



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM  
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE/ PRODEMA**



**ANY GRAZIELLA DE SENA**

**ESTIMATIVA DA UMIDADE E COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS EM  
ÁREAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Recife  
2019

**ANY GRAZIELLA DE SENA**

**ESTIMATIVA DA UMIDADE E COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS EM  
ÁREAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Área de concentração:** Gestão e políticas ambientais

**Orientada:** Profa. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo

Recife

2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Valdicéa Alves Silva CRB4/1260

S474e Sena, Any Graziella de .  
Estimativa da umidade e comportamento espectral de solos em áreas de produção agrícola do semiárido pernambucano / Any Graziella de Sena . – 2019.  
100f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Socorro Bezerra de Araújo.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.  
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2019.  
Inclui referências e apêndice.

1. Meio ambiente. 2. Solos – Umidade – Medição. 3. Solos – Produtividade. 4. Sensoriamento remoto. 5. Análise espectral. I. Araújo, Maria do Socorro Bezerra de (Orientadora). II. Título

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2020-034)

**ANY GRAZIELLA DE SENA**

**ESTIMATIVA DA UMIDADE E COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS EM  
ÁREAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 06/08/2019

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dra. Manuella Viera Barbosa Neto (Avaliador externo)  
Instituto Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Ygor Cristiano Brito Morais (Avaliador externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Rodrigo Queiroga Miranda (Avaliador externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

À Lauro Soares Liberato, *in memória*.

Aos meus pais Sr. Gilson e Sra. Vera Sena

Ao meu amado, Raul Ummen.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Ao Bom Deus pelo dom da vida e por conduzir meus passos até aqui, sei que tudo é permissão Dele.

Ao programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento – PRODEMA.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

A minha orientadora, Professora Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo, por aceitar e compartilhar de seu conhecimento na construção desta Dissertação. Minha gratidão, por toda paciência e dedicação.

Ao professor Dr. Marcelo Metri Corrêa da Universidade Federal Rural de Pernambuco, alocado na Unidade Acadêmica de Garanhuns pela coorientação de grande importância nesta fase.

Aos laboratórios de Análises GEOAMBIENTAL e ao laboratório de pesquisa de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO), ambos da Universidade Federal de Pernambuco. Ao Laboratório de Solos e Geologia da UFRPE- UAG, pela estrutura e apoio na realização da coleta e análise física dos solos.

A Professora Dra. Magna Soelma, da EMBRAPA- Semiárido, e aos bolsistas do laboratório de Agrometeorologia, Clóves Vilas boas, Érica, Joabe, Marcelo e Mayara, por todo suporte e apoio dado na fase de coleta espectral.

Aos colegas Tarciso Felix, Analice Nunes e Kerol Freire pelo apoio imprescindível na realização das coletas de campo e análises laboratorial e também pelo laço que foi criado, meu carinho e gratidão.

Ao professor Dr. Brivaldo, aos colegas Neura e Eudes, por compartilhar de seus conhecimentos de forma tão humana e leve, e pelo auxílio dado durante as análises no laboratório de física dos solos na UFRPE.

A Pedro Ferreira e Viviane Gomes por todo apoio e orientação dada em toda minha vida acadêmica, meus Coach Science. Aos colegas do SERGEO por todas as trocas de saberes, Rodrigo Queiroga, Ygor Cristiano, Henrique Ferreira, Pedro Paulo e Elise especialmente, por encarar de forma leve a árdua missão de auxiliar uma mestranda.

Aos colegas da turma de Mestrados- PRODEMA 2017, por compartilhar saberes, lutas e sorrisos. Em especial a Rennyse, Helton e Sandra por muito me ensinar sobre a vida. Somos gigantes.

Aos amigos que de alguma forma estiveram ao meu lado nesta caminhada, em especial a Glauce Dias, Lucas Cardoso, Áurea Mesquita, Álvaro Santana, Juliana Duarte, Jaqueline Gomes, Mical Liberato e Rodrigo Venâncio, por compartilhar saberes, experiências e sorrisos, cada um a seu modo, muito obrigada.

A Edna Mendes e família pelo apoio e carinho a mim dispensado, durante minha estadia em Garanhuns.

Ao meu amado, Raul Ummen pelo cuidado, companheirismo e paciência. Obrigada por cada “Não desista”, “Não será em vão”, “Deus está vendo seu esforço”. Obrigada por suportar as crises e não largar minha mão.

E por fim e não menos importante, aos meus pais, Srs. Gilson e Vera pelo amor incondicional, por caminhar ao meu lado independente de minhas escolhas e por suas incansáveis orações, sei que Deus tem nos honrado. Obrigada pelo colo quando chorei, pelos estímulos quando desanimei e pelo café no meio da noite, quando foquei. Amo vocês.

A todos, minha eterna gratidão.

Se temos de esperar, que seja para colher a semente boa que lançamos hoje no solo da vida. Se for para semear, então que seja para produzir milhões de sorrisos, de solidariedade e amizade.  
(CORA CORALINA; 1985)

## RESUMO

As relações existentes entre solo, água e planta são de fundamental importância para o desenvolvimento dos ciclos biofísicos de ambientes terrestres, assim como para a prática da agricultura. A determinação do conteúdo de água no solo é crucial para o desenvolvimento agrícola, principalmente no semiárido brasileiro, onde predominam a prática da agricultura de sequeiro. As chuvas são escassas com distribuição heterogênea, no espaço e no tempo. A dissertação ora apresentada, tem como objetivo estimar a umidade superficial do solo e o seu comportamento espectral em diferentes níveis de umidade em áreas de produção agrícola do semiárido. Para isto, foram utilizados como objeto de estudo solos dos municípios pernambucanos de Garanhuns, Lajedo, São João, Paratama e Brejão ambos localizados no Agreste setentrional. Inicialmente foram feitas análises físicas nas amostras coletadas em campo para obtenção de informações granulométricas, densidade e porosidade dos solos, assim como a análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) por Sensoriamento Remoto, com o objetivo de fomentar a discussão e interpretação dos espectros dos solos, posteriormente foram coletadas as assinaturas espectrais na região do infravermelho VIS/NIR. O primeiro resultado obtido foi a elaboração da biblioteca espectral dos solos em diferentes níveis de umidade. Em seguida foi feita análise do comportamento espectrais dos solos e gerado o Índice de umidade do solo Normalizado (NSMI), estes dados foram correlacionados estatisticamente. Como resultado inicial tem-se uma Biblioteca Espectral (BE), constituída de 600 assinaturas espectrais de solos em diferentes condições de umidade. Todos padrões espectrais obtidos apresentaram as bandas de maior absorção nos intervalos de 1300 – 1500 e 1850 – 2100nm. O comportamento das curvas não apresenta distorções quando comparadas as análises entre amostras de profundidades distintas em nenhuma das classes de solos. O fator de reflectância dos Neossolos foi, significativamente, maior que os fatores apresentados pelos Latossolos e Argissolos. O coeficiente de Determinação indicou novas bandas para obtenção do Índice de Umidade do Solo Normalizado (NMSI), por apresentarem maior sensibilidade a presença de hidroxilas. Foi possível concluir que com o aumento da umidade do solo, há uma significativa redução dos valores de reflectância, assim como a forte presença de areia e argila influenciam diretamente no comportamento espectral dos solos no VIS-NIR.

Palavras-chave: Água no solo. Análise espectral. Biblioteca espectral.

## ABSTRACT

The relationships between soil, water and plant are of fundamental importance for the development of biophysical cycles of terrestrial environments, as well as for the practice of agriculture. Determination of soil water content is crucial for agricultural development, especially in the Brazilian semi-arid region, where rainfed agriculture is predominant and rainfall is scarce with heterogeneous distribution in space and time. The present dissertation aims to estimate the soil surface moisture and its spectral behavior at different moisture levels in semiarid agricultural production areas. For this purpose, soils from the municipalities of Garanhuns, Lajedo, Sao Joao, Paranatama and Brejão were located in the northern Agreste. Initially, physical analyzes were performed on the field samples to obtain granulometric information, soil density and porosity, as well as the Remote Sensing Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis, with the purpose of encouraging discussion and interpretation of the soil. Soil spectra were subsequently collected by spectral signatures in the infrared VIS / NIR region. The first result obtained was the elaboration of the spectral library of soils at different moisture levels. Then, the soil spectral behavior analysis was performed and the Normalized Soil Moisture Index (NSMI) was generated. These data were statistically correlated. As an initial result there is a Spectral Library (BE), consisting of 600 spectral signatures of soils under different humidity conditions. All spectral patterns obtained presented the bands of higher absorption in the ranges of 1300 - 1500 and 1850 - 2100nm. The behavior of the curves shows no distortion when comparing analyzes between samples of different depths in none of the soil classes. The reflectance factor of the Oxisols was significantly higher than the factors presented by Oxisols and Argisols. The Determination coefficient indicated new bands to obtain the Normalized Soil Moisture Index (NMSI), as they present higher sensitivity to the presence of hydroxyls. It was concluded that with increasing soil moisture there is a significant reduction in reflectance values, as well as the strong presence of sand and clay directly influence the spectral behavior of soils in VIS-NIR.

**Keywords:** Soil moisture. Spectral analysis. Spectral library.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização geográfica da área de estudo no Agreste pernambucano.	31
Figura 2 -	Distribuição das classes de solos e dos pontos de coleta área de estudo.	33
Figura 3 -	Culturas desenvolvidas nos pontos de coletas.	34
Figura 4 -	Arranjo do espectrômetro FIT-NIR ASD.	37
Figura 5 -	Amostras de solo em placa de petri com diferentes níveis de água. (1) Amostra com 1ml de água. (2) Amostra com 3ml de água l. (3) Amostra com 5ml de água. (4) Amostras em ponto de saturação.	38
Figura 6 -	Amostras e curva espectral de um Argissolo Amarelo, com amostra seca ao ar.	39
Figura 7 -	Amostras e curva espectral de um Argissolo Amarelo, em ponto de Saturação após adição de 10ml de água	39
Figura 8 -	Espectros VIS/NIR do Argissolo Amarelos (08) de 0-10cm e 10-20cm, em diferentes tratamentos	41
Figura 9 -	Espectros VIS/NIR do Latossolo Amarelos (07) de duas profundidades.	42
Figura 10 -	Inclinação das curvas espectrais do Neossolo Regolítico (01).	43
Figura 11 -	Picos e degraus no comportamento espectral do Neossolo Regolítico 01.	44
Figura 12 -	Influência da água no comportamento espectral do Argissolo Amarelo 08 de textura arenosa e do Argissolo Amarelo 10 de textura Franco Arenoso	45
Figura 13 -	Influência da água no comportamento espectral dos Latossolos Amarelo 07 e 18.	47
Figura 14 -	Influência da água no comportamento espectral dos Neossolos Regolítico 01 e 12.	48
Figura 15 -	Análise do Coeficiente de Determinação dos Comprimentos de onda.	49
Figura 16 -	Espectros do Argissolo Amarelos (10) de textura Franco Arenoso. Recorte das bandas 1800-2119 nm.	51
Figura 17 -	Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI) do Argissolo Amarelo10, em diferentes profundidades e tratamentos.	51
Figura 18 -	Espectros do Latossolo Amarelos Franco Argilo Arenoso (18). Recorte das bandas 1800-2119 nm.	52
Figura 19 -	Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI) do Latossolo Amarelo 18, em diferentes profundidades e tratamentos.	52

Figura 20 -	Espectros do Neossolo Regolítico 25 de textura Arenosa. Recorte das bandas 1800-2119nm .	53
Figura 21 -	Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI) do Neossolo Regolítico 25, em diferentes profundidades e tratamentos.	53
Figura 22 -	Curva do Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI) de amostras em diferentes texturas (0-10cm), obtido por diferentes tratamentos.	54
Figura 23 -	Curva do Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI) de amostras em diferentes texturas (10-20cm), obtido por diferentes tratamentos.	54
Figura 24 -	Índice de Umidade do Solo Normalizado – NSMI da área de estudo.	56
Figura 25 -	Índice de Vegetação Normalizado (NDVI) da área de estudo.	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Caracterização dos solos da área de estudo conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS. (Embrapa,2018).	29
Tabela 2 -	Protocolo de leitura de amostras úmidas, adaptado de Younes e Iqbal (2015).	38
Tabela 3 -	Análise Física dos Argissolos Amarelos 08 e 10.	46
Tabela 4 -	Análise Física dos Latossolos Amarelos 07 e 18.	47
Tabela 5 -	Análise Física dos Neossolo Regolítico 01 e 12	49
Tabela 6 -	Bandas com coeficiente de Determinação maior que 0.8.	50
Tabela 7 -	Peso das amostras em diferentes condições de secagem.	55
Tabela 8 -	Peso das amostras em diferentes níveis de umidade.	55
Tabela 9 -	NSMI de Argissolos Amarelos de diferentes texturas.	57
Tabela 10 -	NSMI de diferentes solos com texturas variadas.	58
Tabela 11 -	Matriz de Correlação entre atributos físicos dos solos, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI).	61

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BE	Biblioteca Espectral.
NSMI	Índice de Umidade do Solo Normalizado.
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.
REM	Energia Eletromagnética Refletida.
SR	Sensoriamento Remoto.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	HIPÓTESE .....	18
1.2	OBJETIVO GERAL.....	18
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2.1	RELAÇÃO ÁGUA-SOLO-PLANTA.....	19
2.2	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO .....	20
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO E ESPECTROSCOPIA INFRAVERMELHO.....	21
2.4	COMPORTAMENTO ESPECTRAL E BIBLIOTECA ESPECTRAL .....	23
2.5	ESPECTRORADIOMETRIA APLICADA A ANÁLISE DE UMIDADE DO SOLO.....	25
2.6	ÍNDICE DE UMIDADE DO SOLO NORMALIZADO – NSMI.....	27
2.7	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADO – NDVI.....	28
2.8	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE SOLOS .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	33
<b>3.2.1</b>	<b>Coleta e amostragem dos solos.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Análise granulométrica.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Densidade do solo e porosidade total .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Obtenção do Índice de Vegetação Normalizado (NDVI) .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Elaboração de uma biblioteca espectral VIS/NIR.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Protocolo para leitura de amostras úmidas.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.7</b>	<b>Obtenção do Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI).....</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
4.1	BIBLIOTECA ESPECTRAL NA FAIXA DO VIS/NIR DE SOLOS EM DIFERENTES NÍVEIS DE UMIDADE.....	41
4.2	INFLUÊNCIA DA UMIDADE SUPERFICIAL E DA GRANULOMETRIA NO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS SOLOS DA ÁREA ESTUDADA.....	45
<b>4.2.1</b>	<b>Comportamento espectral dos Argissolos Amarelo.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Comportamento espectral dos Latossolos Amarelos.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Comportamento espectral dos Neossolos Regolítico.....</b>	<b>48</b>

4.3	ÍNDICE DE UMIDADE DO SOLO NORMALIZADO (NSMI) .....	50
<b>4.3.1</b>	<b>Espacialização do Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI).....</b>	<b>56</b>
4.4	ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADO (NDVI) .....	58
4.5	CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE UMIDADE DO SOLO NORMALIZADO (NSMI), ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADO (NDVI) E A GRANULOMETRIA DOS SOLOS.....	60
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	
	<b>APÊNDICE - A ANÁLISE FÍSICA DOS SOLOS .....</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE – B PESO DAS AMOSTRAS EM DIFERENTES TRATAMENTOS.....</b>	<b>75</b>
	<b>APÊNDICE - C RELAÇÃO ENTRE PESOS E ADIÇÃO DE ÁGUA DURANTE AS LEITURAS ESPECTRAIS.....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE D- COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS SOLOS.....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O conteúdo de água no solo é um importante fator no desenvolvimento das atividades agrícolas (WHITE, 2005), pois atua como nutriente e serve como solvente para outros nutrientes, impactando fortemente no crescimento das plantas, evaporação e decomposição microbiológica da matéria orgânica do solo, como também na troca de calor (EMBRAPA, 2012; ANSARI e DESHMUKH, 2017). O teor de umidade nas camadas superficiais do solo é um parâmetro vital para a manutenção dos sistemas ambientais e possui muitas aplicações em hidrologia, geotecnia, agricultura e meteorologia (EMBRAPA, 2012).

Dentre os fatores que influenciam o teor de umidade no solo, deve-se destacar as características pedológicas (DORIGO et al., 2015), principalmente a granulometria e a porosidade (FERRARESI et al., 2012; EMBRAPA, 2012; ANSARI e DESHMUKH, 2017), assim como a cobertura vegetal (ZUCCO et al., 2014), pois os solos com ausência total ou parcial da vegetação, são mais propícios a menor capacidade de armazenamento de água (MONTENEGRO, TORRES FILHO, OLIVEIRA, 2012; ZUCCO et al., 2014; DORIGO et al., 2015).

O sistema de água no solo é dinâmico, portanto, seu monitoramento é fundamental na programação da irrigação, isto deve-se ao fato de que o agricultor precisa compreender as características dos solos onde se pretende cultivar e o quanto de água é necessário para cada cultura de modo a atender as necessidades da planta (WHITING, 2006; BONILLA et al. 2013). Diante da importância do conteúdo da água no solo para os sistemas agrícolas é necessário que seja conhecida as potencialidades dos solos em armazenar água. Principalmente quando se trata da região do semiárido brasileiro, onde há escassez do recurso hídrico, em consequência de fatores físicos e ambientais que provocam a irregularidade espacial e temporal das chuvas (ANA, 2018).

Existem diversos métodos e técnicas que permitem a mensuração da água no solo e a predição de seu conteúdo. Mas a maioria deles são onerosos, custosos e de grande impacto, exigindo a grande disponibilidade de tempo, esforços humanos e de equipamentos (BEN-DOR et al., 2008; GENÚ, 2010; SOUZA, 2013; DEMATTÊ, 2015; YOUNIS E IQBAL, 2015; HONG et al., 2017). Além disso, as regiões semiáridas, apresentam baixos índices pluviométricos e altas temperaturas médias, que são fatores que comprometem diretamente a disponibilidade hídrica nestas regiões.

Em contrapartida, atualmente, novas tecnologias possuem alto potencial para contribuir com o aumento de produtividade agrícola, da geração de informações, da redução dos custos

de produção e dos impactos sobre o ambiente (DEMATTE et al., 2015), dentre elas, o sensoriamento remoto e a espectroscopia de reflectância dos solos, vêm se mostrando capazes de corresponder a estas expectativas, pois contribuem principalmente com a caracterização quali-quantitativa das propriedades dos solos e com a avaliação dos impactos causados pela interferência humana (NANNI et al. 2004; GENÚ e DEMATTÊ, 2012). Dessa forma o sensoriamento remoto configura uma alternativa viável pois colabora efetivamente, através da geração de resultados rápidos e precisos e da validação de informações sobre os solos (NOCITA et al., 2013; DEMATTÊ et al., 2015; YOUNIS E IQBAL, 2015; ZHANG L. e ZANHG R., 2017; HONG et al., 2017) ajudando a elucidar questões geradas pela variação temporal e espacial das características e necessidades do solo e conseqüentemente, contribuir para o desenvolvimento econômico das regiões subsidiando a gestão das políticas públicas no que tange a produção agrícola.

Esta metodologia permite a predição das propriedades do solo através de equipamentos (sensores) que registram a radiação refletida ou emitida por ele, gerando um novo dado (assinatura espectral) que é interpretado, para fornecer informação útil (JENSEN, 2009) podendo ser aplicado a diversas finalidades, dentre elas às práticas agrícolas.

A espectroscopia de Reflectância, correspondente às faixas do visível (VIS) e do infravermelho próximo (NIR), as quais contribuem na predição da umidade do solo de forma rápida, menos custosa e menos danosa ao ambiente (BEN-DOR et al., 2008; ZHU et al., 2010). Sendo assim, a ciência do solo exerce um papel fundamental, através do fornecimento de informações e conhecimento para a tomada de decisões estratégicas sobre o ordenamento do território e uso sustentável do solo como recurso natural (MENDONÇA-SANTOS et al., 2007; TERRA, 2011).

Frente as questões expostas o trabalho ora apresentado, foi organizado em três partes, a primeira delas, consiste numa revisão bibliográfica sobre os avanços e as contribuições da utilização da espectrorradiometria aplicada a ciência dos solos. Na segunda parte, foi desenvolvido o levantamento de fatores que influenciam a presença do conteúdo de água no solo, ou seja, caracterização geográfica da área estudada, análises físicas dos solos coletados e a obtenção do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI). Este levantamento foi realizado com o objetivo de fornecer maior robustez às validações dos dados espectrais. A terceira e última parte, é composta pela formação da Biblioteca Espectral (B.E.), análise dos espectros dos solos em diferentes tratamentos e espacialização dos resultados obtidos através do Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI).

### 1.1 HIPÓTESE

O Índice de Vegetação de Diferença Normalizado (NDVI) e o Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI) ajudam a explicar a influência da água no comportamento espectral do solo.

### 1.2 OBJETIVO GERAL

Estimar a umidade superficial do solo e o seu comportamento espectral em diferentes níveis de umidade em áreas de produção agrícola do semiárido.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Construir Biblioteca espectral VIS/NIR para solos de diferentes níveis de umidade.
- Investigar a influência do conteúdo de água no comportamento espectral do solo.
- Determinar o Índice de umidade do solo normalizado – NSMI.
- Analisar a correlação existente entre o Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI), o Índice de Vegetação Normalizado (NDVI) e a textura dos solos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para nortear a investigação do problema, foi realizado levantamento bibliográfico.

### 2.1 AS RELAÇÕES SOLO-ÁGUA-PLANTA

O solo é um componente imprescindível nas atividades ecossistêmicas terrestres (ZHU et al., 2010). Ele filtra a água, é reservatório oferece nutrientes às plantas, fornece-nos alimentos, apoia a saúde e habitação humana, armazena carbono e regula as emissões de gases efeito estufa e afeta o nosso clima (CHEN et al., 2011; OLIVEIRA, 2014;). A determinação do conteúdo de água no solo é crucial para o desenvolvimento agrícola, principalmente no Nordeste brasileiro, onde predominam a prática da agricultura de sequeiro e as chuvas são escassas com distribuição heterogênea, no espaço e no tempo (ROCHA et al. 2014). Atualmente, grande número de trabalhos experimentais indica que se pode conseguir aumento de produção através da irrigação, que forneça racionalmente água às culturas. Dessa forma são previstas colheitas maiores porque a umidade do solo pode ser mantida dentro do intervalo de água disponível às plantas.

Com o advento de novas tecnologias, tornou-se indispensável a exploração de seus benefícios, uma vez que o agricultor precisa conhecer as propriedades e potencialidades de seu solo para melhor rendimento de sua cultura, para isto, as novas tecnologias ajudam na predição das capacidades do solo e auxiliam o monitoramento de seu estado, viabilizando uma gestão sustentável do recurso (WHITING, 2006; BONILLA et al. 2013; JANVIER, 2015; YOUNIS E IQBAL, 2015).

Os estudos sobre a variabilidade espacial e temporal da umidade do solo também podem ser aplicados na hidrologia, na previsão de fluxo de rio, gestão da irrigação, medidas de conservação do solo e meteorologia (ROCHA et al., 2014), além de fornecer ajuda na detecção precoce da seca e na mitigação de seus impactos na agricultura. (CHEN et al., 2011; OLIVEIRA, 2014; YOUNIS E IQBAL, 2015). De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos (UNESCO – WWAP, 2012), a atividade que mais consome água no mundo é a irrigação que chega a utilizar 70% da exploração global de água doce. Porém, os solos têm sido afetados diretamente pelo seu manejo e práticas culturais inadequadas, com conseqüente alteração da dinâmica e retenção de água nos poros.

O teor de água no solo é variável no espaço e no tempo (CHEN et al., 2011; OLIVEIRA, 2014), esta variabilidade se dá por diversos fatores: a estrutura do solo, por determinar o arranjo das partículas; a textura, o tipo e quantidade de argila e o teor de matéria orgânica (KLEIN E

LIBARDI, 2000), clima, características topográficas, práticas de conservação e manejo e características da cobertura vegetal (BARONI et al., 2013; ZUCCO et al., 2014). Tais variações podem ser minimizadas com o aumento da eficiência de irrigação, reduzindo os impactos ambientais e melhorando os rendimentos produtivos (KIM; EVANS; IVERSEN, 2008).

Conforme Epiphanyo et al., (1992), os principais componentes dos solos são sólidos inorgânicos, matéria orgânica, ar e água. Os espaços porosos entre as partículas de materiais sólidos são ocupados pela água ou pelo ar presentes no solo, em concentrações relativas variantes. Alvarenga et al., (2003) afirma que a água do solo pode ser descrita como uma solução que contém variedade de compostos. As moléculas de água também podem ser encontradas como componentes estruturais em alguns cristais laminares (EPIPHANIO et al., 1992; STENBERG et al., 2010; CHEN et al., 2011; FRANCESCHINI et al., 2013).

De acordo com Almeida et al., (2015), a textura do solo, principalmente o teor de argila, define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando assim a área de contato entre as partículas sólidas e a água, sendo por isso responsável pela força de retenção. Segundo, Azevedo et al., (2007), de modo geral,

O comportamento hídrico dos solos depende de propriedades relacionadas com a quantidade, o diâmetro e a conectividades dos poros, como textura e estrutura. Além disso, tem-se a presença das cargas negativas coloidais que conferem retenção de água aos solos (AZEVEDO et al., 2007).

Os solos arenosos apresentam menor quantidade de cargas, maior macroporosidade e condutividade hidráulica saturada, menor microporosidade e menor retenção de água (WANG et al., 2008; ALMEIDA et al., 2015). Contudo, a presença de determinados tipos de feições morfológicas pode conferir a esses solos comportamento hídrico distinto (ALMEIDA et al., 2015).

## 2.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

Diante da importância do conteúdo de água no solo, existe uma variedade de métodos diretos e indiretos que visam quantificar e monitorar esta informação, podendo citar, os métodos gravimétricos, das pesagens, dos volumes, do psicrômetro, blocos de gesso, sonda de nêutrons, Spud (carbureto), frigideira, mesa de tensão e da câmara de Richards (EMBRAPA, 2017).

Dentre estes o mais convencional é o método gravimétrico, porém, é esmagador e robusto (CHEN et al., 2011; FRANCESCHINI et al., 2013; YOUNIS E IQBAL, 2015), pois

necessita de coletar amostras com volumes conhecidos e estruturas preservadas. Utilizando este método o pesquisador pesa os volumes da amostra inicial, leva a estufa e pesa após 24h a 105°C, alcançando através da diferença dos valores e conteúdo de água armazenada naquela amostra (EMBRAPA, 2017), porém através deste método não é possível descrever o comportamento de sua distribuição espacial e temporal (YOUNES E IQBAL, 2015), além de que a medida do teor de água do solo em geral é laboriosa e não pode ser facilmente realizado diariamente (BONILLA et al., 2013).

De forma geral, para o desenvolvimento das atividades agrícolas de precisão é de fundamental importância que se conheça a capacidade de um solo reter água e o quanto ele disponibiliza para ser utilizada pelas plantas (BONILLA et al., 2013; FRANCESCHINI et al., 2013; DEMATTÊ et al. 2015). Os métodos convencionais podem e devem ser substituídos por métodos mais eficazes, rentáveis e que demandam de menor tempo e esforço humano, possibilitando ao pesquisador maior tempo disponível para demais análises e interpretações de resultados. (WANG et al., 2008; ALMEIDA et al. 2015 ; BONILLA et al., 2013; FRANCESCHINI et al., 2013; DEMATTÊ et al. 2015)

### 2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E ESPECTRORRADIOMETRIA INFRAVERMELHO

A maior influência dos avanços tecnológicos sobre a ciência dos solos está no advento das geotecnologias, em especial o surgimento e aprimoramento das técnicas de Sensoriamento Remoto – SR (MADEIRA NETTO e BAPTISTA, 2000; JENSEN, 2009; NOVO, 2010; DEMATTÊ et al. 2015; DEMATTÊ et al. 2014; JANVIER et al., 2015) que oferece ao pesquisador maior amplitude de sua atuação através do fornecimento de uma série de dados ambientais para estudos de fenômenos espaciais e temporais (FITZ, 2008).

Sensoriamento Remoto – SR é um conjunto de técnica que utiliza sensores para captação e registro à distância, sem contato direto, da energia refletida ou absorvida por um alvo (FITZ, 2008). A informação é transferida do objeto até o sensor através da radiação eletromagnética (REM) (JENSEN, 2009; NOVO, 2010). Meneses (2001), destaca a existência de diversas nomenclaturas para esta análise, dentre elas pode-se citar: Reflectância de Alvos Naturais, Comportamento espectral dos Alvos, Sensoriamento Remoto Espectral ou Espectrorradiometria de reflectância, o qual usaremos nesta produção.

Ainda se pode entender Espectrorradiometria como a medida da distribuição da energia radiante, proveniente de um objeto e quando essa energia for a reflectância, a espectrorradiometria é denominada de reflectância (MENESES E FERREIRA JÚNIOR, 1995).

As principais regiões do espectro utilizadas nas pesquisas com solo, compreendem a faixa do visível (VIS) de 350 a 700nm, ao infravermelho próximo (NIR) de 700 a 2500nm. este é dividido em infravermelho de ondas curtas (SWIR) de 1100 a 2500nm e infravermelho médio (MIR) de 2500 a 25000nm. (EPIPHANIO et al., 1992; BEN-DOR et al., 2008; VISCARRA-ROSSEL, 2011; SOUZA, 2013; DEMATTÊ et al., 2016.). E tem apresentado resultados significativos relacionados a identificação e classificação das propriedades dos solos (TERRA, 2001; VISCARRA-ROSSEL, 2011; SOUZA, 2013; DEMATTÊ et al., 2010; YOUNES E IQBAL, 2015; HONG et al., 2017).

Dentre os muitos benefícios apresentados pela técnica pode-se destacar a possibilidade de analisar um número consideravelmente grande de amostras em um curto intervalo de tempo (VISCARRA-ROSSEL et al., 2006; NOCITA et al., 2013; YOUNES E IQBAL, 2015; VISCARRA-ROSSEL et al., 2016; HONG et al., 2017), a redução do resíduo e dos gastos com coleta, pois para análise laboratorial são necessários aproximadamente 100 gramas de cada amostra (DEMATTÊ et al., 2015). Quando um modelo de calibração entre dados espectrais e seu correspondente valor de referência da propriedade do solo é desenvolvido, este modelo pode ser usado para prever outras amostras de solo em áreas específicas contendo seus espectros VIS-NIR (YOUNIS E IQBAL, 2015; HONG et al., 2017). Viscarra-Rossel (2016), apresenta outro benefício na utilização da Espectrorradiometria de Reflectância:

A espectroscopia também fornece informações sobre o tamanho das partículas do solo e assim, informações sobre a matriz do solo. Outra característica atraente de espectroscopia é que os espectros podem ser gravados em pontos ou por imagem, de diferentes plataformas; por sensoriamento proximal no campo, no laboratório usando material amostrado, ou de plataformas de sensoriamento remoto com capacidades multi e hiperespectrais (Viscarra-Rossel, 2016; pág. 200)

As observações feitas através do SR oferecem a possibilidade de monitoramento contínuo e mapeamento dos solos, fornecendo informações eficazes e menos custosas como já foi supracitado. Porém apesar dos avanços na utilização da técnica em várias regiões do globo, o uso da espectrorradiometria ainda possui alguns desafios, que são pontuados por Chabrillat et al., (2013), limitações na disponibilidade dos solos de referência (ausência de bibliotecas espectrais de solos padronizados globais), abordagens metodológicas padronizadas, ferramentas adequadas para processamento e ausência de modelos globalmente aplicáveis.

Trabalhos como Viscarra-Rossel et al. (2016), Conforti, Matteucci e Buttafuoco (2018) com análises para a região do Mediterrâneo, Dongyun Xu et al., (2018) para a China, Janvier et al., (2015) na África, Angelini et al., (2016) na Argentina e Viscarra-Rossel e Webster (2011) na Austrália, demonstram a utilização da técnica em diversas partes

globo, mesmo com as dificuldades supracitadas, pesquisadores reúnem esforços para demonstrar o potencial da espectrorradiometria seja de campo ou laboratorial.

No Brasil estudos sobre espectrorradiometria de solos vem sendo realizado desde meados da década de 1970 quando já apresentavam resultados da utilização da técnica. Nos últimos anos, pesquisadores brasileiros vêm utilizando a técnica da espectroscopia aplicada a solos, para várias finalidades, dentre eles, destacam-se Formaggio et al., (1996), Dalmollin et al. (2005), Genú et al., (2006) Belinasso, Demattê e Romeiro. (2010), Aguiar (2015), Demattê et al., (2015), Franceschini et al. (2018).

#### 2.4 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DO SOLO E BIBLIOTECA ESPECTRAL

Conforme Madeira Netto (1996) o comportamento espectral de alvos é o nome dado a forma como a energia refletida e/ou absorvida pelos alvos se comporta ao longo das faixas do espectro (MADEIRA NETO e BAPTISTA, 2000; JENSEN, 2009). É uma propriedade acumulativa resultante das interações da radiação eletromagnética (REM) com os diferentes constituintes que compõem os solos (MADEIRA NETO e BAPTISTA, 2001; DEMATTÊ et al., 2004). Estas medições podem ser realizadas através de métodos de campo com equipamentos portáteis e de laboratório com a utilização de sensores orbitais e/ou terrestres (DEMATTÊ et al., 2004). As análises de campo oferecem muitos benefícios, porém são mais suscetíveis à interferência de fatores ambientais externos, como a umidade variável do solo, temperatura, agregação natural e condição da superfície do solo, levando a previsão no campo a ser menos precisa do que a precisão baseada em laboratório em ambientes estáveis (GENÚ E DEMATTÊ, 2012; NANNI E DEMATTÊ, 2006; HONG et al., 2017)

O fluxo de Energia Eletromagnética Refletida – REM, incidente sobre um alvo pode ser parcialmente ou totalmente refletido, o que recebe o nome de Reflectância Difusa (ROSA, 2009). Já a medida capaz de caracterizar o comportamento espectral dos alvos a condições semelhantes à dos sensores é chamada de Reflectância Bidirecional (JENSEN, 2009). Os principais constituintes que influenciam o comportamento espectral dos solos são: granulometria, matéria orgânica, umidade, óxidos de ferro e os minerais. (EPIPHANIO et al., 1992; MADEIRA NETO, 2001; SOUZA, 2013; DEMATTÊ et al., 2015; VISCARRA ROSSEL; 2016).

O comportamento espectral pode apresentar informações quanti- qualitativa das propriedades do solo, sendo o resultado da interação entre a REM (na faixa do visível e parte do infravermelho) e seus diversos atributos, a exemplo suas características químicas, físicas,

mineralógicas e presença de água (STONER E BAUMGARDNER, 1981; BEN-DOR et al., 2008; VISCARRA ROSSEL et al., 2016) que podem variar de acordo com diversos fatores durante a análise das amostras, pois a umidade e a rugosidade exercem forte interferência sobre os resultados. Muitos autores investigaram a existência de padrões espectrais para as classes de solos, Madeira Netto (2001), constatou que:

Não ocorre uma relação biunívoca entre as classes de solos e os tipos de espectros de reflectância, ou seja, para cada um dos tipos de espectros, relacionam-se diferentes classes de solos, e solos pertencentes a uma mesma classe podem apresentar diferentes tipos de espectros. (MADEIRA NETTO, 2001. p.130)

Atualmente as discussões sobre a influência dos componentes e a correlação entre os fatores externos e o comportamento espectral dos solos, concentram-se nos minerais, na matéria orgânica e na água (DEMATTÊ, 2014; VISCARRA ROSSEL, 2016).

A ciência do solo no Brasil passou a conviver com o termo “Pedologia Espectral” mais fortemente, quando diversos pesquisadores reuniram esforços na elaboração da Biblioteca Espectral (BE) dos solos brasileiros. O Termo BE refere-se à criação de um banco de dados espectrais dos solos de uma região (DEMATTÊ, 2009; BESB-ESALQ, 2013; VISCARRA ROSSEL et al., 2016). A BE visa fornecer informações que viabilizem a gestão dos recursos naturais e potencialize as atividades agrícolas (BESB-ESALQ, 2013).

A abordagem da Biblioteca Espectral (BE) abre novas possibilidades para modelagem, avaliação e gerenciamento de risco em avaliações de solo em aplicações agrícolas, ambientais e de engenharia (BESB-ESALQ, 2013; VISCARRA ROSSEL et al., 2016), porém muitos autores como Viscarra Rossel et al., (2016) e Demattê et al., (2004) apontam para o fato de que as pesquisas recentes estão apenas replicando modelos e sugerem que pesquisas mais detalhadas devem validar o uso da reflectância do solo para predição de atributos funcionais e suas capacidades.

De acordo com o Departamento de Ciência dos Solos da ESALQ-USP (2013):

As bibliotecas espectrais tiveram início na década de 80 com Stoner e Baumgardner com solos basicamente dos Estados Unidos. Posteriormente, vários trabalhos científicos foram publicados sobre o tema. No Brasil, a primeira biblioteca foi elaborada pelo grupo de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em 1992. Ao nível de Universidade, a primeira Biblioteca foi realizada no Departamento de Ciência do Solo da ESALQ iniciada em 1995. (BESB-ESALQ, 2013)

A BE passou a reunir informações espectrais dos solos representativos do país e subsidiar diversas outras pesquisas (BELINASSO, DEMATTÊ E ROMEIRO, 2010). Demattê

et al. (2014) compilou informações e elaborou critérios para Interpretação Morfológica do Espectro de Reflectância a partir da utilização de bibliotecas espectrais.

Em 2008 teve início a elaboração da primeira biblioteca global de espectros vis-NIR caracterizando os solos mais representativos do mundo (VISCARRA ROSSEL et al., 2016; BESB-ESALQ, 2013; BELINASSO, DEMATTÊ E ROMEIRO, 2010). A coleção de espectros foi desenvolvida por Viscarra Rossel e um grupo de cientistas de oito países, representando África, Ásia, Austrália, Europa, América do Norte e América do Sul. A elaboração da biblioteca global visou aprofundar a pesquisa, incentivar o desenvolvimento de novas aplicações e a adoção da espectroscopia no solo, terra e meio ambiente (VISCARRA ROSSEL, 2016) o produto foi divulgado em 2016, intitulado: “A global spectral library to characterize the world's soil” e criou possibilidades de aplicações em uma variedade de escalas espaciais, em laboratório e no campo.

## 2.5 ESPECTRORRADIOMETRIA APLICADA A ANÁLISE DE UMIDADE DO SOLO

A água influencia a intensidade da reflectância nas curvas espectrais dos solos em todos os comprimentos de onda, variando de acordo com as características dos solos (EPIPHANIO et al. 1992; MADEIRA NETO e BAPTISTA, 2000; DALMOLIN et al., 2005; JENSEN, 2009; SOUZA, 2013; YOUNES E IQBAL, 2015; HONG et al. 2017). Stoner e Baumgardner (1981) e Novais et al. (2017) afirmam que a redução da reflectância do solo ao longo do espectro acontece devido à umidade apresentada de forma que, o solo escurece a medida em que sua umidade aumenta (BEBIDI et al., 1992; MADEIRA NETO e BAPTISTA, 2000; JENSEN, 2009; SOUZA, 2013; YOUNES E IQBAL, 2015; HONG et al. 2017) entretanto, não é alterada significativamente pela presença de umidade, salvo nas bandas de absorção características da ação da água adsorvida em 760, 970, 1190, 1450, 1940nm (MADEIRA NETO e BAPTISTA, 2000; NOVAIS, 2017).

Nos estudos realizados por Lobell e Asner (2002) foram considerados solos em diferentes níveis de umidade e os resultados mostraram que os efeitos da umidade sobre sua reflectância é um importante parâmetro a ser estimado e que a região do infravermelho médio seria o comprimento de onda mais indicado para sua predição. Porém, Stoner et al., (1991), já havia apresentado em seus estudos, sobre o comportamento espectral de Latossolos, que a reflectância em comprimentos de onda menores que 520nm não sofreram alteração devido à presença de óxido de ferro, ambos chegaram à conclusão que os componentes minerais e o comprimento de onda refletem na resposta espectral de um solo quando se leva em consideração a umidade como fator de alteração do comportamento espectral (BEDIDI et al., 1992).

As faixas do espectro que registram maior absorção ocorrem na região de 1400 e 1900nm, e se tornam côncavas e profundas, à medida que o teor de umidade no solo aumenta (MADEIRA NETTO, 2000). Os elevados teores de água também atenuam a feição espectral localizada em 2200, o que corresponde à presença da caulinita (DEMATTE et al., 2006). De acordo com Souza (2013) também existem bandas de fraca absorção em 970, 1200, 1770nm.

A modificação das propriedades espectrais de um solo quando umedecido depende de seus componentes minerais (MADEIRA NETTO E BAPTISTA, 2000). Os solos lateríticos apresentam comportamento mais complexo devido à variação de umidade, uma vez que contêm oxi-hidróxidos produzindo bandas de absorção entre 400 nm e 700 nm (BEDIDI et al., 1992).

A alteração no comportamento espectral de solos úmidos também é influenciada pela cor e pela textura do solo (MADEIRA NETTO E BAPTISTA, 2000; JENSEN, 2009). A variação de cor é devido a uma variação da refletância que depende do teor de água e sua distribuição no macro e microssistemas de porosidade, esta distribuição é fixada pela textura e estrutura do solo (BEDIDI et al., 1992).

A textura é um dos constituintes de maior influência, pois de acordo com Madeira Netto e Baptista (2000) o tamanho das partículas apresenta uma relação inversamente proporcional a refletância. Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação – SiBCTI (2011):

A textura do solo diz respeito à distribuição das partículas de acordo com o tamanho, envolvendo conotações quantitativas e qualitativas. Quantitativamente, envolve as proporções relativas dos vários tamanhos de partículas num dado solo, cujas frações texturais básicas são a areia, o silte e a argila. Estas proporções conferem denominações específicas aos diferentes solos. A textura é uma característica permanente, não sofrendo alterações expressivas no espaço. (SiBCTI, 2011)

A textura influencia diretamente em muitas das suas propriedades do solo, como na porosidade, permeabilidade, capacidade de troca, retenção de água, vulnerabilidade a processos erosivos, entre outros. (OLIVEIRA et al., 2010). Solos com textura argilosa mesmo possuindo granulometria fina, apresentam baixa refletância, normalmente devido aos altos teores de umidade, matéria orgânica e óxidos de ferro (JENSEN, 2009; MADEIRA NETTO E BAPTISTA, 2000; DEMATTE et al. 2010; DEMATTE et al. 2014; ). Já os solos com textura média aumentam a intensidade de refletância com o aumento da proporção de areia grossa e redução de areia fina a muito fina (JENSEN, 2009; MADEIRA NETTO E BAPTISTA, 2000; SOUZA, 2013)

Juntamente com a textura, a Densidade e a porosidade do solo também possuem alto grau de influência no comportamento espectral dos solos. De acordo com Ribeiro et al., (2007):

A Densidade e a porosidade permitem avaliar certas propriedades, como: drenagem, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e à água, capacidade de saturação, armazenamento de água e água disponível. Estes atributos ainda permitem avaliar a velocidade de infiltração da água e erosão, a macroporosidade e desenvolvimento de raízes, consistência do solo (seco, úmido e molhado) e compactação, Técnicas de manejo e produtividade agrícola. (RIBEIRO et al., 2007. p. 1168)

A relação entre o potencial hídrico e comportamento espectral dos solos pode ser usada diretamente nas aplicações de Sensoriamento remoto (SR) pois, conforme Bedidi et al. (1992):

Existe uma relação íntima entre as propriedades espectrais e o comportamento pedoédrico dos solos que deve ser quantificada, principalmente, pela redução do albedo observado e simultaneamente, pelas medidas de reflectância espectral para diferentes taxas de umidade. (BEDIDI et al., 1992. p. 140)

## 2.6 ÍNDICE DE UMIDADE DO SOLO NORMALIZADO – NSMI

O Índice de umidade do solo normalizado, do Inglês, *Normalized Soil Moisture Index* (NSMI), desenvolvido por Haubrock et al., (2008) indica o teor de água no solo, é uma medida não dimensional de espectros de reflectância, na faixa espectral de 350-2500nm, calculado a partir da diferença normalizada de dois comprimentos de onda, usando operações matemáticas. Hong et al. (2017), afirmou que o NSMI é um índice de fácil utilização e alta interpretatividade. De acordo com Nocita et al., (2013):

O NSMI é calculado após a primeira normalização da reflectância pela reflectância espectral máxima, a fim de ter em conta as variações nas formas espectrais e, especialmente, os valores máximos de reflectância das amostras, que podem variar significativamente entre os solos. (NOCITA, et al., 2013)

Atualmente muitos autores investigam a influência da umidade no comportamento espectral dos solos buscando compreender sua relação com outros fatores, na calibração e validação dos dados espectrais de umidade, McNally et al., (2016) sugere que os dados sejam calibrados com os dados de precipitação, temperatura e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).

Younes e Iqbal (2015), estimaram a umidade de dados de detecção remota utilizando a FTIR e estabeleceu relações com os dados de campo, correlacionou os valores do NDVI, do LST (índice de temperatura da superfície) e do TVDI (índice de secagem da temperatura da terra) para avaliar a umidade da superfície. Hong et al., (2017) estimou a matéria orgânica do solo por espectrorradiometria VIS-NIR, usando o Índice de Umidade do solo Normalizado.

Haubrock et al., (2008), perceberam que os resultados encontrados nas amostras naturais de solo observadas em todos os comprimentos de onda e combinações de bandas possuem

relação com a umidade do solo. A partir dos resultados, concluíram que o NSMI permanece inalterado sob efeito de crostas superficiais ou heterogeneidade do substrato.

Chabrilat et al., (2013) obtiveram o NSMI a partir de dados hiperspectrais, gerando o mapa de umidade do solo superficial através da combinação da Refletometria de Domínio de Frequência (FDR) e os dados gravimétricos. Eles concluíram que o NSMI é mais adequado para estimar a umidade do solo a partir de dados de sensoriamento remoto de alta resolução espectral.

Conforme Younes e Iqbal (2015), a principal vantagem do método de classificação espectral usando o NSMI é que ele pode ser usado especialmente quando o teor de matéria orgânica é desconhecido e varia muito em grandes áreas. Além disto, não requer transporte e preparação de amostras se os espectros VIS-NIR do solo úmido puderem prever diretamente as propriedades do solo no campo (HONG et al., 2017). Na generalidade, o NSMI calculado a partir dos valores de refletância em VIS/NIR é simples de usar e indica o teor de água no solo a partir de assinaturas espectrais.

## 2.7 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA – NDVI

As técnicas de sensoriamento remoto apresentam vários índices que são intervenções matemáticas utilizadas para avaliar, monitorar e analisar a cobertura vegetal das possíveis mudanças que pode ocorrer (MARCUSSIS et al., 2010). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, proposto por Rouse et al., (1973) é usado para identificação da cobertura vegetal e visualização da sua evolução no tempo, em função dos ciclos fenológicos anuais (DORIGO et al., 2007). Sendo corriqueiramente utilizado na análise da degradação em vegetação esparsa (FIORI et al. 2015) e na identificação de classes de uso do solo e da cobertura vegetal (ROCHA et al., 2014; Kim et al., 2008). O NDVI é um dos índices mais antigos e bastante utilizado.

O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação (BORATTO E GOMIDE, 2013), dado pela diferença entre a reflectância no infravermelho próximo e a reflectância no vermelho, possui valores que correspondem de -1 a 1, no qual quanto mais próximo ao primeiro, maior o vigor, densidade e atividade fotossintética da vegetação (SANTOS E NEGRINI, 1997) e valores próximos de 0 considera-se ausência de vegetação. Este índice é gerado a partir da reflectância da superfície, sendo sensível aos pigmentos atrelados a atividade fotossintética, em especial, a clorofila (FIORI et al. 2015). De acordo com

Barbosa, Carvalho e Camacho (2017), as porções absorvidas no vermelho e refletidas no infravermelho variam de acordo com as condições das plantas. Quanto mais verdes, nutridas, saudáveis e bem supridas do ponto de vista hídrico for a planta maior será a absorção do vermelho e maior será a refletância do infravermelho (MARCUSIS et al., 2010; BORATTO E GOMIDE, 2013; FIORI et al. 2015; BARBOSA, CARVALHO E CAMACHO, 2017). Dessa forma, a diferença entre as refletâncias das bandas do vermelho e do infravermelho será tanto maior quanto mais verde for a vegetação (WANG et al., 2008).

A cobertura vegetal é um dos fatores determinantes na variação da umidade do solo. Conforme Baroni et al., (2013) a vegetação afeta significativamente a dinâmica de umidade do solo, tanto diretamente como através da interação com outros fatores. De acordo com Lourenço, Ramos e Costa (2017),

Além dos aspectos do relevo, também devem ser considerados os fatores edafoclimáticos como fomentadores dessa diversidade, demonstrando uma forte influência na variação do NDVI para um determinado lugar. Nos locais de altitude superior a 600 metros em áreas de relevo plano, são encontrados solos mais desenvolvidos e profundos, com boa capacidade de armazenamento de água. Ademais, a existência de nascentes perenes nesses locais também contribui para a manutenção ecológica de ambientes mais úmidos e influenciam diretamente na conservação da folhagem verde, interferindo nos valores de NDVI. (LOURENÇO, RAMOS E COSTA, 2017).

## 2.8 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS SOLOS

Os solos analisados através de métodos laboratoriais convencionais, foram classificados como Latossolos amarelo, Argissolos amarelo e Neossolos Regolíticos. E para melhor discussão e robustez das análises é importante que sejam conhecidas algumas particularidades das classes supracitadas, diante disso foi elaborada uma tabela com as definições e características de cada classe de solo conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS. (Embrapa, 2018)

Tabela 1 - Caracterização dos solos da área de estudo conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS. (Embrapa, 2018)

CLASSE DE SOLO	ARGISSOLOS	LATOSSOLOS	NEOSSOLOS
	Compreende solos constituídos por material mineral, que têm como característica diferenciais a presença do horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta	Compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte A, dentro de 200 cm da	Compreende solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material

<b>CONCEITO</b>	conjugada com saturação por bases baixas ou caráter alítico. O horizonte Bt encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto os hístico.	superfície do solo ou dentro de 300cm, se o horizonte A apresenta mais de 150cm de espessura.	originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, com maior resistência ao intemperismo, ou por influência dos demais fatores de formação que podem impedir a evolução dos solos.
<b>CARACTERIZAÇÃO DOS HORIZONTES</b>	<p>Há grande variação no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B.</p> <p>A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual.</p> <p>Possui profundidades variadas, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas.</p> <p>Textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt.</p> <p>São forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa.</p>	<p>São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constituído.</p> <p>Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram solos que tem cores pálidas, de drenagem moderada.</p> <p>São muito profundos, tem sequência dos horizontes A, B, C, com pouca diferenciação</p> <p>Em distinção às cores mais escuras do A, o horizonte B tem cores mais vivas, variando desde amarelas ou bruno-acinzentadas até vermelho escuro acinzentados.</p>	<p>Possuem sequência de horizontes A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr, A-C, O-R ou H-C sem atender aos requisitos estabelecidos para serem identificados nas classes dos Chernossolos, Vertissolos, Plintossolos, Organossolos ou Gleissolos. Alguns solos podem apresentar horizonte B, mas com pequena espessura.</p>

Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2011.

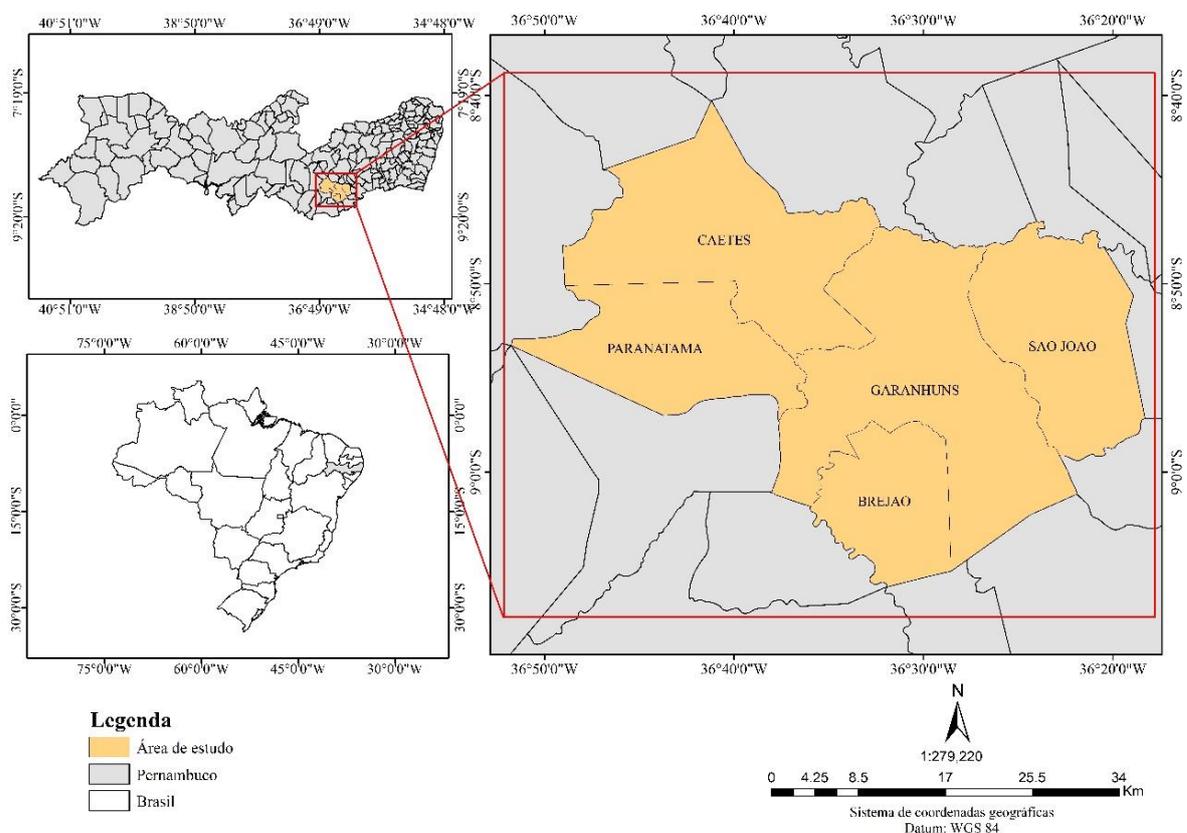
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho tem como princípio a utilização do método de pesquisa quantitativa, visando à investigação do comportamento espectral da umidade de solos de áreas agrícolas.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

A área de estudo está inserida na mesorregião do Agreste Pernambucano e localizada geograficamente entre a Zona da mata e o Sertão, conforme o Sistema de Informação Territorial (SIT) do Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), (SIT, 2013; OLIVEIRA JUNIOR, 2013; ALMEIDA et a., 2015), e inclui os municípios de Brejão, Caetés, Garanhuns, Paratama e São João, que juntos abrangem uma área territorial de aproximadamente 1.463 km<sup>2</sup> (CIDADES-BRASIL, 2018).

Figura 1- Localização geográfica da área de estudo no Agreste pernambucano.



Fonte: A autora, 2018.

A área de estudo está situada sobre o domínio meridional Planalto da Borborema com altitudes que variam entre 400m e 1.000 m. A formação geológica é caracterizada por um cinturão orogênico meso/neoproterozoico que abarca grande parte da região Nordeste, ao sul

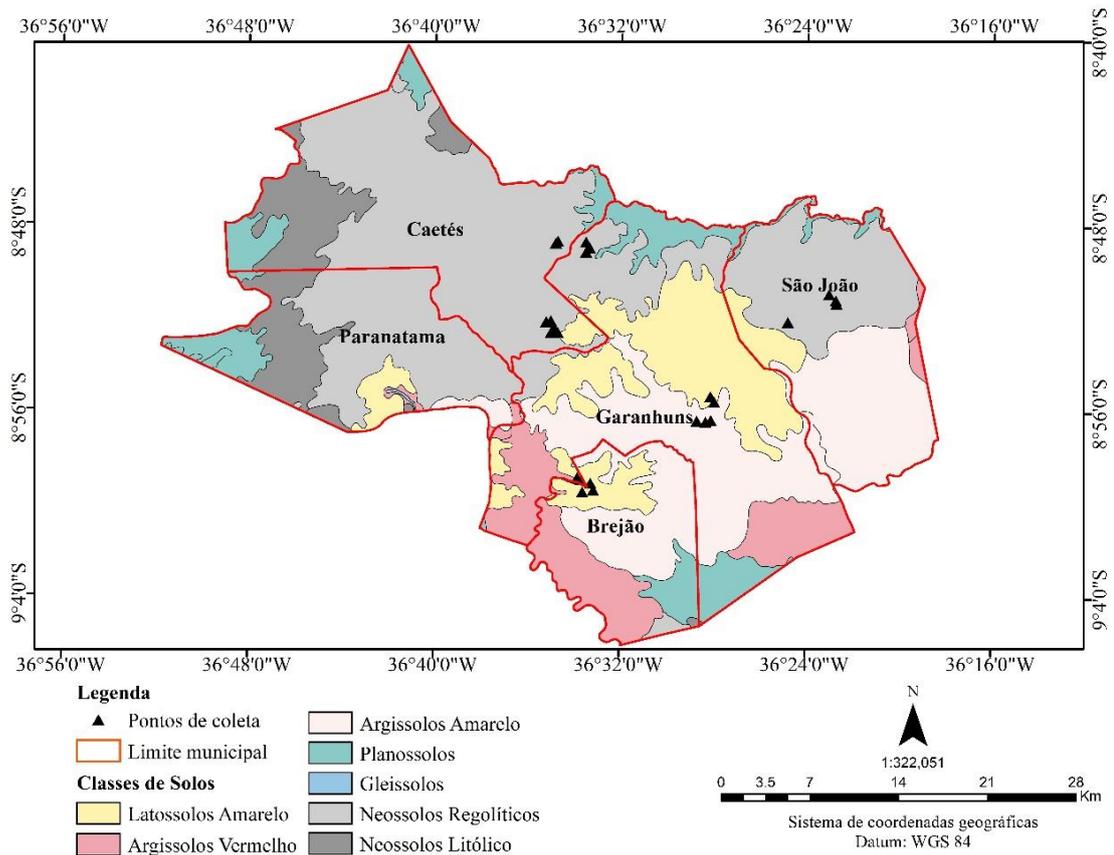
do Lineamento Pernambuco (AZAMBUJA E CORRÊA, 2015; LIMA E CORRÊA, 2016). A área estudada é banhada pelas bacias hidrográficas do rio Ipanema e Mundaú, esta última possui cerca de 4.120 km<sup>2</sup>, tendo como principal afluente o Rio Canhoto ao norte. A bacia se estende até o estado de Alagoas onde desemboca na lagoa Mundaú, em Maceió (LIMA E CORRÊA, 2016; APAC, 2018). A área é recortada por rios perenes, porém de pequena vazão e o potencial de água subterrânea é baixo (APAC, 2018).

Caracterizando uma zona de transição ambiental, que é definida por paisagem de exceção, possibilitando a existência de uma vegetação formada por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, próprias das áreas agrestes (CPRM, 2005).

O clima nessa região é tropical chuvoso, caracterizado por uma sazonalidade, porém em Garanhuns pode-se identificar fatores como a altimetria e o posicionamento do município a barlavento do Planalto da Borborema os fatores responsáveis pela ocorrência de um clima tropical subúmido (CPRM, 2007). A temperatura média anual é de 20,6°C, sendo a pluviometria de 874,4 mm/ano e a umidade relativa do ar 82,5%. (INMET, 2009).

As classes de solos predominantes na área são os Argissolos Amarelos, Latossolos Amarelos, ambos com perfis profundos, sendo os Latossolos constituídos de horizonte B latossólico. E por Argissolos com horizonte B textural, que por sua vez, são bastante suscetíveis aos processos erosivos (EMBRAPA, 2001). Também são encontrados, os Neossolos Regolíticos, nas superfícies suave onduladas a onduladas, que conforme Almeida et al (2015).

Figura 2 - Distribuição das classes de solos e dos pontos de coleta área de estudo.



Fonte: Adaptado do ZAPE (SILVA et al., 2001)

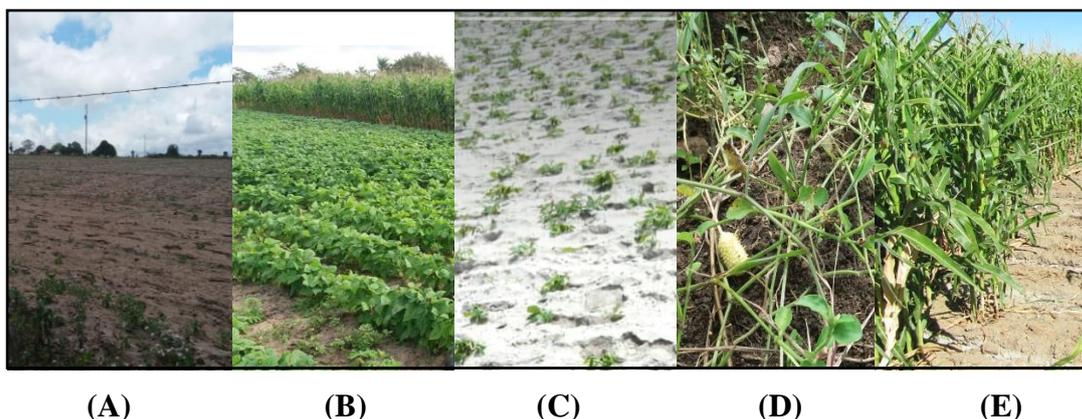
## 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Seguem abaixo o detalhamento das etapas de mapeamento, coleta e análise dos solos.

### 3.2.1 Coleta e amostragem de solo

Foram selecionados 25 pontos em áreas de produção agrícola, sendo 5 pontos de cada município (Garanhuns, Brejão, Caetés, São João e Paranatama). Foram coletadas amostras deformadas em duas profundidades, somando 10 amostras por município, conforme apresentado na Figura 2. Todos os solos foram coletados em áreas de plantio de milho, feijão, mandioca e hortaliças, nos mais diferentes estágios de crescimento da planta. Foram coletadas amostras das camadas superficiais e subsuperficiais de 0-10 e 10-20 cm respectivamente, totalizando 50 amostras, que foram acondicionadas em saco plástico, selados e transferidas ao laboratório para posterior processamento e análises. A seguir têm-se cinco imagens dos locais de coleta das amostras e do estágio fenológico das plantas.

Figura 3 - Culturas desenvolvidas nos pontos de coletas.



Fonte: A autora (2018).

### 3.2.2 Análise granulométrica dos solos

A análise granulométrica das 50 amostras e de suas três repetições foi realizada através do método do densímetro, também chamado de método do hidrômetro definido por Bouyoucos (1962). Utilizou-se 50 g. de terra fina seca ao ar com umidade conhecida. Cada amostra foi pesada em garrafas plásticas de 500 ml, às quais adicionaram-se 50 ml de água destilada e 25 ml de dispersante, uma solução de NaOH (hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio). As garrafas foram levadas para agitadores de Wagner, sendo agitadas por 16 horas a 50 rpm. Posteriormente, o conteúdo foi transferido para provetas e após agitação manual, as amostras ficaram em repouso por 24 h. Por fim as amostras foram lavadas água corrente com peneira de 250  $\mu$ m para retirada da fração areia que ficou 24h em estufa para obtenção de fração areia com teor de umidade igual a zero (EMBRAPA, 2017).

De posse dos valores das frações de silte e areia, foi possível obter os valores da fração argila por diferença e com o auxílio do Manual Brasileiro de classificação dos solos, (EMBRAPA, 2017), foi possível identificar as classes texturais dos solos. A separação das frações de areia grossa (1,2 mm a 4,8 mm) e areia fina (0,05 mm a 0,3 mm), foram realizadas em conjunto de peneiras referenciadas conforme a NBR 5734 - ABNT.

### 3.2.3 Densidade do solo e porosidade total

Para obtenção da Densidade do solo, foi utilizado o método do cilindro volumétrico (EMBRAPA, 2017), que foi simulado em laboratório com amostras deformadas. O resultado foi calculado através da expressão:

$$(1)$$

Em que:  $D_s = M_a / V$

$D_s$  – densidade do solo, em  $\text{kg dm}^{-3}$  (equivalente a  $\text{g cm}^{-3}$ ).

$M_a$  – massa da amostra de solo seco a  $105\text{ }^\circ\text{C}$  até peso constante, em g.

$V$  – Volume do cilindro, em  $\text{cm}^3$ .

A porosidade total determinada foi obtida através da saturação completa das amostras deformadas em laboratório. Que previamente foram pesadas e levadas à estufa a  $110\text{ }^\circ\text{C}$ , por 48 horas para atingir peso constante. As amostras são novamente pesadas, indicando massa de solo seco ( $M_s$ ). Em seguida, por diferença de massa do solo saturado pelo solo seco em estufa, obteve-se a massa de água referente ao volume total de poros do solo. Com esta mesma massa ( $M_s$ ), pode-se obter a porosidade total calculada através da expressão:

$$P = (1 - D_s / D_p), \quad (2)$$

Em que:

$D_s$ : densidade do solo

$D_p$ : densidade de partículas

### 3.2.4 Índice de vegetação Normalizado – NDVI

Todos os procedimentos foram realizados no software ArcGis 10.2. Para geração do NDVI foi utilizado uma imagem do Landsat 8, processada e com correção atmosférica, datada de 05 dezembro de 2017, com resolução espacial de 30 metros. As imagens de menor qualidade foram descartadas. A utilização de imagem de data diferente a data de coleta das amostras (junho de 2018), se justifica no fato de que as imagens do período de coleta possuem muitas nuvens o que dificulta a obtenção do índice com precisão, logo a data da imagem utilizada corresponde a um período sem chuva na região.

Para obtenção do NDVI que consiste na diferença da refletância no infravermelho próximo e a refletância no vermelho dividido pela soma dessas duas bandas (ROUSE et al., 1973), foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (3)$$

Em que:

NDVI é o índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo (0,76 a 0,90 $\mu\text{m}$ );

R é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 $\mu\text{m}$ ).

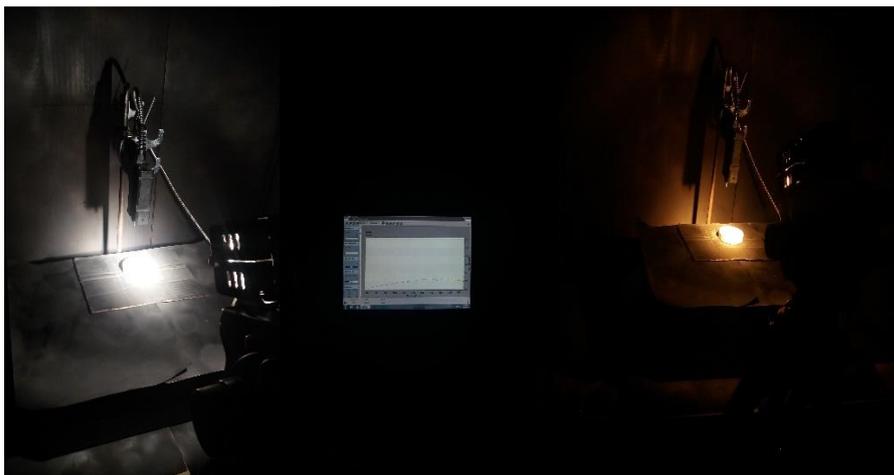
O Cálculo do NDVI sempre resulta em um número entre o intervalo -1 (menos um) e +1 (mais um). Valores próximos de 0 (zero) e abaixo, significam sem folhas verdes, sem vegetação. Valores acima, indicam maior possibilidade de densidade foliar.

### **3.2.5 Elaboração da Biblioteca espectral VIS/NIR**

Para a criação do banco de referências espectrais, foram adotadas metodologias sugeridas por Bellinaso, Demattê e Romeiro (2010), Younes e Iqbal (2015) e Hong et al. (2017), que consistem em realizar leituras espectrais em diferentes condições de umidade e secagem.

As leituras das amostras de solos foram realizadas em um espectrômetro FIT-NIR ASD, com faixa espectral de 300 a 25000 nm (Faixa do visível ao infravermelho próximo). Conforme Hong et al. (2017), para geometria de espectro foi utilizada uma lâmpada de halogênio de 50 w posicionada com ângulo de 45°. A distância entre a placa de petri e a lâmpada foi de 30 cm, o leitor de fibra ótica estava posicionado verticalmente a 8 cm de distância da amostra e centralizado com o meio da mesa. A metodologia sugere que cada amostra seja digitalizada 10 vezes em 3 direções distintas, orientadas por um giro de 90°, totalizando 30 varreduras. A cada 10 amostras, ou 20 minutos de uso foi feita uma otimização com painel Spectralon, para obtenção de referência branca, com um intervalo de re-amostragem de 1 nm.

Figura 4 - Arranjo do espectrômetro FIT-NIR ASD.



Fonte: A autora (2018).

Visando compreender a influência da umidade no comportamento espectral dos solos, foram coletadas assinaturas espectrais em diferentes condições de umidade, o que chamamos de “tratamento seco” e “tratamento úmido”. Inicialmente, todas as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em 2mm. Antes de cada leitura todas as amostras foram pesadas em placa de petri e em latas. Foram utilizadas placas de petri de 8 cm de diâmetro, que comportam aproximadamente 40 g de solo.

As amostras foram submetidas a leitura espectral em diferentes níveis de umidade. Inicialmente, foram secas ao ar durante 5 dias em temperatura média de 18°C. Em seguida foram registrados os pesos de cada amostra e realizada leitura espectral de amostras secas ao ar. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 h, pesadas e em seguida submetidas a leitura espectral de amostras secas em estufa.

No segundo momento as mesmas amostras foram submetidas a leitura espectral em diferentes condições de umidade. As leituras foram realizadas de acordo com o protocolo adaptado de Younes e Iqbal (2015):

### **3.2.6 Protocolo de leituras úmidas**

A tabela a seguir apresenta o protocolo de leitura das amostras, adaptado de Younes e Iqbal (2015).

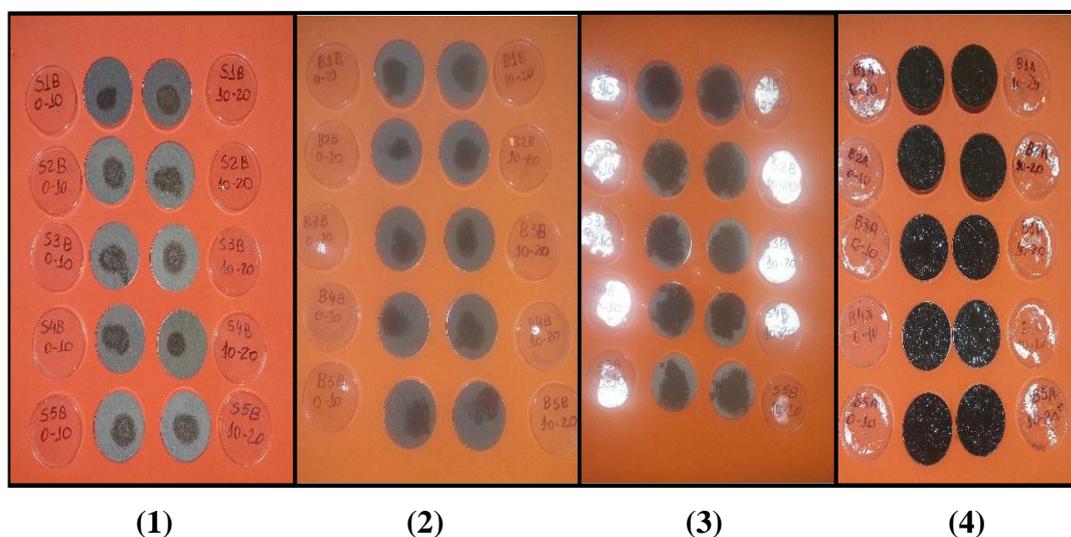
Tabela 2 - Protocolo de leitura de amostras úmidas, adaptado de Younes e Iqbal (2015).

<b>1ª leitura</b>	Amostra seca em estufa em placa petri; Adição de 1 ml de água destilada Repouso de 1h para distribuição uniforme da umidade, com a placa tampada; Pesagem. Leitura nº 1 com 1 ml de água
<b>2ª leitura</b>	Adição de 2ml de água destilada Repouso de 1 h para distribuição uniforme da umidade, com a placa tampada; Pesagem; Leitura nº 2 com 3 ml de água.
<b>3ª leitura</b>	Adição de 2 ml de água destilada Repouso de 1 h para distribuição uniforme da umidade, com a placa tampada; Pesagem; Leitura nº 3 com 5 ml de água.
<b>4ª leitura</b>	Adição de X ml de água destilada (quantidade de água suficiente até atingir o ponto de saturação) Repouso de 1 h para distribuição uniforme da umidade, com a placa tampada; Pesagem; Leitura nº4 com 5 ml + X ml de água

Fonte: A autora. 2019

Na última etapa observou-se visualmente a condição de umidade de cada amostra e lentamente foi sendo adicionado, com o auxílio de uma pipeta, frações de 1 ml de água por vez até alcançar o ponto de saturação das amostras, ou seja, amostras umedecidas o suficiente para que a superfície fique com aspecto visualmente espelhado.

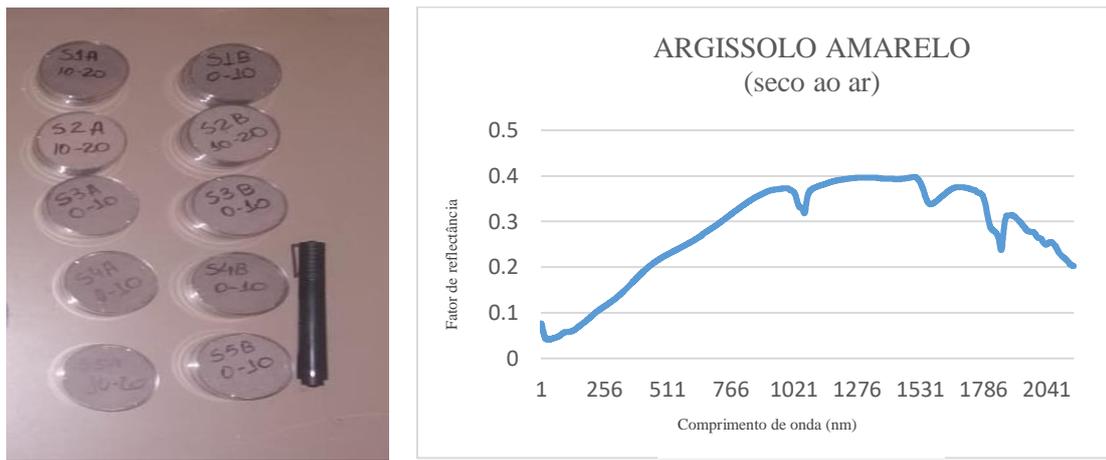
Figura 5 - Amostras de solo em placa de petri com diferentes níveis de água. (1) Amostra com 1ml de água. (2) Amostra com 3ml de água l. (3) Amostra com 5ml de água. (4) Amostras em ponto de saturação.



Fonte: A autora (2018).

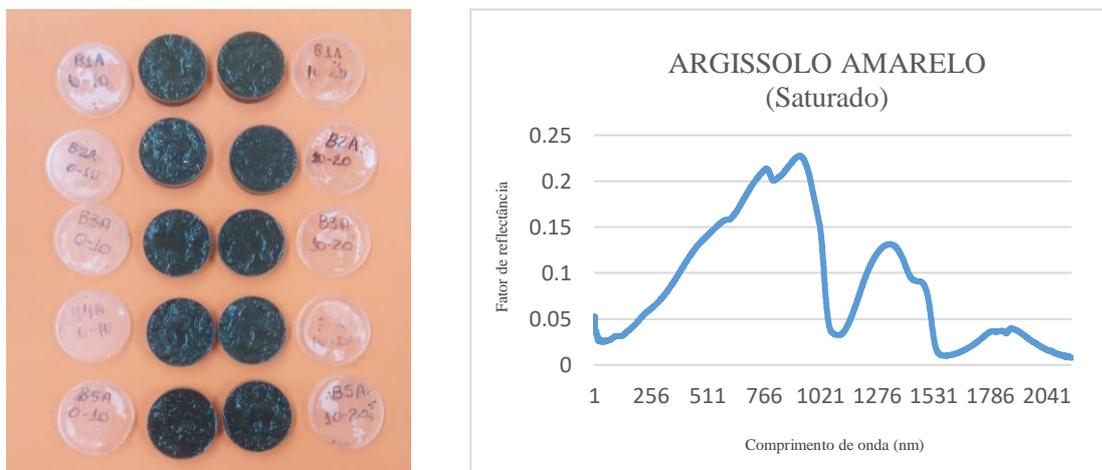
Todos as massas foram obtidas e registradas, assim como a quantidade de água adicionada até saturação de cada amostra. Os registros dos espectros foram armazenados na plataforma do Software Viewspec, posteriormente processado e exportados para o Microsoft R que possibilitou a obtenção das médias espectrais e da construção das curvas de referências espectrais. As figuras 6 e 7, apresentam amostras de um Argissolo Amarelo seco ao ar e em ponto de saturação, respectivamente. Assim como os gráficos de suas curvas espectrais.

Figura 6 - Amostras e curva espectral de um Argissolo Amarelo, com amostra seca ao ar.



Fonte: A autora (2018).

Figura 7 - Amostras e curva espectral de um Argissolo Amarelo, em ponto de saturação após adição de 10ml de água.



Fonte: A autora (2018).

### 3.2.7 Obtenção do Índice de umidade do solo normalizado - NSMI

O Índice de umidade do solo normalizado, do Inglês, *Normalized Soil Moisture Index* (NSMI), será obtido através da Equação:

$$\text{NSMI} = \frac{R_i - R_j}{R_i + R_j} \quad (4)$$

Onde:  $R_i$  e  $R_j$  são valores de reflectância a 1800 e 2119 nm, respectivamente.

O NSMI é calculado após a primeira normalização da reflectância pela reflectância espectral máxima, a fim de ter em conta as variações nas formas espectrais e, especialmente, os valores máximos de reflectância das amostras, que podem variar significativamente entre os solos. O índice foi escolhido devido à sua promessa de boa capacidade de previsão, facilidade de uso e alta interpretabilidade (NOCITA et al. 2013). Os valores de NSMI serão usados para dividir o conjunto de dados em classes equidistantes, visando melhorar a qualidade dos dados de espectrorradiometria.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

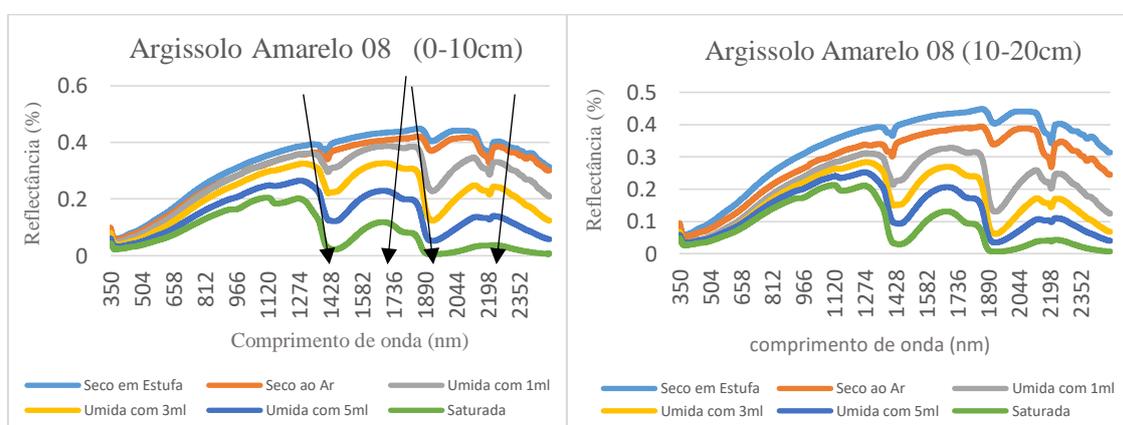
A seguir os resultados serão apresentados conforme a ordem dos objetivos específicos.

### 4.1 BIBLIOTECA ESPECTRAL VIS/NIR DE SOLOS EM DIFERENTES NÍVEIS DE UMIDADE

As leituras espectrais dos solos resultaram na elaboração de uma Biblioteca Espectral – B.E. contendo 600 assinaturas, as quais podem ser visualizadas no Apêndice, diante deste número, optou-se por escolher uma amostra de solo de cada classe para apresentação e discussão da B.E, visando promover melhor compressão de seu resultado. Conforme apresentado por Bellinaso et al. (2010), Demattê et al. (2014), Viscarra Rossel, et al. (2016) Ansari e Deshmukh (2017), é importante que se respeite os padrões de observação e análise das assinaturas espectrais dos solos, os intervalos onde se destacam os picos de absorção e reflectância, a forma e a intensidade das curvas, que são características já padronizadas.

Nos espectros VIS/NIR do Argissolo Amarelos - 08, pode-se observar que o comportamento espectral em todo o comprimento de onda, respeita um padrão mesmo diante da variação de umidade (DEMATTÊ, 2010). Apresentando altos valores de reflectância e picos de absorção em bandas típicas de absorção de água nas regiões de 1400 e 1900 nm, tal comportamento foi identificado por Dalmolin (2005) e indica a ausência de interferência da água na forma da curva ao longo do espectro, característica que pode ser observada a seguir.

Figura 8 - Espectros VIS/NIR do Argissolo Amarelos (8) de 0-10cm e 10-20cm, em diferentes tratamentos.



Fonte: A autora (2018).

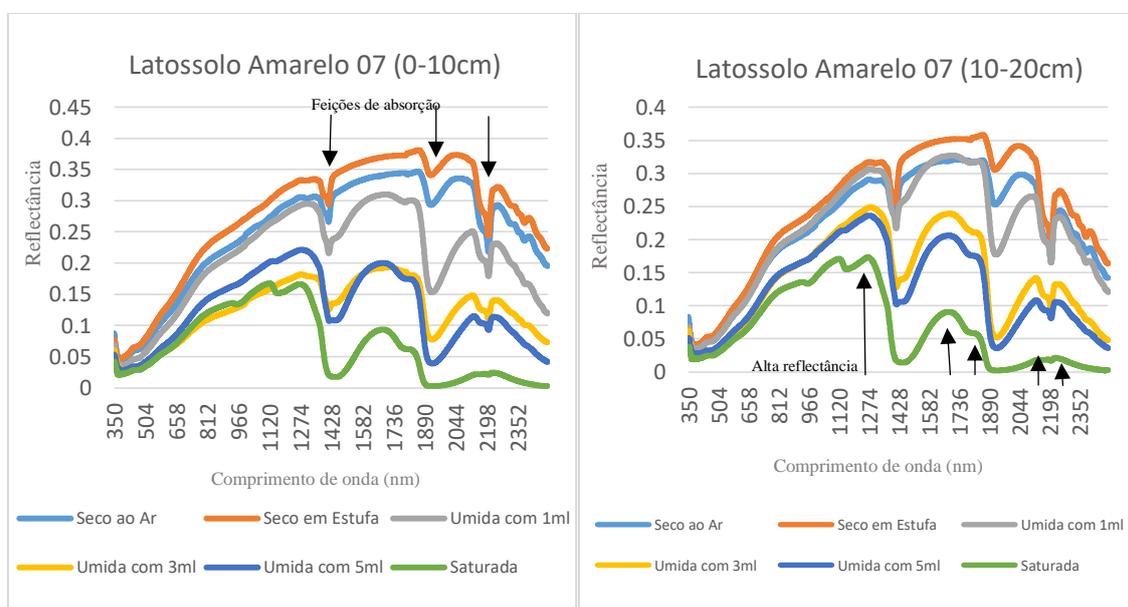
Nas situações apresentadas na figura 08, as bandas de maior absorção correspondem a dois intervalos 1300 a 1500nm e 1850 a 2100nm respectivamente. Todas as assinaturas em diferentes condições de secagem e umidade respeitam um padrão, as bandas de maior e menor

reflectância estão sempre nos mesmos intervalos; característica que vem sendo discutida com por Hong et al. (2017), Demattê et al. (2010), Souza (2013) e Stoner, Derksen e Macedo (1991), podendo ocorrer pequenas alterações em bandas específicas que, em ocasião futura, devem ser investigadas paralelamente as características mineralógicas e teor de matéria orgânica dos solos.

É importante ressaltar que o comportamento das curvas não apresenta distorções quando comparado as análises de amostras de profundidades distintas, o que é perceptível como o caso do Argissolo 08, onde não há variações significativas no comportamento espectral do solo de 0-10cm e do solo de 10-20cm.

As feições de absorção indicadas na figura 09, podem ser justificadas nos elevados teores de matéria orgânica em solos menos arenosos, pois a matéria orgânica atua como agente agregador do solo (JENSEN, 2009). Ocorre o fenômeno inverso em solos mais arenoso, influenciados pela forte presença de quartzo, que possui alta reflectância. O mesmo comportamento foi identificado por Demattê (2002), que verificou a variação da reflectância de Argissolos com diferentes teores de areia; E por Souza (2013), que investigou o comportamento de Argissolos visando sua caracterização físico-química. E quando considerado o conteúdo de água no solo, quanto maior o seu teor, maior será a intensidade da absorção em determinados comprimentos de onda do VIS/NIR (DOTTO et al., 2016), fato que foi observado por Younes e Iqbal (2015) e Hong et al. (2017), que investigaram a influência do conteúdo de água no comportamento espectral dos solos, através da obtenção de índices de umidade do solo.

Figura 9 - Espectros VIS/NIR do Latossolo Amarelo (07) de duas profundidades.



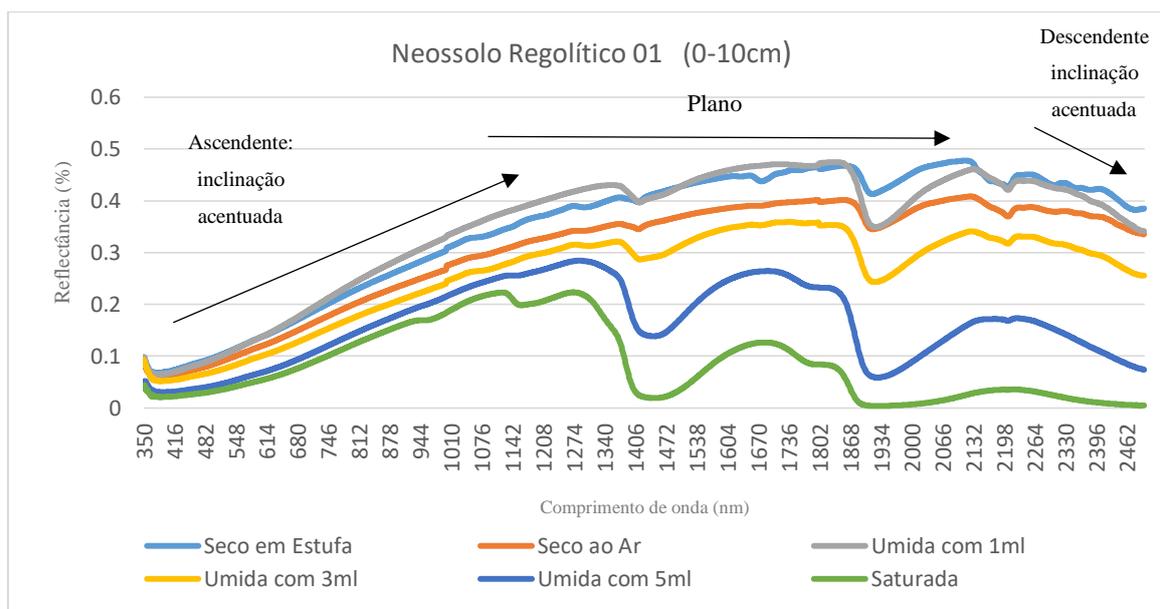
Fonte: A autora (2018).

Na Figura 9 pode-se, também, observar as feições de alta intensidade de reflectância, que pode ser justificado, além da presença forte de quartzo (SOUZA, 2013), como citado anteriormente, na presença de minerais primários menos desenvolvidos e do elevado teor de silte, corroborando Demattê (2002), que afirma que tanto o alto teor de silte, como a presença de minerais intemperizáveis, contribui para o aumento da reflectância espectral dos solos.

De forma geral os Latossolos amarelo costumam apresentar pouca variação entre as feições de reflectância e absorção, pois conforme Souza (2013), essa condição ocorre em função da disparidade de teores de alguns constituintes, como a granulometria e o teor de matéria orgânica ao longo do perfil de solo. Os maiores picos de reflectância podem ser observados no Latossolo 07, nos comprimentos de onda em torno de 1274, 1730, 1860, 2100 e 2300 nm.

A intensidade da curva espectral, a forma geral ao longo do espectro, e as características de feições de absorção mais intensas, diretamente relacionada a mineralogia, devem ser prioridade ao analisar o comportamento espectral de um solo (Demattê, 2014), neste caso, podemos observar tais características no comportamento das curvas do Neossolo Regolítico 01 (Figura 10).

Figura 10 - Inclinação das curvas espectrais do Neossolo Regolítico (01).



Fonte: A autora (2018).

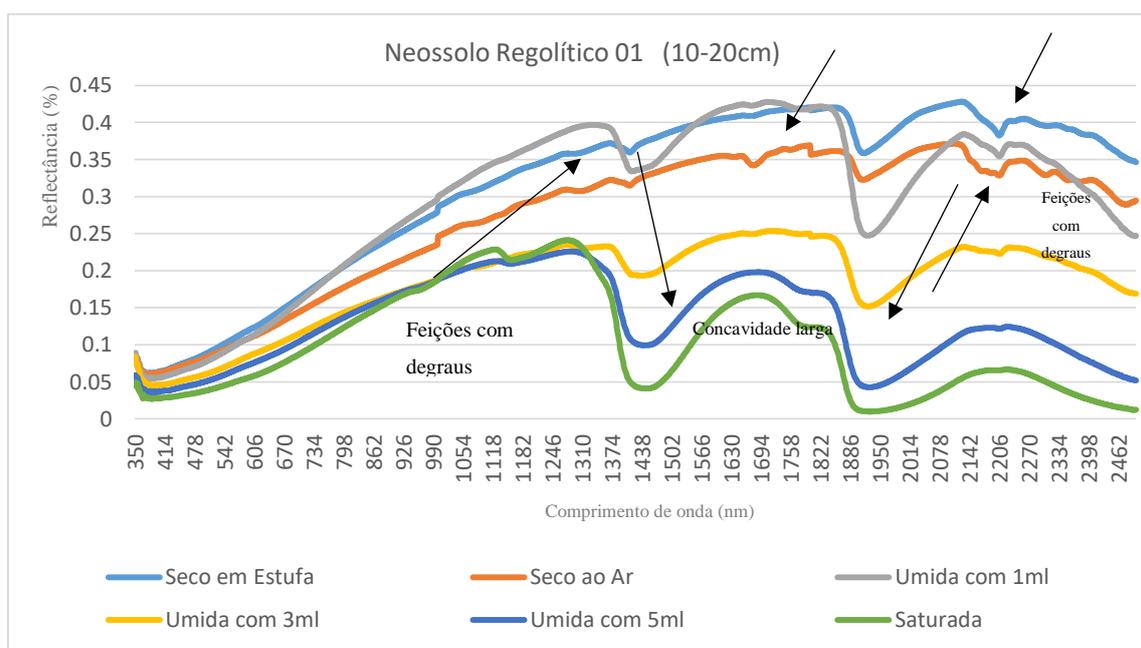
As feições com inclinação acentuada, ascendentes e decrescente (DEMATTÊ, 2014; SOUZA, 2013) referem-se a presença de ferro na região do visível e do infravermelho próximo, pois conforme Epiphanyo et al. (1992), o óxido de ferro é um atributo que influencia diretamente

no comportamento espectral do solo, através do tipo e da quantidade presentes, promovendo o aumento ou a redução da reflectância.

O comportamento espectral do Neossolo Regolítico (01), apresenta até aproximadamente 1300 nm feição ascendente de inclinação acentuada, até 2200 nm seu comportamento segue um padrão plano e a partir de então, apresenta feição decrescente de inclinação acentuada.

Os picos e os degraus encontrados no comportamento desses solos, também geram informações importantes na interpretação do comportamento espectral, como se pode ver na figura 11.

Figura 11 - Picos e degraus no comportamento espectral do Neossolo Regolítico 01



Fonte: A autora (2018).

Feições com degraus evidenciam presença de minerais como a goethita, a caulinita e a hematita que devem ser observadas detalhadamente a partir de análises mineralógicas dos solos, trabalhos como o feito por Dalmollin (2005) indicam que devem ser observados os comprimentos de onda menores que 520 nm, pois na maioria das vezes apresentam variações conforme teor mais acentuado de hematita. As concavidades ocorrem devido à forte influência vibracionais da OH e H<sub>2</sub>O, produzindo as feições mais intensas em forma de V (SOUZA, 2013), que no caso do Neossolo Regolítico, são identificadas entre os comprimentos de 1400 e 1500 nm e em torno de 1900 nm.

## 4.2 INFLUÊNCIA DO CONTEÚDO DE ÁGUA E DA GRANULOMETRIA NO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS SOLOS DA ÁREA ESTUDADA.

O resultado obtido na análise granulométrica indicou as texturas areia franca, franco arenosa e franco-argilo-arenoso para as camadas analisadas nos Latossolos Amarelos e para os Argissolo Amarelos. Os Neossolos Regolítico apresentaram textura arenosa, areia franca e franco-arenosa. Os valores de cada fração estão descritos nas tabelas ao longo do texto e nos Apêndices.

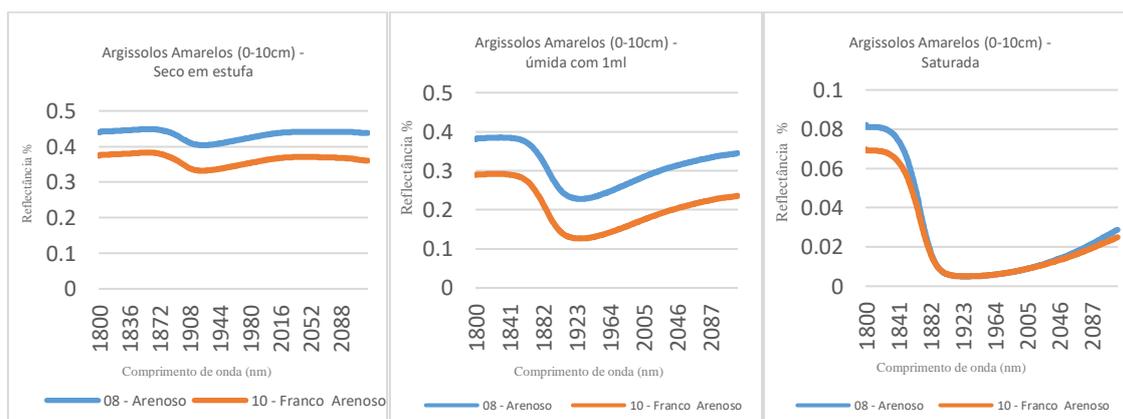
As observações das assinaturas permitem concluir que o comportamento espectral de todos os solos, obedecem a um mesmo padrão, independentemente de sua classe, mas é importante buscar compreender como o comportamento espectral de solos úmidos é influenciado pela variação da textura.

A seguir, é possível visualizar como amostras de solos de uma mesma classe com texturas distintas, tendo o mesmo tratamento, se comportam ao longo do espectro VIS/NIR.

### 4.2.1 Comportamento espectral dos Argissolos Amarelo.

Os Argissolos Amarelos de textura arenosa (08) e Franco Arenosa (10), quando submetidos a análise espectral com amostras secas em estufa, umedecida com 1 ml e saturada com 7 ml. A figura 12, apresenta a influência da água no comportamento espectral dos Argissolos com diferentes texturas.

Figura 12 - Influência da água no comportamento espectral do Argissolo Amarelo 08 de textura arenosa e do Argissolo Amarelo 10 de textura Franco Arenoso.



Fonte: A autora (2018).

O solo Arenoso (08) em ambos tratamentos, apresentam valores de reflectância maiores que os valores apresentados por solos de textura Franco-arenoso (10). Uma vez que os solos franco-arenoso possuem um teor maior de argila como se pode observar na tabela 3. Nesta ocasião, é importante destacar que os Argissolos Amarelos 08 e 10 não apresentaram variação entre os valores de densidade e porosidade, características dos solos que influenciam diretamente em sua capacidade de armazenamento de água nos poros (EMBRAPA, 2014).

O solo de textura Franco arenoso (10), apresenta feição mais alongada e picos de reflectância menores devido ao teor de argila presente. A amostra 08 de textura arenosa eleva sua refletância em função de seu alto teor de areia, que contribui diretamente no aumento da refletância, devido à forte presença de quartzo, o que é corroborado por Demattê (2002), quando verificou o aumento da refletância de Argissolos com maiores concentrações de areia.

Tabela 3 - Análise Física dos Argissolos Amarelos 08 e 10.

<b>Análise Física do solo dos Argissolos Amarelos 08 e 10.</b>										
<b>Solo:</b> Argissolo Amarelo							<b>Data:</b> 12/06/2018			
		<b>Composição granulométrica da terra fina (g/kg)</b>								
<b>Amostra</b>	<b>Nº de Campo</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Areia grossa 2-0.20 mm</b>	<b>Areia Fina 0.20-0.05 mm</b>	<b>Silte 0.05-0.002 mm</b>	<b>Argila &lt; 0.002 mm</b>	<b>Densidade do solo (g/cm³)</b>	<b>Porosidade do solo (cm³/cm³)</b>	<b>porosidade em %</b>	<b>Textura</b>
08	G3	0-10	779	134	65	20	1.7	0.3	34.3	Arenosa
		10-20	720	174	64	40	1.8	0.3	31.1	
10	G5	0-10	706	159	73	60	1.7	0.3	34.4	Areia Franca
		10-20	594	207	128	70	1.7	0.3	33.6	

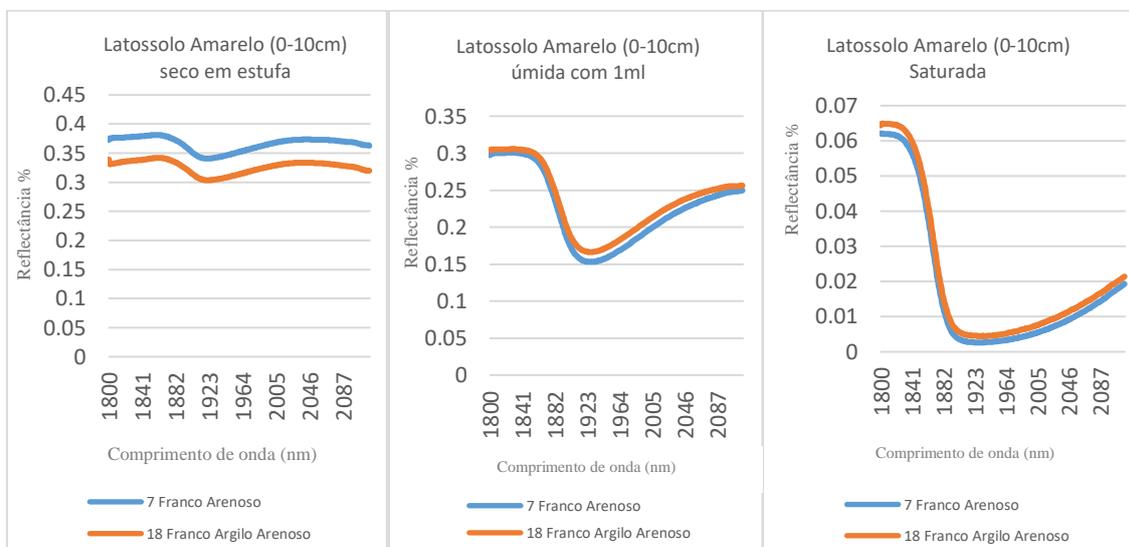
Fonte: A autora (2018).

#### 4.2.2 Comportamento espectral dos Latossolo Amarelos.

Nas amostras de Latossolos amarelos 07 e 18, pode-se perceber uma variação no comportamento espectral nos diferentes tratamentos. Quando analisado na condição de seco em estufa, a amostra 18 de textura Franco-Argilo-Arenosa, apresentou percentual de reflectância menores que a amostra do solo 07 de textura Arenosa. Tal comportamento que foi alterado nas situações em que foram coletados espectros de amostras úmidas, onde os solos de textura Franco-Argilo -Arenosa 18, apresentou em todo o intervalo maiores valores de reflectância quando comparado ao solo 07. Está variação se explica no fato de que solos de textura média

apresentam maior capacidade de retenção de água (EMBRAPA,2012). Tal comportamento pode ser observado na figura 13.

Figura 13 - Influência da água no comportamento espectral dos Latossolos Amarelo 07 e 18.



Fonte: A autora (2018).

A diferença nos teores de areia grossa e argila das amostras 07 e 18, assim como a maior porosidade da amostra 18, ajudam a explicar a alteração observada na curva espectral. Solos mais arenosos tendem a apresentar baixos teores de matéria orgânica, fato que atenua as feições de absorção (GENÚ, DEMATTÊ e FIORIO, 2010; DEMATTÊ et al., 2002; SOUZA, 2013; VISCARRA ROSEL et al., 2016), além de que, solos mais arenosos apresentam altos teores de quartzo, que influencia diretamente no aumento da reflectância (FORMAGGIO et al., 1996). A diferença nos valores de areia grossa e argila das amostras 07 e 18 podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 4 - Análise Física dos Latossolos Amarelos 07 e 18

Análise Física do solo										
Solo: Latossolo Amarelo							Data: 12/06/2018			
			Composição granulométrica da terra fina (g/kg)							Textura
Amostra	Nº de Campo	Profundidade de (cm)	Areia grossa 2-0.20 mm	Areia Fina 0.20-0.05 mm	Silte 0.05-0.002 mm	Argila < 0.002 mm	Densidade do solo g/cm³	Porosidade do solo (cm³/cm³)	porosidade em %	
07	G2	0-10	607	197	105	90	1.9	0.1	13.2	

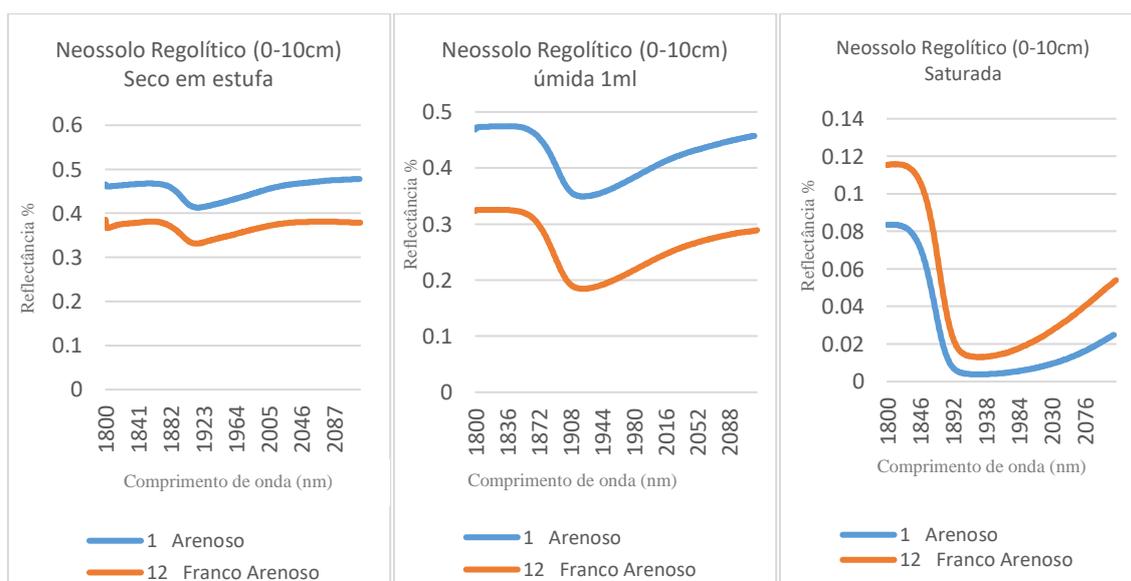
		10-20	566	158	164	110	1.7	0.2	23.7	Franco - arenoso
18	B3	0-10	502	144	182	170	1.4	0.4	45.5	Franco Argilo Arenoso
		10-20	492	129	197	180	1.4	0.5	55.1	

Fonte: A autora (2018).

#### 4.2.3 Comportamento espectral dos Neossolo Regolítico.

Na ordem dos Neossolos, podemos analisar detalhadamente os perfis 01 de textura arenosa e 12 de textura Franco arenosa. Ambos classificados de acordo com o ZAPE (2001) como Neossolo Regolítico, eles apresentaram comportamento espectral de amostras secas em estufa com fator de reflectância próximo a 50%. Souza (2013) identificou Neossolos com fator de reflectância próximo a 70% e justificou o comportamento na presença de solos pouco desenvolvidos, em razão de elevados teores de areia (EIPHANIO et al., 1992; CHANG et al., 2001; DEMATTÊ et al., 2010; HONG et al., 2018). Tal característica também pode ser observada na figura 14, com o Neossolo 01, que apresenta significativo valor de areia grossa e variação no comportamento espectral de diferentes tratamentos.

Figura 14 - Influência da água no comportamento espectral dos Neossolos Regolítico 01 e 12.



Fonte: A autora (2018).

O fator de reflectância dos Neossolos com amostras saturadas foi significativamente maior, que os fatores apresentados pelos Latossolos e Argissolos, alcançando reflectância

próximo a 12% nas bandas 1800 a 1850 nm. Quando nos demais casos este fator atingiu apenas 0.6%.

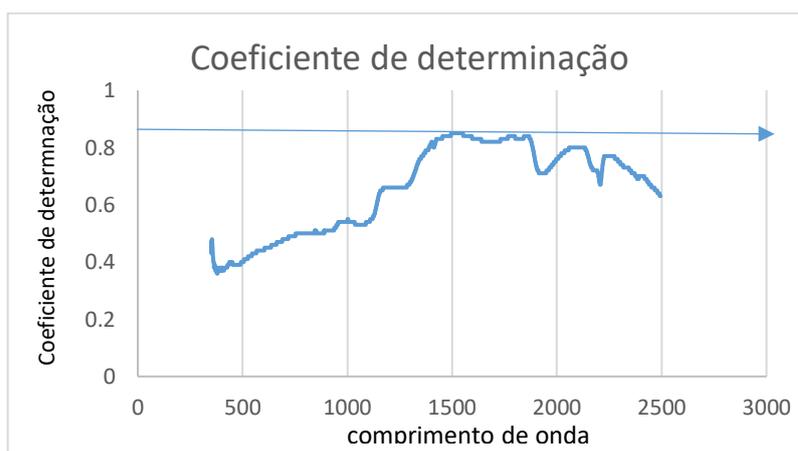
Tabela 5 - Análise Física dos Neossolo Regolítico 01 e 12

Análise Física do solo										
Solo: Neossolo Regolítico						Data: 12/06/2018				
		Composição granulométrica da terra fina (g/kg)								Textura
Amostra	Nº de Campo	Profundidade (cm)	Areia grossa a 2-0.20 mm	Areia Fina 0.20-0.05 mm	Silte 0.05 - 0.002 mm	Argila ≤ 0.002 mm	Densidade do solo g/cm³	Porosidade do solo (cm³/cm³)	porosidade em %	
1	P1	0-10	759	169	52	20	1.8	0.2	29.7	Arenoso
		10-20	669	214	97	20	1.8	0.3	37.7	
12	C2	0-10	507	287	115	90	1.5	0.3	38.8	Franco arenoso
		10-20	652	117	139	90	1.6	0.3	34.1	

Fonte: A autora (2018).

Ao analisar o coeficiente de determinação existente entre os comprimentos de onda e o conteúdo de água no solo, foi possível perceber que as bandas que apresentaram  $R^2$  maior que 0.8 são as bandas utilizadas para obtenção do índice de umidade do solo normalizado- NSMI, já utilizados por Younes e Iqbal et al. (2015), Hong et al (2017). Porém, como se pode observar no gráfico a seguir, foram identificados outros intervalos com  $R^2$  superior a 0.8, este fato abre possibilidades para obtenção e investigação do NSMI a partir de novos intervalos de comprimento de onda (figura 15).

Figura 15 - Análise do Coeficiente de Determinação dos Comprimentos de onda.



Fonte: A autora (2018).

Conforme Younes e Iqbal et al. (2015), Dotto et. al. (2016), Hong et. al (2017), as bandas com correlação a cima de 0.8, são consideradas bandas de com maior potencial para obtenção dos dados de umidade superficial do solo, pois indicam alta sensibilidade a presença das hidroxilas. Os demais comprimentos de onda identificadas a partir da matriz de correlação simples estão descritas na tabela 5.

Tabela 6 - Bandas com coeficiente de Determinação maior que 0.8

<b>BANDAS COM ALTA CORRELAÇÃO</b>	
<b><math>R^2</math></b>	<b>Intervalo entre as bandas</b>
0.85	1495-1552 nm.
0.84	1454-1494; 1553-1594; 1767-1800; 1842-1867; 1868 nm.
0.83	1425-1453; 1595-1639; 1731-1766; 1801-1841; 1896-1875 nm.
0.82	1403-1404; 1420-1423; 1440-1730; 1876-1879 nm.
0.81	1394-1410; 416-1419; 1880-1882 nm.
0.8	1388-1393; 1411-1415; 1883-1885; 2057-2135 nm.

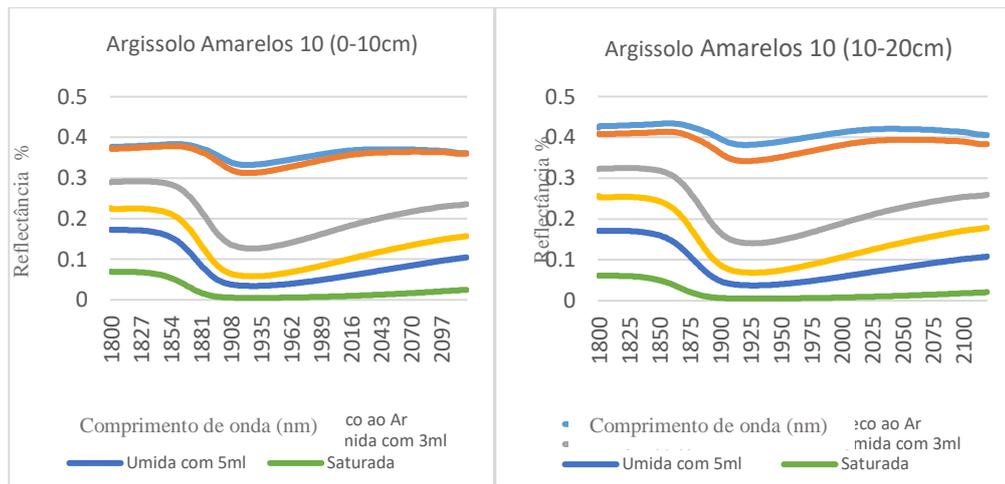
Fonte: A autora (2018).

Vale salientar que dentro do universo de trabalhos observados, não há registros de obtenção do NSMI utilizando bandas do VIS/NIR que não seja as bandas propostas por Haubrock et al. (2008).

#### 4.3 ÍNDICE DE UMIDADE DO SOLO NORMALIZADO – NSMI.

O comportamento espectral das amostras em diferentes tratamentos, em todos os casos apresentam formas semelhantes, mas com diferentes intensidades, pois a umidade apresenta efeito significativo nos espectros de reflectância. Nos casos observados, o fator de reflectância das amostras secas em estufa, atingem picos em torno de 40%, resultado muito próximo ao obtido por Hong et al., (2018), que encontrou fator de reflectância em torno de 35% em solos com teores de matéria orgânica conhecidos. As amostras em estudo também apontam picos de absorção em torno de 1860 e 2020nm, em todos os níveis de umidade, intervalo que confirma a utilização das bandas para obtenção do NSMI proposta por Haubrock et al., (2008).

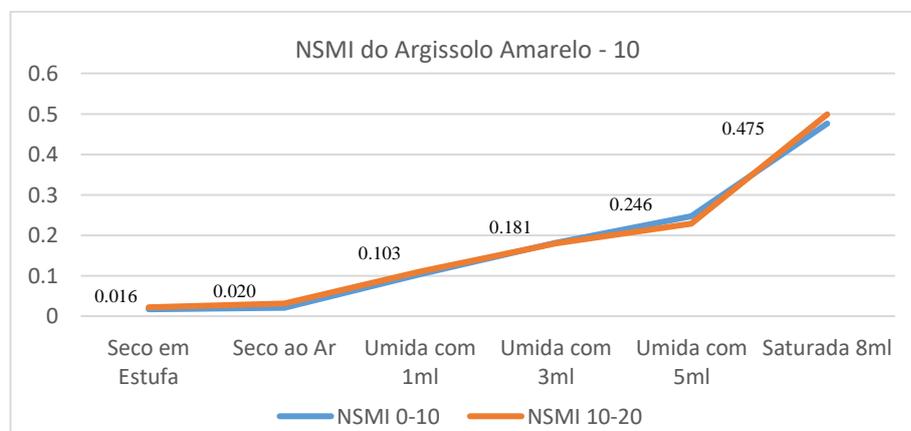
Figura 16 - Espectros do Argissolo Amarelos (10) de textura Franco Arenoso. Recorte das bandas 1800-2119nm.



Fonte: A autora (2018).

O Argissolo Amarelo 10, de textura Franco Arenoso, respondeu ao padrão estabelecido pela literatura. Os valores obtidos através do NSMI, apontam comportamento positivo. Nesta ocasião as amostras atingiram ponto de saturação com a adição total de 8ml de água. Na figura 17 a seguir pode-se observar a evolução do NSMI do Argissolo amarelo 10, o aumento gradativo do índice segue a tendência do aumento do conteúdo de água adicionada à amostra, não havendo discrepância nos valores obtidos de amostras de mesma classe e com profundidade distinta.

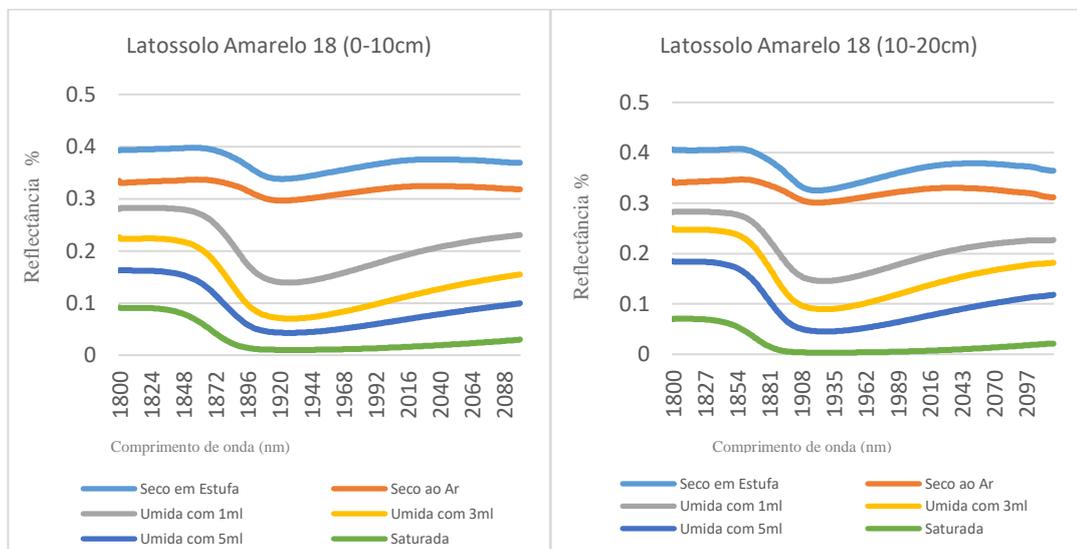
Figura 17 - NSMI do Argissolo Amarelo 10, em diferentes profundidades e tratamentos.



Fonte: A autora (2018).

As respostas positivas aos padrões definidos, podem ser observados nos casos do Latossolo Amarelo (18) de textura Franco Argilo Arenoso, assim como, no Neossolo Regolítico (25) de textura Arenosa (Figura 18).

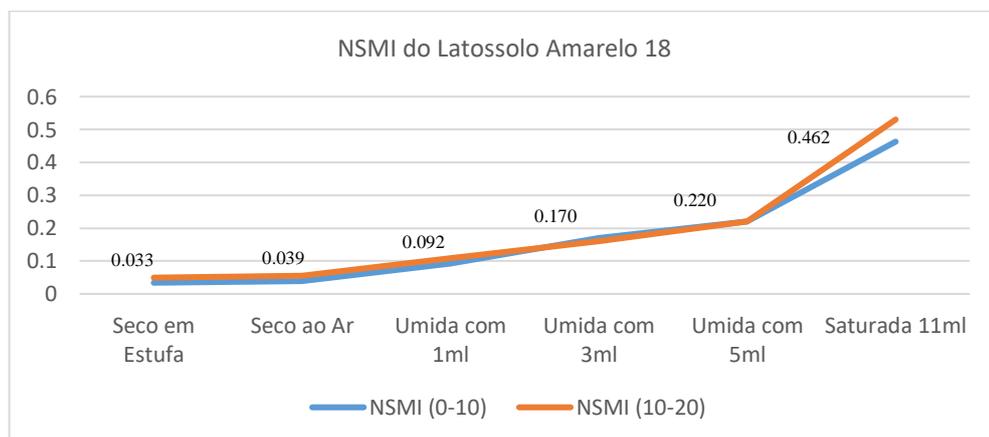
Figura 18 - Espectros do Latossolo Amarelos Franco Argilo Arenoso (18). Recorte das bandas 1800-2119 nm.



Fonte: A autora (2018).

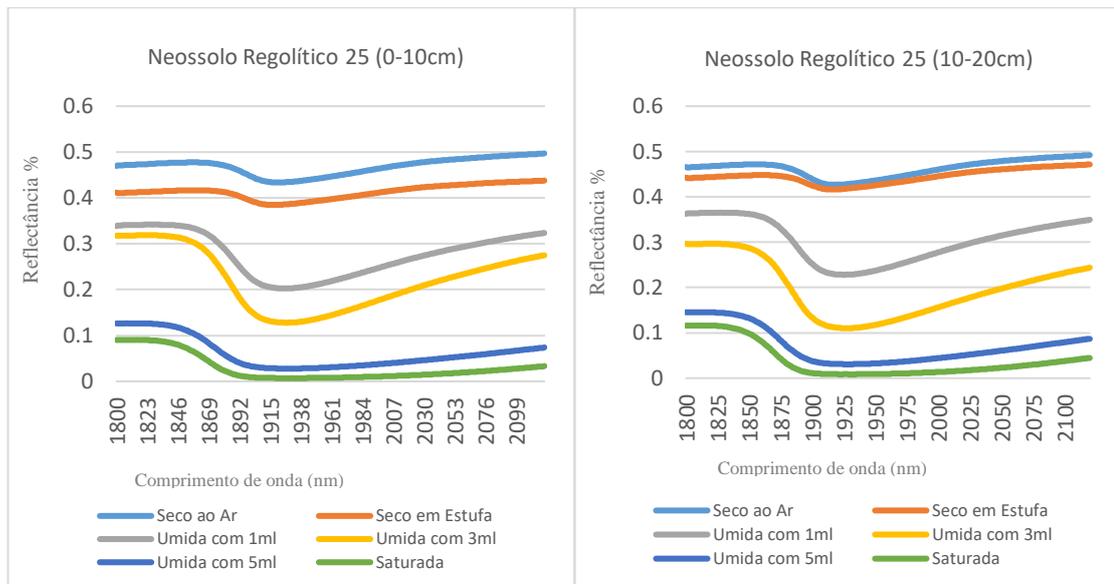
O Latossolo amarelos 18, apresenta 40% fator de reflectância nas amostras secas em estufa e 10% em amostras saturadas, nesta ocasião com 11 ml adicionados. A figura 19 apresenta a evolução do índice.

Figura 19 - Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI) do Latossolo Amarelo 18, em diferentes profundidades e tratamentos.



Fonte: A autora (2018).

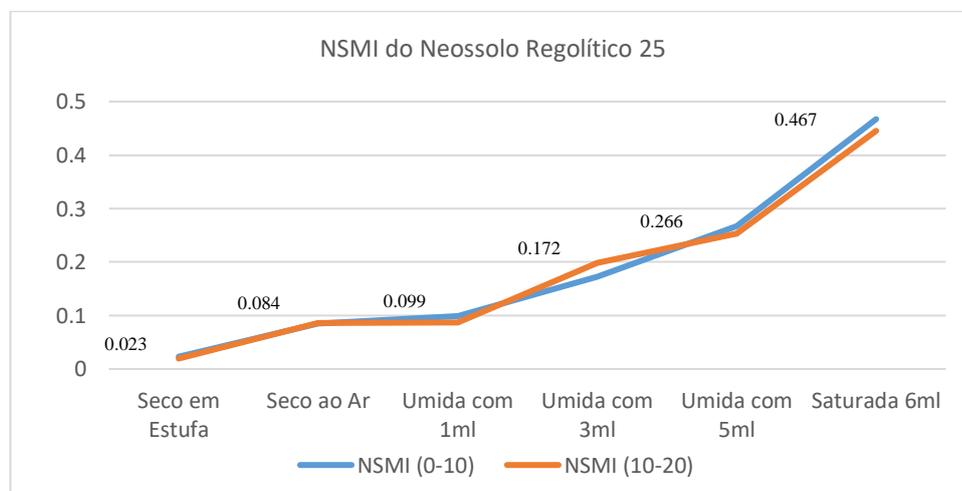
Figura 20 - Espectros do Neossolo Regolítico 25 de textura Arenosa. Recorte das bandas 1800-2119nm.



Fonte: A autora (2018).

O Neossolo 25, apresenta fator de reflectância aproximado de 50% para amostras secas em estufa e picos pouco a cima de 10% para amostras saturadas as 6 ml. As bandas de maior absorção respeitam ao padrão já apresentado pelo Argissolo (10) e Latossolo (16). Os valores do NSMI podem ser verificados na Figura 21.

Figura 21 - Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI) do Neossolo Regolítico 25, em diferentes profundidades e tratamentos.



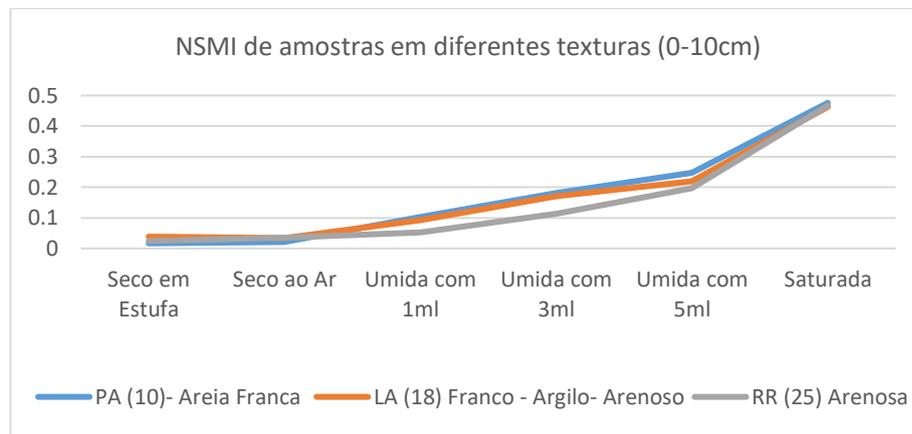
Fonte: A autora (2018).

Os horizontes superficiais (0-10 cm) de todas as classes observadas, exibiram níveis mais elevados de reflectância que os níveis apresentados pelas amostras subsuperficiais (10-20

cm), este comportamento é explicado pela correlação positiva do NSMI com silte e areia fina e correlação negativa com areia grossa. Este resultado também foi observado por Souza (2013), nos comprimentos de ondas referentes ao NSMI (1800-2120 nm).

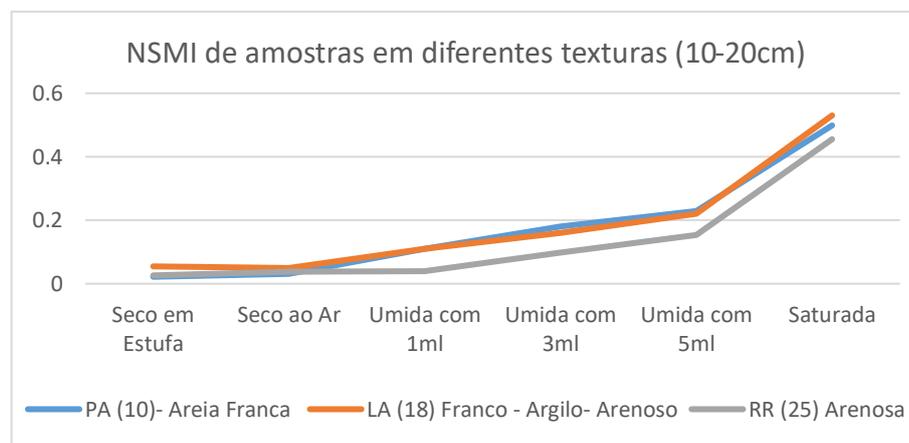
Ao observar a variação do NSMI de solos de diferentes classes e texturas, pode-se perceber uma significativa diferença, onde as amostras com menor teor de areia, no caso as amostras 10 (PA) e 18 (LA), apresentam valores em comum, porém os valores obtidos da amostra 25 (RR) com maior teor de areia, apresenta NSMI menores. Tal variação pode ser observada no Figuras 22 e 23 a seguir.

Figura 22 - Curva do NSMI de amostras em diferentes texturas (0-10cm), obtido por diferentes tratamentos.



Fonte: A autora (2018).

Figura 23 - Curva do NSMI de amostras em diferentes texturas (10-20cm), obtido por diferentes tratamentos.



Fonte: A autora (2018).

A variação nos valores do NSMI, observado no Neossolo Regolítico (25) de textura arenosa, é explicada pelo fato de que solos menos desenvolvidos apresentam maior intensidade de reflectância e menor capacidade de armazenamento de água nos poros em razão dos elevados teores de areia e do tamanho das partículas (Demattê et al. 2003; Demattê et al. 2010; Bellinaso, Demattê e Romeiro, 2010).

Para validação do NSMI é importante que os valores obtidos em cada pesagem estejam coerentes e mais próximo da realidade. No contexto em que as leituras espectrais foram realizadas, é aceitável que haja redução de ordem decimal nos valores obtidos, uma vez que as assinaturas espectrais foram coletas em temperatura ambiente elevada e os locais de pesagem e leitura estavam dispostos a aproximadamente 50m de distância, condições favoráveis a evaporação do conteúdo de água adicionado a amostra. As tabelas 06 e 07, apresentam respectivamente os pesos das amostras secas e úmidas utilizadas em cada leitura espectral, já desprezando os pesos das placas de petri.

Tabela 7 - Peso das amostras em diferentes condições de secagem.

<b>Amostra</b>	<b>Profund.</b>	<b>Seco ao ar</b>	<b>Seco em estufa</b>	<b>Conteúdo de H<sub>2</sub>O (g)</b>
<b>LA(18)</b>	0-10 cm	30.47	30.33	0.14
	10-20 cm	31.87	31.75	0.12
<b>PA (10)</b>	0-10 cm	37.13	36.86	0.27
	10-20 cm	34.91	34.67	0.24
<b>RR (25)</b>	0-10 cm	38.83	38.2	0.63
	10-20 cm	40.93	40.12	0.81

Fonte: A autora (2018).

Tabela 8 - Peso das amostras em diferentes níveis de umidade.

<b>Amostra</b>	<b>Profund.</b>	<b>Peso Amostra</b>	<b>Amostra c/ 1ml</b>	<b>Amostra c/ 3ml</b>	<b>Amostra c/ 5ml</b>	<b>+ X ml</b>	<b>ml total</b>	<b>Peso saturado</b>
<b>LA (18)</b>	0-10 cm	30.33	33.32	<b>35.28</b>	37.18	6	11	43.02
	10-20 cm	31.74	32.73	<b>34.7</b>	36.37	6	11	42.17
<b>PA (10)</b>	0-10 cm	36.83	37.73	<b>39.72</b>	41.28	3	8	43.15
	10-20 cm	34.65	35.45	<b>37.1</b>	39.34	3	8	42.98
<b>RR (25)</b>	0-10 cm	38.2	39.03	<b>41.97</b>	43.88	1	6	44.12
	10-20 cm	40.1	39.98	<b>41.92</b>	43.14	1	6	44.53

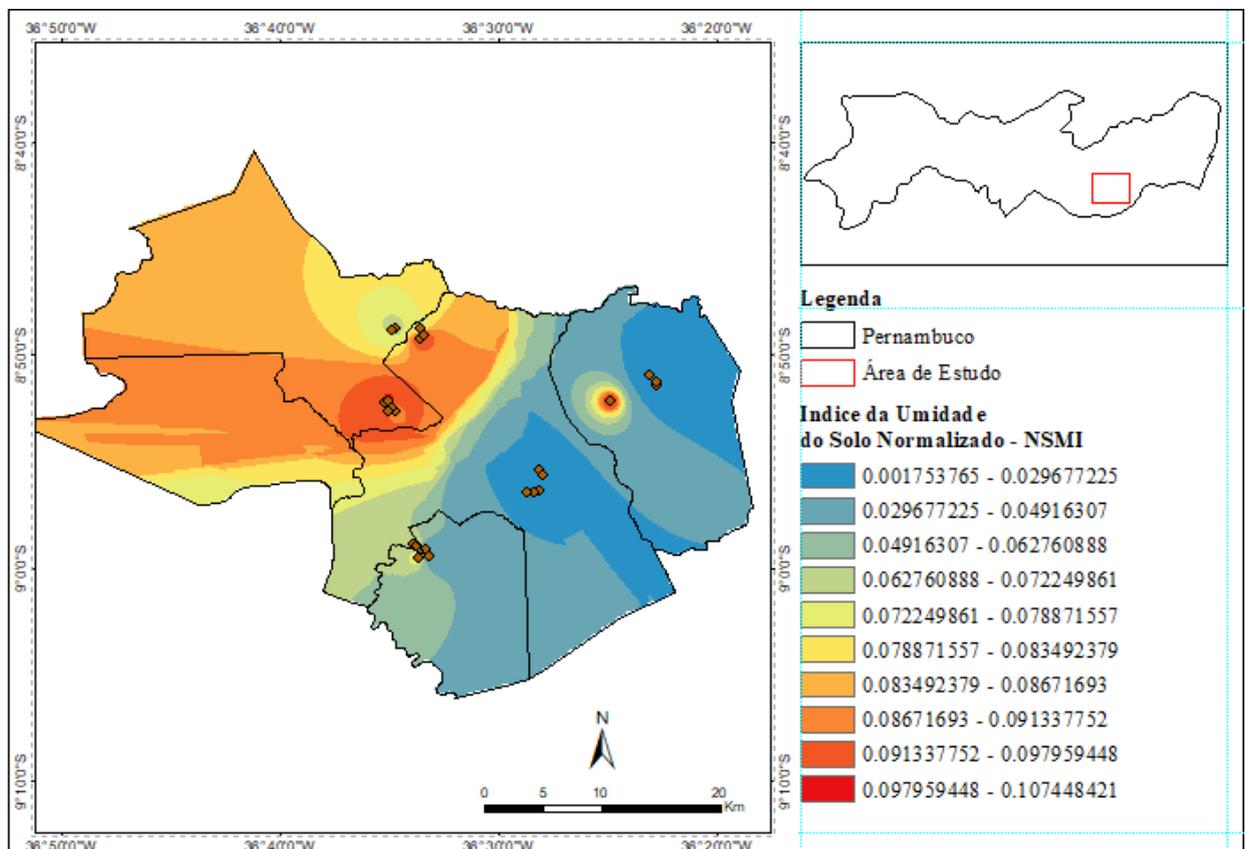
Fonte: A autora (2018).

Por tanto, o conteúdo de água na amostra é diretamente proporcional aos valores de NSMI. Uma vez que quando há o aumento gradativo da quantidade de água adicionada, ocorre o aumento dos valores de NSMI. E paralelo a isto acontece a redução da reflectância.

#### 4.3.1 Espacialização do do Índice de Umidade do Solo Normalizado - NSMI

A espacialização do Índice de Umidade do Solo Normalizado – NSMI , foi realizada com o intuito de viabilizar a interpretação dos dados, por meio do Software ArcGIS 10.2, que permite a extrapolação dos dados para áreas de características em comum, neste caso, áreas com o mesmo tipo de solo. Foram extrapoladas as informações de 25 pontos de coletas, em duas profundidades e 6 tratamentos, que gerou um total de 300 NSMI. O resultado pode ser analisado na figura 24.

Figura 24 - Índice de Umidade do Solo Normalizado – NSMI



Fonte: A autora (2018).

As áreas em tons de azul indicam valores de NSMI menores que 0.06, que podem ser encontrados em solos de diferentes classes e texturas, localizadas nos municípios de Brejão, Garanhuns e São João. A mesma característica foi identificada na região onde o NSMI

apresentou valores entre 0.06 e 0.08, considerados valores medianos. Amostras que apresentaram NSMI acima de 0.08, estão em menor proporção e pertencem à classe dos Neossolos Regolítico de textura arenosa.

O agrupamento dos solos da mesma classe com texturas distintas, identificou as amostras 01, 12 e 14 dos NEOSSOLOS REGOLÍTICOS; 08, 09 e 10 dos ARGISSOLOS AMARELOS e 06 e 07 dos LATOSSOLOS AMARELOS, onde os valores de NSMI obtidos em amostras secas em estufa e saturadas apresentam comportamento distintos, como se pode observar o caso dos Argissolos Amarelos 08, 09 e 10 na tabela 08, a seguir.

Tabela 9 - NSMI de Argissolos Amarelos de diferentes texturas.

<b>Solos Argissolos Amarelos</b>			
<b>ID</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>NSMI Seco em estufa</b>	<b>NSMI Saturado</b>
08 (0-10cm)	ARENOSO	0.041174	0.444317
09 (0-10cm)	FRANCO-ARGILO-ARENOSO	0.010332	0.539674
10 (0-10cm)	AREIA FRANCA	0.026936	0.485976

Fonte: A autora (2018).

A quantidade de água adicionada às amostras até ponto de saturação não é proporcional ao NSMI quando comparado com amostras de texturas distintas pertencentes a mesma classe, o que se pode observar nas amostras de LATASSOLOS AMARELOS 06 e 07, que atingiram ponto de saturação com a adição de 8 ml de água e os valores de NSMI com amostras saturadas foram 0.47 e 0.52 respectivamente. Logo, entende-se que a condição de análise da amostra foi refletida claramente nos valores de NSMI obtido e que as diferentes texturas apresentam variação de valores no mesmo tratamento, o que é justificado no fato que o tamanho das partículas interfere na disponibilidade do teor de água no solo. Solos da mesma textura e classes diferentes pertencem ao mesmo grupo de NSMI, como se pode observar no caso das amostras de textura arenosas 06 (LATOSSOLO AMARELO), 08 (ARGISSOLO AMARELO) e 01 (NEOSSOLO REGOLÍTICO), que apresentam o mesmo NSMI dos tratamentos secos em estufa e saturadas, tanto para amostras de solo superficial (0-10cm) como para amostras subsuperficial (10-20cm). Como se pode observar na tabela 09.

Tabela 10 - NSMI de diferentes solos com texturas variadas.

<b>Solos de textura arenosa</b>			
<b>ID</b>	<b>CLASSE</b>	<b>NSMI Seco em estufa</b>	<b>NSMI Saturado</b>
06 (0-10cm)	LA	0.042266	0.477264
08 (0-10cm)	PA	0.041174	0.484317
01 (0-10cm)	RR	0.030489	0.533795

Fonte: A autora (2018).

Este padrão também pode ser identificado nos valores de NSMI das amostras 07 (LA) e 09 (PA), ambas de textura FRANCO-ARGILO-ARENOSA. Comportamento que evidencia a maior influência da textura na identificação do espectral do conteúdo de água no solo e consequentemente nos valores de NSMI.

De forma geral, Hong et al. (2017) identificou efeito evidente nos espectros de reflectância para diversos níveis de umidade, assim como ocorre a diminuição acentuada do espectro quando o aumento da umidade é superior a 18%; resultados muito próximos aos obtidos nesta ocasião, comprovando a eficiência da análise espectral para identificação da umidade do solo e na compreensão do quanto está variável influencia o comportamento espectral dos solos.

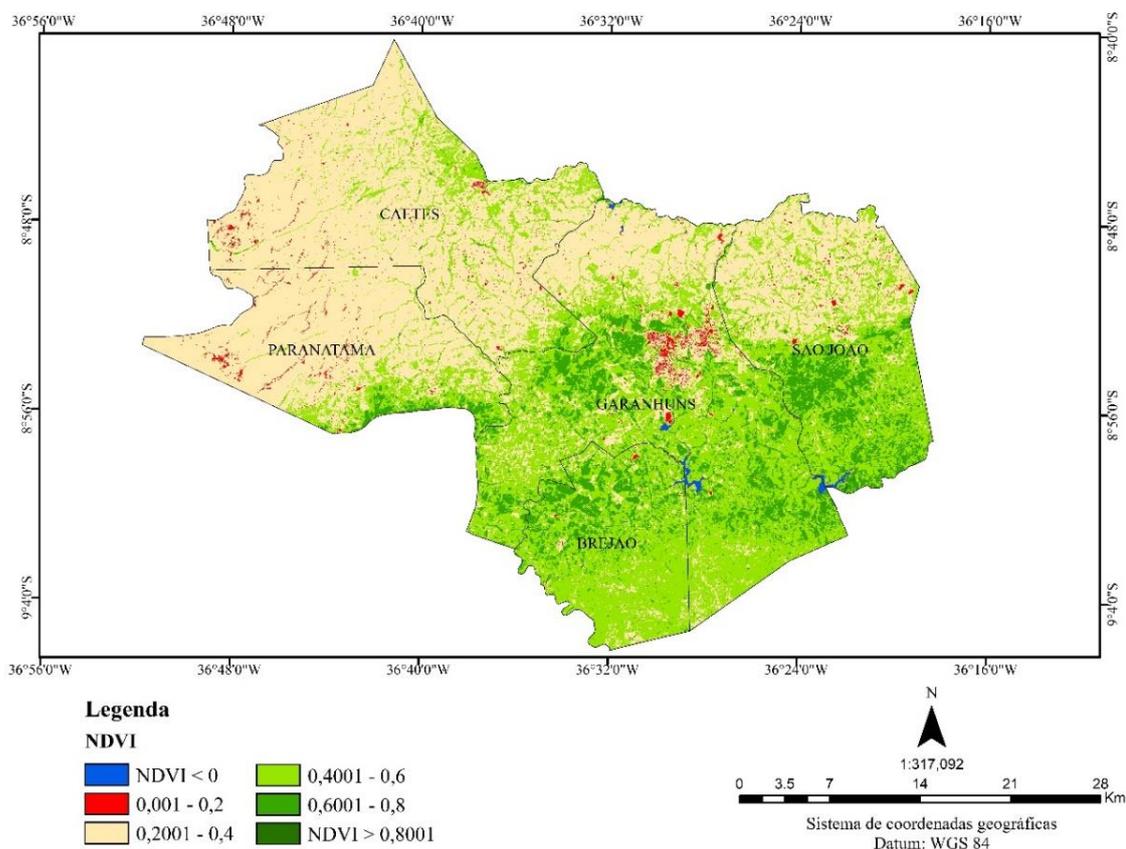
Outro fator importante na análise e interpretação do Índice de Umidade do Solo Normalizado – NSMI, é a cobertura vegetal do solo, a presença ou ausência da cobertura foliar e de raízes no solo, que interferem na capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo. Diante desta importância, todas as amostras foram coletas em área agrícola, seja em período de plantio ou em período de repouso da terra. Esta informação fomenta a discussão do Índice de Vegetação Normalizado – NDVI. Que apesar de apresentar estatisticamente baixa correlação positiva com o NSMI, 0.4 de correlação, vem sendo utilizada com frequência por pesquisadores para explicar sua contribuição na validação de dados de umidade do solo (HONG et al. 2017), pois a interação da umidade do solo com fatores ambientais gera medições eloquentes (YOUNES e IQBAL, 2015).

#### 4.4 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADO (NDVI)

Os intervalos de reflectância do NDVI estão espacializados na Figura 25, os valores de NDVI foram agrupados em seis classes conforme sugerido pelo índice, valores mais baixos agrupam as áreas sem vegetação e com corpos d'água, os demais valores indicam áreas com cobertura vegetal baseadas na vegetação fotossinteticamente ativa e de sua relação com a

ausência e presença de folhas verdes, uma vez que o NDVI é muito sensível a atividade da clorofila.

Figura 25 - Índice de Vegetação Normalizado (NDVI) da área de estudo.



Fonte: A autora (2018).

Observou-se que a vegetação é fortemente representada por áreas de solo exposto com vegetação esparsa, indicadas pelos valores de NDVI entre 0,2001 e 0,4 concentrada, significativamente, nos municípios de Paranatama e Caetés, assim como no extremo norte dos municípios de Garanhuns e São João.

Áreas com NDVI entre 0,4001 e 0,6 que indicam vegetação esparsa. A forte presença desse tipo de vegetação, se explica na intensa atividade agrícola, desenvolvida na região, onde prevalecem as culturas do milho e do feijão. Considerado o mês em que a imagem foi registrada, dezembro de 2017, período de menor volume de precipitação na região, a pedologia local e as culturas locais, é possível compreender os valores de NDVI para essa classe, uma vez que se justificam no fato de que grãos como feijão e milho devem ser plantados em épocas de chuvas amenas, por volta dos meses de março e abril (EMBRAPA, 2018).

As áreas com valor de NDVI a cima de 0.8001 estão em menor quantidade e localizam-se, de forma geral, nos pontos mais elevados da região, marcados pela presença de vegetação densa preservada.

Estabelecer relações espaciais entre o NSMI e o NDVI, ainda é uma tentativa delicada, uma vez que medir grandes áreas pelo método de interpolação entre pontos convencionais e extrapolar os valores obtidos para áreas em comum, não produz resultados precisos, uma vez que o método não examina a rugosidade da superfície, a topografia, não considera o estágio da vegetação, entre outros.

Mas vale destacar que as áreas com NDVI entre 0.2001 – 0.4 (solo exposto, com vegetação esparsa) são áreas que apresentam valores de NSMI entre 0.072 e 0.083 considerados valores medianos de NSMI. Quando considerado o fato de que as amostras foram coletas em período de plantio e a forma como as mudas são dispostas, podemos justificar os baixos valores de NSMI. Estas amostras foram coletadas nos municípios de Caetés, Paratama, São João e Brejão.

A exceção, é o caso das amostras coletas em Garanhuns, da ordem dos Latossolos e Argissolos. Essas amostras apresentaram baixos valores de NSMI e alto NDVI entre 0.6001 e 0.8 (vegetação semidecídua) e foram coletas em áreas de plantio de Milho já em fase madura. Logo, possui grande quantidade de área foliar das plantas e explica os altos valores de NDVI. Contudo, a presença de determinados tipos de feições morfológicas pode conferir a esses solos comportamento hídrico distinto (ALMEIDA, 2015).

A análise das informações da distribuição geográfica das classes do NDVI e as visitas a campo, permitem inferir a ocorrência de padrões espaciais na distribuição dos tipos de cobertura vegetal, de acordo com os tipos de culturas desenvolvidas nas áreas de coleta de solos.

#### 4.5 CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE UMIDADE DO SOLO NORMALIZADO (NSMI), ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADO (NDVI) E A TEXTURA DOS SOLOS.

A análise de correlação identificou o grau de influência dos atributos físicos dos solos e do NDVI sobre os valores do NSMI. O grau de correlação pode ser visualizado na matriz a seguir.

Tabela 11 - Matriz de Correlação entre atributos físicos dos solos, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Umidade do Solo Normalizado (NSMI).

<b>Matriz de Correlação Simples</b>									
	NSMI	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila	Porosidade	Densidade	NDVI
NSMI	1								
Areia grossa	0.7	1							
Areia fina	0.6	0.2	1						
Areia total	0.8	1.0	0.3	1					
Silte	-0.9	-0.3	-0.3	-0.4	1				
Argila	-0.7	-0.9	-0.3	-0.9	0.7	1			
Porosidade	-0.2	-0.4	-0.2	-0.5	0.2	0.4	1		
Densidade	0.2	0.7	0.3	0.7	-0.3	-0.7	-0.5	1	
NDVI	0.4	-0.5	-0.1	-0.5	-0.8	0.6	0.1	-0.4	1

Fonte: A autora (2018).

Existe um alto grau de correlação positiva entre o NSMI e os valores de areia, sendo 0.7 para areia grossa e 0.8 para areia total. Alta correlação negativa entre o NSMI e os teores de Silte (-0.9), Argila (-0.7). Logo, as características físicas dos solos possuem maior influência no teor de água no solo e no seu comportamento espectral. Uma vez que a textura do solo define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando assim a área de contato entre as partículas sólidas e a água, sendo por isso responsável pela força de retenção. (ALMEIDA et al. 2015). Além disso, tem-se a presença das cargas negativas coloidais que conferem retenção de água aos solos (AZEVEDO et al., 2007).

A Porosidade de Densidade são atributos que estabelecem baixa correlação com o índice de umidade do solo normalizado, -0.2 e 0.2 respectivamente.

O NDVI apresenta 0.4 de correlação positiva com NSMI, apesar da baixa correlação, existe um aumento no número de pesquisas que relacionam os índices, como por exemplo, as desenvolvidas por Younes e Iqbal (2015), que usaram o índice para modelar a umidade superficial do solo, e Hong et al. (2017) que correlacionou os índices ao teor de matéria orgânica dos solos.

## 5 CONCLUSÃO

A espectrorradiometria apresentou-se uma metodologia altamente viável e eficaz na busca por informações físicas do solo, uma vez que possibilita a leitura de grande quantidade de amostras em um pequeno intervalo de tempo, com baixo custo e praticidade. A concretização de tais benefícios é a existência da biblioteca espectral, contendo 300 assinaturas espectrais de solos em diferentes condições de umidade e secagem. Sendo assim, é uma ferramenta disponível para fornecer informações pedológicas de qualidade e potencializar a produção agrícola. Os comprimentos de onda VIS/NIR mostraram-se ideias para investigação da influência da água no comportamento espectral dos solos, por apresentarem bandas com maior sensibilidade a presença de água.

Ficou evidente que o conteúdo de água presente no solo, influencia diretamente na intensidade da reflectância não alterando suas formas e feições. Para melhor visualização desta influencia é sugerido que se obtenha informações referentes ao teor de matéria orgânica do solo, pois tal informação provavelmente ajudará a explicar o comportamento espectral de solos de diferentes classes.

O Índice de Umidade do Solo Normalizado - NSMI, mostrou-se bastante eficiente na determinação de umidade superficial do solo. É de fácil obtenção e compreensão. Os valores obtidos em amostras saturadas correspondem a quantidade de água adicionada às amostras até ponto de saturação nas três classes de solos estudadas, Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos e Neossolos Regolíticos.

A textura, principalmente o teor de areia e argila, assim como a cobertura do solo, observados através do NDVI, com predomínio da prática da agricultura extensiva, influencia diretamente no teor de água presente no solo.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. M. **Caracterização de diferentes solos por meio da espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier.** (Monografia) Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 41p. 2015.
- ALMEIDA, A. V. D. L. et; al. **Atributos Físicos, Macro e Micro morfológicos de Neossolos Regolíticos no Agreste Meridional de Pernambuco.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, p.1235-1246, 2015.
- ALVARENGA, B. S.; D'ARCO, E.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R. **O ensino de conceitos e práticas de espectro radiometria laboratorial:** estudo de caso com solos do estado de São Paulo. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, p. 739-747. Belo Horizonte – MG, INPE, 2003.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas.** -- Brasília: ANA, 2017. 169p. : iL.
- ANGELINI, M. E., HEUVELINK G. B. M., KEMPEN B., MORRÁS, H. J.M. **Mapping the soils of an Argentine Pampas region using structural equation modelling.** Geoderma V.281 P.102–118, 2016
- ANSARI, S. e DESHMUKH, R. R. **Estimation of Soil Moisture Content:** A Review. International Journal of Theoretical and Applied Mechanics. ISSN 0973-6085 V. 12, Number 3. pp. 571-577, 2017
- AZAMBUJA, R.N. CORRÊA, A.C. B. **Geomorfologia e áreas de expansão urbana do Município de Garanhuns-PE:** uma abordagem espaço temporal dos eventos morfodinâmicos para o planejamento territorial. Revista Geo UERJ, Rio de Janeiro: pp. 202-233, 2015
- AZEVEDO, A. C., PEDRON, F. A., DALMOLIN, R. S. D. **A evolução da vida e as funções do solo no ambiente.** Tópicos Ciência do Solo; v.5, p.1-47, 2007
- BARBOSA, A. H. S., CARVALHO, R. G., CAMACHO, R. G. V. **Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte.** Revista do Departamento de Geografia USP, V. 33 P. 128-143. 2017
- BARONI, G., ORTUANI, B., FACCHI, A., GANDOLFI, C. **The role of vegetation and soil proprieties on the apation-temporal variability of the surface soil moisture in a maize cropped fiel.** Journal of Hydrology. v. 489. p. 148.159, 2013
- BEDIDI, A.; CERVELLE, B.; MADEIRA NETTO, J. S.; POUGET, M. **Moisture effects on visible spectral characteristics of lateritic soils.** Soil Science, v. 153, n. 2, 1992.
- BELINASSO, H.; DEMATTÊ, J. A. M.; ROMEIRO, S. A. **Soil spectral library and it use in soil classification.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p. 861-870, 2010

BEN-DOR, E.; HELLER, D.; CHUDNOVSKY, A. **A novel method of classifying soil profiles in the field using optical means.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 72. p. 1113-1123, 2008

BONILLA, M. M. Z.; FIORIO, P. R.; MARTINS, J. A.; DEMATTÊ, J. A. M.; MIRANDA, J. H. **Espectrorradiometria laboratorial para estimativa da umidade de um Nitossolo.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, p. 9264- 9270. Foz do Iguaçu – PR INPE, 2013.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, L. R. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013

BOUYOUCOS, G. J. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. **Agronomy Journal**, v.54, p.464-465, 1962. DOI: 0.2134/agronj1962.00219620054050028x.

BUSSAB, O. W., MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**, 6. ed. – São Paulo: Edt. Saraiva, 2010.

CHABRILLAT, S.; BEN-DOR, E.; VISCARRA ROSSEL, R. A.; DEMATTÊ, J. A. M. **Quantitative Soil Spectroscopy.** Applied and Environmental Soil Science. Article ID 616578, 3 pages, 2013

CHABRILLAT, S.; BEN-DOR, E.; CIERNIEWSKI, J.; GOMEZ, C.; SCHMID, T.; WESEMAEL, V. **Imaging Spectroscopy for Soil Mapping and Monitoring B.6 Surveys in Geophysics**, 2018.

CHEN, C. F.; SON, N. T.; CHANG, L. Y.; CHEN, C. C. **Monitoring of soil moisture variability in relation to rice cropping systems in the Vietnamese Mekong Delta using MODIS data.** Applied Geography, v. 31, p. 463 – 475, 2011

CLARK, R. N. Spectroscopy of rocks and minerals and principles of spectroscopy. In: RENCZ, A. N. (Ed.). **Remote sensing for the earth sciences**, Toronto: John Wiley, chap. 1, p. 3-58, 1999.

CONFORTI, M.; MATTEUCCI, G.; BUTTAFUOCO, G. Using laboratory Vis-NIR spectroscopy for monitoring some forest soil properties. **Journal of Soils Sediments** v.18. p. 1009–1019, 2018.

CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais 2005. **Diagnóstico do Município de Garanhuns.** Recife/PE, 11pp.

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais /Serviço Geológico do Brasil. 2007. **Garanhuns- SC.24-X-B-VI, escala 1:100.000:** nota explicativa Pernambuco/Alagoas: UFPE /CPRM, 2007.

DALMOLLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. **Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral.** R. Ciência Rural, v.35, n.2, p. 481-489, mar-abr, 2005.

DEMATTE, J. A. M; GENUÍ, A, M.; FIORIO, P.R.; ORTIZ, J. L.; MAZZA, J. A. LEONARDO, H. C. L. **Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamneto remoto espectral e pelo método convencional.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.12 p.1219-1229. 2004

DEMATTE, J. A. M; SOUSA A.A., ALVES M.C., NANNI M.R., FIORIO P.R. & CAMPOS R.C. **Determining soil water status and other soil characteristics by spectral proximal sensing.** Geoderma, v.135, p.179-195, 2006.

DEMATTE, J. A. M; TERRA, F.S.; RIZZO, R. **Desenvolvimento de uma biblioteca espectral de solos.** Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Solos, Viçosa, v.34, p.29-31, 2009.

DEMATTE, J. A. M; NANNI, M. R., SILVA, A. P., MELO FILHO, J. F., SANTOS, W. C., CAMPOS, R. C., **Soil density evaluated by spectral reflectance as an evidence of compaction effects.** Int. J. Remote Sens. 31 (2), 403–422. 2010.

DEMATTE, J. A. M; VASQUES, G.M., CORRÊA, E.A., ARRUDA, G.P., **Photopedology, spectroscopy, and GIS to characterize soils developed over Barreiras Group in Amapá, Brazil.** Bragantia v.71, p.438–44. 2012.

DEMATTE, J. A. M; BELLINASO, H.; ROMERO, D. J.; FONGARO, C. T.; **Morphological Interpretation of Reflectance Spectrum (MIRS) using libraries looking towards soil classification.** Scientia Agricola. v.71, n.6, p.509-520, 2014

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, out-dez, 2015.

DEMATTE, J. A. M; BELLINASO, H.; ROMEIRO, S.UZANA A.; RIZZO, R. SOUZA, A. R. **Spectral regionalization of tropical soils in the estimation of soil attributes.** Revista Ciência Agronômica, v. 47, n. 4, p. 589-598, out-dez, 2016

DONGYUN, X.; WANZHU, M.; SONGCHAO, C.; QINGSONG, J.; KANG, H.; ZHOU, S. **Assessment of important soil properties related to Chinese Soil Taxonomy based on vis-NIR reflectance spectroscopy.** Computers and Electronics in Agriculture v.144, p.1–8, 2018.

DORIGO, W. A. (et al). **Evaluation of the ESA CCI soil moisture product using ground-based observations.** Remote Sensing of Environment, v.162. P. 380-395. 2015.

DOTTO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. CATEN. A. T.; MOURA-BUENO. J. M. **Potential of Spectroradiometry to Classify Soil Clay Content.** Rev. Bras. Cienc. Solo; v.40:e0151105, 2016

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil.** Comunicado Técnico 66. ISSN 1517-5685 Rio de Janeiro, RJ. 2012

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Efeitos do sistema plantio**

**direto no uso da água pelas culturas e no manejo da irrigação.** Comunicado técnico 207. ISSN 1678-961X Santo Antônio de Goiás, GO Julho, 2012

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 4ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p., 2014.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 3a ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Agência Embrapa de Informação. **Tecnológica. Cultura do Milho.** 2018 Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnk02wx5ok0pvo4k3c1v9rbg.html> Acesso em 19 de Junho de 2018.

EIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, J. B. **Comportamento espectral dos solos do Estado de São Paulo.** São José dos Campos, Relatório INPE 131p., 1992.

ESALQ/USP. **Biblioteca Espectral de Solos do Brasil (BESB) 2013.** Disponível em: <http://bibliotecaespectral.wixsite.com/esalq> . Acesso em 15 de Maio de 2018.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** Oficina de textos, São Paulo, 2008

FORMAGGIO, A. R. **Interação da radiação eletromagnética com os solos.** In: Formaggio, A.R.; Tardin, A.T.; Rudorff, B.F.T.; Assunção, G.V.; Epiphanyo, J.C.N.; Moreira, M.A.; Chen, S.C.; Duarte, V. **O sensoriamento remoto na agricultura: conceitos básico, metodologia e aplicações.** São José dos Campos – SP, 1989.

FORMAGGIO, A. R.; EIPHANIO, J. C. N., VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, J. B. **Comportamento espectral (450-2450 nm) de solos tropicais de São Paulo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.20, n.3, p.467-474, 1996

FRANCESCHINI, M.H. D.; DEMATTÊ, J. A. M.; SATO, M. V.; VICENTE, L. E.; GREGO, C. R. **Abordagens semiquantitativa e quantitativa na avaliação da textura do solo por espectroscopia de reflectância bidirecional no VIS-NIR-SWIR.** Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasília, v.48, n.12, p.1569-1582, dez. 2013

FRANCESCHINI, M.H. D.; (et al). **Effects of external factors on soil reflectance measured on-the-go and assessment of potential spectral correction through orthogonalization and standardisation procedures.** Soil & Tillage Research v.177 p.19–36, 2018.

GENÚ, A.M.; DEMATTÊ, J.A.M. **Determination of soil attribute contents by means of reflected electromagnetic energy.** International Journal of Remote Sensing, v.27, p.4807-4818, 2006

GENÚ, A.M.; DEMATTÊ, J.A.M.; FIORIO, P. R. **Análise espectral de solos da Região de Mogi-Guaçu (SP).** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, suplemento 1, p. 1235-1244, 2010

GENÚ, A.M.; DEMATTÊ, J.A.M.; FIORIO, P. R.; **Informações espectroeletrônicas e topográficas na determinação de teores de componentes do solo.** *Bragantia*, v. 69, n. 01, p. 157-164, 2010.

GENÚ, A.M.; DEMATTÊ, J.A.M.; FIORIO, P. R.; **Espectrorradiometria de solos e comparação com sensores orbitais.** *Bragantia*, v.71, n.1, p. 82-89, 2012.

HAUBROCK, S., CHABRILLAT, S., LEMMNITZ, C., KAUFMANN, H. **Surface soil moisture quantification models from reflectance data under field conditions.** *International Journal of Remote Sensing* 29, 3–29. 2008

HONG, Y., YU. L. CHEN, Y., LIU, Y., LIU, Y., CHENG, H. **Prediction of Soil Organic Matter by VIS–NIR Spectroscopy Using Normalized Soil Moisture Index as a Proxy of Soil Moisture.** *Remote Sensing*, 10, 28; 2017.

IBGE. Censo Populacional de 2017. **Cidade de Garanhuns.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/garanhuns/panorama> Acesso em 19 de junho de 2018.

JANVIER, B., NICOLE, N., DIDIER, F., BENSON, M., JAYNE, M., JEAN, W. **Application of infrared technique in soil properties' characterization in South Kivu province of DR Congo.** *African Journal of Food Science and Technology* (ISSN: 2141-5455) Vol. 6(2) pp. 58-67, February, 2015

JENSEN, J. R., **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. **A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo.** *Ciência Rural*, v.30, p.959 - 964, 2000

KIM, Y.; EVANS, R. G.; IVERSEN, W. M. **Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network.** *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, IEEE, v. 57, n. 7, p. 1379–1387, 2008.

LIMA, E. M.; CORRÊA, A. C. B. **Mapeamento geomorfológico como ferramenta de caracterização ambiental do município de Garanhuns-PE.** *Geosul*, Florianópolis, v. 31, n. 62, p. 317-336, 2016

LOBELL, D. B.; ASNER, G. P. **Moisture Effects on Soil Reflectance.** *Soil Science Society of America Journal*, v. 66, p. 722–727, 2002.

MADEIRA NETO, J. S. **Spectral reflectance properties of soils.** *Photo Interpretation*, Paris, v.2, p.59-79, 1996

MADEIRA NETO, J. S.; BAPTISTA, G.M.M. **Reflectância espectral de solos.** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2000.

MADEIRA NETO, J. S.. **Comportamento Espectral dos solos.** In MESESES, P. R.; MADEIRA NETO, J. S. (Ed.) *Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos naturais.* Brasília: UnB, Planaltina: Embapa Cerrados, 262p. 2001

MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. **Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica.** Cam. Geo., v. 11, n. 35, p. 41-53. 2010

MC NALLY, A.; SHRADDHANAND, S.; ARSENAULT, K. R.; WANG, S.; PETERS-LIDARD, C. D.; VERDINE, J. P. **Evaluating ESA CCI soil moisture in East Africa International.** Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. v.48, p. 96-109, 2016

MENESES, P. R.; FERREIRA JR, L. G. **Comportamento espectral de alvos naturais com base em interpretação de imagens multiespectrais.** Brasília: (Coleção de textos universitários). UnB, 76p. 1995

MENESES, P. R.; FERREIRA JR, L. G.. **Fundamentos de Radiometria Óptica Espectral.** In.: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. (Orgs.) **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais.** Brasília: Embrapa Serrados, 2001.

MONTENEGRO, S. M. G. L.; TORRES FILHO, C.; OLIVEIRA, P. **Clima e água em Pernambuco.** In: GALVÍNCIO, J. D. (Org.). **Mudanças climáticas e modelos ambientais: caracterização e aplicações.** Recife: Editora Universitária-UFPE, 2012. p. 411-428.

NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M; FIORIO, P.R., **Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre.** Brasília, Pesquisa Agropecuária Brasileira vol.39 no.10 2004

NOCITA, M., STEVENS, A., NOON, C., WESEMAEL, B. **Prediction of soil organic carbon for different levels of soil moisture using Vis-NIR spectroscopy.** Geoderma, v.199 p.37-42, 2013

NOVAIS, J. J. **Mapeamento digital de solos da microbacia do Ribeirão extrema, a partir de imagens multitemporais raster e biblioteca espectral.** Dissertação de Mestrado em Agronomia, pela Universidade de Brasília – UnB programa de Pós-Graduação em agronomia Brasília, 2017.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** Edgard Blucher, São Paulo. 2010.

OLIVEIRA, M. H.C. **Estimativa do teor de água no solo em bacia hidrográfica com redes neurais artificiais utilizando fatores físicos e climáticos.** 124f. (Dissertação) Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

OLIVEIRA, L.A.; GONÇALVES, R.M.; MARTINS, F. P. **Constraste de condutividade hidráulica em solos de texturas arenosa e argilosa encontrados nos tributários da margem esquerda do rio Tijuco, Município de Ituiutaba, Estado de Minas Gerais, Brasil.** Caminhos de Geografia, Uberlândia, v.11, n.33, p.230-243. 2010.

PERNAMBUCO, Agência Pernambucana de águas e Clima. APAC. **Bacias Hidrográficas: Rio Mandu.** 2018. Disponível em :

[http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=19](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=19) Acesso em: 19 de junho de 2018.

PIANA, C. F. B., MACHADO, A. A. e SELAU, L. P. R. **Estatística Básica**. Departamento de Matemática e Estatística, Universidade Federal de Pelotas, 2009

POPPIEL, R. R. (et al). **Surface Spectroscopy of Oxisols, Entisols and Inceptisol and Relationships with Selected Soil Properties**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. vol.42 p. 1-26, 2018.

ROCHA, A. E. Q.; LYRA, G. B. SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; MEDEIROS, R. P.; TEODORO, I. **Conteúdo de água no solo por reflectometria no domínio do tempo e balanço de água no solo em cultivo de milho**. Irriga, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 267-278, abril-junho, 2014

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: Editora Edufu. 7ª ed. P.264, 2009

ROUSE, J.W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. Third ERTS Symposium. NASA SP-351 I: 309-317, 1973

SANTOS, P.; NEGRINI, A. **A comparison of the normalized difference vegetation index and rain fall for the Amazon and Northeastern Brazil**. Journal of applied meteorology. v. 36. p. 958-965, 1997.

SIT, SISTEMA DE INFORMAÇÃO TERRITORIAL. **Territórios Rurais**. Disponível em: <http://sit.mda.gov.br/mapa.php>. Acesso em: 19 de junho de 2018.

SOUZA, S. F., **Padrões espectrais de solo no nordeste do Brasil e sua relação com a classificação taxonômica**. 2013. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

STENBERG, B. O., VISCARRA ROSSEL R. A., MOUAZEN, A. M., WETTERLIND, J. **Visible and near infrared spectroscopy in soil science**. Advances in Agronomy, Vol. 107, Burlington: Academic Press, pp. 163-215, 2010.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. **Characteristic variations in reflectance of surface soils**. Madison, Soil Science Society of America Journal, v. 45, p. 1161-1165, 1981.

STONER, E.R.; DERKSEN, I.; MACEDO, J. **Discriminação espectral de Latossolos do Planalto Central brasileiro**. Brasília, Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.26, p.1599-1606, 1991.

TERRA, F. S. **Espectroscopia de reflectância do visível ao infravermelho médio aplicado aos estudos qualitativos e quantitativos de solos**. 2011. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) -Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

UNESCO WWAP 2012 – **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos** 4. O manejo dos recursos hídricos em condições de incerteza e risco. P.17. 2012

VISCARA ROSSEL, R. A.; WALVOORT, D. J. F.; McBRATNEY, A. B.; JANIK, L. J.; SKJEMSTAD, J. O. **Visible, near infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous of various soil properties.** *Geoderma*, v.131, p. 59-75, 2006.

VISCARA ROSSEL, R. A.; WEBSTER, R. **Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible-near infrared spectra.** *European Journal of Soil Science*, London, v. 62, p. 637-647, 2011

VISCARA ROSSEL, R. A. et al. **A global spectral library to characterize the world's soil.** *Earth-Science Reviews*. v.155 p.198–230, 2016.

WANG T, ZLOTNIK VA, WEDIN D, WALLY KD. **Spatial trends in saturated hydraulic conductivity of vegetated dunes in the Nebraska Sand Hills: effects of depth and topography.** *Journal of Hydrology*. v. 349. p. 88-97, 2008.

WHITE, R.E. **Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource.** 4th ed. Oxford: Blackwell, 2005. 384p.

WHITING, M. L. et al. **Hyperspectral mapping of crop and soils for precision agriculture.** *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability III*, Vol. 6298, 62980B, · doi: 10.1117/12.681289, 2006)

YOUNIS, S. M.Z.; IQBAL, J. **Estimation of soil moisture using multispectral and FTIR techniques.** *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, v.18 p.151–161, 2015.

ZAPE, Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco: Recife: **Embrapa Solos- Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento-UEP** Recife. (Embrapa Solos. Documentos, 35). 1 CD ROM. (2001).

ZHANG, L.; ZHANG, R. **Effect of Soil Moisture and Particle Size on Soil Total Phosphorus Estimation by Near-Infrared Spectroscopy.** *Pol. J. Environ. Stud.* No. 1 (2017), v. 26, p.395-401. 2017

ZHU, Y., WEINDORF, D.C., CHAKRABORTY, S., HAGGARD, B., JOHNSON, S., BAKR, N. **Characterizing surface soil water with field portable diffuse reflectance spectroscopy.** *Journal Hydrology*. v.391 (1–2), p.133–140. 2010

ZUCCO. G.; BROCCA, L.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. **Influence of land use on soil moisture spatial-temporal variability and monitoring.** *Journal of Hydrology*. v. 516. p. 193.199, 2014.

## APÊNDICE - A ANÁLISE FÍSICA DOS SOLOS

Tabela 1 - Análise física do solo

<b>Análise Física dos Neossolos Regolíticos</b>											
<b>Perfil</b>	<b>N° de campo</b>	<b>Classe do solo</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Areia grossa 2-0.20 mm</b>	<b>Areia Fina 0.20-0.05 mm</b>	<b>Silte 0.05-0.002 mm</b>	<b>Argila &lt; 0.002 mm</b>	<b>Densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidade do solo (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>porosidade em %</b>	<b>Textura</b>
1	P1	Neossolo Regolítico	0-10	759	169	52	20	1.8	0.2	29.7	Arenoso
1	P2	Neossolo Regolítico	10-20	669	214	97	20	1.8	0.3	37.7	Arenoso
2	P2	Neossolo Regolítico	0-10	802	129	47	20	1.7	0.3	36.2	Arenoso
2	P2	Neossolo Regolítico	10-20	804	131	54	10	1.8	0.3	32.3	Arenoso
3	P3	Neossolo Regolítico	0-10	711	194	74	20	1.7	0.2	28.7	Arenoso
3	P3	Neossolo Regolítico	10-20	699	194	76	30	1.7	0.3	32.8	Arenoso
4	P4	Neossolo Regolítico	0-10	743	170	65	20	1.6	0.4	46.3	Arenoso
4	P4	Neossolo Regolítico	10-20	682	197	89	30	1.8	0.3	30.0	Arenoso
5	P5	Neossolo Regolítico	0-10	719	177	67	35	1.7	0.3	34.7	Arenoso
5	P5	Neossolo Regolítico	10-20	778	139	61	20	1.7	0.3	37.0	Arenoso
11	C1	Neossolo Regolítico	0-10	746	161	71	20	1.8	0.3	31.2	Arenoso
11	C1	Neossolo Regolítico	10-20	772	183	23	20	1.7	0.4	44.1	Arenoso

12	C2	Neossolo Regolítico	0-10	507	287	115	90	1.5	0.3	38.8	Franco arenoso
12	C2	Neossolo Regolítico	10-20	652	117	139	90	1.6	0.3	34.1	Franco arenoso
13	C3	Neossolo Regolítico	0-10	716	170	92	20	1.7	0.2	27.8	Arenoso
13	C3	Neossolo Regolítico	10-20	699	178	92	30	1.8	0.3	32.1	Arenoso
14	C4	Neossolo Regolítico	0-10	697	118	123	60	1.2	0.2	24.0	Areia Franca
14	C4	Neossolo Regolítico	10-20	648	138	132	80	1.5	0.2	29.4	Areia Franca
15	C5	Neossolo Regolítico	0-10	758	189	42	10	1.9	0.3	31.6	Arenoso
15	C5	Neossolo Regolítico	10-20	751	188	40	20	1.9	0.3	31.2	Arenoso
21	S1	Neossolo Regolítico	0-10	719	150	100	30	1.7	0.3	34.1	Arenoso
21	S1	Neossolo Regolítico	10-20	678	170	100	50	1.7	0.3	33.2	Arenoso
22	S2	Neossolo Regolítico	0-10	733	192	53	20	1.8	0.3	34.1	Arenoso
22	S2	Neossolo Regolítico	10-20	726	199	64	10	1.8	0.2	29.9	Arenoso
23	S3	Neossolo Regolítico	0-10	793	130	66	10	1.8	0.3	31.1	Arenoso
23	S3	Neossolo Regolítico	10-20	776	148	64	10	1.8	0.3	33.1	Arenoso
24	S4	Neossolo Regolítico	0-10	628	163	188	20	1.7	0.3	31.7	Arenoso
24	S4	Neossolo Regolítico	10-20	790	146	52	10	1.8	0.3	31.1	Arenoso
25	S5	Neossolo Regolítico	0-10	733	191	65	10	1.9	0.3	31.9	Arenoso
25	S5	Neossolo Regolítico	10-20	765	183	40	10	1.8	0.3	33.6	Arenoso

Tabela 2 -Análise física do solo

<b>Análise Física dos Argissolos Amarelo</b>											
<u>Perfil</u>	<u>N° de campo</u>	<u>Classe do solo</u>	<u>Profundidade (cm)</u>	<u>Areia grossa 2-0.20 mm</u>	<u>Areia Fina 0.20-0.05 mm</u>	<u>Silte 0.05-0.002 mm</u>	<u>Argila &lt; 0.002 mm</u>	<u>Densidade do solo g/cm<sup>3</sup></u>	<u>Porosidade do solo (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</u>	<u>porosidade em %</u>	<u>Textura</u>
08	G3	Argissolo amarelo	0-10	779	134	65	20	1.7	0.3	34.3	Areia Franca
08	G3	Argissolo amarelo	10-20	720	174	64	40	1.8	0.3	31.1	Areia Franca
09	G4	Argissolo amarelo	0-10	643	152	108	95	1.5	0.4	48.7	Franco Argilo Arenoso
09	G4	Argissolo amarelo	10-20	601.0	168	119	110	1.6	0.3	37.0	Franco Argilo Arenoso
10	G5	Argissolo amarelo	0-10	706	159	73	60	1.7	0.3	34.4	Areia Franca
10	G5	Argissolo amarelo	10-20	594	207	128	70	1.7	0.3	33.6	Areia Franca

Tabela 3 - Análise física do solo

<b>Análise Física dos Latossolos Amarelo</b>											
<u>Perfil</u>	<u>N° de campo</u>	<u>Classe do solo</u>	<u>Profundidade (cm)</u>	<u>Areia grossa 2-0.20 mm</u>	<u>Areia Fina 0.20-0.05 mm</u>	<u>Silte 0.05-0.002 mm</u>	<u>Argila &lt; 0.002 mm</u>	<u>Densidade do solo g/cm<sup>3</sup></u>	<u>Porosidade do solo (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</u>	<u>porosidade em %</u>	<u>Textura</u>
06	G1	Latossolo Amarelo	0-10	748	131	74	45	1.7	0.34	34.8	Arenosa

06	G1	Latossolo Amarelo	10-20	733	136	80	50	1.8	0.30	30.3	Arenosa
07	G2	Latossolo Amarelo	0-10	607	197	105	90	1.9	0.1	13.2	Franco Argilo Arenoso
07	G2	Latossolo Amarelo	10-20	566	158	164	110	1.7	0.2	23.7	Franco Argilo Arenoso
16	B1	Latossolo Amarelo	0-10	534	201	144	120	1.3	0.3	31.5	Franco Argilo Arenoso
16	B1	Latossolo Amarelo	10-20	420.0	161	248	170	1.5	0.4	40.6	Franco Argilo Arenoso
17	B2	Latossolo Amarelo	0-10	605	143	160	90	1.6	0.1	18.3	Franco Argilo Arenoso
17	B2	Latossolo Amarelo	10-20	541.0	126	201	130	1.5	0.4	45.1	Franco Argilo Arenoso
18	B3	Latossolo Amarelo	0-10	502	144	182	170	1.4	0.4	45.5	Franco Argilo Arenoso
18	B3	Latossolo Amarelo	10-20	492	129	197	180	1.4	0.5	55.1	Franco Argilo Arenoso
19	B4	Latossolo Amarelo	0-10	536	142	190	130	1.8	0.4	48.6	Franco Argilo Arenoso
19	B4	Latossolo Amarelo	10-20	526	121.0	221	130	1.4	0.4	42.0	Franco Argilo Arenoso
20	B5	Latossolo Amarelo	0-10	458	123	307	110	1.3	0.5	51.1	Franco Argilo Arenoso
20	B5	Latossolo Amarelo	10-20	501.0	110	267	120	1.2	0.5	51.9	Franco Argilo Arenoso

**APENDICE – B PESO DAS AMOSTRAS EM DIFERENTES TRATAMENTOS.**

**Tabela 1 -** Peso das amostras em diferentes condições de secagem.

Ordem	REF. AMOSTRAS	Classificação SIBCS	AMOSTRA SECA AO AR	AMOSTRA SECA EM ESTUFA	Redução de H2O (g)
1	P1A 0-10	NEOSSOLOS REGULÍTICO	40.02	39.87	0.15
2	P1A 10-20	NEOSSOLOS REGULÍTICO	38.3	38.2	0.1
3	P2A 0-10	NEOSSOLOS REGULÍTICO	41.43	41.38	0.05
4	P2A 10-20	NEOSSOLOS REGULÍTICO	37.32	37.32	0
5	P3A 0-10	NEOSSOLOS REGULÍTICO	40.16	40.11	0.05
6	P3A 10-20	NEOSSOLOS REGULÍTICO	36.18	36.16	0.02
7	P4A 0-10	NEOSSOLOS REGULÍTICO	39.4	39.34	0.06
8	P4A 10-20	NEOSSOLOS REGULÍTICO	38.87	38.81	0.06
9	P5A 0-10	NEOSSOLOS REGULÍTICO	35.66	35.58	0.08
10	P5A 10-20	NEOSSOLOS REGULÍTICO	36.16	36.12	0.04
11	G1A 0-10	LATOSSOLO AMARELO	37.13	37.03	0.1
12	G1A 10-20	LATOSSOLO AMARELO	34.91	34.8	0.11
13	G2A 0-10	LATOSSOLO AMARELO	34.83	34.75	0.08
14	G2A 10-20	LATOSSOLO AMARELO	31.18	31.04	0.14
15	G3A 0-10	ARGISSOLO AMARELO	35.77	35.76	0.01
16	G3A 10-20	ARGISSOLO AMARELO	36.65	36.6	0.05
17	G4A 0-10	ARGISSOLO AMARELO	32.12	31.99	0.13
18	G4A 10-20	ARGISSOLO AMARELO	32.27	32.18	0.09
19	G5A 0-10	ARGISSOLO AMARELO	32.08	31.97	0.11
20	G5A 10-20	ARGISSOLO AMARELO	34.44	34.35	0.09
21	C1B 0-10	NEOSSOLOS REGULÍTICO	41.91	41.88	0.03
22	C1B 10-20	NEOSSOLOS REGULÍTICO	42.91	42.9	0.01
23	C2B 0-10	NEOSSOLOS REGULÍTICO	36.37	36.22	0.15
24	C2B 10-20	NEOSSOLOS REGULÍTICO	36.06	35.91	0.15
25	C3B 0-10	NEOSSOLOS REGULÍTICO	41.19	41.15	0.04
26	C3B 10-20	NEOSSOLOS REGULÍTICO	41.02	40.99	0.03

27	C4B 0-10	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	34.81	34.55	0.26
28	C4B 10-20	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	34.33	34.17	0.16
29	C5B 0-10	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	44.56	44.11	0.45
30	C5B 10-20	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	42.63	42.59	0.04
31	B1A 0-10	ARGISSOLO AMARELO	30.47	30.33	0.14
32	B1A 10-20	ARGISSOLO AMARELO	31.87	31.59	0.28
33	B2A 0-10	ARGISSOLO AMARELO	29.75	29.61	0.14
34	B2A 10-20	ARGISSOLO AMARELO	29.69	29.59	0.1
35	B3A 0-10	ARGISSOLO AMARELO	30.41	30.19	0.22
36	B3A 10-20	ARGISSOLO AMARELO	29.97	29.68	0.29
37	B4A 0-10	ARGISSOLO AMARELO	31.89	31.66	0.23
38	B4A 10-20	ARGISSOLO AMARELO	28.51	28.25	0.26
39	B5A 0-10	ARGISSOLO AMARELO	26.34	25.96	0.38
40	B5A 10-20	ARGISSOLO AMARELO	27.11	26.73	0.38
41	S1A 0-10	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	36.65	36.58	0.07
42	S1A 10-20	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	32.53	32.5	0.03
43	S2A 0-10	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	40.75	40.71	0.04
44	S2A 10-20	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	40.6	40.56	0.04
45	S3A 0-10	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	40.34	40.28	0.06
46	S3A 10-20	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	41.81	41.77	0.04
47	S4A 0-10	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	39.82	39.79	0.03
48	S4A 10-20	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	39.38	39.31	0.07
49	S5A 0-10	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	37.68	37.6	0.08
50	S5A 10-20	NEOSSOLOS REGOLÍTICO	41.84	41.73	0.11

**APÊNDICE C - RELAÇÃO ENTRE PESOS E ADIÇÃO DE ÁGUA DURANTE AS  
LEITURAS ESPECTRAIS.**

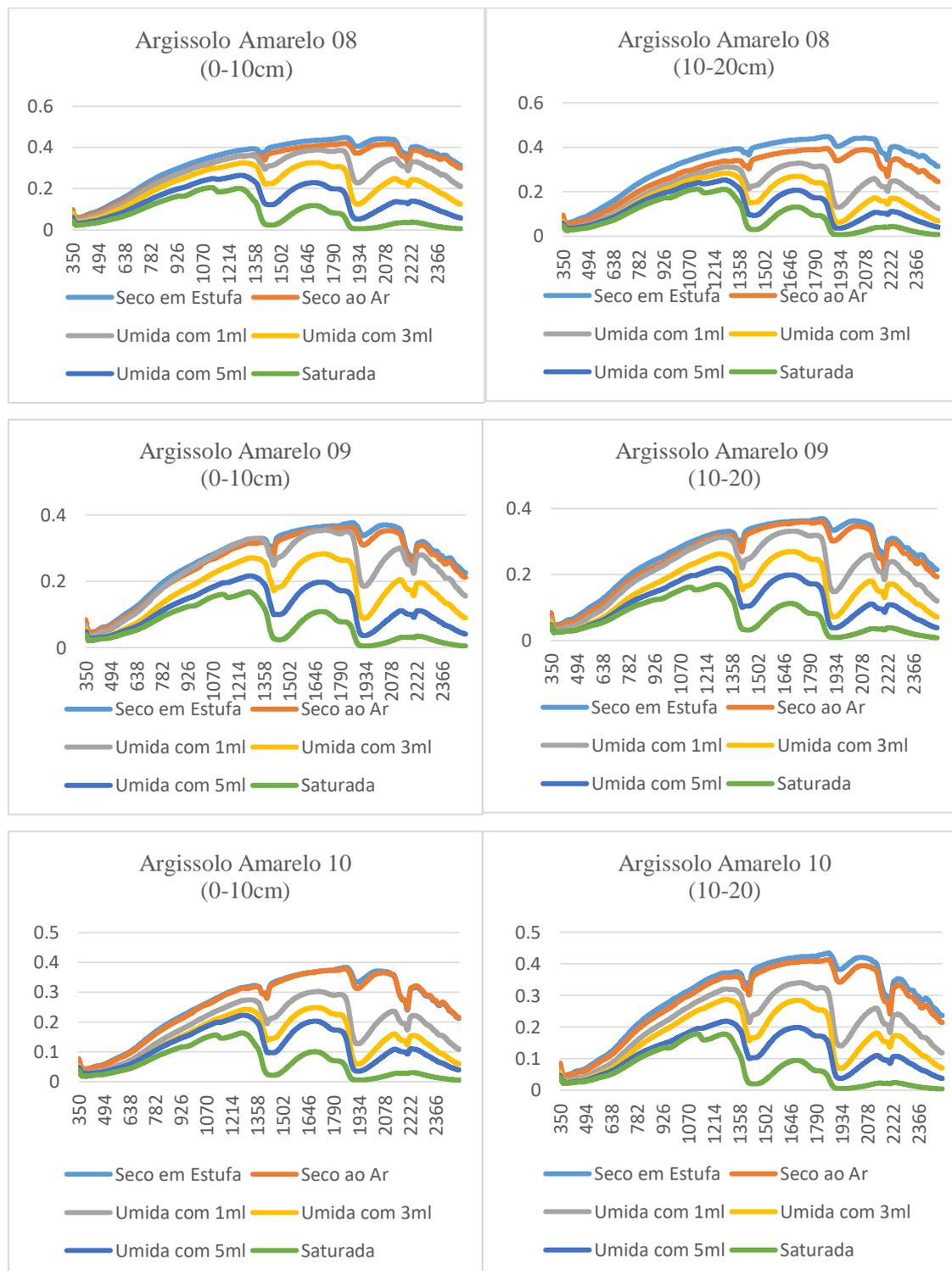
Tabela 1 - Peso das amostras em diferentes condições de umidade

ORDEM	AMOSTRA	Peso PETRI (P)	PESO AMOSTRA (A)	PETRI (P) + A + 1 ml	P + A + 2 ml	P + A + 3 ml	Adição de H <sub>2</sub> O (ml) até SATURAÇÃO	PESO EM SATURAÇÃO (g)
1	P1A 0-10	2.79	39.65	42.94	44.38	47.08	2	49.08
2	P1A 10-20	2.77	38.28	41.55	42.97	44.47	2	46.47
3	P2A 0-10	2.76	41.7	44.96	46.66	44.9	2	46.9
4	P2A 10-20	2.77	37.08	40.35	42.06	45.78	2	47.78
5	P3A 0-10	2.77	39.76	43.03	44.81	47.66	2	49.66
6	P3A 10-20	2.77	36.08	39.35	41.13	43.91	2	45.91
7	P4A 0-10	2.77	39.45	42.72	44.59	47.43	2	49.43
8	P4A 10-20	2.82	39.01	42.33	44.13	46.99	2	48.99
9	P5A 0-10	2.77	35.35	38.62	39.87	42.18	3	45.18
10	P5A 10-20	2.78	35.92	39.2	40.96	43.74	2	45.74
11	G1A 0-10	2.76	34.98	38.38	40.08	42.9	3	45.9
12	G1A 10-20	2.76	37.08	40.43	42.3	45.12	3	48.12
13	G2A 0-10	2.77	34.65	38.09	39.95	42.79	3	45.79
14	G2A 10-20	2.76	30.94	34.41	36.22	39.04	4	43.04
15	G3A 0-10	2.79	35.69	39.09	40.99	43.86	2	45.86
16	G3A 10-20	2.77	36.57	40.39	42.16	44.94	3	47.94
17	G4A 0-10	2.77	32	35.78	37.61	40.45	2	42.45
18	G4A 10-20	2.77	32.14	35.78	37.51	40.31	3	43.31
19	G5A 0-10	2.79	32.28	36.39	38.15	40.94	3	43.94
20	G5A 10-20	2.75	34.34	38.1	39.98	42.84	4	46.84
21	C1A 0-10	2.73	42.06	45.29	46.31	51.12	1	52.08
22	C1A 10-20	2.79	43.14	46.43	47.98	50.78	1	51.81
23	C2A 0-10	2.87	35.19	38.56	39.59	44.59	2	46.38
24	C2A 10-20	2.86	30.54	33.9	34.97	39.98	3	44.09
25	C3A 0-10	2.77	38.99	42.26	43.35	48.26	2	50.15
26	C3A 10-20	2.77	37.89	41.16	42.81	47.15	2	48.92
27	C4A 0-10	2.83	36.1	39.43	38.82	43.9	2	45.86
28	C4A 10-20	2.77	34.45	37.72	41.08	46.13	2	48.09
29	C5A 0-10	2.82	41.5	44.82	45.94	50.76	1	52.28
30	C5A 10-20	2.8	41.97	45.27	46.39	51.3	1	54.46
31	B1A 0-10	2.81	31.18	34.49	36.02	41.04	5	45.34
32	B1A 10-20	2.8	32.37	35.67	36.73	41.85	6	47.53
33	B2A 0-10	2.79	30.33	33.62	34.71	39.59	5	44.3
34	B2A 10-20	2.78	30.27	33.55	34.64	41.68	4	45.16
35	B3A 0-10	2.8	30.63	33.93	34.92	40.64	5	45.33
36	B3A 10-20	2.88	30.07	33.45	35.3	41.5	4	45

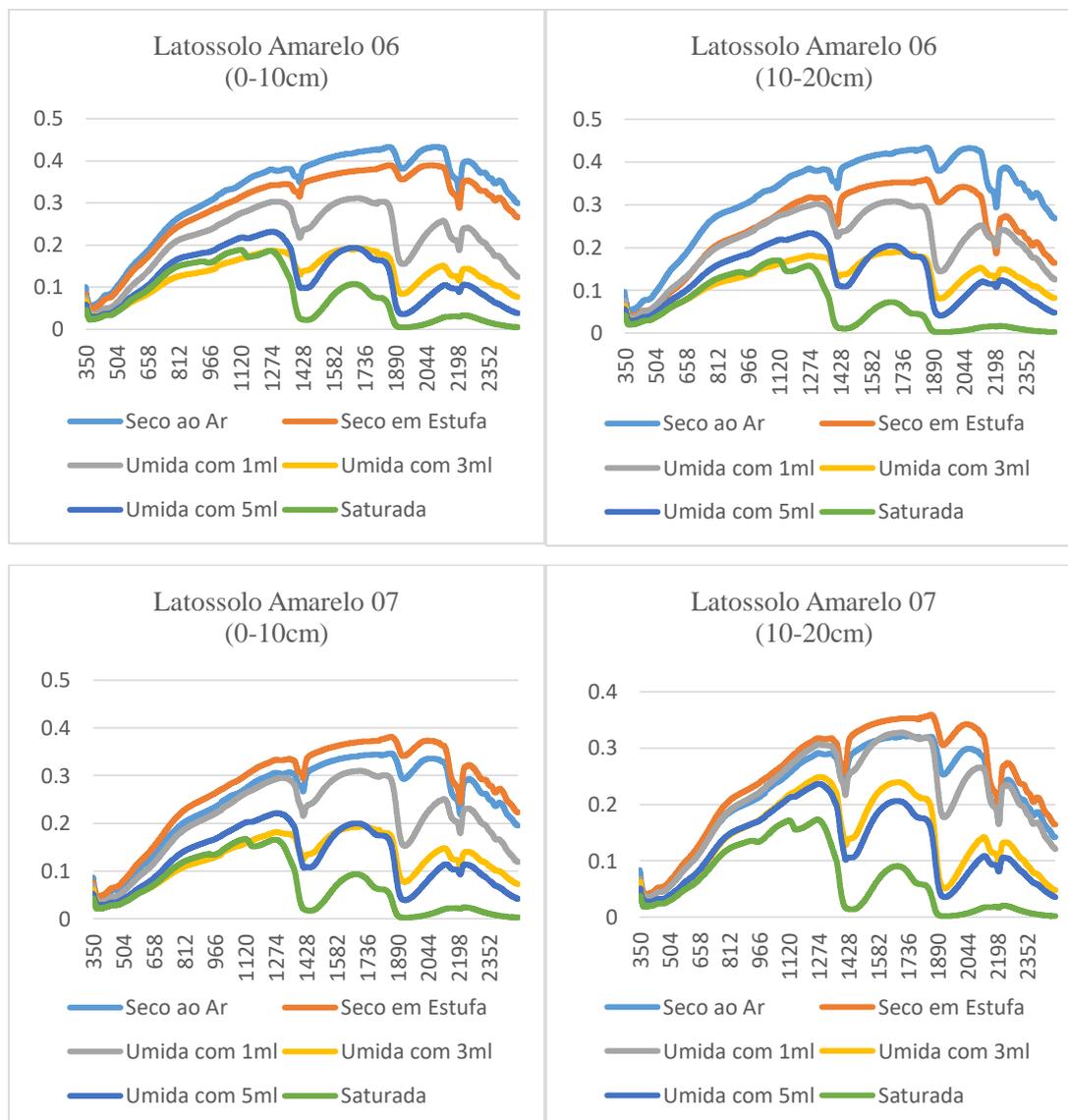
<b>37</b>	B4A 0-10	2.79	32.01	35.3	36.34	41.34	5	46.21
<b>38</b>	B4A 10-20	2.77	28.72	31.99	33.1	38.52	5	43.18
<b>39</b>	B5A 0-10	2.77	27.13	30.4	32.16	37.96	6	43.53
<b>40</b>	B5A 10-20	2.78	27.94	31.22	33.02	38.18	6	43.33
<b>41</b>	S1A 0-10	2.87	33.96	37.33	38.33	40.33	2	42.33
<b>42</b>	S1A 10-20	2.84	35.8	39.14	40.21	42.21	3	45.21
<b>43</b>	S2A 0-10	2.8	41.13	44.43	45.54	47.54	1	48.54
<b>44</b>	S2A 10-20	2.87	40.67	44.04	45.11	47.11	1	48.11
<b>45</b>	S3A 0-10	2.85	40.74	44.09	45.1	47.1	2	49.1
<b>46</b>	S3A 10-20	2.76	41.94	45.2	46.22	48.22	2	50.22
<b>47</b>	S4A 0-10	2.78	40.23	43.51	44.56	46.56	2	48.56
<b>48</b>	S4A 10-20	2.8	39.82	43.12	44.13	46.13	2	48.13
<b>49</b>	S5A 0-10	2.79	40.88	44.17	45.12	47.12	1	48.12
<b>50</b>	S5A 10-20	2.78	41.14	44.42	45.53	47.53	1	48.53

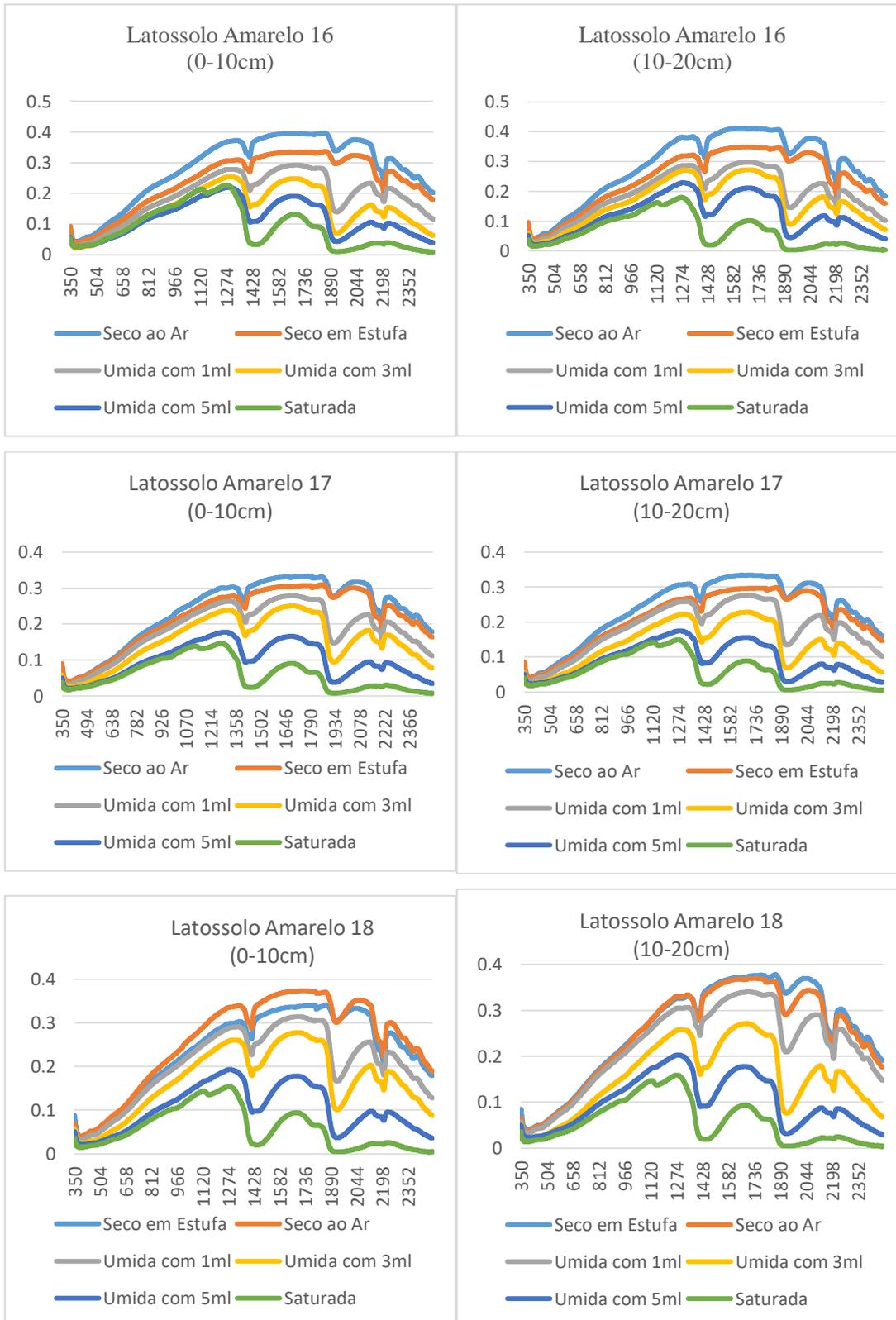
## APÊNDICE D- COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS SOLOS.

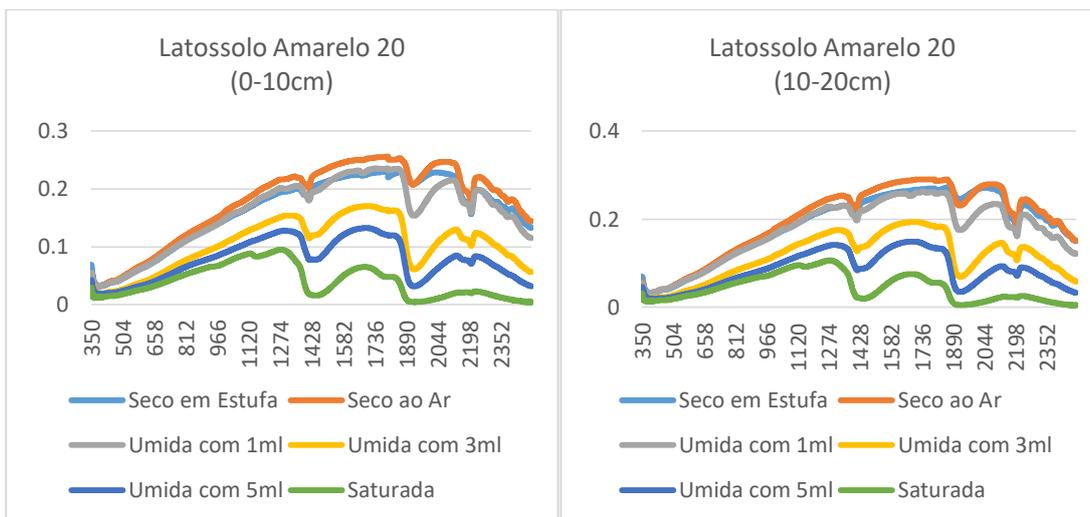
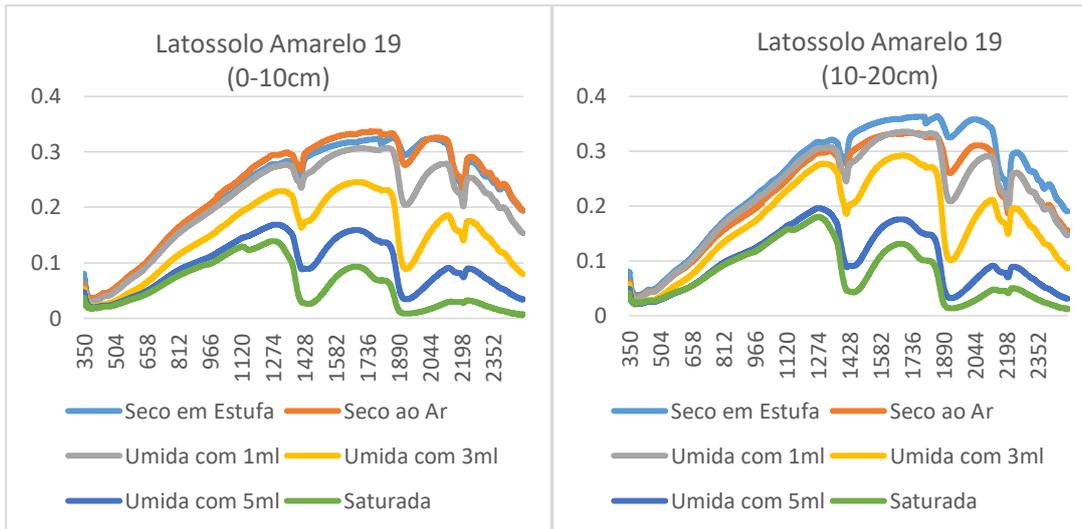
### 1. Curvas espectrais VIS/NIR dos Argissolo Amarelos (08,09,10) em diferentes condições de umidade.



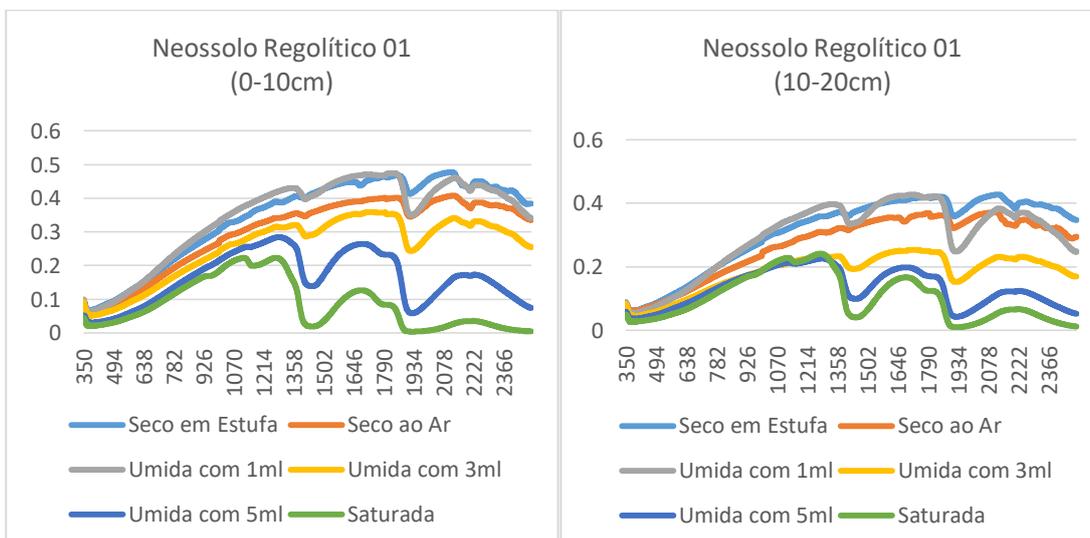
**2. Curvas espectrais VIS/NIR dos Latossolos Amarelos (06,07,16,17,18,19,20) em diferentes condições de umidade.**

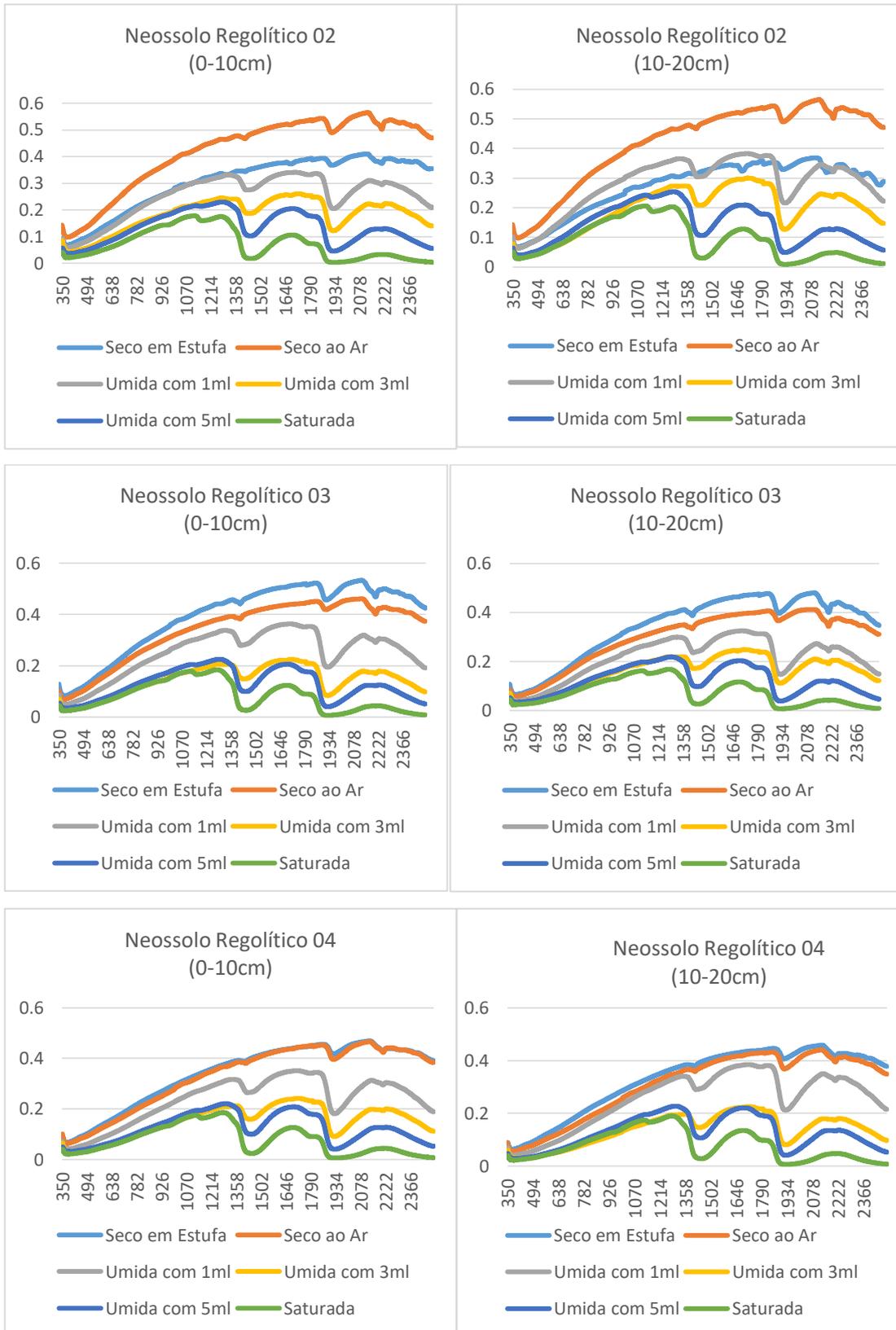


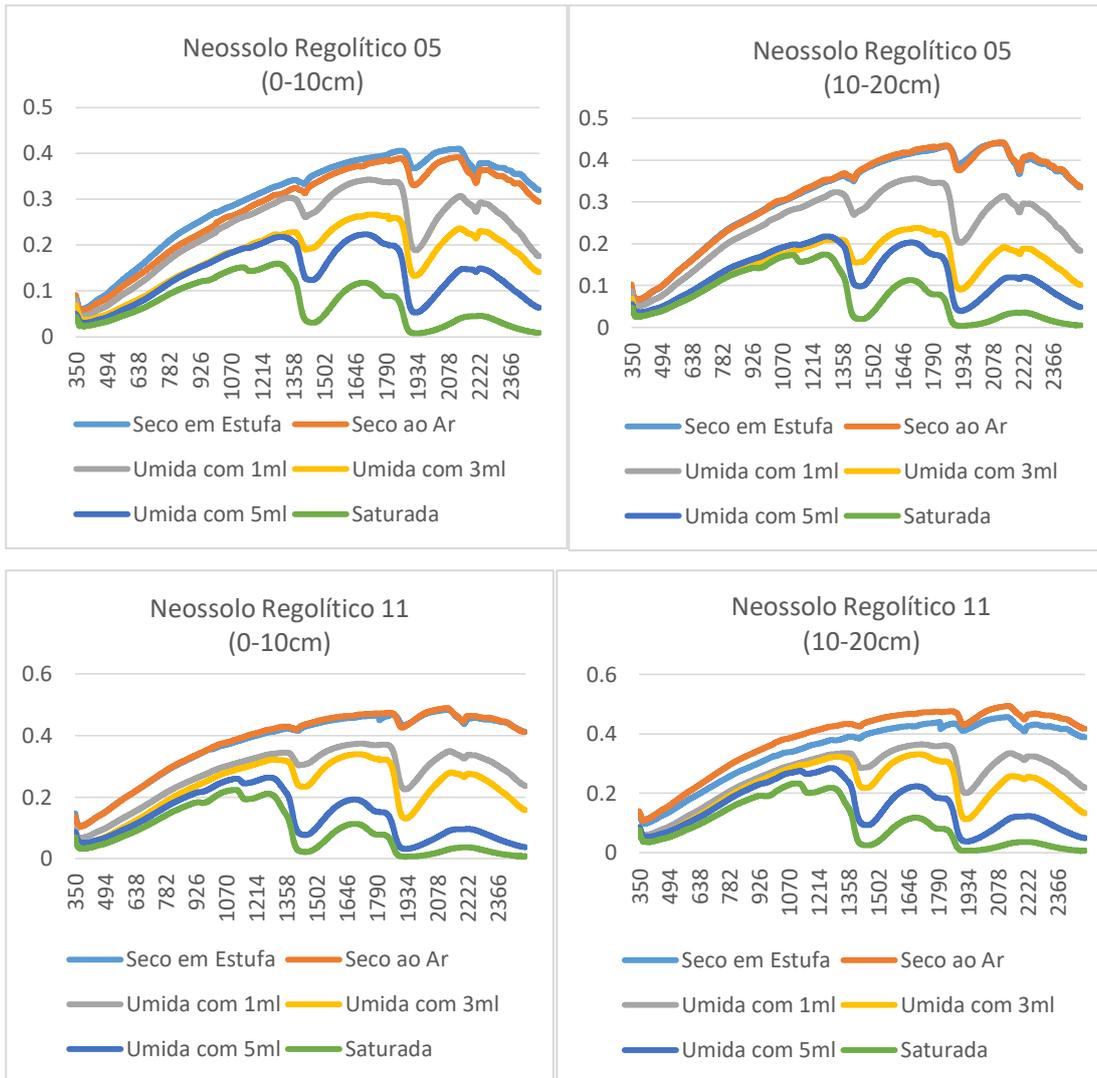


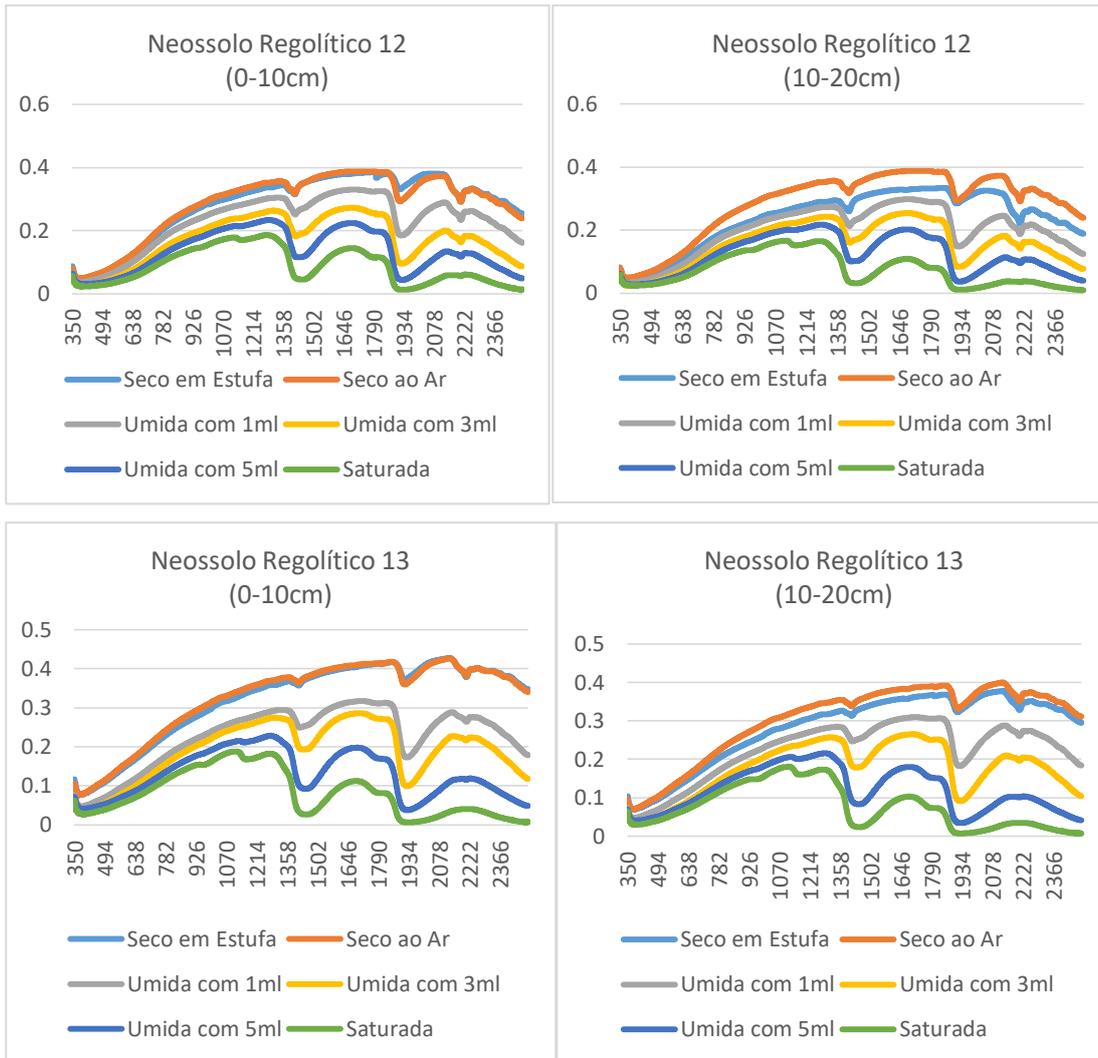


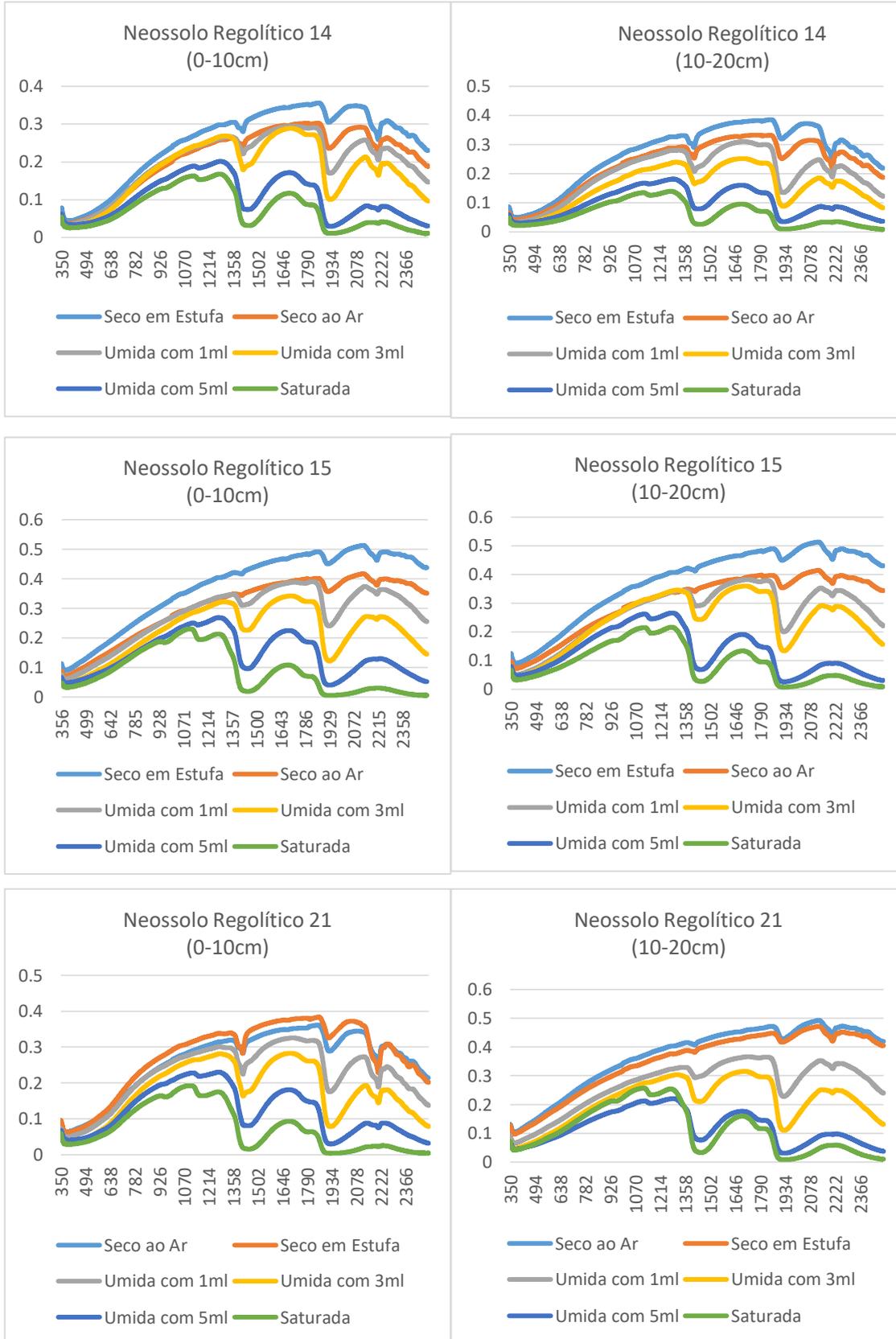
### 3. Curvas espectrais VIS/NIR dos Neossolos Regolíticos (01, 02, 03, 04, 05, 11, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 24, 25) em diferentes condições de umidade.

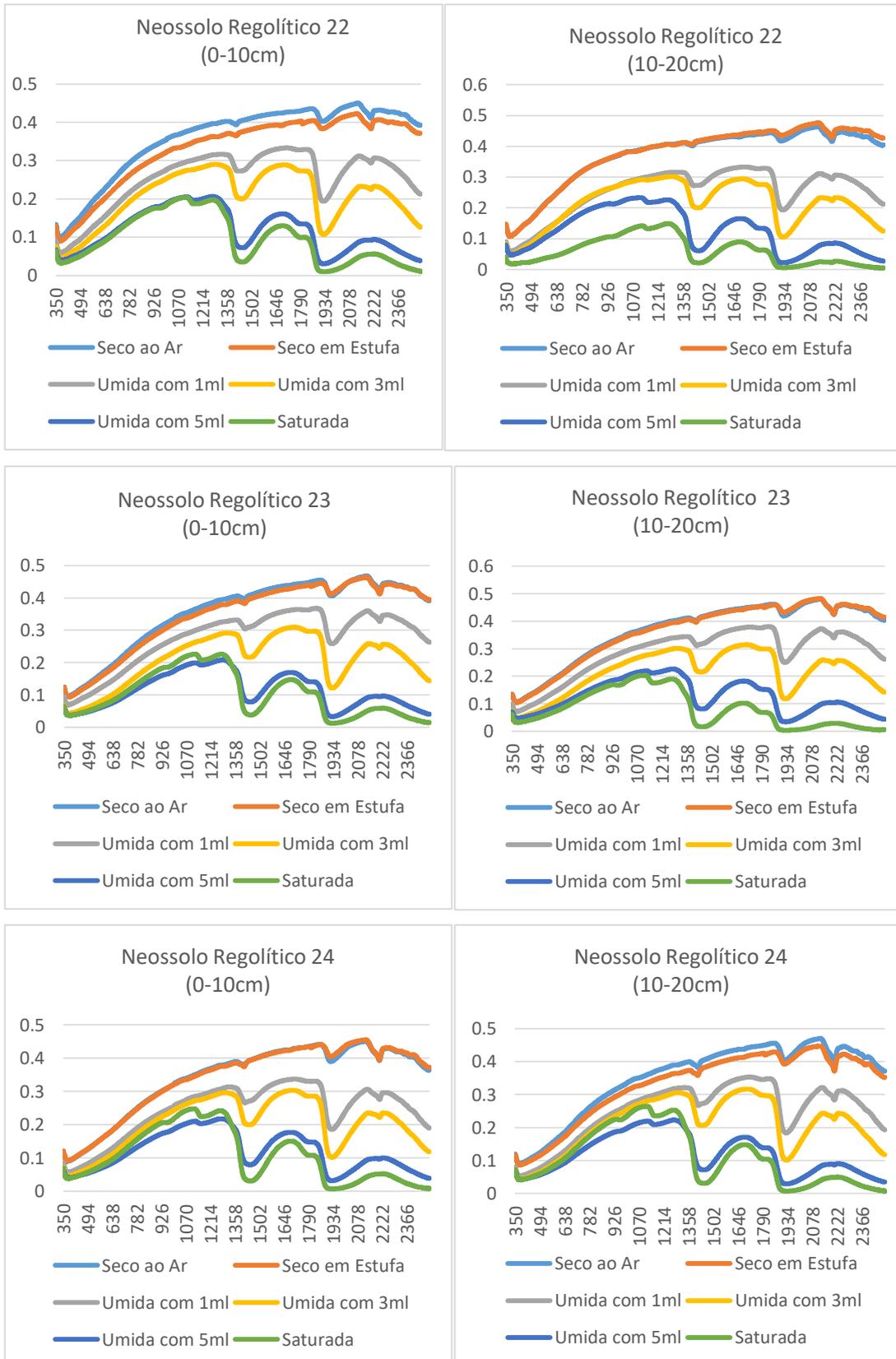


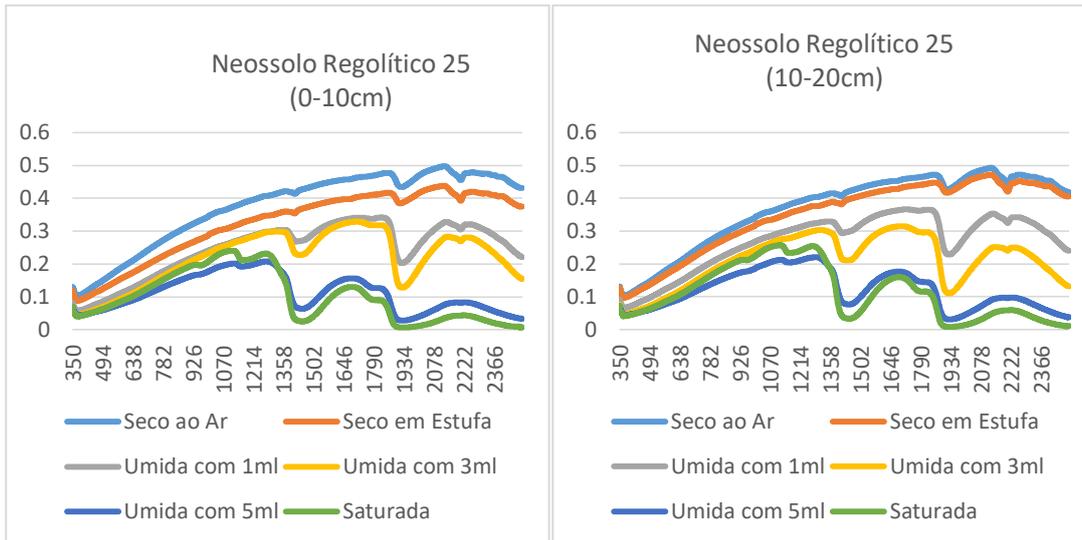




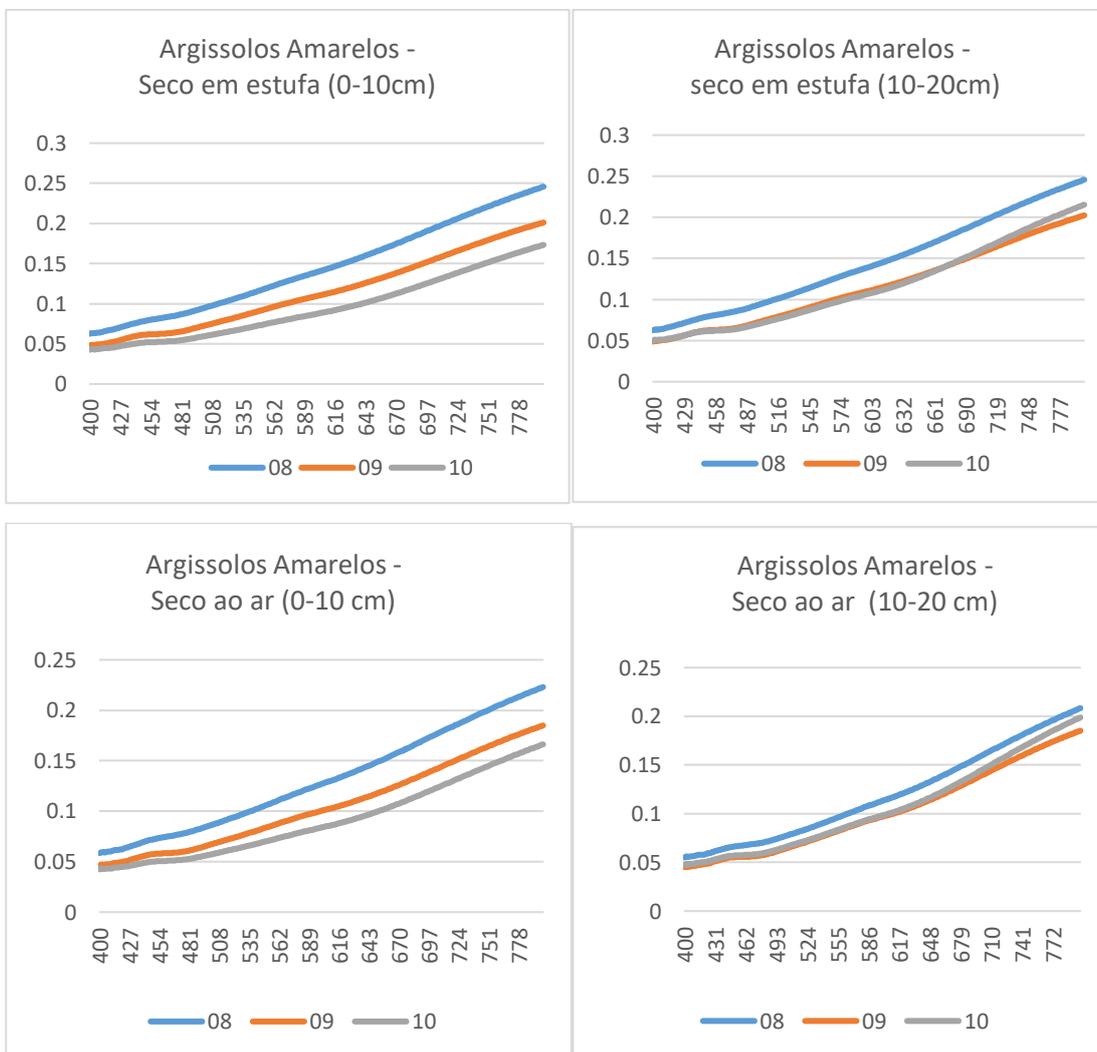


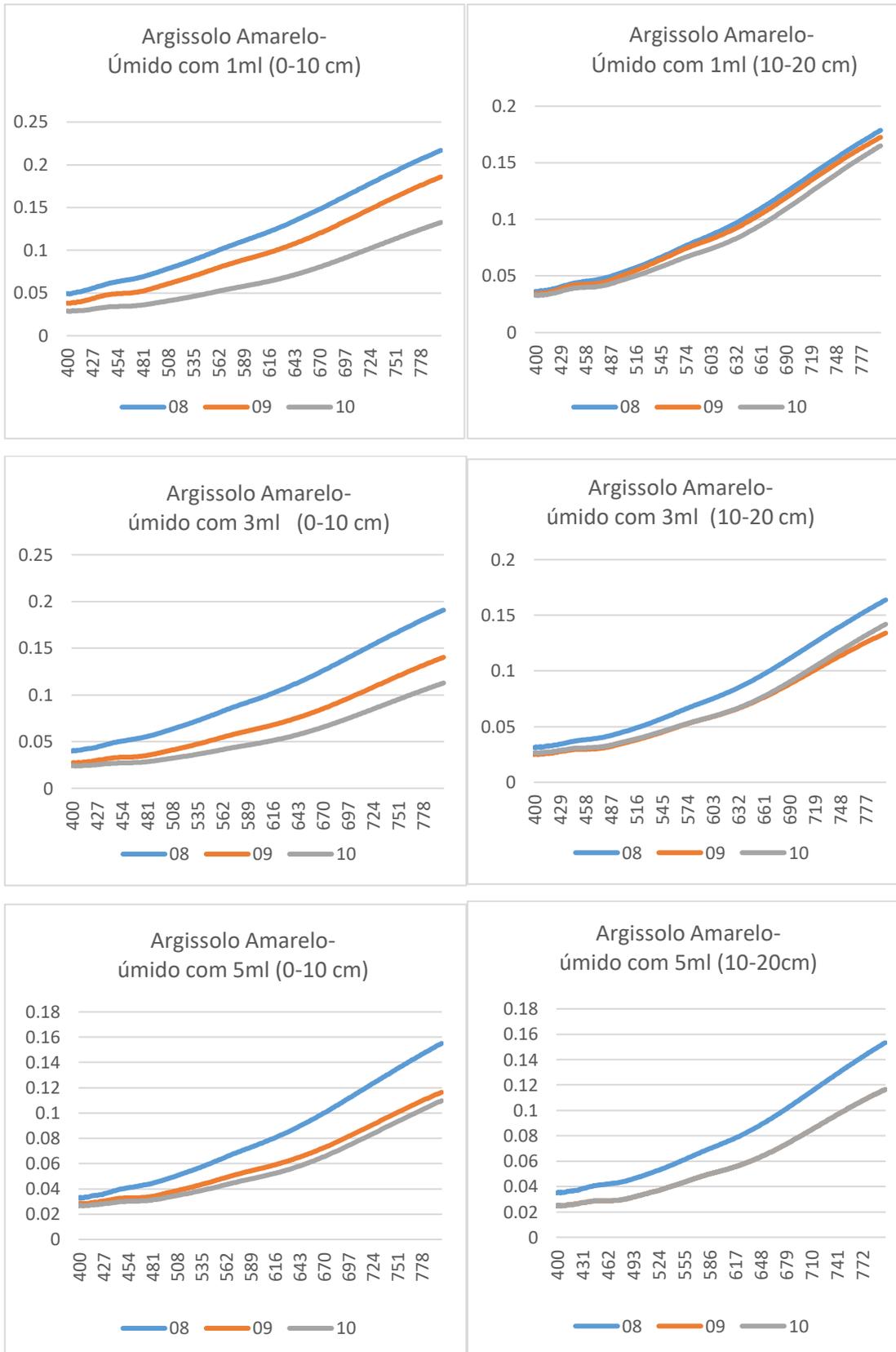


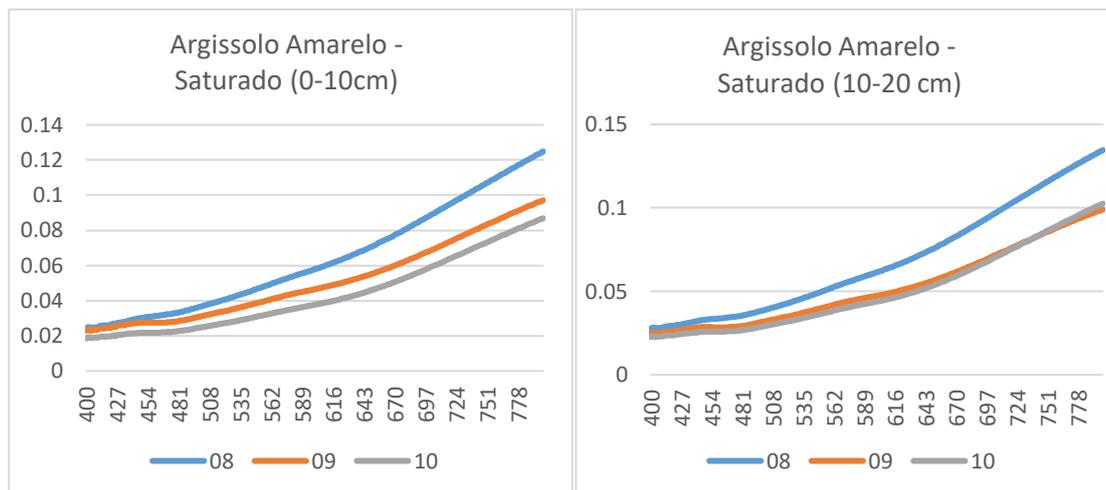




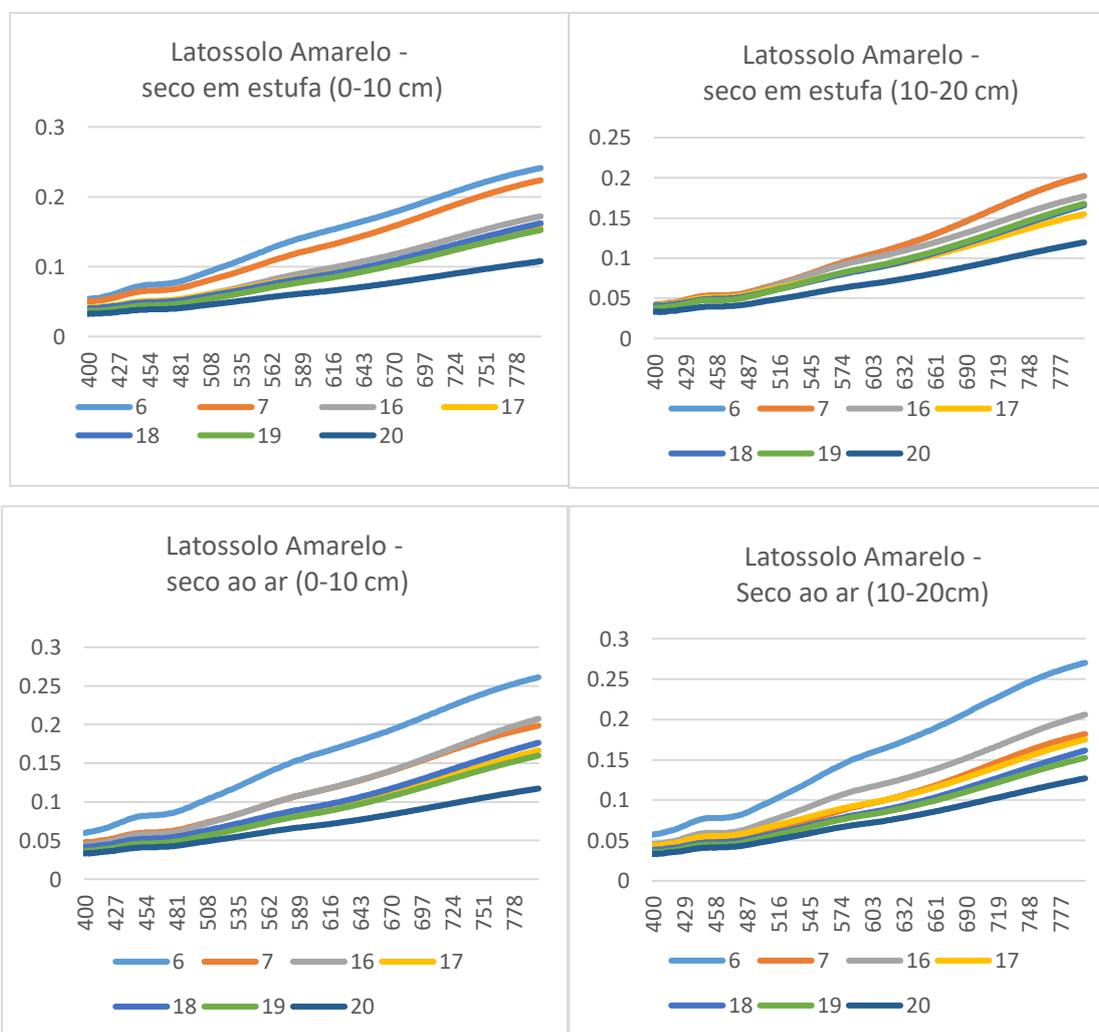
#### 4. Curvas espectrais VIS/NIR dos Argissolo Amarelos (08,09,10) em diferentes condições de umidade. Recorte das bandas 400-800nm.



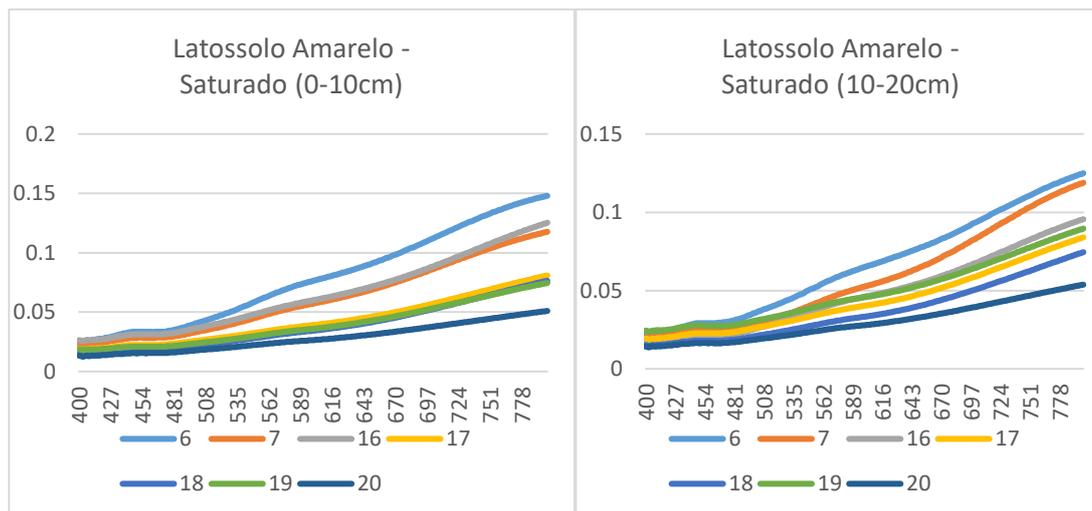




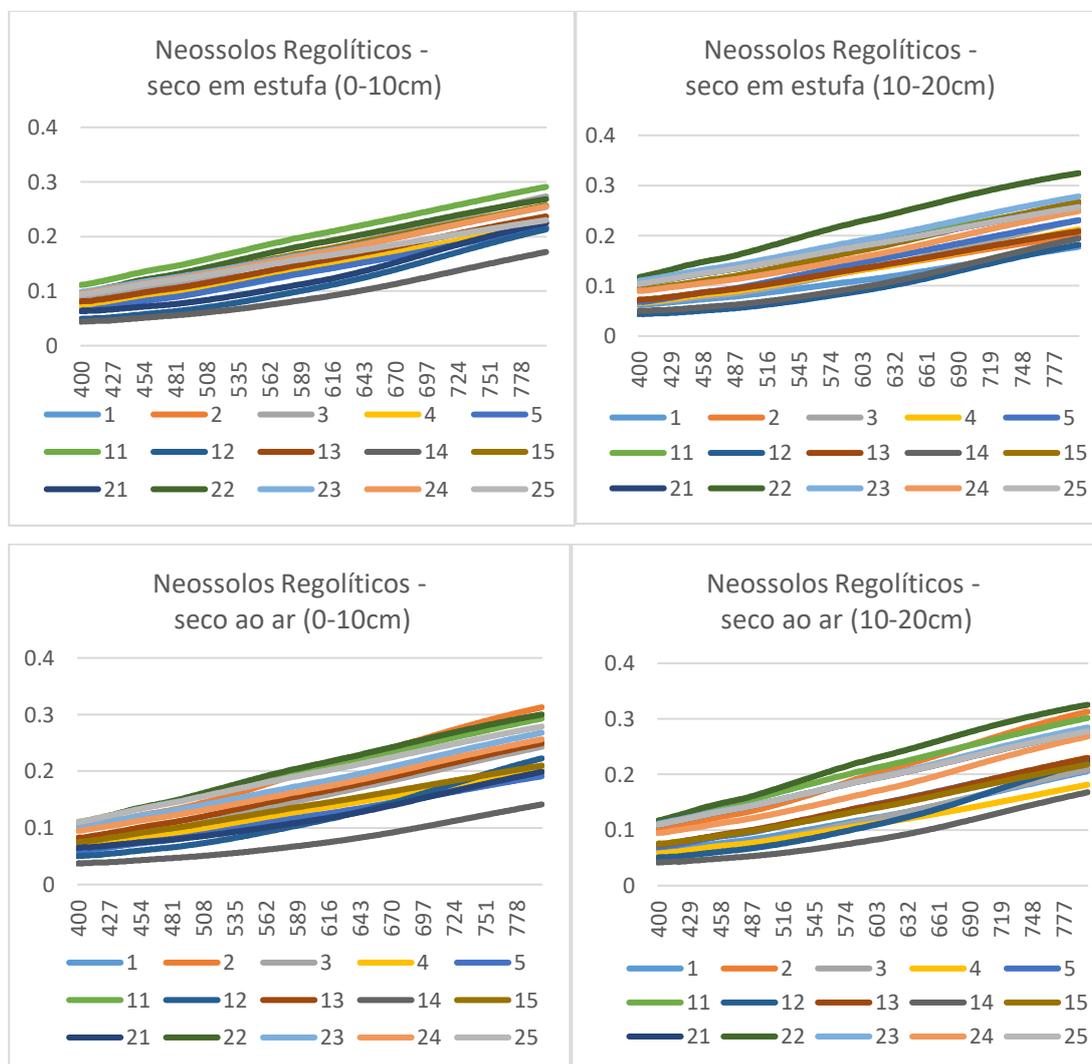
**5. Curvas espectrais VIS/NIR dos Latossolos Amarelos (06,07,16,17,18,19,20) em diferentes condições de umidade. Recorte das bandas 400-80nm.**

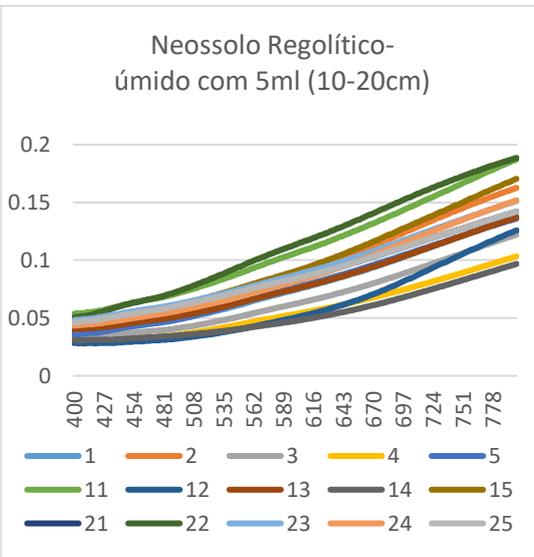
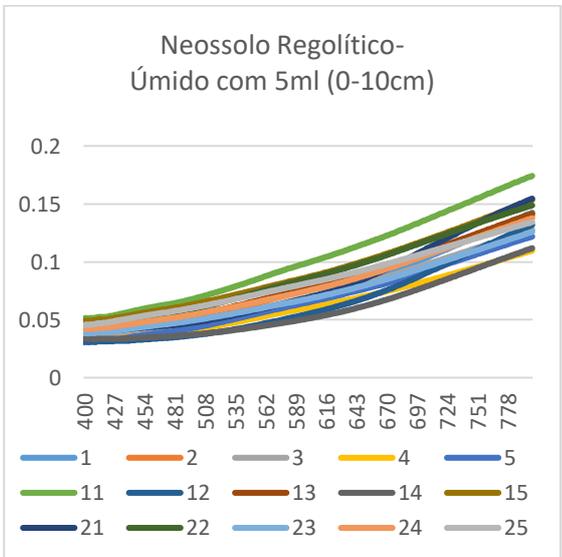
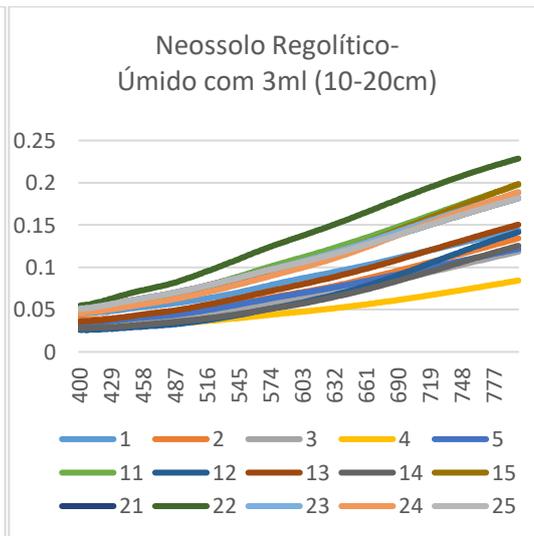
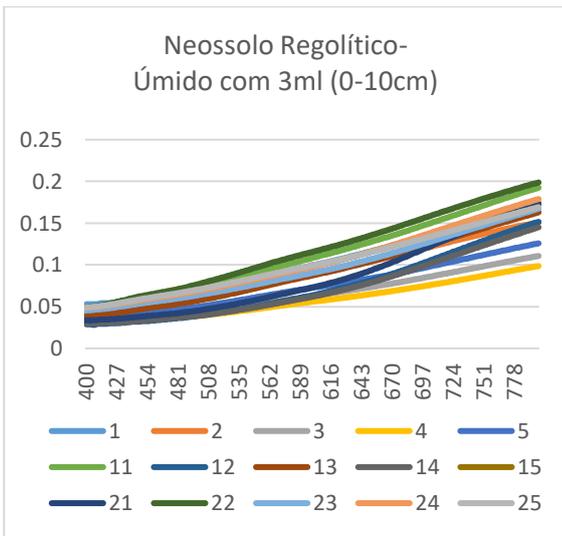
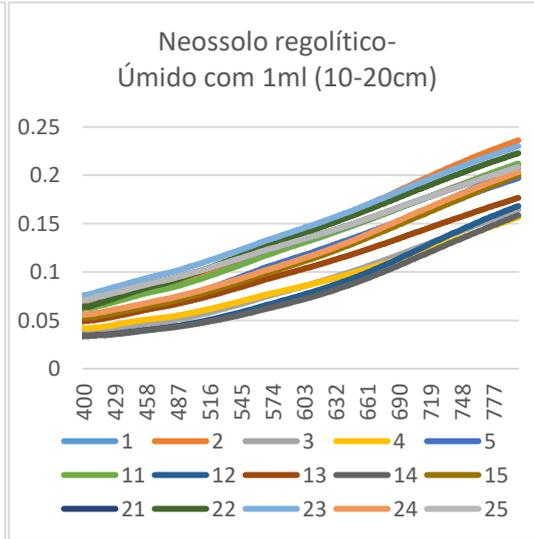
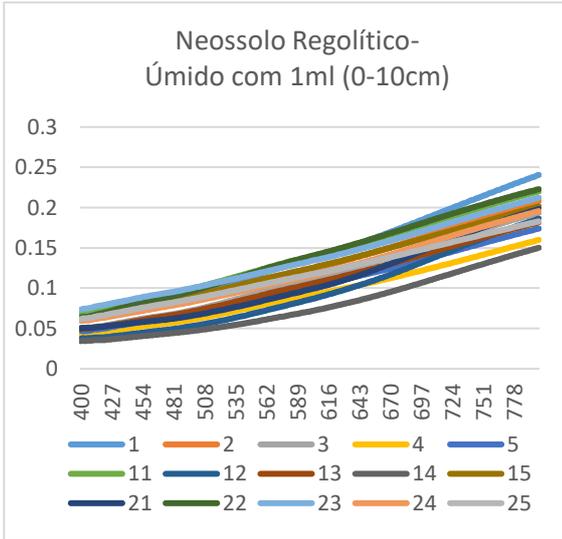


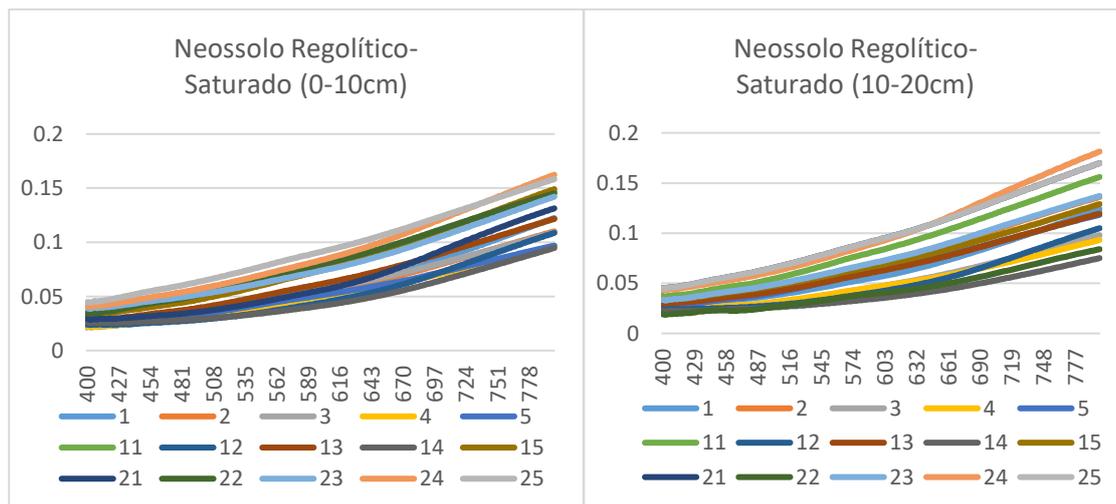




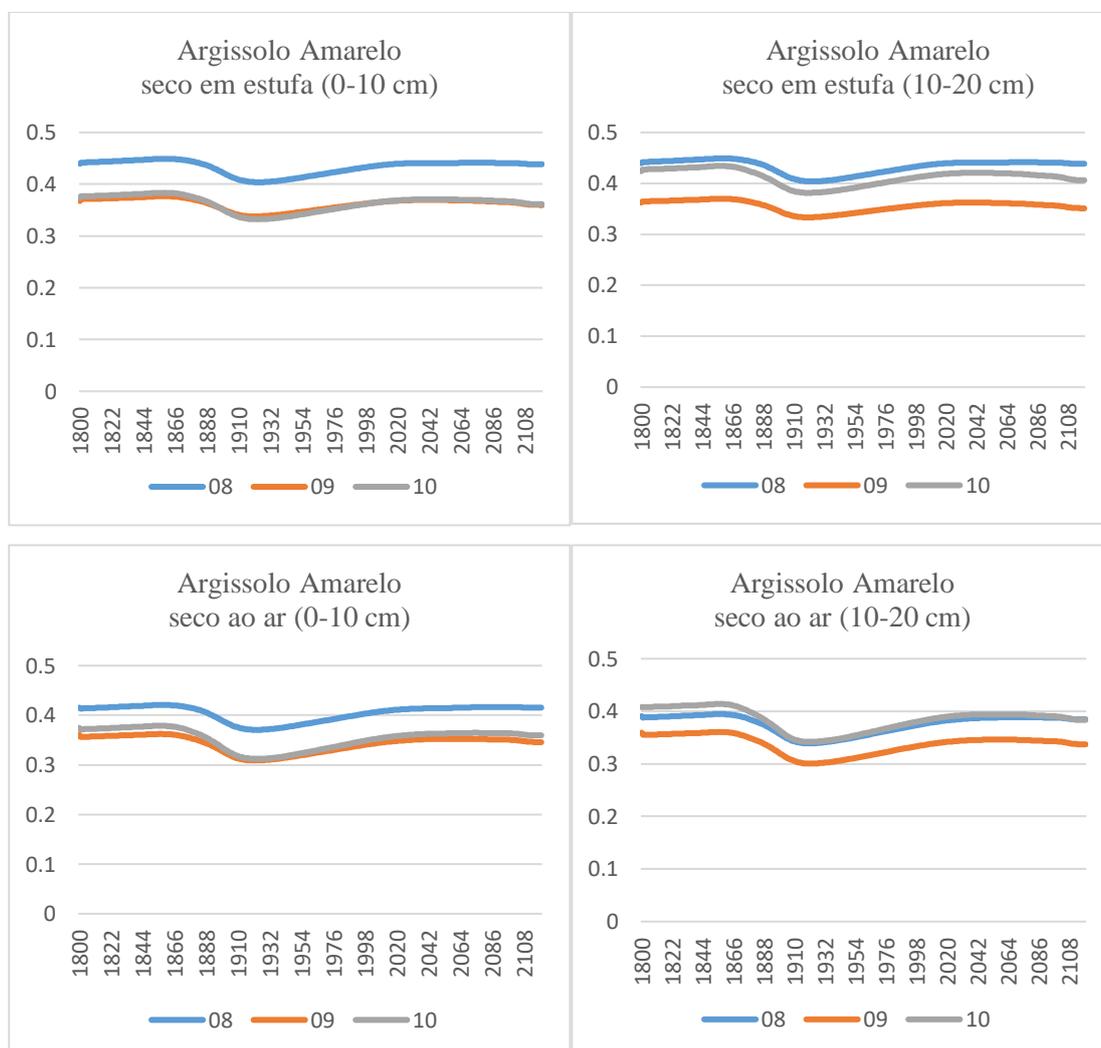
**6. Curvas espectrais VIS/NIR dos Neossolos Regolíticos (01, 02, 03, 04, 05, 11, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 24, 25) em diferentes condições de umidade. Recorte das bandas 400-800nm.**

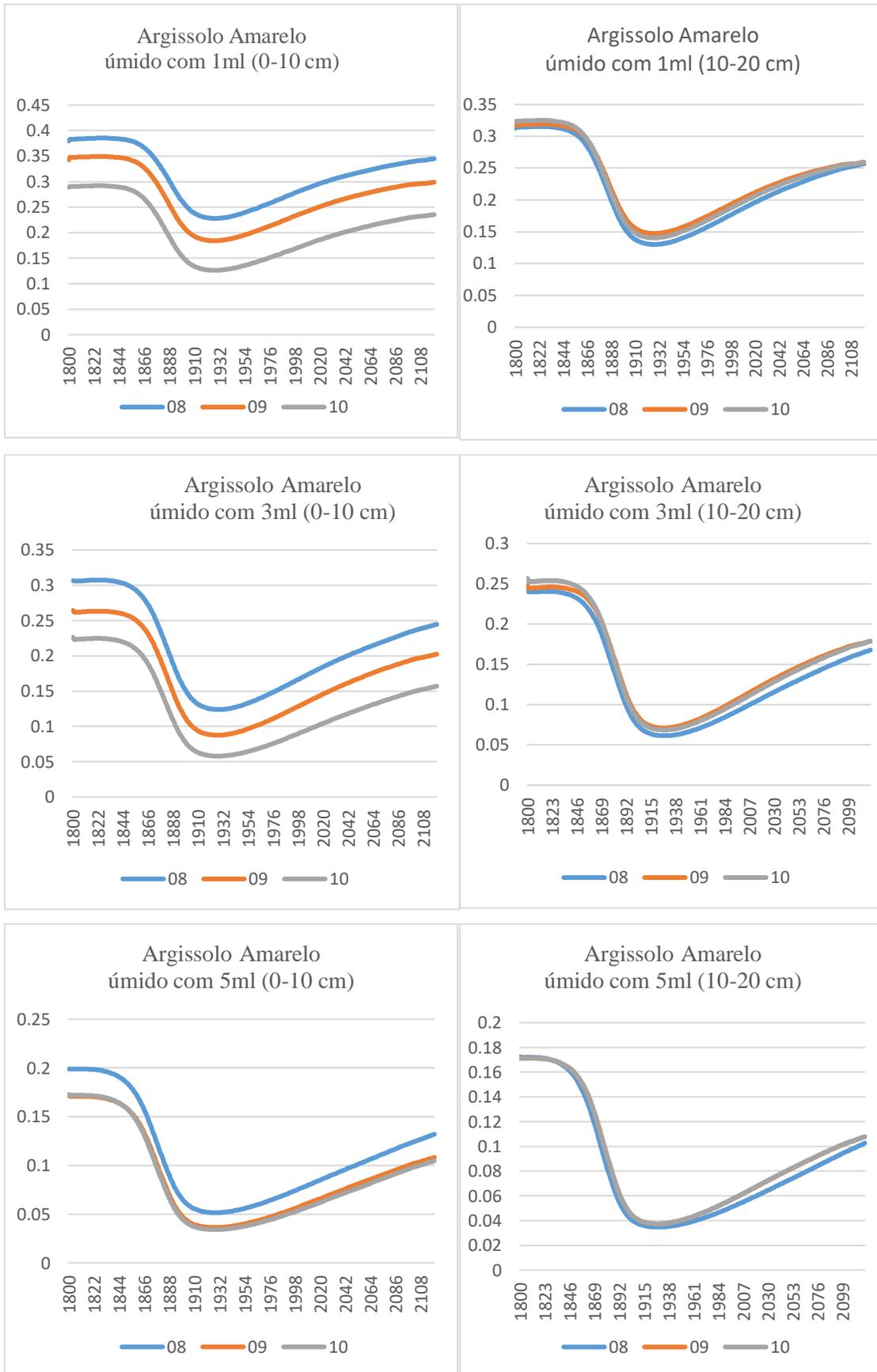


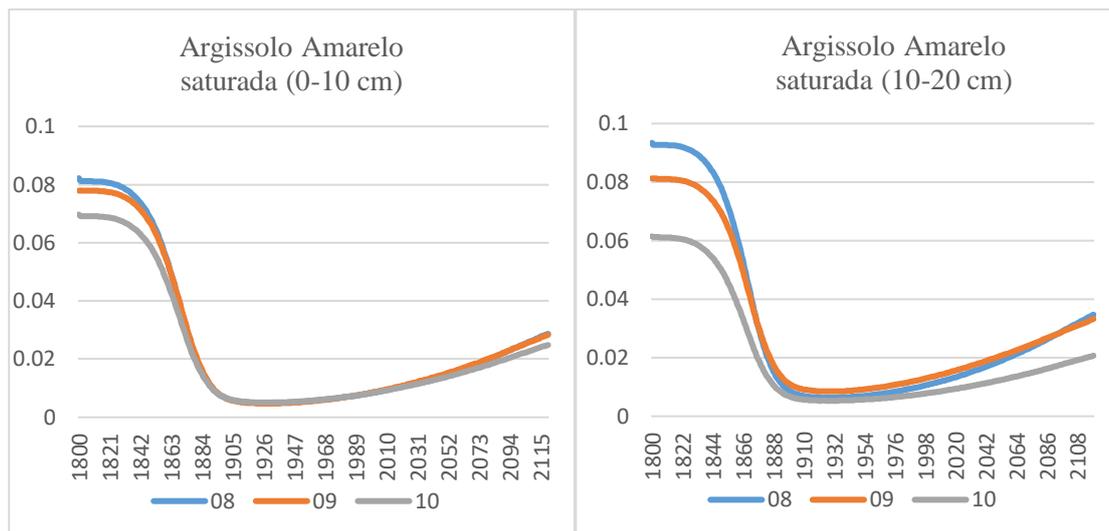




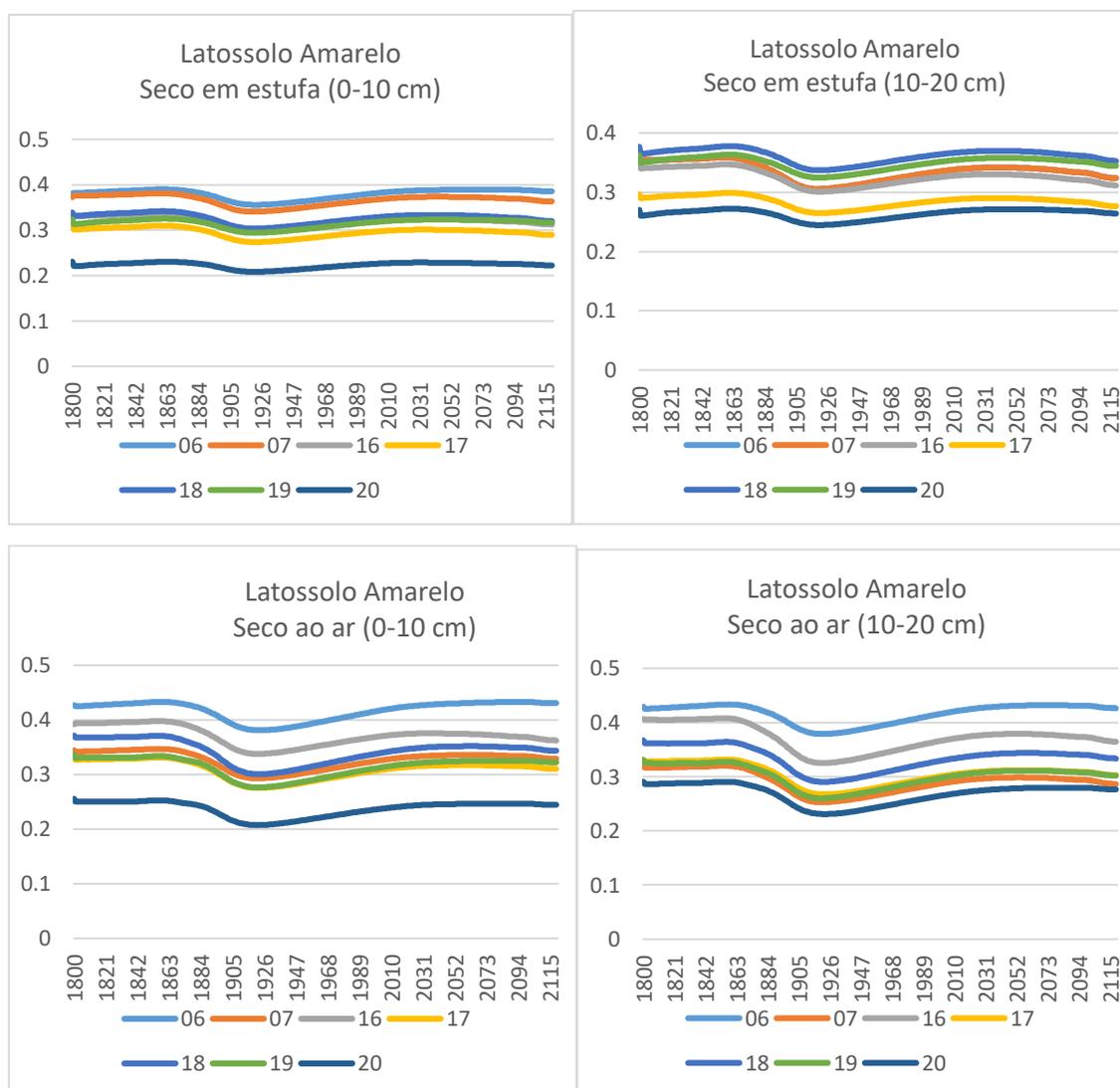
**7. Curvas espectrais VIS/NIR dos Argissolo Amarelos (08,09,10). Recorte das bandas 1800-2119, referente a obtenção do NSMI.**

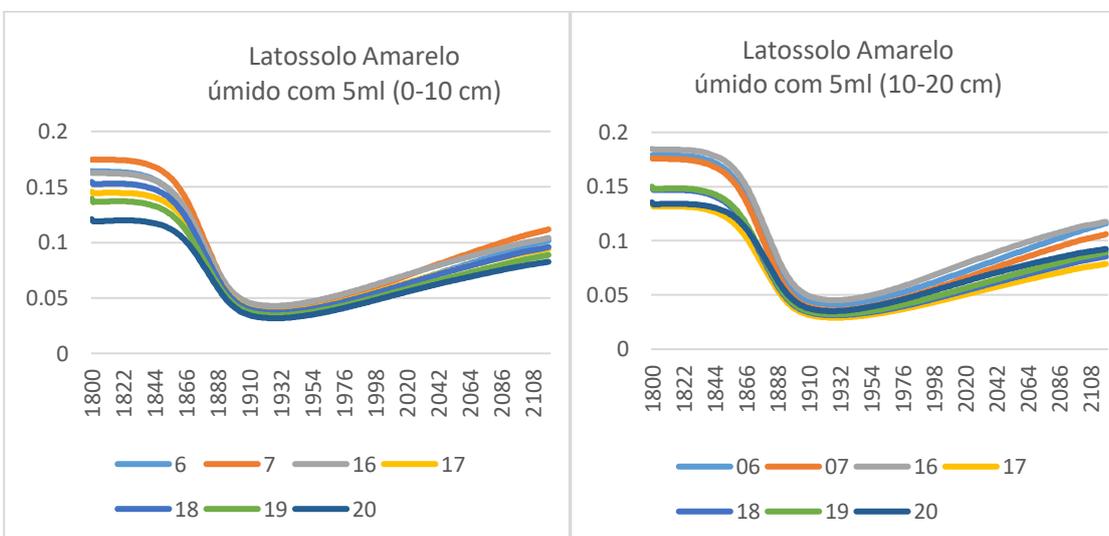
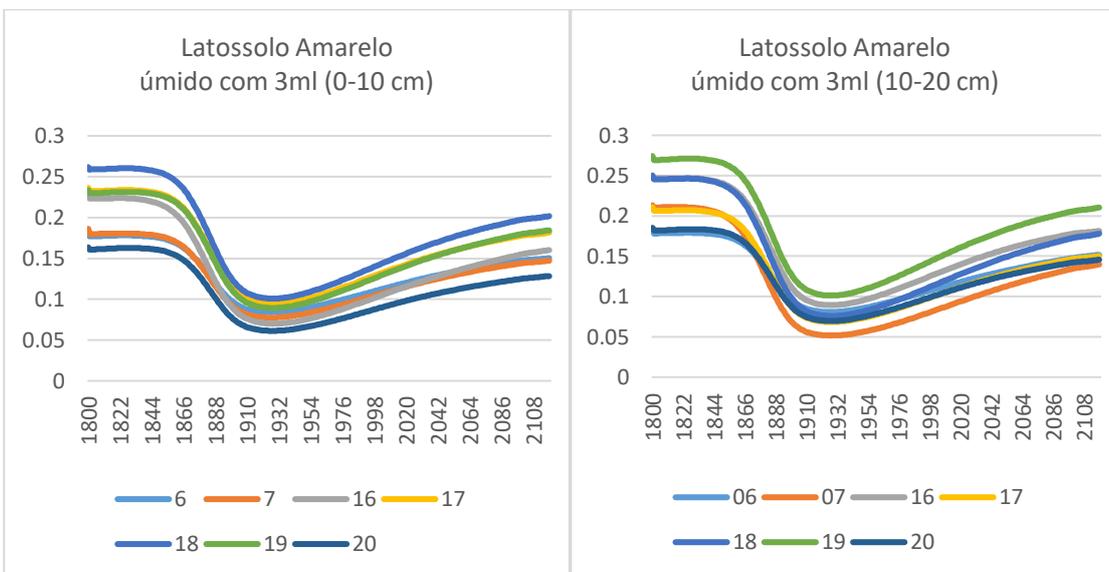
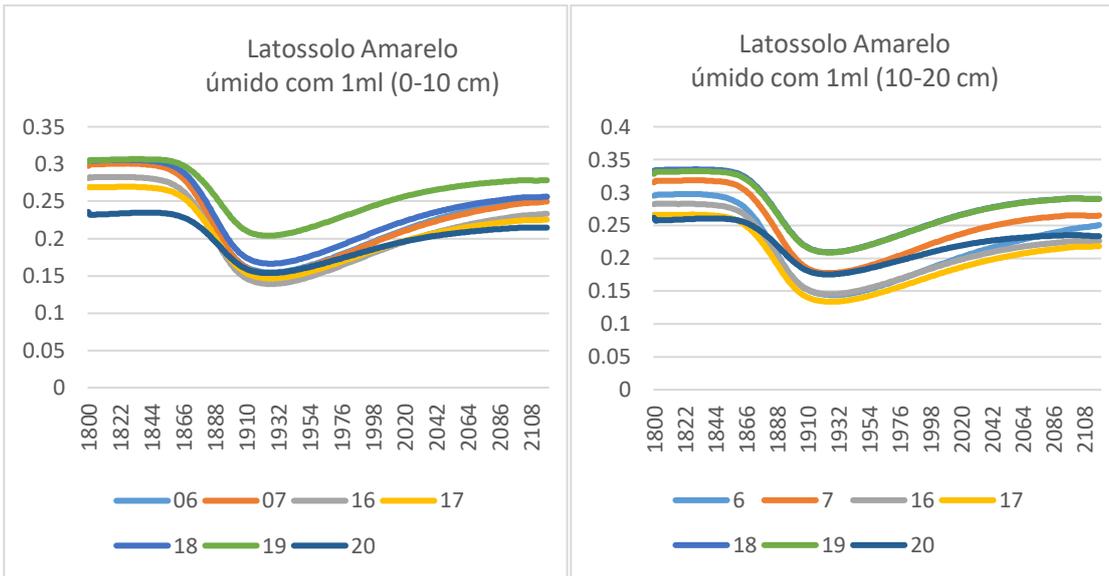


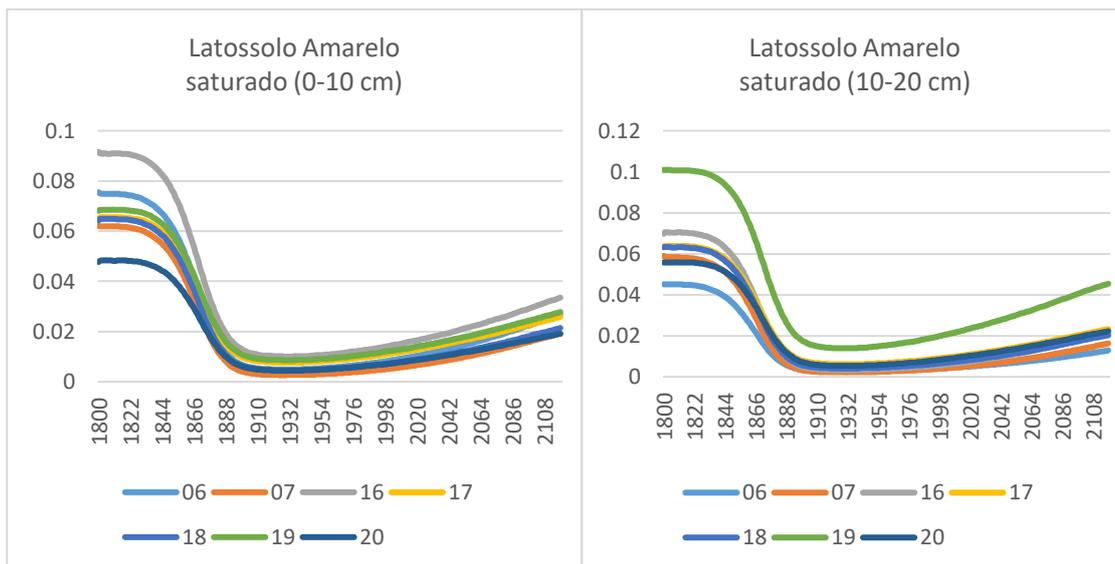




**8. Curvas espectrais VIS/NIR dos Latossolos Amarelo (06, 07, 16, 17, 18, 19, 20 ).  
Recorte das bandas 1800-2119, referente a obtenção do NSMI.**







**9. Curvas espectrais VIS/NIR dos Neossolos Regolíticos (1, 2, 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 23, 24, 25). Recorte das bandas 1800-2119, referente a obtenção do NSMI.**

