostras foram acondicionadas em recipientes com diâmetro de 5 cm, formando uma camada com espessura de aproximadamente 1,5 cm para que fosse possível realizar a leitura no aparelho com sonda de contato acoplada a um suporte (Figura 3).

Figura 3. Geometria da aquisição de dados espectrais com leitura de sonda por contato.



Fonte: Ribeiro, S.G (2021)

Foi utilizado como padrão de referência para padronização do sensor uma placa padrão branca, através de pré-leitura, considerada como padrão 100% de reflectância (Spectralon). Para a análise, foram feitas três leituras em diferentes pontos da superfície das amostras, cada leitura necessitou em média de 10 repetições, tendo sido calculado um valor médio das três leituras, com os dados obtidos com o auxílio do Microsoft Excel. Assim, foram geradas as curvas espectrais.

3.4.1 Linha do Solo

Com os dados espectrais obtidos, foi possível realizar a técnica da linha do solo, isto é, foram selecionados, para as 14 amostras de solos, os valores correspondentes às faixas espectrais das bandas 3 (630 a 690 nm) e 4 (760 a 900 nm).

Ao obter os valores das duas bandas, foi necessário realizar uma média para ambas as bandas de todas as amostras de solo, para pôr fim esse valor ser empregado na fórmula da linha do solo (Equação 1), e gerar o gráfico no qual vai auxiliar na leitura dos dados.

$$\left\{ \frac{\text{IVP} - \text{V}}{(\text{IVP} + \text{V} + 0,5)} \right\} 1,5 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, IVP: reflectância na faixa do infravermelho (banda 4); V: reflectância na faixa do vermelho (banda 3).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Granulometria e Fracionamento da Areia

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), é considerado com caráter coeso aqueles horizontes que possuem a textura média, argilosa e muito argilosa (JACOMINE, 2001). Desta forma, foram observadas amostras com classe textural (Tabela 3), predominantemente, do tipo franco-argilo-arenosa, a qual está presente tanto nos solos com caráter coeso, como naqueles não coeso.

Tabela 3. Valores de argila, silte, areia e a classe textural.

| Local | Hor. Coeso | Porcentagem (%) | | | Classe Textural |
|-------|----------------|-----------------|-------|-------|-----------------------|
| | Hor. Não Coeso | Argila | Silte | Areia | |
| MA | AB | 27,1 | 6,6 | 66,2 | Franco argilo-arenosa |
| MA | Bt1 | 34,5 | 6,7 | 58,9 | Franco argilo-arenosa |
| CE1 | Bt1 | 33,9 | 6,9 | 59,2 | Franco argilo-arenosa |
| CE1 | BE | 30,0 | 12,8 | 57,3 | Franco argilo-arenosa |
| CE2 | Bt2 | 35,2 | 8,3 | 56,5 | Argilo-arenosa |
| CE2 | Bt1 | 26,6 | 8,5 | 65,0 | Franco argilo-arenosa |
| PE | Bt | 30,7 | 4,1 | 65,3 | Franco argilo-arenosa |
| PE | Bw | 30,4 | 8,4 | 61,2 | Franco argilo-arenosa |
| AL | BA | 46,9 | 4,5 | 48,6 | Argilo-arenosa |
| AL | Bw2 | 56,2 | 7,6 | 36,2 | Argila |
| SE | Bt1 | 24,8 | 9,2 | 65,9 | Franco argilo-arenosa |
| SE | Bt2 | 28,1 | 8,9 | 63,0 | Franco argilo-arenosa |
| BA | Bt1 | 53,9 | 4,6 | 41,5 | Argila |
| BA | Bt2 | 50,4 | 6,7 | 42,9 | Argila |

Fonte: Elaborada pela autora.

O predomínio da classe textural franco-argilo-arenosa em horizontes com e sem caráter coeso, já tinha sido observado em outro trabalho, o qual estudava a gênese do caráter coeso voltada para os seus atributos físicos e químicos (SILVA, 2019).

Houveram amostras com classe textural do tipo argilo-arenosa e argila, que foi o caso do estado da Bahia, onde apresentou em ambos os horizontes a textura argila. Os horizontes que possuem a textura argilosa, apresentam uma baixa intensidade de reflectância, uma vez que esses solos têm um maior estágio de agregação, o qual ocasiona uma grande absorção da energia eletromagnética incidente, além da grande absorção dos minerais opacos presentes nesses solos (FRANCESCHINI, 2013).

Estudos realizados por Corrêa *et al.* (2008), o qual aborda sobre a caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos do ambiente Tabuleiros Costeiros, demonstraram resultados semelhantes aos descritos acima, indicando, assim, que os horizontes que possuem o caráter coeso, geralmente, possuem a presença das classes texturais franco-arenosa, franco-argilo-arenosa e argilo-arenosa.

Desta forma, pouco se diferenciou os solos com e sem a presença do caráter coeso em relação a suas classes texturais, uma vez que, ao observar os sete pares de solos, apenas dois pares demonstraram diferença na sua classe textural. Assim, ao observar esses resultados, pode-se perceber que a coesão presente nesses solos não depende apenas do teor de areia desses horizontes, os quais caracterizam a sua classe textural, mas também dos outros atributos que foram estudados, como é o caso do fracionamento da areia (ARAÚJO, 2017).

Os resultados para o grau de seleção das areias (Tabela 4), indicou um predomínio de areia moderadamente selecionado para ambos os horizontes (com e sem caráter coeso), diferindo em três pares de solos, onde dois desses pares apresentaram o horizonte que possui o caráter coeso como areia moderadamente bem selecionado, e ambos os solos do estado da Bahia apresentaram o seu grau de seleção como pobremente selecionado.

Além disso, os solos apresentaram, em grande maioria, entre coesos e não coesos, uma textura de areia média, com exceção do solo não coeso do estado do Maranhão, o qual apresentou uma textura fina. E para o solo do estado do Ceará (CE2), com a presença do caráter coeso, houve a caracterização da fração de areia média seguida da areia grossa.

Tabela 4. Fracionamento e Grau das areias de acordo com os parâmetros de Folk e Ward (1957).

| Local | Hor. Coeso | Fracionamento areia (%) | | | | | Média Gráfica | Desvio Padrão | Grau de Seleção das Areias |
|-------|----------------|-------------------------|--------|-------|-------|------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| | Hor. Não Coeso | Muito grossa | Grossa | Média | Fina | Muito fina | | | |
| MA | AB | 01,54 | 09,96 | 44,02 | 41,62 | 02,93 | 1.910 | 0.772 | Moderadamente selecionado |
| MA | Bt1 | 02,54 | 12,35 | 26,27 | 51,84 | 05,52 | 2.034 | 0.941 | Moderadamente selecionado |
| CE1 | Bt1 | 03,51 | 09,41 | 64,33 | 15,06 | 01,97 | 1.559 | 0.670 | Moderadamente bem selecionado |
| CE1 | BE | 04,23 | 11,55 | 61,29 | 14,29 | 02,29 | 1.515 | 0.719 | Moderadamente selecionado |
| CE2 | Bt2 | 05,85 | 24,37 | 53,60 | 12,50 | 02,07 | 1.275 | 0.801 | Moderadamente selecionado |
| CE2 | Bt1 | 03,90 | 06,56 | 49,26 | 35,36 | 02,81 | 1.853 | 0.802 | Moderadamente selecionado |
| PE | Bt | 02,62 | 14,73 | 62,68 | 15,27 | 02,16 | 1.503 | 0.688 | Moderadamente bem selecionado |
| PE | Bw | 03,29 | 14,91 | 59,23 | 18,04 | 01,89 | 1.521 | 0.721 | Moderadamente selecionado |
| AL | BA | 03,43 | 16,74 | 51,25 | 23,08 | 01,98 | 1.562 | 0.810 | Moderadamente selecionado |
| AL | Bw2 | 03,91 | 18,55 | 42,40 | 28,03 | 04,32 | 1.644 | 0.924 | Moderadamente selecionado |
| SE | Bt1 | 05,18 | 11,42 | 41,05 | 36,25 | 03,88 | 1.805 | 0.920 | Moderadamente selecionado |
| SE | Bt2 | 05,18 | 15,62 | 58,88 | 14,18 | 03,19 | 1.451 | 0.788 | Moderadamente selecionado |
| BA | Bt1 | 03,76 | 21,24 | 36,41 | 28,76 | 05,83 | 1.676 | 1.011 | Pobrememente selecionado |
| BA | Bt2 | 04,94 | 25,26 | 35,25 | 28,08 | 04,47 | 1.568 | 1.014 | Pobrememente selecionado |

Fonte: Elaborada pela autora.

Estudos realizados por Abrahão *et al.* (1998) demonstraram que a má seleção das partículas de areia é um dos fatores favoráveis para ocasionar o adensamento no solo, uma vez que essa diferenciação no fracionamento da areia acaba facilitando o arranjo mais compacto das partículas. E os resultados obtidos (Tabela 2) demonstram exatamente isso, uma vez que, tem-se uma variação das partículas de areia, inclusive com a presença da areia fina, a qual contribui com o adensamento dos horizontes, influenciando no empacotamento desse solo.

Com base nisso, tanto a má seleção da fração areia, quanto a presença da areia fina, as quais favorecem a construção do arranjo adensado nas partículas de solo, podem ser a causa do surgimento da formação do horizonte Bt coeso do solo do Ceará (CE1), uma vez que nessa região ocorre uma influência da desuniformidade dessa composição granulométrica presente nos solos (BEZERRA *et al.*, 2014).

4.2 Análises Químicas

Os horizontes tanto de caráter coeso, quanto de caráter não coeso demonstraram valores baixos para a capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%) e fósforo, resultados esses que condizem com as características dos horizontes que possuem o caráter coeso (Tabela 5), uma vez que esses solos possuem uma fertilidade natural baixa devido ao seu material de origem (SILVA, 2019). Esses resultados também são obtidos por outros autores (JACOMINE, 1996; SILVA & RIBEIRO, 1998), os quais demonstram que os solos de tabuleiros costeiros são quimicamente pobres devido a sua origem, a qual provém de materiais altamente intemperizados.

Os valores da saturação por bases vão determinar a fertilidade do solo, se os mesmos podem ser considerados eutróficos ou distróficos, o primeiro ocorre quando possuem altos valores de saturação por base (V% > 50%), já o segundo ocorre quando os valores da saturação por base são baixos (V% < 50%) (SANTOS *et al.*, 2018). Logo, ao analisar os resultados presentes na tabela 5, a predominância de solos distróficos comprova a baixa fertilidade desses perfis de solos (com e sem o caráter coeso) devido ao seu material de origem.

Apenas ambos os horizontes do CE2 apresentaram valores de saturação por bases acima de 50%, sendo assim eutróficos, contudo apresentam, também, valores de CTC baixos, o que é um fator indicativo para a baixa fertilidade. Além disso, todas as amostras obtiveram valores de carbono orgânico total abaixo de 6g kg⁻¹. Sendo que para a região de Alagoas, o seu

horizonte sem caráter coeso possui o carbono orgânico total $7,08 \text{ g kg}^{-1}$. Este resultado pode ter se dado devido a maior ocorrência de argila e, também, por se tratar de um horizonte de transição (BA).

O pH em água teve uma variação entre 4,0 e 6,0, sendo assim valores voltados mais para a acidez. O maior pH ocorreu na região do Ceará (CE2) no horizonte sem o caráter coeso, e o menor pH se deu na região da Bahia, também no horizonte sem o caráter coeso. Já o pH em KCl obteve valores menores ao se comparar com aquele obtido em água. Resultados obtidos em outro trabalho, o qual abordava a caracterização espectral dos solos da fazenda Vale do Curu, também constatou que o pH em KCl é realmente menor do que o pH em água, pois o mesmo comprova a presença de cargas negativas no solo (FEITOSA, 2019).

Tabela 5. Resultado das análises químicas.

| Local | Hor. Coeso | Cátions Trocáveis (cmol.kg ⁻¹) | | | | | | | | | P (mg.kg ⁻¹) | COT (g/kg) | pH | |
|-------|----------------|--|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----------------------------|---------------|------------------|------|
| | Hor. Não Coeso | Ca | Mg | K | Na | Al | H | SB | CTC | V% | | | H ₂ O | KCl |
| MA | AB | 0,06 | 0,13 | 0,03 | 0,10 | 0,50 | 3,14 | 0,32 | 3,95 | 8,08 | 0,030 | 2,90 | 5,16 | 4,14 |
| MA | Bt1 | 0,01 | 0,14 | 0,03 | 0,10 | 0,41 | 1,78 | 0,28 | 2,48 | 11,37 | 0,071 | 3,65 | 5,06 | 4,19 |
| CE1 | Bt1 | 0,50 | 0,67 | 0,08 | 0,13 | 0,27 | 1,92 | 1,38 | 3,58 | 38,65 | 0,043 | 3,00 | 4,95 | 4,08 |
| CE1 | BE | 0,65 | 0,73 | 0,08 | 0,13 | 0,17 | 1,63 | 1,59 | 3,39 | 47,00 | 0,042 | 3,35 | 4,98 | 4,26 |
| CE2 | Bt2 | 1,05 | 0,42 | 0,23 | 0,12 | 0,04 | 0,96 | 1,82 | 2,82 | 64,59 | 0,180 | 2,95 | 6,14 | 5,38 |
| CE2 | Bt1 | 1,13 | 0,41 | 0,13 | 0,11 | 0,04 | 1,06 | 1,77 | 2,87 | 61,74 | 0,190 | 3,52 | 6,30 | 5,28 |
| PE | Bt | 0,26 | 0,15 | 0,04 | 0,11 | 0,58 | 2,97 | 0,57 | 4,12 | 13,77 | 0,044 | 4,59 | 4,78 | 4,05 |
| PE | Bw | 0,11 | 0,19 | 0,04 | 0,12 | 0,60 | 2,69 | 0,46 | 3,75 | 12,15 | 0,032 | 3,79 | 4,78 | 4,10 |
| AL | BA | 0,09 | 0,29 | 0,04 | 0,13 | 0,83 | 5,16 | 0,55 | 6,54 | 8,42 | 0,067 | 7,08 | 4,75 | 4,05 |
| AL | Bw2 | 0,40 | 0,33 | 0,04 | 0,15 | 0,41 | 3,48 | 0,91 | 4,80 | 19,01 | 0,014 | 4,15 | 4,91 | 4,23 |
| SE | Bt1 | 0,24 | 0,40 | 0,05 | 0,12 | 0,27 | 1,62 | 0,80 | 2,70 | 29,73 | 0,220 | 4,06 | 5,03 | 4,22 |
| SE | Bt2 | 0,21 | 0,35 | 0,04 | 0,11 | 0,51 | 1,28 | 0,71 | 2,51 | 28,43 | 0,040 | 2,47 | 4,78 | 4,07 |
| BA | Bt1 | 0,02 | 0,44 | 0,09 | 0,28 | 0,84 | 3,05 | 0,83 | 4,72 | 17,55 | 0,030 | 4,05 | 4,16 | 3,74 |
| BA | Bt2 | 0,02 | 0,41 | 0,15 | 0,31 | 0,66 | 2,53 | 0,90 | 4,09 | 21,92 | 0,028 | 4,46 | 4,12 | 3,72 |

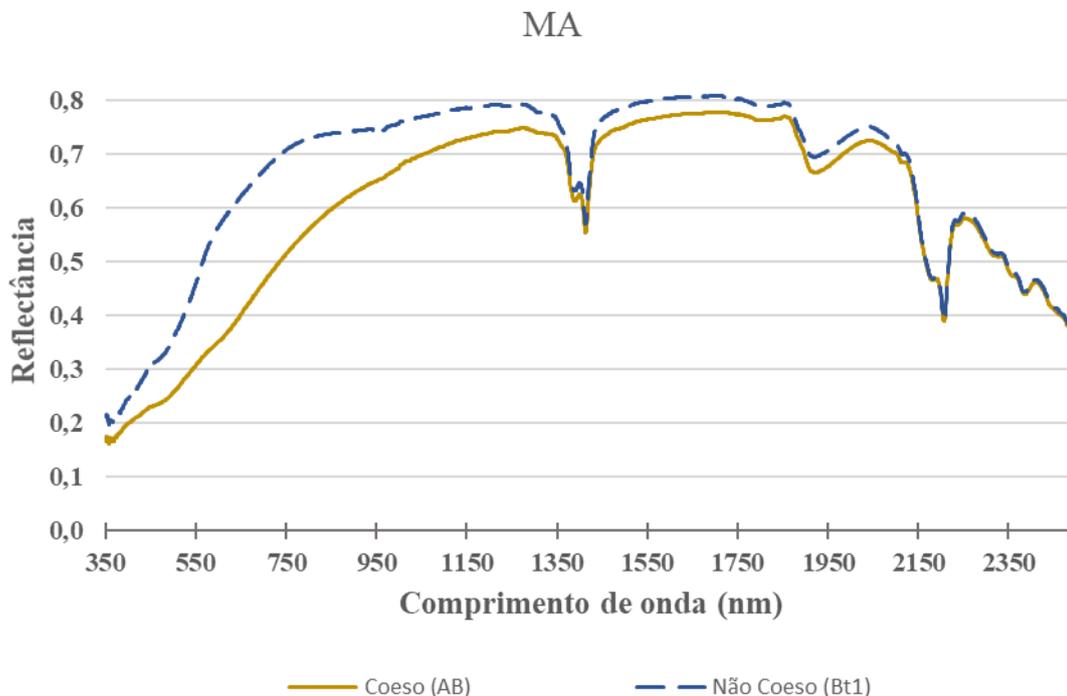
Fonte: Elaborada pela autora.

4.3 Dados Espectrais

Pode-se observar que todos os horizontes, com e sem caráter coeso, das setes amostras de solos, apresentaram picos de absorção nas faixas próximas de 1400, 1900 e 2200 nm, o que pode ser indicativo da presença de água, mesmo as amostras tendo passado pela parte de secagem na estufa, como também indica a presença de grupos OH e minerais do tipo 1:1 (DEMATTE *et al.*, 2004).

Nos dados espectrais de reflectância referente ao perfil de solo do estado do Maranhão (Figura 4), houve uma diferença acentuada nas curvas espectrais na faixa de 350 a 1000 nm entre seus horizontes, com e sem caráter coeso. Esse resultado pode ter ocorrido devido ao horizonte com caráter coeso (AB), uma vez que o mesmo foi descrito como bruno quando úmido e cinzento-brunado-claro quando seco.

Figura 4. Curvas espectrais dos horizontes com e sem o caráter coeso estudados no Maranhão.



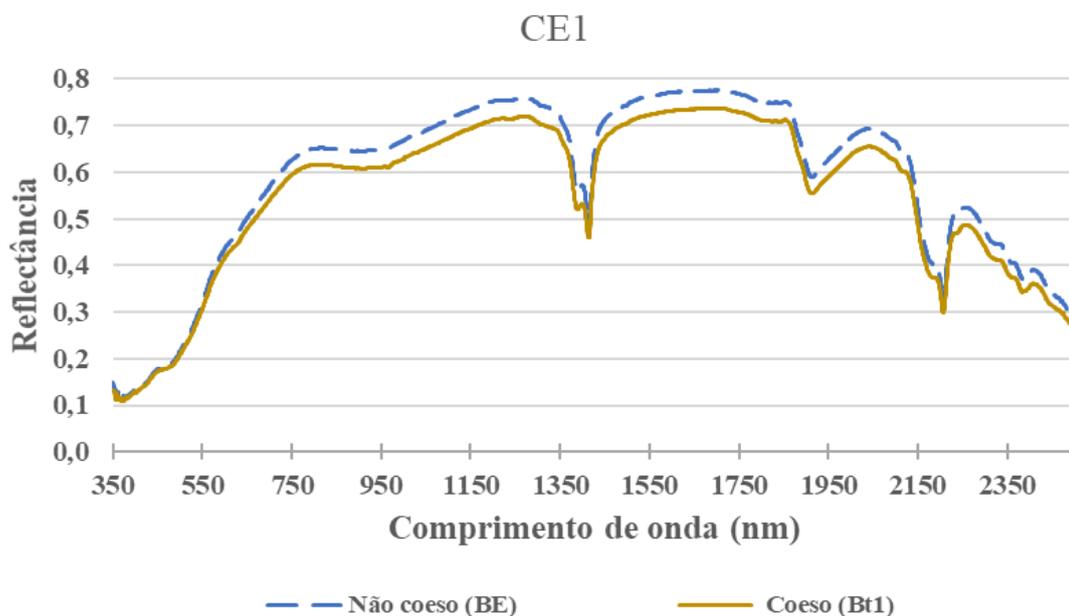
Fonte: Elaborada pela autora.

Essas feições que foram obtidas na região do VIS - NIR, 350 a 1000 nm, tem relação com as interações entre a radiação e os íons na estrutura cristalina presente nos óxidos

de ferro (RIZZO *et al.*, 2021), pois o solo é mais acinzentado e tem uma maior presença do conteúdo de matéria orgânica, indicando assim, uma perda de ferro. A curva formada pelo horizonte com o caráter coeso (Figura 4) tem um crescimento ascendente até próximo de 1000 nm, o que não apresenta as feições características da presença de óxidos.

Há presença de bandas de água (Figura 4), as quais se apresentam nas faixas de 1400 e 1900 nm, e essa água pode estar intercalada na estrutura dos minerais de argila. Além disso, a absorção que ocorre na faixa de 2200 nm indica a presença de minerais do tipo 1:1, e aquelas absorções que ocorrem nas faixas 1400 e 2200 nm podem, também, indicar a presença dos grupos OH e Al-OH nos seus minerais, o que é típico da caulinita e montmorilonita (HUNT & SALISBURG, 1970). Esses resultados são condizentes com aqueles encontrados por Moreau *et al.* (2006), uma vez que nos solos dos Tabuleiros Costeiros a fração argila é formada principalmente pela caulinita, tanto nos seus horizontes superficiais, quanto naqueles de maiores profundidades.

Figura 5. Curvas espectrais dos horizontes com e sem o caráter coeso estudados no Ceará.



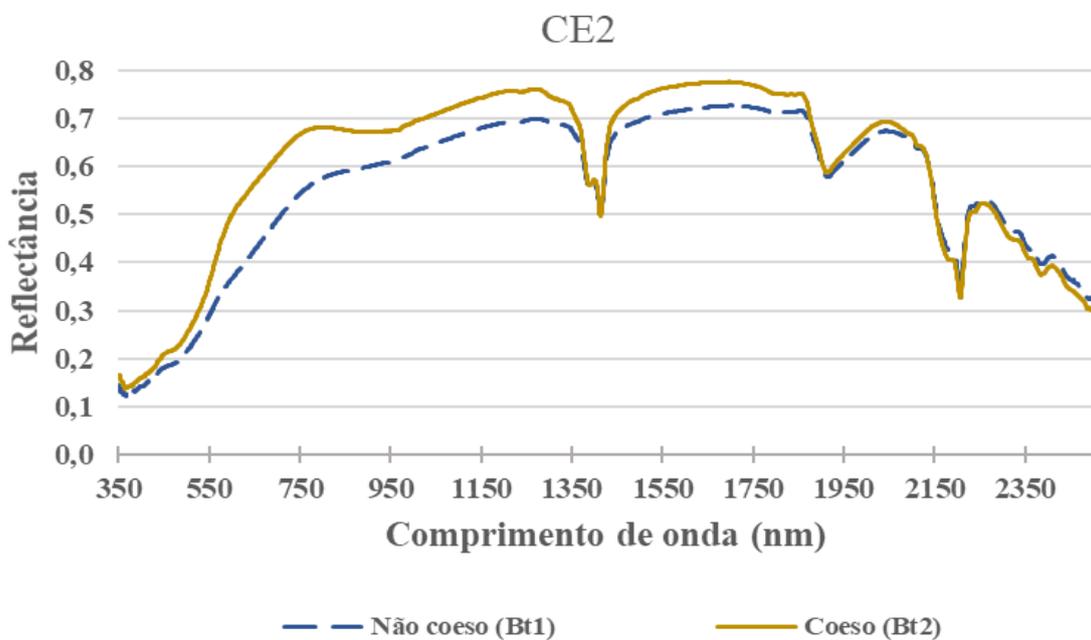
Fonte: Elaborada pela autora.

Ao observar o perfil referente a região do Ceará (CE1) (Figura 5), verifica-se que suas curvas espectrais, tanto do horizonte coeso (Bt1), quanto do que não possui o caráter coeso (BE), mostram feições semelhantes, como também uma alta reflectância. Segundo

Demattê *et al.* (2004), a faixa de atuação da matéria orgânica vai de 400 a 1200 nm, logo esse perfil apresenta pouca quantidade de matéria orgânica, pois o mesmo possui uma reflectância alta nessa faixa do espectro, a qual está relacionada com a maior porcentagem de areia desses horizontes.

Desta forma, aquelas amostras com horizontes nos quais apresentaram um maior teor de areia na sua composição, acabam obtendo um maior índice de reflectância, a qual se deve a grande presença de quartzo (WHITE *et al.*, 1997).

Figura 6. Curvas espectrais dos horizontes com e sem o caráter coeso estudados no Ceará.

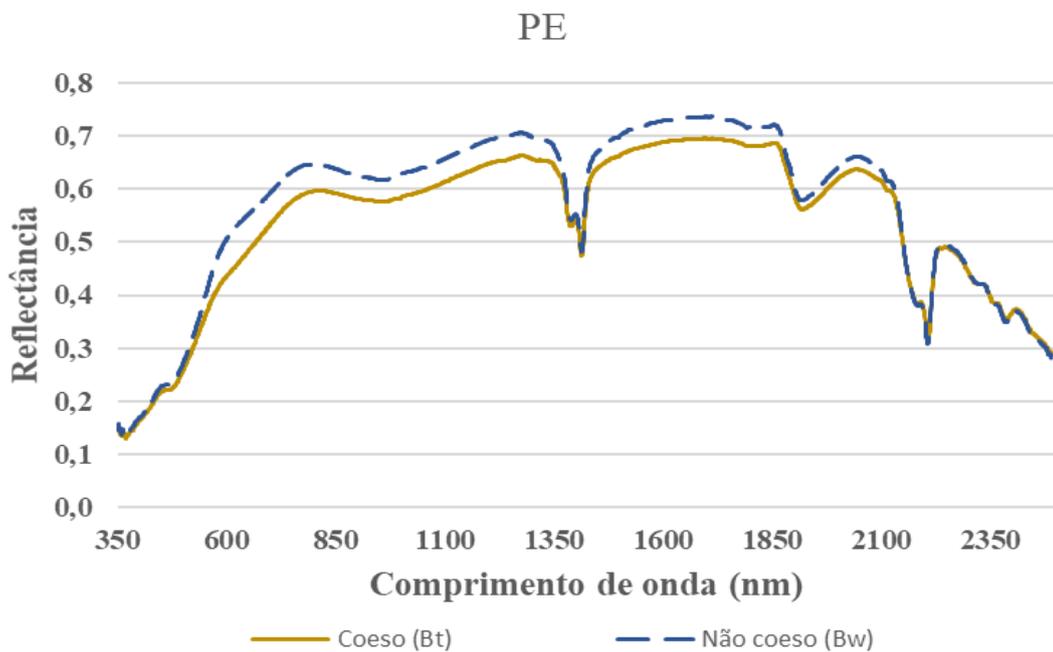


Fonte: Elaborada pela autora.

Observando o perfil de solo da região do Ceará (CE2) (Figura 6), nota-se uma diferença na intensidade de reflectância do solo com e sem o caráter coeso. O horizonte que possui o caráter coeso (Bt2) se sobressaiu aquele que não possui o caráter coeso (Bt1). Esse comportamento ocorreu mesmo que o perfil que não possui o caráter coeso tenha o maior teor de areia, podendo esse resultado ser justificado devido ao seu maior conteúdo de carbono orgânico total, uma vez que a matéria orgânica causa uma redução na intensidade de reflectância do solo, o que ocorre por causa da absorção de energia eletromagnética em toda sua faixa espectral (RIZZO *et al.*, 2021).

Com as mesmas feições dos demais perfis, esses horizontes também apresentaram a presença dos grupos OH, óxidos de ferro e caulinita (Figura 6). Contudo, por apresentar uma absorção na faixa 2380 nm (Figura 6) pode também conter a presença de gibbsita. A presença dos óxidos de ferro se dá pela formação de curvas de concavidade mais explícitas nas faixas de 590-800 nm (DEMATTE *et al.*, 2004).

Figura 7. Curvas espectrais de horizontes com e sem o caráter coeso estudados em Pernambuco.

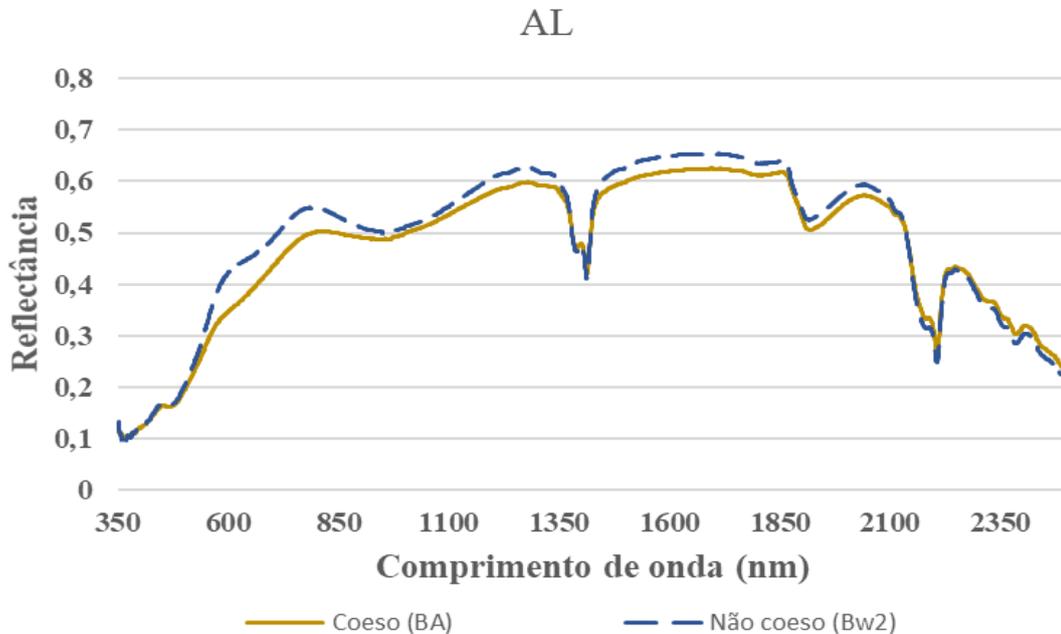


Fonte: Elaborada pela autora.

As intensidades de reflectância dos perfis de solos referentes ao estado de Pernambuco (Figura 7) apresentaram uma leve diferenciação, onde o horizonte sem o caráter coeso (Bw) obteve a maior intensidade, ao ser comparado com o coeso (Bt). Essa diferenciação pode estar ligada ao teor elevado de carbono orgânico total presente no perfil coeso, uma vez que possui ligação com a quantidade maior de matéria orgânica, fazendo assim com que haja uma menor reflectância.

Como os demais perfis de solos, também é notório a presença de absorções para grupo OH e caulinita, as quais ocorrem nas faixas de 1400, 1900 e 2200 nm (Figura 7). Além da curva de formato convexo, a qual está ligada às feições referentes a presença de óxidos, isto ocorre na faixa de 900 nm.

Figura 8. Curvas espectrais de horizontes com e sem o caráter coeso estudados em Alagoas.

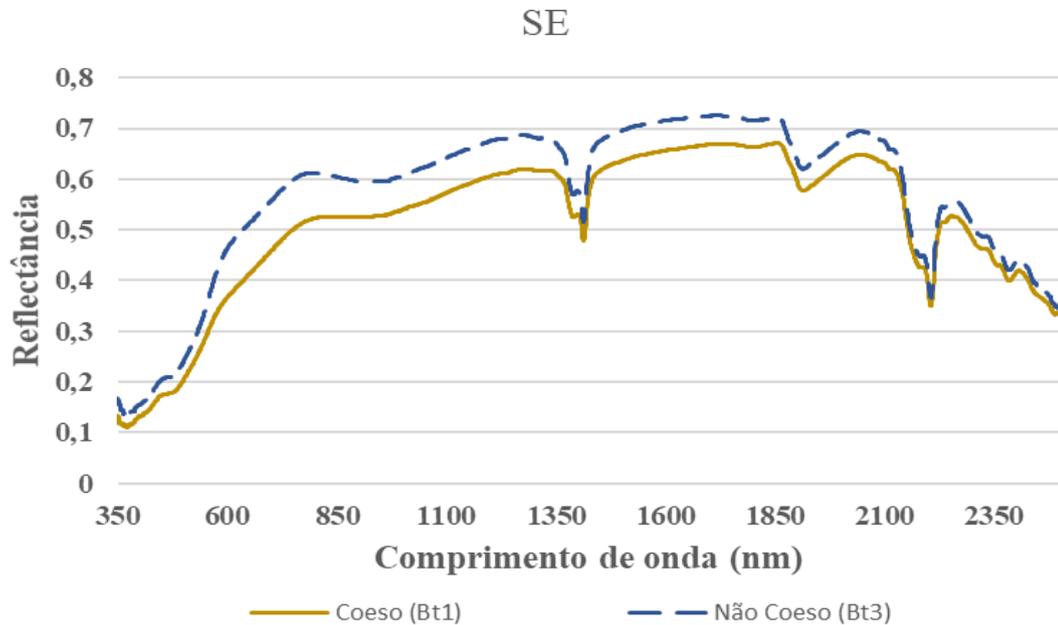


Fonte: Elaborada pela autora.

Os perfis de solo da região de Alagoas (Figura 8) também seguiram a mesma curvatura dos demais solos, mesmo se tratando de um Latossolo. Então, ambos os horizontes apresentaram comportamentos nas faixas de 600, 900, 1400, 1900 e 2200 nm como as outras amostras de solos, logo pode conter presença de óxidos de ferro, goethita, grupo OH e caulinita.

O perfil correspondente ao horizonte não coeso (Bw2) obteve uma classe textural do tipo argila (Tabela 3), isso poderia ter influenciado no seu índice de reflectância, contudo pode-se observar que as suas curvaturas se sobressaíram a do horizonte com o caráter coeso. Esse comportamento pode ser justificado pela quantidade de carbono orgânico total do seu horizonte BA, uma vez que foi o maior entre todos os perfis de solos (Tabela 5), o que resulta em uma menor reflectância (Figura 8).

Figura 9. Curvas espectrais de horizontes com e sem o caráter coeso estudados em Sergipe.



Fonte: Elaborada pela autora.

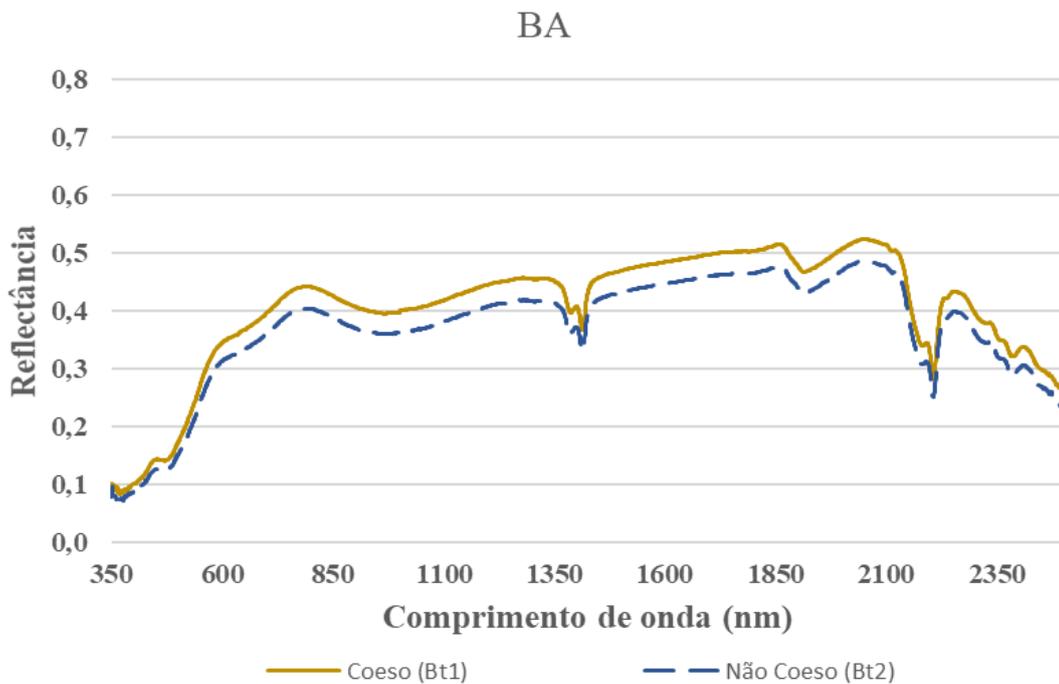
Os perfis de solos da região de Sergipe (Figura 9) também obtiveram feições para os grupos OH, caulinita, e presença de óxidos de ferro, além de apresentarem uma concavidade na faixa de 600 nm, que indica a presença de goethita (FANG *et al.*, 2018). Ao comparar ambos os horizontes, com (Bt1) e sem (Bt3) o caráter coeso, foi possível notar que aquele que não possui o caráter coeso obteve uma maior intensidade de reflectância, o que pode ser justificado pelo maior teor de carbono orgânico presente no horizonte com o caráter coeso.

Devido a classificação textural de ambos os solos do estado da Bahia (Figura 10), tanto o de caráter coeso, quanto o não coeso, apresentarem a textura argila, isso impacta diretamente na reflectância, pois ao se comparar com a textura arenosa tem uma redução na sua intensidade de reflectância. Esse comportamento ocorre devido a presença de uma maior agregação nos solos mais argilosos, os quais geram uma maior absorção da energia eletromagnética incidente (FRANCESCHINI, 2013).

Outro fator que contribuiu com a redução da intensidade de reflectância foram os valores baixos de carbono orgânico (Tabela 5). Comparado aos demais solos, o perfil da Bahia (Figura 10) também apresentou as absorções nas bandas de 1400, 1900 e 2200 nm, os quais são indicativos para a presença de água, grupos OH e Al-OH e argilominerais do tipo

1:1 (DEMATTE *et al.*, 2012), contudo não possui a mesma intensidade que os demais solos apresentaram.

Figura 10. Curvas espectrais de horizontes com e sem o caráter coeso estudados na Bahia.



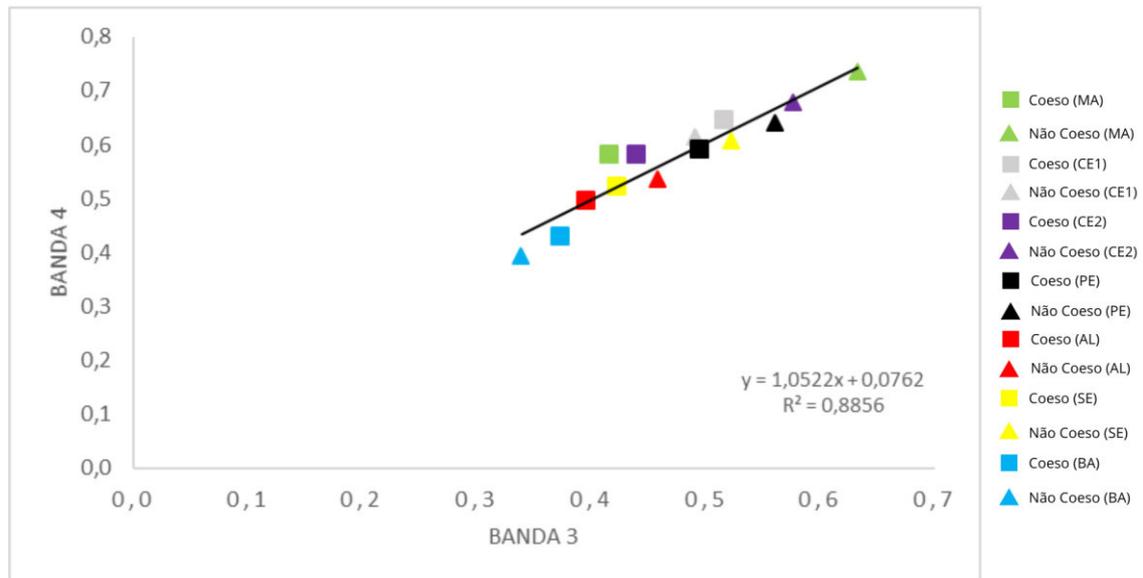
Fonte: Elaborada pela autora.

Além disso, a quantidade de matéria orgânica, também, poderia contribuir para a sua baixa reflectância, uma vez que quanto maior for o teor de matéria orgânica presente no solo, menor vai ser o seu índice de reflectância (DALMOLIN, 2002), logo, olhando para as faixas de 400-1200 nm, as quais são de atuação da matéria orgânica (DEMATTE *et al.*, 2004), pode-se notar que houve uma baixa incidência (Figura 10), evidenciando que esse solo pode conter uma presença considerável de matéria orgânica.

4.3.1 Linha do Solo

Com os resultados dos dados espectrais, os quais foram realizados em laboratório, foi possível obter a linha do solo (Figura 11), a qual foi obtida através das faixas espectrais correspondentes às bandas 3 e 4. Logo, o gráfico tem como função mostrar a correlação de ambas as bandas para os solos com e sem o caráter coeso.

Figura 11. Linha do solo das amostras de horizontes com e sem o caráter coeso obtida pela relação da reflectância entre as bandas 3 e 4.



Fonte: Elaborada pela autora.

É possível observar que os valores obtidos deram próximos a linha de referência (Figura 11), o que segundo Huete *et al.* (2002) é considerado uma correlação do tipo perfeita. Contudo, esse resultado pode ser justificado devido essas bandas terem sido retiradas de amostras exclusivamente de solos, sem haver interferência de vegetação (CHICATI, 2013).

Além disso, outro fator que reforça o que foi dito anteriormente, é o valor de R^2 da equação de tendência, uma vez que possui o valor próximo de 1,0, isto é, há baixa dispersão dos dados, ocorrendo um alinhamento (NANNI E DEMATTÊ, 2006).

Aqueles solos que se encontram afastados da interseção dos eixos x e y, estão agrupados, uma vez que eles possuem características voltadas para a textura arenosa e baixos teores de Fe total, sendo estes resultados confirmado por outros autores (GALVÃO & VITORELLO (1998) e DEMATTÊ (1999)).

Ao observar a distribuição dos dados ao longo da linha de referência é possível notar que aqueles que estão indo em direção ao topo têm um maior índice de reflectância, comparados aqueles que estão indo em direção a sua base. Logo, a reflectância que ocorre ao longo dessa linha possui influência direta da matéria orgânica (MO), óxidos de Fe e umidade (GALVÃO & VITORELLO, 1998).

Ao olhar para a figura 11, nota-se que ambos os solos da região da Bahia, a qual está em destaque na cor azul, apresentaram-se dispostos na base da linha de referência, comportamento este baseado na textura argilosa (Tabela 3) que ambas as amostras possuem, logo refere-se a sua baixa intensidade, confirmando assim o que foi dito por Franceschini (2013), que ocorre uma maior agregação nos solos argilosos, gerando uma maior absorção da energia eletromagnética incidente.

Outro ponto a ser observado são as amostras de solos referentes à região do Maranhão, onde houve um distanciamento entre o seu solo que possui o caráter coeso daquele que não o possui. Este comportamento pode ser justificado pela descrição do solo, uma vez que aquele horizonte com o caráter coeso foi descrito como bruno quando úmido e cinzento-brunado-claro quando seco, isso pode influenciar na intensidade de reflectância, pois por ser um solo mais acinzentado pode conter uma maior presença de matéria orgânica, justificando a sua posição mais abaixo.

Os solos da região de Sergipe (representados pela coloração amarelo) confirmaram os dados obtidos na análise espectral (Figura 9), isto é, o solo que não possui o caráter coeso apresentou uma maior intensidade de reflectância em comparação com aquele que é coeso. Esse resultado ocorre devido a maior presença de carbono orgânico (Tabela 5) encontrado na amostra de solo que possui o caráter coeso. O mesmo ocorre nos solos do estado de Alagoas e Pernambuco, em que as amostras que não possuem o caráter coeso se sobressaem aquelas que os possuem.

No geral, pode-se observar que os solos com o caráter coeso diferenciam-se daqueles não coeso, ocasionando uma tendência de alguns estarem mais acima e outros mais abaixo ao longo da linha de referência.

4 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos nas análises de granulometria e fracionamento da areia, pode-se concluir que na primeira análise, predominantemente, as amostras de solos coletadas, com e sem o caráter coeso, obtiveram a textura franco-argilo-arenosa, logo, a coesão presente nesses solos não dependem apenas do teor de areia nos mesmos. Além disso, a segunda análise demonstrou, em sua grande maioria, o grau de seleção das areias para o moderadamente selecionado em ambos os horizontes, indicando assim, que a utilização apenas desses parâmetros não foram suficientes para determinar o surgimento do solo com o caráter coeso.

Ao serem realizadas as análises químicas foi possível obter resultados condizentes com os solos das regiões dos Tabuleiros Costeiros, uma vez que ambos os horizontes, com e sem o caráter coeso, demonstraram valores baixos para a CTC, saturação por bases e fósforo, o que está diretamente ligado à sua fertilidade natural baixa.

Desta forma, com a realização da análise de espectroscopia de reflectância, foi possível identificar diferenças entre as amostras de solos, com e sem o caráter coeso, através do comportamento das suas curvas espectrais. Logo, houveram diferenciação nas intensidades de reflectância de ambos os horizontes das amostras analisadas, o que variaram conforme as suas texturas e quantidade de matéria orgânica. O mesmo foi confirmado ao realizar a linha do solo, a qual tem influência direta da matéria orgânica, óxidos de ferro e umidade presentes nesses solos.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; MELLO, J. W. V.; NEVES, J. C. L. Distribuição de frequência de tamanho da fração areia e compactidade relativa de solos desenvolvidos de sedimentos do grupo geológico Barreiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p.1-9, 1998.
- ANDRONIKOV, V. L.; DOBROLVSHIY, G. V.; Theory and methods for the use of remote sensing in the study of soils. **Mapp Sci Rem Sens**. 1991;28:92-101.
- ARAÚJO, A. M. S. S.; **Granulometria de solos: horizontes com caráter coeso e sua resistência tênsil. Dissertação** (Mestrado em Agronomia - Caracterização, gênese e pedologia aplicada) Universidade Federal do Ceará, 2017.
- BARET, F.; JACQUEMOUD, S. & HANOCQ, J.F.; The soil line concept in remote sensing. **Remote Sens. Environ.**, 7:1-18, 1993.
- BEZERRA, C. E. E.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E.; MOTA, J. C. A.; VIEIRA, J. M.; DUARTE, L. R. S.; COOPER, M.; Genesis of cohesive soil horizons from north-east Brazil: role of argilluviation and sorting of sand. **Soil Research**, [S.I.], v. 53, p. 43-55, 2014.
- BROWN, D. J.; SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G.; MAYS, M. D.; REINSCH, T. G.; Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v.132, p. 273-290, 2006.
- CAMARGO, O. A; MONIZ, A. C; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S.; **Métodos de análise química, mineralógica e física dos solos do IAC**. Campinas, Instituto Agrônômico. 2009. 77 p. (Boletim técnico 106, edição revisada e atualizada).
- CHANG, C.; LAIRD, D. A.; MAUSBACH, M. J.; HURBURGH C. R. J.; Near-infrared reflectance spectroscopy principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.480-490, 2001.
- CHICATI, M. L.; et al.; Modelagem de um complexo de inundação por meio de sistema de informa es geográficas. **Bragantia**, v. 69, n 02, p.485-491, 2010.
- CHICATI, M. L.; NANNI, M. R.; C ZAR, E.; OLIVEIRA, R. B.; DEMATTÊ, J. A. M.; Análise comparativa da determina o da “linha do solo” em área de várzea nos níveis orbital e laboratorial. **Anais XVI simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, Foz do Iguaçu, 2013.
- CLARK, R. N.; ROUSH, T. L.; Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 89, p. 6329-6340, 1984.
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, M. & TORRES, T. C. P.; Caracteriza o física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:297-313, 2008.

- DALMOLIN, R. D. S.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D.P.; Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.481-489, mar-abr, 2005.
- DALMOLIN, R. S. D.; **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes**. (Tese de Doutorado), Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 151p.
- DEMATTE, J. A. M., et al., The Brazilian Soil Spectral Library (BSSL): A general view, application and challenges, **Geoderma**, vol. 354, 2019.
- DEMATTE, J. A. M.; ARAÚJO, S. R.; FIORIO, P. R.; FONGARO, C. T.; NANNI, M. R.; Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma topossequência em Piracicaba (SP). **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 679–688, 2015.
- DEMATTE, J. A. M.; EPIPHANIO, J. C. N. & FORMAGGIO, A. R.; Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. **Bragantia**, 62:451-464, 2003.
- DEMATTE, J. A. M.; GENÚ, A. M.; FIORIO, P. R.; ORTIZ, J. L.; MAZZA, J. A.; LEONARDO, H. C. L.; Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamento remoto espectral e pelo método convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.12, p.1219-1229, dez. 2004.
- DEMATTE, J. A. M.; MORGAN, C.; CHABRILLAT, S.; RIZZO, R.; FRANCESCHINI, M.; TERRA, F. DA S.; VASQUES, G.; WETTERLIND, J.; Spectral sensing from ground to space in soil science: State of the art, applications, potential and perspectives. In: THENKABAIL, P. S. **Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing**. CRC Press, 2015. p. 647-708.
- DEMATTE, J. A. M.; NANNI, M. R.; Effect of fermentation residue on the spectral reflectance properties of soil. **Geoderma**, v.120, p.187-200, 2004.
- DEMATTE, J. A. M.; **Reflectância espectral de solos**. (Tese de Livre Docência) Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1999. 451p.
- DEMATTE, J. A. M.; VASQUES, G. M.; CORRÊA, E. A.; ARRUDA, G. P.; Fotopedologia, espectroscopia e sistema de informação geográfica na caracterização de solos desenvolvidos do Grupo Barreiras no Amapá. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3,p.438-446, 2012.
- DRURY, S. A.; **Image interpretation in geology**. 3.ed. Cheltenham, Nelson Thornes, 2001. 290p.
- DUNN, B. W.; BEECHER, H. G.; BATTEN, G. D. & CIAVARELLA, S.; The potencial of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis - a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. **Austr. J. Exper. Agric.**, 42:607-614, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017. 574p.
- EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.; VALERIANO, M.; OLIVEIRA, J. B.; Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. São José dos Campos: **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 1992. 132 p.

- FANG, Q.; HONG, H.; ZHAO, L.; KUKOLICH, S.; YIN, K.; WANG, C.; Visible and nearinfrared reflectance spectroscopy for investigating soil mineralogy: a review. **Journal of Spectroscopy**. v. 2018, p. 1-14, 2018.
- FEITOSA, P. B.; **Caracterização Espectral dos Solos da Fazenda Vale do Curu**, 2019. 62f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- FOLK, R. L.; WARD, W. C.; Brazos river bar: A study on the significance of grain-size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 3-26, 1957.
- FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D.; **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 288p.
- FRANCESCHINI, M. H.; Abordagens semiquantitativa e quantitativa na avaliação da textura do solo por espectroscopia de reflectância bidirecional no VIS-NIR-SWIR. **Solos, Pesquisa Agropecuária Brasileira** 48 (12), Dez 2013.
- GALVÃO, L. S. & VITORELLO, Í.; Variability of laboratory measured soil lines of soil from southeastern Brazil. **Remote Sens. Environ.**, 6:166-181, 1998.
- GALVÃO, L.S.; VITORELLO, Í. & PARADELLA, W.; Spectrodadiometric discrimination of laterites with principal components analysis and additive modeling. **Remote Sens. Environ.**, 53:70-75, 1995.
- GIAROLA, N. F. B. & SILVA, A. P.; Conceitos sobre coesos e *hardsetting*. **Scientia Agrícola**, v.59, 613-620, 2002.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. da.; TORMENA, C.; SOUZA, L. da S.; RIBEIRO, L. da P.; Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento *hardsetting*: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.239-247, 2001.
- HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. Orlando, **Academic Press**, 1980. 413p.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G.; **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation in remote sensing of environment**, vol. 83, 2002.
- HUMMEL, J. W.; SUDDUTH, K. A. & HOLLINGER, S. E.; Soil moisture and organic matter prediction of surface and subsurface soils using an NIR soil sensor. **Computers Electr. Agric.**, 32:149-165, 2001.
- HUNT, G. R. and Salisbury, J. W. (1970) Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks—I. Silicate Minerals. **Modern Geology**, 1, 283.
- JACOMINE, P. K. T.; Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: NOGUEIRA, L.R.Q. & NOGUEIRA, L.C., eds. **Reunião técnica sobre solos coesos dos tabuleiros costeiros**, Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p.13- 26.
- JACOMINE, P. K. T.; Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil In: **Workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros**, 2001, Aracaju. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 19-46.

- JACOMINE, P. K. T.; Origem e evolução dos conceitos e definições de atributos, horizontes diagnósticos e das classes de solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M. & SILVA, A.P., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v.4, p.193-231.
- JONG, V. L. Q.; VIDAL, T. P.; PHI: Programa de microcomputador para análise estatística da granulometria de sedimentos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 277-281, 1992.
- LEE, W. S.; SANCHEZ, T. F.; MYLAVARAPU, R. S.; CHOE, J. S.; Estimating chemical properties of florida soils using spectral reflectance. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.46, p.1443-1453, 2003.
- LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; FILHO, J. C. A.; LIMA, J. F. W. F.; Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de latossolos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, 2010.
- LIMA, H. V.; Identificação e Caracterização de Solos Coesos no Estado do Ceará. Gênese, morfologia e classificação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28 (3), junho, 2004.
- LOPES, A. S.; **Manual da fertilidade do solo**. São Paulo, ANDA/ POTAFOS, 1989. 155p
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S.; **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 2005. 107 p.
- MENESES, P. R. & MADEIRA NETTO, J. S.; orgs. **Sensoriamento remoto: Reflectância dos alvos naturais**. Brasília, UnB/Embrapa Cerrados, 2001. 262p.
- MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C.; Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v.21, p.467-469, 1998.
- MOREAU, A. M. S. S.; COSTA, L. M. da.; KER, J. C.; GOMES, F. H.; Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1021-1030, 2006.
- MOREIRA, M. A.; **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. Ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 422 p.
- MOUAZEN, A.M.; MALEKI, M.R.; DE BAERDEMAEKER, J.; RAMON, H.; On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. **Soil and Tillage Research**, v.93, p.13-27, 2007.
- NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; Spectral Reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 2, p. 393–407, 2006.
- NANNI, M. R.; e DEMATTÊ, J. A. M.; Comportamento da linha do solo obtida por espectrorradiometria laboratorial para diferentes classes de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:1031-1038, 2006.

NOVO, E.; **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 293 p.

PACHECO, A. P.; FREIRE, N. C. F.; BORGES, U. N.; Uma contribuição do sensoriamento remoto para detecção de áreas degradadas na caatinga brasileira. **Boletim Goiano de Geografia**. V. 26, n.1, p. 50-68, 2006.

PAIVA, A. Q.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, A. C. & COSTA, L. M.; Propriedades físico-hídricas de solos de uma toposequência de tabuleiro do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35:2295-2302, 2000.

RIBEIRO, L. P.; Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: **Workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros**, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.93- 121.

RIBEIRO, S. G.; **Espectroscopia de reflectância na avaliação do carbono orgânico em solos do Semiárido. Dissertação** (Mestrado em Ciências do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 128p. 2021.

RIZZO, R.; MENDES, W. de S.; SILVERO, N. E. Q.; DOTTO, A. C.; SANTOS, N. V.; BONFATTI, B. R.; POPPIEL, R. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; Point and Imaging Spectroscopy in Geospatial Analysis of Soils. In: MITRAN, T.; MEENA, R.S.; CHAKRABORTY, A.; **Geospatial Technologies for Crops and Soils**. Springer Singapore, 2021. p. 277-317.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F.; **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, S. M. B.; ROCHA, W. J. S. F.; Biblioteca espectral de solos em uma área no município de Mucugê – Ba. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G.; Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 988-998, 2002.

SILVA, A. J. N.; & RIBEIRO, M. R.; Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: Propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 22:291-299, 1998.

SILVA, C. P.; **Gênese do Caráter Coeso: Relação da Resistência Tênsil com Atributos Físicos e Químicos do Solo**. Tese (Doutorado em Ciências do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 67p.2019.

SOUZA JUNIOR, J. G.; DEMATTÊ, J. A. M. & ARAÚJO S. R.; Modelos espectrais terrestres e orbitais na determinação de teores de atributos dos solos: Potencial e custos. **Bragantia**, 70:610-621, 2011.

SOUZA, L. D. & SOUZA, L. S.; **Irrigação nos Tabuleiros Costeiros no Nordeste do Brasil. Portal do Agronegócio**. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br>>. Acesso em: 06 out. 2012.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, A. C. V. & RIBEIRO, L. S.; Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 32:503-513, 2008.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, A. C. V. & RIBEIRO, L. S.; Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:503-513, 2008.

WHITE, K.; WALDEN, J.; DRAKE, N.; ECKARDT, F. & SETTLE, J.; Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper Data. **Remote Sens. Environ.**, 62:30-39, 1997.