



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
APLICADAS E GEODINÂMICA**

**ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA APLICADA A ESTUDOS
PEDOGENÉTICOS EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS**

Área de Concentração: Geoprocessamento e Análise Ambiental

Deorgia Tayane Mendes de Souza

Tese de Doutorado nº 58

Brasília - DF

2020



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
APLICADAS E GEODINÂMICA**

**ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA APLICADA A ESTUDOS
PEDOGENÉTICOS EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS**

Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Geociências Aplicadas e Geodinâmica
Área de concentração: *Geoprocessamento e Análise Ambiental*.

Deorgia Tayane Mendes de Souza

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

Coorientador: Prof. Dr. Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha

Brasília - DF

2020

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista (Orientador/IG/UnB)

Presidente da Banca

Professora Dra. Jocimara Souza Britto Lobão (UEFS/PPGM)

Examinador Externo

Professor Dr. Oldair Del'Arco Vinhas Costa (UFRB)

Examinador Externo

Professora Dra. Tati de Almeida (IG/UnB)

Examinador Interno

FICHA CATALÓGRAFICA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MS729e Mendes de Souza, Deorgia Tayane
ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA APLICADA A ESTUDOS
PEDOGENÉTICOS EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS / Deorgia Tayane
Mendes de Souza; orientador Gustavo Macedo de Mello
Baptista; co-orientador Washington de Jesus Sant'Anna da
Franca Rocha . -- Brasília, 2020.
153 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Geociências Aplicadas) --
Universidade de Brasília, 2020.

1. SENSORIAMENTO REMOTO. 2. ESPECTROSCOPIA DE
REFLECTÂNCIA. 3. SOLOS. I. Macedo de Mello Baptista,
Gustavo , orient. II. Sant'Anna da Franca Rocha ,
Washington de Jesus, co-orient. III. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Souza, Deorgia T. M. Espectroscopia de reflectância aplicada a estudos pedogenéticos em ambientes semiáridos. Brasília, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2020, p.153. Tese de Doutorado

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Deorgia Tayane Mendes de Souza

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Espectroscopia de reflectância aplicada a estudos pedogenéticos em ambientes semiáridos.

Autorizo a Universidade de Brasília a reprodução parcial ou total desta tese de doutorado por meio eletrônico, impressão e/ou *download*, para fins de pesquisa e produção científica brasileira. Com obrigatoriedade de citação da obra.

GRAU: Doutor **ANO:**2020

AGRADECIMENTOS

Gratidão, essa é minha palavra mais expressiva na fase do doutoramento. No momento, as memórias explodem na minha cabeça, e, de primeiro, o agradecimento é para o Senhor da minha vida, Jesus! Foram momentos difíceis, desde o início do doutorado; a ponte aérea de Feira de Santana à Brasília toda semana no primeiro semestre só foi possível porque encontrei força e resiliência para seguir a caminhada em Jesus.

Meus pais Antônio Jorge de Souza (*in memorian*) e Ruth Mendes de Souza sonharam comigo esse sonho de doutorado, compartilharam as dores, alegrias e conquistas. A vocês eu devo a minha vida e a pessoa que me tornei. Pai, como está difícil finalizar sem a sua presença física, mas tenho certeza de que o senhor tem olhado por mim, meu muito obrigado! Mãe, sua força me fortalece e por isso estamos de pé e seguindo em frente. Coração está apertado, lembrar de nós juntos e de tudo que vocês fizeram por mim, eu não tenho palavras que consigam expressar todo amor e gratidão.

Minha amada irmã, você é um exemplo de mulher, profissional, mãe, filha e irmã, uma das mulheres mais sábias com quem tive a oportunidade de compartilhar a vida. Obrigado pelos presentes, meus sobrinhos, eles alegam nossa vida e nossa família, obrigado por ser tão parceira e amiga!

Agradeço aos meus avós maternos pelas orações, apoio e muito amor dedicado a mim, a minha avó paterna Judite Ribeiro (*in memorian*), sempre agradei a senhora em vida, compartilhei das minhas alegrias. Perder a senhora e meu pai foi um golpe muito duro que a vida me deu, mas continuei a seguir em frente porque vocês estavam ao meu lado. Nossas conversas e planos de assistir a defesa juntos ainda continuam de pé, por que sei que estarão em meu coração e meus pensamentos.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Baptista, um professor que admiro por sua integridade e dedicação à ciência. Tenho no senhor um espelho de profissional. Para além do campo profissional, sua compreensão, apoio e amizade foram fundamentais nos momentos difíceis pelos quais passei, muito obrigado por tudo! Agradeço à UnB por me dar a oportunidade de fazer um doutorado de excelência, com profissionais de alto gabarito, tenho orgulho de ser UnB. Aos amigos que conquistei, Luiza, Khalil e Marceli, vocês moram em meu coração!

A UEFS, PPGM, Labespectro, minha segunda casa, o meu agradecimento. Nessa instituição aprendi a ser pesquisadora, professora e uma pessoa melhor, tanto carinho foi dado a mim, posso com toda clareza afirmar que tenho uma família na UEFS, e meu segundo

pai é o Prof. Dr. Washington Rocha, como agradecer à pessoa que me deu a oportunidade de fazer o que mais amo, pesquisar solos! W, você é um exemplo de profissional, líder, professor e amigo muito obrigado pelo apoio, carinho, amizade e acima de tudo pelo amor dedicado a nós, seus filhos postigos. Ainda continuando nos agradecimentos na UEFS, meu especial para Diego Costa, meu amigo, obrigado pela amizade, carinho, marretadas de campo, sem você não teria perfis e um ombro para chorar quando o desespero batia. Nossa amizade é para uma vida toda! Aos amigos lindos que conquistei, Jocimara Lobão, Rodrigo Vasconcelos, Israel Oliveira, que nos momentos mais difíceis estiveram comigo, sempre com uma palavra de conforto, carinho. O dia a dia fica muito mais fácil e lindo quando estou com vocês, Família PPGM.

Por fim e não menos importante, agradeço ao meu companheiro Tiago Rodrigues, com você tenho aprendido a ser mais humana, ver e sentir a dor do outro, também aprendi ser mais disciplinada. Para além da parceria e compartilhamento de vida, você me deu um dos mais lindos presentes, nossa pequena Beatriz que está a caminho para iluminar os nossos dias e alegrar ainda mais as nossas vidas. Escolhemos um ao outro para construir um caminho juntos de lutas e vitórias, há você o meu amor, dedicação e lealdade.

Aos meus pais, Antônio Jorge de Souza (*in memoriam*) e Ruth Mendes de Souza, eles sonharam comigo e juntos construímos a realização do sonho. Vocês são minha base e fortaleza. Dedico este trabalho a vocês, meus pais!

RESUMO

ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA APLICADA AO ESTUDO PEDOGENÉTICOS EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS

A espectroscopia de reflectância é uma técnica analítica que tem sido difundida na área da Geociências e aplicada a estudos de mineralogia, vegetação, rochas e solos, tendo também contribuído na ciência de análises do solo através da quantificação dos atributos pedológicos, predominantemente em ambientes tropicais úmidos. O objetivo da tese apresentada foi realizar um estudo sobre a formação dos solos em ambientes semiáridos, aplicando espectrorradiometria de reflectância para identificar as alterações mineralógicas dos solos, inferir pedogênese e identificar padrões de atributos pedológicos em classes predominantes no semiárido. A tese está estruturada em quatro capítulos mais introdução e conclusão final, primeiro capítulo referencial teórico, e os demais capítulos em artigos científicos. O artigo 1 teve como objetivo analisar os padrões espectrais dos perfis de solo predominante da região semiárida, com material de origem distinta e mesma unidade geomorfológica (pedimentos funcionais retocados por drenagem incipiente. Para a identificação dos padrões espectrais foi utilizado os dados das feições espectrais em reflectância e submetidos a análise multivariada do tipo *Clusters*. No total, foram 17 perfis descritos em campo, com análise química, física, geoquímica e espectral. Os resultados obtidos foram o agrupamento de horizontes diagnósticos e os elementos que contribuíram para o agrupamento foram de minerais, textura, e cátions trocáveis. Nos artigos 2 e 3 foram desenvolvidos estudos em perfis de solo alocados em topossequências, nos municípios de Uauá (artigo 2) e Juazeiro (artigo 3), no estado da Bahia. Nas topossequências estudadas, identificaram-se processos pedogenéticos de cada perfil: Vertissolo (Vertissolização), Cambissolo (bissialitização), Neossolo (bissialitização), Chernossolo (carbonatação), salinização, argiluviação. A escolha da mesma unidade geomorfológica e a semelhança de relevo foram os critérios para observar de que modo o relevo interfere nos processos pedogenéticos. Para analisar o comportamento espectral dos solos nos artigos 2 e 3 foi aplicado Análise de Componentes Principais (ACP), tendo como resultado o agrupamento de horizontes de solo com o mesmo processo pedogenético e horizontes diagnósticos. No artigo 3 os dados foram submetidos ao teste estatístico multivariados do tipo *clusters*, e tiveram, como resultado, o agrupamento dos horizontes de solo e perfis de solo. Este estudo demonstrou a potencialidade da espectroscopia de reflectância aplicada ao entendimento da gênese dos solos e identificação dos horizontes diagnósticos e padrões espectrais de horizontes diagnóstico para fins de mapeamento

Palavra-chave: Pedogênese; Padrões espectrais; Espectroscopia de reflectância.

ABSTRACT

REFLECTANCE SPECTROSCOPY APPLIED TO THE PEDOGENIC STUDY IN SEMI-ARID ENVIRONMENTS

ABSTRACT: Reflectance spectroscopy is an analytical technique that has been disseminated in the Geosciences area and applied to the studies of mineralogy, vegetation, rocks and soils. The objective of this study was to carry out a study on soil formation in semiarid environments, using reflectance spectroradiometry to identify the mineralogical alterations of the soils, infer pedogenesis and identify patterns of pedological attributes in the semiarid predominant classes. The thesis is structured in four chapters, plus introduction and final conclusion, been the first the theoretical referential chapter, and the remaining, scientific articles. The Article 1 aimed to analyze the spectral patterns of the predominant soil profiles in the semiarid region, with material of different origin and the same geomorphological unit (functional pediments retouched by incipient drainage). For the spectral patterns' identification, data from spectral features reflectance and analyzed by multivariate analysis of Cluster type. In total, 17 profiles were described in the field, with chemical, physical, geochemical and spectral analysis. The results obtained were the grouping of diagnostic horizons and the elements that contributed to the clustering were minerals, texture, and exchangeable cations. In studies 2 and 3, both were carried out on soil profiles allocated in toposequences, in the municipalities of Uauá (article 2) and Juazeiro (article 3), in the state of Bahia. In all the studied toposequences, profiles of the pedogenetic processes were identified: Vertisol (Vertisolization), Cambisol (bisalitization), Neossol (bissialitiz) action), Chernossol (carbonation), salinization, argiluviation. The choice of the same geomorphological unit and the similarity of relief were the criteria for observing how the relief interferes with pedogenetic processes. To analyze the spectral behavior of soils in articles 2 and 3, Principal Component Analysis (PCA) was applied, resulting in the grouping of soil horizons with the same pedogenetic process and diagnostic horizons. In article 3, the data were submitted to the multivariate statistical test of the clusters type, and had, as a result, the grouping of the soil horizons and soil profiles. This study demonstrated the potential of reflectance spectroscopy applied to the understanding of soil genesis and identification of diagnostic horizons and spectral patterns of diagnostic horizons for mapping purposes.

Keyword: Pedogenesis; Spectral patterns; Reflectance spectroscopy

LISTA DE TABELA

Tabela 3.1 Atributos Morfológicos Luvissole	45
Tabela 3.2 Atributos físicos Luvissole.....	46
Tabela 3.3 Atributos químicos perfis de Luvissole.....	48
Tabela 3.4. Atributos morfológicos de Cambissolos.....	50
Tabela 3.5 Atributos físicos Cambissolo	53
Tabela 3.6 Atributos químicos dos Cambissolos	54
Tabela 3.7 Atributos morfológicos de Vertissolo	57
Tabela 3.8 Atributos físicos dos Vertissolos.....	57
Tabela 3.9 Atributos Químicos Vertissolo	58
Tabela 3.10 Atributos morfológicos Neossolo Regolítico	60
Tabela 3.11 Atributos físicos Neossolo Regolítico	60
Tabela 3.12 Atributos químicos Neossolo Regolítico	61
Tabela 3.13 Atributos morfológicos Chernossolo Rêndzico	62
Tabela 3.14 Atributos Físicos Chernossolo Rêndzico	62
Tabela 3.15 Atributos Químicos Chernossolo Rêndzico	63
Tabela 4.1 Atributos Químicos de uma Toposequência no município de Uauá-BA.....	87
Tabela 4.2 Atributos físicos de uma Toposequência no município de Uauá-BA.....	88
Tabela 4.3 Caracterização morfológica Toposequência Uauá – BA.....	89
Tabela 4.4 Teste de Normalidade Shapiro Wilk - Dados espectrais de reflectância e Fluorescência de Raio X	94
Tabela 4.5 Correlação de <i>Kendall</i> - Dados de fluorescência de raio X e feições espectrais remoção do contínuo	95

Tabela 4.6 Correlação de <i>Kendall</i> - Dados de fluorescência de raio X e bandas espectrais remoção do contínuo	96
Tabela 4.7 Minerais identificados por difratometria de raio X	98
Tabela 5.1 Atributos morfológicos e mineralógicos Pedolitossequência Juazeiro – BA.....	114
Tabela 5.2 Atributos Químicos da Pedolitossequência Juazeiro – BA.....	116
Tabela 5.3 Atributos físicos Pedolitossequência Juazeiro-BA.....	118
Tabela 5.4 Atributos Geoquímicos Pedolitossequência Juazeiro – BA.....	119
Tabela 5.5 Coeficiente de correlação de Tau <i>Kendall</i> Feições Espectrais em Reflectância com valores de Fluorescência de Raio X.....	124
Tabela 5.6 Coeficiente de Correlação de Tau de <i>Kendall</i> dos dados químicos e físicos X Feições espectrais em reflectância.....	126

LISTA DE FIGURA

Figura 1.1 Etapas dos Procedimentos Metodológicos Aplicados a Construção dos Artigos.....	22
Figura 1.2 Pontos de Perfis de Solo	23
Figura 3.1 Localização dos Perfis de Solo Classificados em Campo.....	41
Figura 3.2 Perfis de Luvissole e respectivo material de origem	44
Figura 3.3 Perfis de Cambissolo e seus respectivos materiais de origem	49
Figura 3.4 Perfis de Vertissolo e seus respectivo material de origem.....	56
Figura 3.5 Perfil de Neossolo Regolítico e seu respectivo material de origem.....	59
Figura 3.6 Perfil de Chernossolo Rêndzico e respectivo material de origem.....	61
Figura 3.7 Dendograma dos perfis espectrais solos do semiárido.....	65
Figura 3.8 <i>Cluster 1/Azul</i> e subgrupos.....	67
Figura 3.9 <i>Cluster 2/Verde</i> e subgrupos.....	69
Figura 3.10 <i>Cluster 3/marrom</i> e subgrupos.....	70
Figura 4.1 Localização do município de Uauá BA.....	77
Figura 4.2 Localização da Topossequência e perfis estudados no município de Uauá – BA.....	79
Figura 4.3 Segunda derivada dos espectros de reflectância da topossequência Uauá - BA	93
Figura 4.4 Distribuição CP1 e CP2 dos espectros de reflectância topossequência Uauá – BA.....	101
Figura 5.1 Mapa de localização Pedolitossequência no município de Juazeiro – BA.....	109
Figura 5.2 Espacialização dos perfis de solo da Pedolitossequência Juazeiro-BA	118
Figura 5.3 Espectros da Pedolitossequência Juazeiro – BA.....	121

Figura 5.4 Dendograma para os solos caraterísticos de uma pedolitossequência no município de Juazeiro – BA.....	126
Figura 5.5 Análise de Componentes Principais dos perfis da Pedolitossequência Juazeiro – BA.....	128

LISTA DE QUADRO

Quadro 4.1 Caracterização das feições de absorção dos minerais presentes em solos de uma topossequência no município de Uauá – BA.... 90

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURA

ACP	Análise Componentes Principais
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
C.E	Condutividade Elétrica
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DRX	Difratometria de raio X
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI	Environment for Vizualizing Images
Hz	Horizonte
KCl	Cloreto de Potássio
MAPBIOMAS	Projeto multi-institucional de monitoramento anual do uso e cobertura de terras dos biomas brasileiros
MOS	Matéria orgânica no solo
NIR-VIS	Faixa espectral visível e infravermelho
RMSE	regressão a partir do erro médio quadrático
SAM	<i>Spectral Angle Mapper</i>
SB	Soma de Bases
SWIR	Faixa espectral de ondas curtas
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
XRF	Fluorescência de Raio X

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
Lista de tabela	x
Lista de Figura	xii
Lista de quadro.....	xiv
Lista de siglas e abreviatura.....	xv
1. INTRODUÇÃO	19
1.1 QUESTÃO DA PESQUISA	21
1.2 HIPÓTESE.....	21
1.4 ESTRUTURA METODOLÓGICA DA TESE	22
1.4.1 Análises laboratoriais espectrais	24
1.4.2 Identificação mineralógica.....	25
1.4.3 Determinação da análise química, geoquímica física e morfológica em amostra de solo.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
CAPÍTULO 1.....	28
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	28
2.1 ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA: ORIGEM DAS FEIÇÕES.....	28
2.2 ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA APLICADO A MINERAIS E SOLOS.....	29
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADA À RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM.....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
CAPÍTULO 2.....	37
ARTIGO 1 - PADRÕES ESPECTRAIS: UMA ANÁLISE DOS SOLOS DO SEMIÁRIDO	37
3.1 INTRODUÇÃO	39
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.2.1 Caracterização da área	40
3.2.2 Análises laboratoriais.....	41
3.2.3 Obtenção dos espectros.....	42
3.2.4 Análises Estatísticas e Interpretações Espectrais.....	42
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.3.1 Caracterização dos Solos.....	43

3.3.2 Padrões espectrais como potencial tecnológico para identificação de atributos pedológicos	63
3.4 CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
CAPÍTULO 3.....	74
ARTIGO 2 - ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA APLICADA AO ESTUDO PEDOGENÉTICO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA ORIUNDA DE ROCHAS MÁFICAS DE UAUÁ-BA	74
4.1 INTRODUÇÃO	76
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	77
4.2.1 Caracterização da área	77
4.2.2 Determinação da morfologia, física, química e geoquímica	80
4.2.3 Análise das curvas espectrais e interpretação	81
4.2.4 Análise estatística	82
4.2.5 Análise de difratometria de raio X.....	84
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
4.3.1 Caracterização pedológica dos perfis da topossequência Uauá-BA.....	85
4.3.3. Variação do comportamento espectral dos solos ao longo da topossequência.....	99
4.3.4 Análise de Componentes Principais auxiliares na interpretação da pedogênese..	100
4.4 CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
CAPÍTULO 4.....	106
ARTIGO 3 - PEDOMETRIA APLICADA AO ESTUDO DA GÊNESE DE SOLOS NUMA PEDOLITOSEQUÊNCIA NO NORTE BAHIA	106
5.1 INTRODUÇÃO	108
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	109
5.2.1 Caracterização da área	109
5.2.2 Análises laboratoriais.....	111
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
5.3.1 Caracterização pedológica e espectral da pedolitossequência.....	114
5.3.2 Efeitos da física, química e geoquímica no comportamento espectral dos solos do semiárido.....	123
5.4 AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS MULTIVARIADAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE CLASSES DE SOLOS DO SEMIÁRIDO E SEUS RESPECTIVOS HORIZONTES.....	127
5.5 PERSPECTIVA DA GÊNESE DOS SOLOS NA PEDOLITOSEQUÊNCIA	130

5.6 CONCLUSÃO	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
CONCLUSÕES GERAIS	135
APÊNDICE A – RMSE dados espectrais topossequência Uauá-BA e <i>endemibers</i> JPL	136
APÊNDICE B - Profundidade de feição dos solos pertencentes em uma topossequência no município de Uauá-BA	136
APÊNDICE C - Coeficiente de correlação de tau de <i>kendall</i> dos dados espectrais de contínuo removido e fluorescência de raio x	137
APÊNDICE D - DIFRATOGRAMAS	139
APÊNDICE E - Caracterização espectral perfil de solo topossequência Uauá-BA.....	153

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a natureza e as propriedades dos solos têm sido fatores decisivos no desenvolvimento cultural e econômico das civilizações, devido às várias funções essenciais dos solos à vida (KAMPF e CURI, 2012). A paisagem é um conjunto indissociável dos sistemas bióticos e abióticos presentes na litosfera, interagindo mutuamente como um sistema aberto, permitindo a troca de matéria e energia. Para Carré e Mcbratney (2005) a relação “solo-paisagem” refere-se ao seu somatório definido no tempo e espaço, ou seja, a interação entre ambos. A pedoesfera contém subsistemas na forma de paisagens, onde as variações de relevo, geologia, clima e hidrografia condicionam processos pedogenéticos que determinam a distribuição dos solos em catenas ou topossequências (KAMPF e CURI, 2012). Já para Boulet (1993), o volume pedológico são corpos tridimensionais (*pedons*) que interagem com representação de passagens laterais entre horizontes, ocorrendo alterações pedoquímicas.

O estudo da relação solo e paisagem têm recebido suporte de tecnologia. Demattê et al (2014) ressalta que vários são os trabalhos que têm verificado a relação entre unidades de mapeamento de solo e formas de relevo, em busca dos padrões representativos de classes de solos para fins de mapeamento, gênese e características pedológicas. Com isso, o uso do sensoriamento remoto vem sendo aplicado para interpretar os solos a partir da sua relação com a paisagem e, dessa forma, compreender os processos intempéricos, por meio da identificação dos minerais constituintes nos solos, material de origem e atributos pedológicos, a partir do comportamento espectral dos solos. O comportamento espectral dos solos é um estudo que tem algumas limitações, visto que o solo é um corpo complexo que apresenta uma grande variabilidade de constituintes, exigindo do pesquisador mais informações que elucidem com mais exatidão a interação da radiação eletromagnética com os solos (SOUZA JUNIOR et al, 2008). Contudo, o advento de sensores remotos hiperespectrais de campo permitiu realizar medições em campo ou em laboratório, formando uma importante linha de pesquisa para a caracterização dos solos por meio de sua energia refletida (DEMATTÊ, 2000). Nesse sentido, Viscarra Rossel et al (2006) versa sobre a importância do estudo dos solos e continuidade do desenvolvimento de técnicas analíticas capaz de entender o solo como sistema completo, associado a aquisição de grandes quantidades de dados.

O comportamento espectral dos alvos está pautado na reflectância e absorção da radiação eletromagnética no alvo. Assim, Meneses e Almeida (2019) afirma que a reflectância do solo é uma propriedade cumulativa que deriva do comportamento espectral dos constituintes minerais e orgânicos, além da composição e do tamanho das partículas. Os espectros de solos fornecem informações valiosas sobre a física, a química e a mineralogia dos solos, permitindo rapidez na análise e interpretação dos dados. Desse modo, torna-se relevante utilizar esse instrumento na compreensão dos processos pedogenéticos em ambientes semiáridos.

Em vista disso, a presente pesquisa objetiva realizar um estudo sobre os solos em ambientes semiáridos, identificando padrões espectrais relacionados a processos pedogenéticos em diferentes classes de solo, em escala de perfil de solo e topossequência, utilizando a espectrorradiometria de reflectância de laboratório.

A tese está estruturada em quatro capítulos que versam sobre a pedogênese em ambientes semiáridos, em escala de topossequência e com distribuição de perfis para identificação de padrões de intemperismo em classes de solos típicas do semiárido. Inicialmente é apresentado a introdução com questões de pesquisa, hipótese, objetivos. O **primeiro capítulo** trata dos principais conceitos, obras e autores que abordam o tema proposto, oferecendo subsídios teóricos e conceituais para o desenvolvimento da pesquisa, bem como para as discussões de resultados dos capítulos posteriores. O primeiro artigo intitulado “**Padrões espectrais: uma análise dos solos do semiárido**”, teve como proposição analisar diversas classes de solos com materiais de origem distintas em topossequências e perfis avulsos, a fim de estimar atributos químicos por meio da espectrorradiometria, verificar a ocorrência de padrões espectrais associados às classes de solos observadas. O artigo será submetido a revista Brasileira de Ciência do Solo.

Segundo artigo “**Espectroscopia de reflectância aplicada ao estudo mineralógico e pedogenético em uma topossequência em rochas máficas de Uauá-BA**”, discorre sobre o estudo pedogenético em ambiente com diversidade mineralógica, tendo como principal objetivo verificar a potencialidade da espectroscopia de reflectância na identificação de minerais e demais atributos pedológicos para compreender a pedogênese. O artigo foi submetido ao Anuário de Geociências (UFRJ). Por fim o terceiro artigo, com o título “**Pedometria aplicada ao estudo da gênese dos solos em uma pedolitosequência no extremo norte da Bahia**”, tem como objetivo analisar a pedogênese a partir de parâmetros mineralógicos e litológicos em uma área de domínio litológico de ortognaisses, granitos

calcoalcalino K e carbonatos. O capítulo 4 abordou as alterações pedogenéticas e verificou se a mudança na classe de solo é decorrente do material de origem ou do relevo.

1.1 QUESTÃO DA PESQUISA

- (1) É possível identificar padrões espectrais de classes de solos predominantemente do semiárido?
- (2) O comportamento espectral dos solos aliado aos atributos morfológicos, químicos e físicos possibilitam analisar a gênese dos solos atuante em ambientes semiáridos?
- (3) Procedimentos estatísticos multivariada associada aos dados espectrais, morfológicos, químicos e físicos espectroscopia de reflectância pode ser aplicada na identificação de alterações pedogenéticas em perfis de uma topossequência em ambientes semiáridos?

1.2 HIPÓTESE

Com o uso da espectroscopia de reflectância, é possível analisar aspectos e propriedades pedológicas, como mineralogia, textura e propriedades químicas para auxiliar no estudo da gênese dos solos do semiárido. Uma vez que ainda há presença de minerais em alteração, devido à pouca expressão do intemperismo químico e às condições climáticas, a espectroscopia de reflectância pode auxiliar na interpretação das propriedades do solo.

1.3 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa tem como **objetivo geral** realizar um estudo sobre a formação dos solos em ambientes semiáridos, aplicando espectrorradiometria de reflectância para identificar as alterações mineralógicas dos solos, inferindo os processos pedogenéticos. Os objetivos específicos da pesquisa são: (i) identificar propriedades pedológicas por espectrorradiometria de reflectância em diferentes vertentes e perfis com distintos materiais de origem e (ii) averiguar se existem padrões espectrais para as classes de solos predominantes no semiárido, Vertissolo, Luvisolo, Neossolo, Chernossolo.

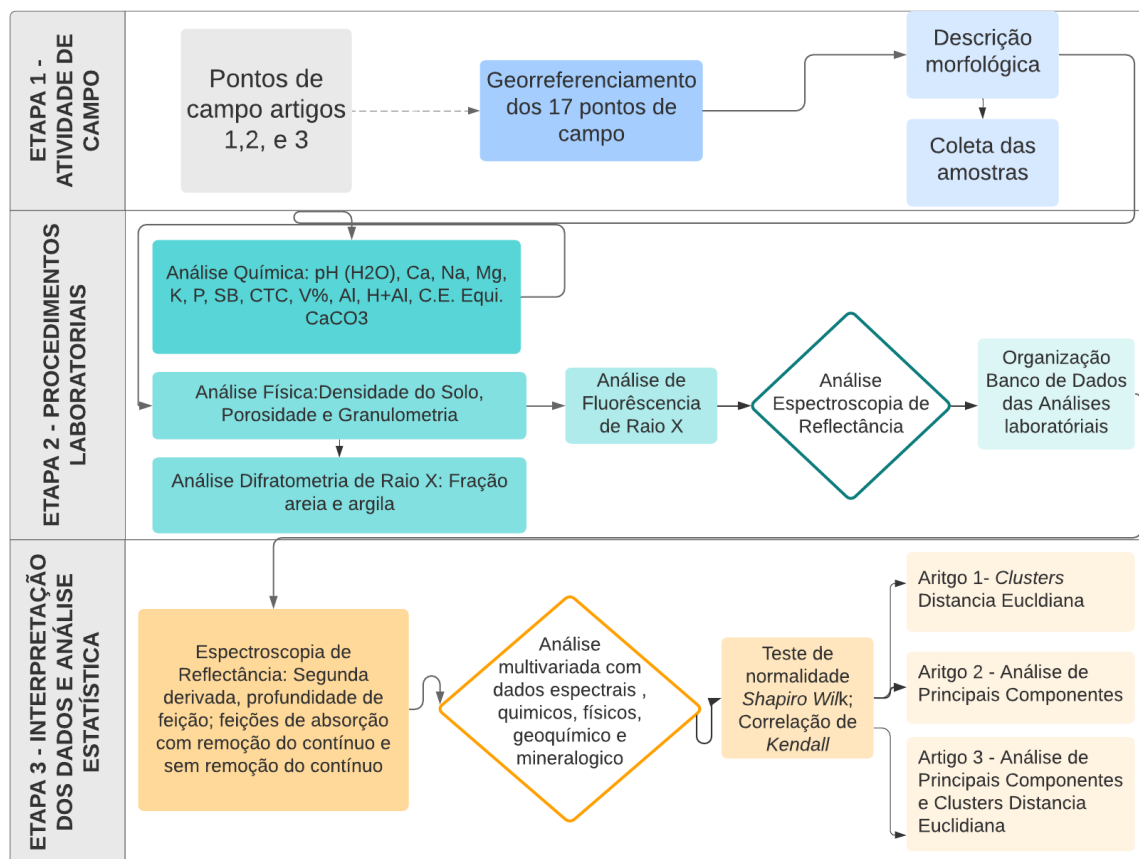
Esse estudo se justifica pela inovação de oferecer condições para identificar os solos de maneira rápida e precisa, utilizando espectroscopia de reflectância em laboratório. Com

uma única curva espectral de horizonte de solo é possível identificar propriedades pedológicas, vantagem aos métodos tradicionais. Desse modo, identificar atributos do solo por meio da espectroscopia de reflectância contribui para o estudo pedológico, sobretudo em ambientes semiárido, área ainda pouco explorada na temática abordada.

1.4 ESTRUTURA METODOLÓGICA DA TESE

Os materiais e métodos da pesquisa terão fases distintas, visto que a tese está estruturada em artigos. Dessa forma, tornou-se relevante apresentar um panorama geral dos principais procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento dos artigos. Sinteticamente, os procedimentos metodológicos estão representados na figura 1.1

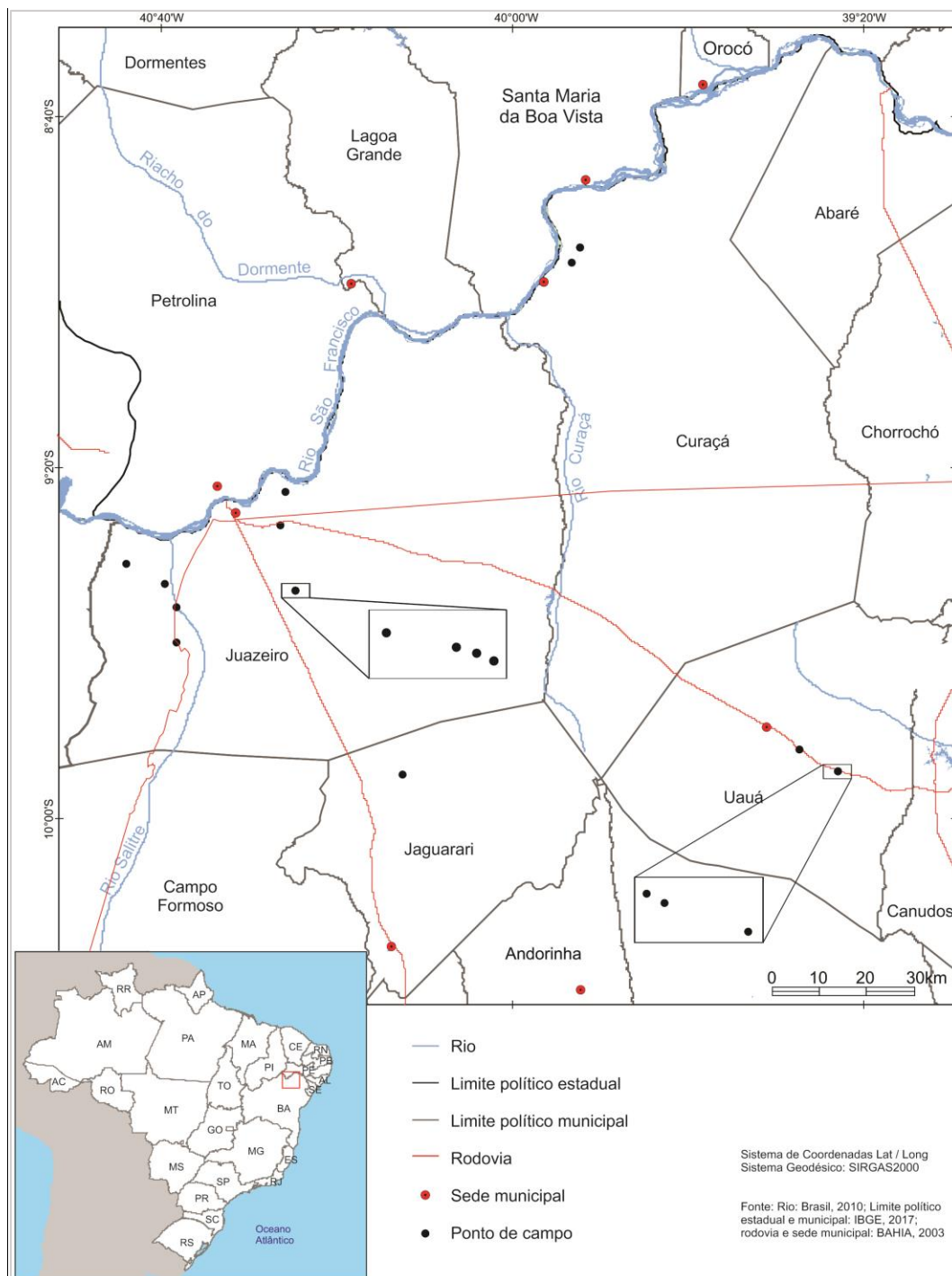
Figura 1.1 – Etapas dos Procedimentos Metodológicos Aplicados a Construção dos Artigos



O primeiro capítulo apresenta o referencial teórico. A partir do segundo capítulo – artigo 1, são apresentados os resultados da pesquisa. O artigo 1, as amostras foram coletadas em perfis de solos que abrangem as unidades geomorfológicas citadas. Os pontos de campo

estão espacializadas na Figura 1.2. A preferência da escolha dos perfis é de classes de solos predominantes do semiárido, como Vertissolo, Chernossolo, Luvisolo, Cambissolo e Neossolos. Além de representarem classes distintas de solos, as amostras foram obtidas em perfis com materiais de origem diferentes e também semelhantes, a fim de observar se ocorre um padrão espectral por classe de solo ou do material de origem. Foi realizada a coleta das amostras em campo, e sua classificação foi até o quarto nível categórico.

Figura 1.2 Pontos de Campo Perfis de Solo



Para a seleção das amostras para os artigos 2 e 3 foi realizado por topossequências. A escala de detalhe permite uma análise mais aprofundada acerca dos processos pedogenéticos. A distribuição das topossequências seguiu, como critério, as unidades geomorfológicas, que são os pedimentos funcionais retocados por drenagem incipiente, que abrangem uma extensão territorial relevante, sendo o maior no Estado da Bahia.

1.4.1 Análises laboratoriais espectrais

Os procedimentos laboratoriais referentes à espectrorradiometria seguiram os seguintes passos: a) peneiramento das amostras em malha de 2mm; b) armazenamento das amostras em placas de *petri* de 9 cm de diâmetro; c) secagem na estufa a 45°C em 24 horas; d) leitura das amostras utilizando equipamento *FieldSpec 4*, com resolução de 1 nm na faixa de 350 nm até 1100nm e 2nm 1100 a 2500nm, de modo que foi realizada uma rotina de 3 repetições das amostras, embora o equipamento, em cada análise, já faça uma leitura estimada de 100 repetições – com a média das 3 repetições, extraiu-se a média da curva espectral; e) interpretação da curva espectral, de forma que se utilizou como parâmetro a biblioteca espectral USGS, inserida no ENVI versão 5.1, o mesmo *software* utilizado para interpretação das curvas espectrais.

Os resultados obtidos em laboratório foram interpretados a partir de procedimentos adotados por Clark (1999), Baptista (2001), Baptista et al (2011) Terra et al (2015). Os dados foram normalizados a partir da remoção do contínuo, e, em seguida, foi feito o cálculo da profundidade da feição.

Clark (1999) afirma que o processo de remoção do contínuo espectral isola as características espectrais e as coloca em condições de igualdade para que elas possam ser comparadas. Nesse sentido, o cálculo de profundidade de feição foi realizado utilizando a equação 1.

$$D = 1 - Rb \quad (1)$$

Sendo D = profundidade da feição, Rb = reflectância do centro da banda.

Terra (2011) aplicou a equação citada e encontrou correlação forte entre a profundidade de feição das bandas de absorção e os dados de análise geoquímica.

A remoção do contínuo é a chave para o sucesso da identificação espectral, pois permite normalizar o espectro, removendo ruídos e pronunciando os elementos químicos presentes na amostra. O cálculo de profundidade de feição espectral permite identificar a proporção da presença do mineral presente na amostra (BAPTISTA et al, 2011).

1.4.2 Identificação mineralógica

Para a identificação mineralógica das amostras, foram utilizadas as análises espectrais e a difratometria de raio X (DRX). As análises de DRX foram realizadas no Laboratório de Difratometria de Raio X do Instituto de Geociências - Campus Darcy Ribeiro - UnB. Os procedimentos técnicos seguiram a normatização indicada por Embrapa (2017): pulverização das amostras para amostra total, depositando o material em lâminas de vidro para análise no difratômetro RIGAKU – ULTIMA IV, operando com tubo de cobre e filtro de níquel, sob 30 kV e 15 mA. Para a separação da fração argila, foi realizada a solubilização em H₂O destilada em um centrífuga à 750 rpm por 7 minutos. Descartou-se o material residual e reserva a solução em suspensão, centrifugada a 3000 rpm por 30 minutos, em seguida o material foi utilizado para elaborar lâminas orientadas e secagem ao ar. Na sequência, foi utilizado o dessecador em etileno glicol e glicosada. Por fim, as lâminas foram aquecidas a 490°C em 4 horas e 30 minutos. Para interpretação dos difratogramas, foi utilizado o software JADE. Em suma, foram realizadas 5 leituras: amostra total, argila, etileno glicol, glicerol e aquecida a 490°C.

1.4.3 Determinação da análise química, geoquímica física e morfológica em amostra de solo

A morfológica dos solos foi identificada pelo manual de descrição e coleta de solo Santos et al (2015). A caracterização física determinou granulometria, porosidade, densidade do solo e classe textural. Nas análises químicas foram determinadas: pH (H₂O), CTC (Capacidade de Troca Catiônica), bases trocáveis, soma de bases, porcentagem de saturação por bases, alumínio trocável, condutividade elétrica, equivalente de carbonato de cálcio. Todos os procedimentos seguiram o protocolo descrito pela EMBRAPA (1997). A caracterização geoquímica foi para determinar: SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O P₂O₅, as análises foram realizadas por meio da técnica de Fluorescência de Raio X, equipamento: Espectrômetro de Fluorescência de Raios X – PANalytical modelo AXIOS

MAX Advanced, localizado no laboratório de Geocronologia – Instituto de Geociências – UnB.

O procedimento das amostras para realização da leitura foram: pulverização e pastilha fundida e Perda ao Fogo a 1000o C (LOI) pela técnica de Gravimetria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, G. M. M.; CORRÊA, R. S.; SANTOS, P. F.; MADEIRA NETTO, J. S.; MENESES, P. R. Use of Imaging Spectroscopy for Mapping and Quantifying the Weathering Degree of Tropical Soils in Central Brazil. **Applied and Environmental Soil Science**, 2011. Disponível em: <<http://downloads.hindawi.com/journals/aess/2011/641328.pdf>>.
- BOULET, R. **Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia**. XXI Congresso Brasileiro Ciências do Solos. Campinas, 1993
- CARRÉ, F.; McBRATNEY, A. B. Digital terrain mapping. **Geoderma**, v. 128, n. 03/04, p. 340-353, 2005.
- CLARK, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In: RENCZ, A. N. (Ed.). **Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for the Earth Sciences**, vol. 3, 1999.
- DEMATTE, J. A. M.; CAMPOS R. C.; ALVES M. C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma toposeqüência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2447-2460, 2000.
- DEMATTE, J. A. M; TERRA, F. S. Spectral pedology: A new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations. **Geoderma**, v. 217-218, p. 190-200, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.11.012>>.
- DEMATTE, J. A. M; BELLINASSO, H.; ROMERO, D. J.; FONGARO, T. C. Morphological Interpretation of Reflectance Spectrum (MIRS) using libraries looking towards soil classification. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 6, 2014.
- DOI: 10.5327/Z2317-48892013000300011
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 edições revista atual. Rio de Janeiro, 1997.
- KAMPF, N.; CURI, N. **Conceito de solo e sua evolução histórica**. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). **Pedologia: Fundamentos**. SBCS: Viçosa, 2012
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Transições eletrônicas e moleculares e a origem das absorções. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. (Orgs.). **Reflectância dos materiais terrestres: análises e interpretações**. Oficina de Texto: São Paulo, 2019.

SOUSA JUNIOR, A. S. J. G.; DEMATTÊ, J. A. M.; MARQUES GENÚ, A. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 727-738, 2008.

TERRA, F. S. **Espectroscopia de reflectância do visível ao infravermelho médio aplicada aos estudos qualitativos e quantitativos de solos**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. USP, São Paulo, 2011.

TERRA, F. S.; DEMATTÊ, J. A. M.; VISCARRA ROSSEL, R. A. Spectral libraries for quantitative analyses of tropical Brazilian soils: Comparing vis–NIR and mid-IR reflectance data. **Geoderma**, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.04.017>

VISCARRA ROSSEL, R.A.; WALVOORT, D. J. J.; MCBRATNEY, A. B. JANIK, L. J.; SKJEMSTAD, J.O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, 2006. Disponível em: doi: 10.1016/j.geoderma.2005.03.007

CAPÍTULO 1

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise integrada da paisagem tem como perspectiva de estudo uma dimensão sistêmica, na qual todos os elementos trocam energia e material. Tendo em vista essa dinâmica, o sensoriamento remoto pode ser considerado uma importante ferramenta e técnica analítica, que permite uma abordagem de forma tanto ampla quanto pontual visto que o sensoriamento remoto tem um espectro amplo de abordagem e técnica. Nesse sentido, o texto discorrerá sobre os conceitos de paisagem, Sensoriamento Remoto e solos.

2.1 ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA: ORIGEM DAS FEIÇÕES

A Radiometria Espectral é uma das mais importantes áreas de conhecimento do Sensoriamento Remoto, pois é a partir das medidas radiométricas – em campo ou em laboratório – que é identificada a composição do material a partir de seu comportamento espectral. Por meio das interações microscópicas e do modelo corpuscular, é possível observar as interações da radiação eletromagnética com os materiais. (MENESES; ALMEIDA, 2019).

O comportamento espectral de um objeto pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto. Essa assinatura espectral é definida a partir da intensidade e da localização de cada banda de absorção (MORAES, 2002). Os espectros podem ser representados em forma de linhas, bandas e valores de intensidade, sendo uma consequência da constituição química específica de um material e sua geometria atômica (HUNT, 1979).

O coeficiente de absorção, como função do comprimento de onda, é um parâmetro fundamental que descreve a interação de fótons com um material. A complexa interação da luz com a matéria envolve reflexão e refração do índice de limites de refração, processo que chamamos de dispersão e absorção. À medida que a luz passa pelo meio, a quantidade de dispersão versus absorção controla a quantidade de fótons que recebemos de uma superfície (CLARK, 1999).

Cada material tem feições espectrais distintas apresentadas na curva espectral, sendo que, o que determina a feição espectral é o estado de valência de um íon. **Os processos eletrônicos** são os mais comuns revelados nos espectros de minerais. Para todos os elementos de transição, os orbitais *d* não preenchidos têm energias idênticas em um íon isolado, e os níveis de energia se dividem quando o átomo está localizado em um campo de cristal. Esses níveis de energia são determinados pelo estado de valência do átomo (por exemplo, Fe²⁺, Fe³⁺) (CLARK, 1999).

As **transições eletrônicas** são processos estimulados por diferentes mecanismos, destacando-se a transferência de cargas, compreendida pela energia de um elétron dentro da matéria, que, quando absorvida, causa a transferência ou migração de uma carga elétrica. As características espectrais que ocorrem como resultado da "transferência de carga" são tipicamente intensas, e o processo é facilitado quando há um desequilíbrio local de carga, que ocorre com uma substituição isomórfica, como, por exemplo, na substituição de íon Fe²⁺ e Mg²⁺ por Al³⁺ e Fe³⁺ em silicatos ferromagnesianos. (HUNT,1977).

Os **processos vibracionais** são movimentos aparentemente aleatórios de qualquer sistema vibratório constituído por um número restrito de movimentos simples, que são chamados de modos ou fundamentos normais. (HUNT,1977).

A frequência da vibração depende da ligação de uma molécula e as suas massas. As vibrações adicionais são chamadas de tons quando envolvem múltiplos de um único modo fundamental, e de combinações quando envolvem diferentes modos de vibrações. (CLARK, 1999).

Nesse sentido, os elementos químicos que compõem a estrutura do mineral tornam-se relevantes, bem como sua resposta espectral a partir da absorção numa determinada banda com maior intensidade, a exemplo de Mg, OH⁻, Ca, Al. Segundo Hunt (1977), as vibrações normais e os valores dos níveis de energia permitidos para qualquer material são determinados pelo número e tipo dos seus átomos constituintes, pela geometria espacial e pela magnitude das forças de ligação entre eles.

2.2 ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA APLICADO A MINERAIS E SOLOS

As características que aparecem no espectro visível e no infravermelho de minerais e rochas particuladas podem resultar de vários processos diferentes (HUNT e SALIBURY, 1970). Os minerais absorvem e espalham fótons de maneira diferenciada, devido a sua

composição química e processos vibracionais, permitindo que os sensores registrem informações do alvo. Portanto, torna-se relevante abordar, de modo breve, alguns trabalhos publicados com a temática em questão, a fim de analisar metodologia, desenvolvimento e aplicabilidade da espectroscopia na área de solos e minerais.

Diversos são os trabalhos que versam sobre o comportamento espectral dos minerais, cada um deles com diferentes objetivos. Como temáticas dos trabalhos, podem ser mencionadas a identificação da mineralogia para inferir o comportamento dos solos em ambientes tropicais, correlacionando o comportamento espectral dos solos e dos minerais com a evolução pedogenética (VICENTE e SOUZA FILHO, 2011).

Vivaldi et al (2013) dissertam sobre o comportamento espectral dos minerais a fim de identificar o grau de intemperização. Para tanto, os autores empregam diversos instrumentos e técnicas ao se utilizarem do sensoriamento remoto multiespectral. Já Meneses e Almeida (2019) apresentam as feições espectrais que são mais comuns e utilizadas como guias para discriminação litológicas bem como o comportamento espectral deste conjunto de minerais no espectro eletromagnético. Para isso, a série Hunt e Salisbury (1970) é mais apropriada.

O solo é um dos objetos de maior complexidade desse estudo, principalmente em relação ao nível orbital, considerando que a superfície está quase sempre recoberta pela vegetação. Contudo, o advento de sensores remotos hiperespectrais de campo permitiu realizar medições em campo ou em laboratório, formando uma importante linha de pesquisa para a caracterização dos solos através de sua energia refletida (DEMATTÊ, 2000). Nessa mesma conjuntura de sensoriamento remoto hiperespectral de laboratório, Demattê e Terra, (2014) propõem uma nova perspectiva de análise dos solos, ampliando a escala detalhe para topossequências, na busca de detectar os limites de classes de solos por meio da resposta espectral.

Para Dalmolin et al (2005), o comportamento espectral de solos é dependente de suas características físicas, químicas e biológicas. Por meio das técnicas de sensoriamento remoto, informações acerca da constituição do solo podem ser obtidas de maneira rápida e não destrutiva tanto no âmbito de laboratório quanto no orbital. A reflectância dos solos pode sofrer interferência com a presença de matéria orgânica, umidade, textura, capacidade de troca catiônica (CTC) e rugosidade da superfície (por sensores orbitais). A matéria orgânica e a umidade podem mascarar a identificação das feições de absorção tanto dos argilominerais quanto do comportamento dos óxidos de ferro. Desse modo, a reflectância dos solos e suas

respectivas curvas espectrais são alteradas nas seguintes condições: teor de matéria orgânica, granulometria, teor de óxidos de ferro, o tipo de mineralogia de argila e o conteúdo de umidade. Se as medidas espectrais forem obtidas em condições de campo, as condições de superfície (rugosidade, presença de restos culturais, porcentagem de cobertura vegetal), irão influenciar nas absorções específicas dos minerais e das propriedades pedológicas, não sendo, portanto, a melhor forma de realizar medidas espectrais no objeto solo.

Sousa Junior (2005), a partir de análise de perfil de solos em distintas classes pedológicas em ambientes de topossequências, analisou o comportamento espectral dos solos, com ênfase em sua reflectância, pontos de absorção, textura e materiais distintos de origem, obtendo resultados satisfatórios no que se refere aos atributos do solo, como textura, matéria orgânica, material de origem e sua correlação com a reflectância das amostras tratadas em laboratório. Já Nascimento (2002) discorreu sobre o comportamento espectral dos solos, correlacionando-o com a umidade. Vários ensaios foram realizados pelo autor para discorrer sobre a umidade dos solos e entender de que maneira ocorre a resposta na curva espectral.

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADA À RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM

A relação solo-paisagem baseia-se no estudo do corpo pedológico, visto de uma forma contínua, organizada e estruturada, apresentando diferenças laterais ao longo de uma encosta. Trata-se de um estudo mais completo e complexo, pois permite uma análise mais aprofundada acerca dos processos biogeoquímicos, hídricos e as alterações mineralógicas responsáveis pela sua gênese (QUEIROZ NETO, 2002). Segundo Boulet (1993), Demattê (2000), Queiroz Netto (2000), o estudo da gênese dos solos pode ser aplicado em perfis horizontais, tipo e topossequência, podendo apresentar variação de características pedológicas. Tal mudança ocorre devido aos diferentes processos geoquímicos em conjunto com a presença da água e o tipo de vertente. Alguns dos elementos que são analisados no estudo lateral dos solos são: declividade, altitude, sistema hídrico, processos erosivos, material de origem e composição mineralógica. É nesse ponto que se podem aplicar diversas técnicas de sensoriamento remoto para auxiliar no estudo dos solos ao longo da paisagem.

É notório que as características dos solos se alteram ao longo de uma vertente; assim, entende-se que será possível identificar essas alterações por meio da espectrorradiometria refletida (DEMATTÊ, 2000). Nesse sentido, para além dos atributos químicos e físicos dos

solos, a mineralogia desses solos também é objeto de estudo, bem como a geologia e materiais intemperizados, a partir do entendimento do comportamento espectral da evolução intempérica, desde a rocha até a formação do solo.

Baptista et al (2011) oferecem arcabouço teórico e metodológico para correlacionar sensoriamento remoto hiperespectral e intemperismo dos solos tropicais, utilizando o índice espectral RRGB [relação caulinita / (caulinita + gibbsita)]. Os resultados para a ciência do solo são de suma importância, visto que foi possível espacializar a distribuição dos minerais e estimar sua concentração.

Com a elaboração do mapeamento digital por meio de redes neurais, Arruda et al. (2013), realizam a interface solo-paisagem e, a partir dos atributos da paisagem, os autores realizaram uma integração da declividade, fluxo de drenagem, curvatura do relevo e material de origem, resultando em unidade de mapeamento. Adar et al. (2014) elaboram mapeamento digital de solos por meio das feições da paisagem.

Souza Junior et al. (2008) utilizam o comportamento espectral dos solos em distintas topossequências para correlacionar os diferentes atributos dos solos de acordo com as características da paisagem. Lacerda et al. (2009) realizaram uma análise da gênese e evolução dos solos utilizando indicadores dos horizontes diagnósticos. Foi possível identificar que as classes de solos se alteram devido ao fator topográfico, uma vez que o clima e material de origem foram os mesmos. É perceptível que existe uma relação no comportamento espectral dos solos com as propriedades químicas, físicas e mineralógicas. Nesse contexto, Demattê e Terra (2014) destacam que os solos desenvolvidos numa topossequência apresentam alterações em suas propriedades intrínsecas (físico-químicas e mineralogia) devido a processos pedogenéticos e ao nível de intemperismo.

No que tange a experimentos laboratoriais na identificação das propriedades dos solos, Lugassi et al (2014) adotam como metodologia o aquecimento das amostras de solos em torno de 260° C a 1000° C, e o resultado é a mudança dos pontos de absorção na curva espectral. Dentre os diversos minerais analisados, destacamos a montmorilonita, que, aquecida a 700° C, diminuiu o ponto de absorção, e, quando, aquecida a 1000° C, perdeu sua característica diagnóstica de absorções em 1400 nm e 1900 nm. Entretanto, vale ressaltar que Ben-Dor (2015) elabora protocolos para análise espectral de amostras em laboratório.

A partir do sensoriamento remoto orbital, Mulder et al (2011) especializaram as propriedades dos solos em escala regional, utilizando técnicas de interpolação de dados e geoestatística para ambientes não visitados. Os autores fizeram uso da compartimentação

regional das unidades de relevo, criando regiões homogêneas e identificando a influência da litologia. Para identificação das propriedades dos solos, os autores abordam o comportamento espectral dos solos por meio de espectroscopia, áreas de absorção em uma curva do espectro eletromagnético, e como as análises foram realizadas em laboratório, foi possível mitigar a interferência da vegetação na avaliação das propriedades dos solos. Para a análise mineralógica, diversos sensores foram utilizados a fim de verificar com qual se obteria melhor resultado. Mulder et al. (2011) mencionam um importante ponto negativo no que tange à aplicação do uso do sensoriamento remoto para auxiliar no mapeamento de solos, identificação de suas propriedades e demais análises: a carência de manuais para os procedimentos torna-se uma limitação na pesquisa.

Associando o sensoriamento remoto multiespectral e hiperespectral, Galvão et al. (2001) analisaram o comportamento espectral dos solos utilizando imagem do sensor ASTER (classificação *Spectral Angle Mapper* - SAM) e espectroscopia de laboratório para validação dos resultados obtidos pelos espectros, e para validação dos minerais identificados foi aplicada a técnica analítica da difratometria de raio X. Vivaldi, Baptista e Meneses (2013) utilizaram também o sensor ASTER para identificação da relação mineralógica de caulinita/(caulinita + gibbsita) em solos no município de São João d'Aliança (GO), avaliando o processamento de crosstalk e correção atmosférica.

Dentre as referências internacionais, destacamos Eiseli et al. (2015), que abordam as propriedades dos solos (relação e identificação mineralógica, textura, matéria orgânica), utilizando imagens hiperespectrais e multiespectrais em ambiente semiárido na Austrália. O referido artigo constitui uma importante referência para o desenvolvimento desta tese, com destaque para a metodologia de identificação dos minerais, que utiliza bandas termais em ambientes semiáridos, permitindo uma análise ainda mais detalhada.

É importante salientar que a bibliografia é extensa no que tange ao comportamento espectral dos solos, biblioteca espectral, mapeamento digital de solos e análise de potencial de fertilização dos solos. Contudo, no que concerne à pedogênese com aplicação de comportamento espectral e a relação da mineralogia com o processo pedogenético em ambientes semiáridos, as fontes ainda são escassas em escala nacional, podendo-se encontrar trabalhos pontuais nas referências internacionais. A busca pelos materiais foi feita em revistas indexadas, teses e dissertações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAR, S.; SHKOLNISKY, Y., BEN-DOR, E. Change detection of soils under small-scale laboratory conditions using imaging spectroscopy sensors. **Geoderma**, v. 216, p. 19-29, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.017>>.

ARRUDA, G. P. DEMATTÊ, J. A. M.; CHAGAS, C. S. Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais com base na relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 327-338, 2013.

BAPTISTA, G. M. M.; CORRÊA, R. S.; SANTOS, P. F.; MADEIRA NETTO, J. S.; MENESES, P. R. Use of Imaging Spectroscopy for Mapping and Quantifying the Weathering Degree of Tropical Soils in Central Brazil. **Applied and Environmental Soil Science**, 2011. Disponível em: <<http://downloads.hindawi.com/journals/aess/2011/641328.pdf>>.

BAPTISTA, G. M. M.; MADEIRA NETTO, J.S.; SOUZA, D. T. M. Reflectância dos solos. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. (Orgs.). **Reflectância dos materiais terrestres: análises e interpretações**. Oficina de Texto: São Paulo, 2019.

BEN-DOR E, DEMATTÊ J. A. M. Remote sensing of soil in the optical domains. In: Thenkabail editor. Land resources monitoring, modeling, and mapping with remote sensing - **Remotesensing handbook**. Boca Ratom: CRC Press; 2015. v.2. p. 733-87.

BOULET, R. **Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia**. XXI Congresso Brasileiro Ciências do Solos. Campinas, 1993.

CLARK, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In: RENCZ, A. N. (Ed.). **Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for the Earth Sciences**, vol. 3, 1999.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v. 35, n. 2, 2005.

DEMATTÊ, J. A. M.; CAMPOS R. C.; ALVES M. C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma toposseqüência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2447-2460, 2000.

DEMATTÊ, J. A.M.; TERRA, F. S. Spectral pedology: A new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations. **Geoderma**, v. 217-218, p. 190-200, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.11.012>>.

EISELE, A.; CHABRILLAT, S.; HEWSON, R.; ROGASS, C.; SEGI, K.; CUDAHY, T. J.; UDELHOVEN, T.; HOSTERT, P.; KAUFMANN, H. Advantages using the termal infrared (TIR) to detect and quantify semi-arid soil properties. **Remote Sensig of Environment**, v.163, p. 296-311, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.001>>.

GALVÃO, L. S.; PIZARRO, M. A.; EPIFHANIO, J. C. N.; Variations in reflectance of tropical soils: spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 245-255, 2001. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00170-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00170-X)>.

HUNT, G. R. Near-infrared (1.3 - 2.4 micrometros) spectra of alteration minerals potential for use in remote sensing. **Geophysics**, v. 44, n. 12, p. 1974-1986, 1979.

HUNT, G. R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. **Geophysics**, v. 42, n. 3, p. 501-511, 1977.

HUNT, G. R.; SALISBURY J. W. Visible and Near-infrared spectra of minerals and rocks: I silicates minerals. **Modern Geology**, v. 1, p. 283-300, 1970.

LACERDA, M. P. C.; QUÉMÉNEUR, J. J. G.; ANDRADE H.; ALVES, H. M. R, VIEIRA; T. G. C. Mapeamento preliminar de solos com horizonte b textural e b nítico na região de Lavras. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 788-795, 2009.

LUGASSI R.; BEN-DOR E.; ESHEL G. Reflectance spectroscopy of soils post-heating - Assessing thermal alterations in soil minerals. **Geoderma**, v. 213, p. 268-279, 2014.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Transições eletrônicas e moleculares e a origem das absorções. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. (Orgs.). **Reflectância dos materiais terrestres: análises e interpretações**. Oficina de Texto: São Paulo, 2019.

MORAES, E.C. **Apostila Fundamentos em Sensoriamento Remoto**. INPE, 2002.

MULDER, V. L.; BRUIN S.; SCHAEPMAN, M. E.; MAYR, T. R. The use of remote sensing in soil and terrain mapping - a review. **Geoderma**, v. 162, n. 1-2, 2011.

NASCIMENTO, A. C. **Avaliação da umidade no perfil do solo a partir de sensoriamento remoto**. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. UnB: Brasília, 2002.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 15, p. 77-90, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7154/RDG.2002.0015.0008>>.

QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e Pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 1, n. 1, p. 59-97, 2000.

QUEIROZ NETO, J. P. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, v. 22, n. 1-2, p. 65-78, 2002.

SOUSA JUNIOR, J. G. A. **Sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na caracterização de solos e quantificação de seus atributos**. Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP. Piracicaba, 2005.

SOUSA JUNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. M.; MARQUES GENÚ, A. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 727-738, 2008.

VICENTE, L. E.; SOUZA FILHO, C. R. Identification of mineral components in tropical soils using reflectance spectroscopy and advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 1824-1836, 2011.

VIVALDI, D. D.; BAPTISTA, G. M. M.; MENESES, P. R. Avaliação dos processamentos de crosstalk e de correção atmosférica em dados ASTER para identificação da relação mineralógica caulinita/ (caulinita + gibbsita) em solos no município de São João d'Aliança (GO). **Brazilian Journal Geology**, São Paulo, v. 43, n.3, p. 571-582, 2013.

CAPÍTULO 2

ARTIGO 1 - PADRÕES ESPECTRAIS: UMA ANÁLISE DOS SOLOS DO SEMIÁRIDO ¹

RESUMO: A espectroscopia de reflectância aplicada ao solo é uma técnica capaz de identificar propriedades pedológicas como, matéria orgânica, óxidos de ferro, argilominerais, textura, cor, minerais em demais frações. Essas propriedades contribuem na diferenciação dos horizontes como também auxiliam na definição das classes de solos. Desta forma, o objetivo deste artigo foi identificar padrões espectrais em amostras de solos do semiárido, utilizando como parâmetros os atributos pedológicos presente nos horizontes diagnósticos. Para isto, foram classificados 17 perfis de solos de 5 classes distintas, Vertissolo, Cambissolo, Neossolo, Chernossolo e Luvisolo, total 51 amostras de solo. O critério da escolha dessas classes foi a sua predominância em ambiente semiárido. Para escolha das áreas dos perfis, foi utilizada a área de abrangência da unidade geomorfológica pedimentos funcionais retocados por drenagem incipiente e diversidade de material de origem. Os perfis estão distribuídos nos municípios de Juazeiro, Uauá, Curaçá e Jaguarari – BA. As amostras foram analisadas com parâmetros morfológicos, físicos, químicos e espectrais. A leitura para aquisição dos dados espectrais foi realizada no equipamento *Field Spec*® 3 Hi-Res (400-2500nm), e as interpretações foram efetuadas a partir da morfologia das curvas espectrais com reflectância do contínuo removido e reflectância, os dados espectrais foram submetidos a análise multivariadas de *clusters* com distancia euclidiana. Os resultados foram três grandes *clusters*, 1º azul, 2º verde e 3º marrom. O primeiro *cluster* (azul) foi o que agregou mais horizontes totalizando 34 amostras que foram distribuídas em quatro subgrupos, com 15 interseções. As interseções exibiram padrão espectral por horizontes da mesma classe de solo O segundo *cluster* (verde) agrupou 16 amostras três subgrupos e 7 interseções, apresentou padrão espectral por horizontes diagnóstico, agrupando horizontes A de classes de solos distintas em um subgrupo, segundo subgrupo agrupou um perfil de solo Vertissolo e horizontes Bi de Cambissolo com características vérticas, o terceiro subgrupo *cluster* verde obteve uma tendência de horizontes Bi. O terceiro *cluster* (marrom) também seguiu a tendência de similaridade espectral nos horizontes pedológicos, predominantemente de horizontes C. Os resultados apresentados mostraram-se promissores para auxiliar no levantamento de solos, devido a rapidez de processamento, volume de dados e análise preliminar de propriedades pedológicas. Os dados espectrais revelam as propriedades do solo e essas propriedades exibem padrões espectrais.

Palavras Chave: Multivariada, espectroscopia de reflectância e classes de solos

¹ Artigo a ser submetido a Revista Brasileira de Ciência do Solo: <https://www.rbcjournal.org/pt-br/?notification-cache-refresh=1>

SPECTRAL PATTERNS: AN ANALYSIS OF THE SEMIARID SOILS

ABSTRACT: The reflectance spectroscopy applied to the soil is a technique able to identifying pedological properties such as organic matter, iron oxides, clay minerals, texture, color, minerals and other fractions. These properties contribute to the horizons differentiation as well as aid in the soil classes definition. Thus, the objective of this article was to identify spectral patterns in samples of semi-arid soils, using as parameters the pedological attributes present in the diagnostic horizons. For this, 17 soil profiles of 5 different classes were classified, Vertisol, Cambisol, Neosol, Chernosol and Luvisol, with a total of 51 soil samples. The criterion for the selection of these classes was their predominance in a semiarid environment. To choose the profile areas, was used the coverage area of the functional pediments retouched by incipient drainage and diversity of source material. The profiles are distributed in the municipalities of Juazeiro, Uauá, Curaçá and Jaguarari - BA. Morphological, physical, chemical and spectral parameters from the samples were analyzed. The spectral data acquisition was performed in the *Field Spec*® 3 Hi-Res equipment (400-2500nm), and the interpretations were made from the morphology of the reflectance spectral curves with removed continuum and reflectance. After that, spectral data were submitted to clustering multivariate analysis with Euclidean distance. Were obtained three large clusters, 1st blue, 2nd green and 3rd brown. The first cluster (blue) was the one that added more horizons totaling 34 samples that were distributed in four subgroups, with 15 intersections. The intersections exhibited a spectral pattern by horizons of the same soil class. The second cluster (green) grouped 16 samples, three subgroups and 7 intersections. It presented a spectral pattern by diagnostic horizons, grouping horizons A of different soil classes in a subgroup, second subgroup with one Vertisol soil profile and Bi Cambisol horizons with vertex characteristics, and the third with a trend of Bi horizons. The third cluster (brown) also followed the spectral similarity trend in the pedological horizons, predominantly of C horizons. The results presented were promising to assist in soil survey, due to the speed of processing, data volume and preliminary analysis of properties pedological. Spectral data reveal the properties of the soil and these properties exhibit spectral patterns.

Keywords: Multivariate, reflectance spectroscopy, soil classes

3.1 INTRODUÇÃO

Os solos do semiárido têm uma peculiaridade importante a ser destacada, predominam o intemperismo físico em detrimento ao intemperismo químico e conservam feições do material de origem, além da presença de minerais primários facilmente intemperizáveis e argilominerais 2:1. São solos com capacidade de fertilidade natural alta. Geralmente refletem o seu ambiente de formação e os fatores de formação que mais influenciaram no processo de pedogênese. Inseridos em um ambiente de alta complexidade, no qual o material de origem, em conjunto com organismos, paleoclimas e climas, são elementos estruturantes para a gênese dos solos, tendem a apresentar características autóctones e formação *in situ* decorrente da baixa declividade. Esses solos apresentam fragilidade ambiental, quando utilizados com manejo inadequado, por serem solos rasos, pouco desenvolvidos. Nesse sentido, a compreensão das suas propriedades auxilia na perspectiva de manejo adequado e sustentável.

No que tange ao levantamento das propriedades pedológicas, dá-se a importância de procedimentos técnicos que permitem interpretar todo o corpo pedológico, topossequência, perfil, horizontes com uso de técnicas analíticas laboratoriais tradicionais. A incorporação de novos procedimentos analíticos nos estudos pedológicos é desafiadora e importante para aperfeiçoar esse campo da ciência. A espectroscopia de reflectância é uma técnica analítica, inserida na grande área do sensoriamento remoto, que tem como princípio o modelo corpuscular, definido como uma análise microscópica da composição do alvo, expressa por um comportamento espectral, com absorções, morfologia e reflectância em um dado comprimento de ondas. A partir desses dados iniciais é possível extrair informações. Na ciência do solo, essas informações podem auxiliar na identificação de horizontes diagnósticos, composição dos solos, mineralogia, monitoramento de solos degradados e pedogênese.

Dentre os desafios da espectroscopia de reflectância, estão a detecção e quantificação de propriedades químicas e físicas do solo, dentre os autores que tem se debruçado a essa temática, destacam-se: Viscarra Rossel et al. (2009), Pizzolato (2011), Ramirez Lopez (2009). No que tange ao mapeamento e caracterização espectral em solos tropicais, diversos são os trabalhos publicados: Bellinaso et al. (2010), Nanni et al. (2006), Vicente et al. (2011), Baptista et al. (2011), Almeida, Baptista e Almeida (2016). E referente a temática e objeto

de estudo do presente artigo, destacam-se Viscarra Rossel et al (2011), Xie e An-Bo Li (2018), os referidos autores identificaram padrões de horizontes de solo e classes de solo por meio da espectroscopia de reflectância.

Neste contexto o presente artigo tem como objetivo identificar padrões espectrais em amostras dos solos do semiárido, tendo em vista a potencialidade da técnica da espectroscopia de reflectância na identificação de propriedades pedológicas como, matéria orgânica, textura, cor, minerais de oxido de ferro, carbonatos, silicatos e argilominerais. Trata-se de uma técnica eficiente e econômica para oferecer informações de horizontes diagnósticos de solo e contribuir para o levantamento de solos. O recorte espacial aplicado foi uma unidade geomorfológica de pedimentos funcionais retocados por drenagem incipiente. A escolha dessa unidade decorre da sua morfogênese, das unidades aplainadas por ciclos de erosão e deposição, dependente preferencialmente dos ciclos paleoclimáticos. Das 13 classes de solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, a área de estudo desse artigo apresenta as seguintes classes: Luvisolo, Neossolo, Chernossolo, Vertissolo, Cambissolo. Os perfis de solos amostrados estão distribuídos nos municípios Juazeiro, Jaguarari, Curaçá e Uauá-Ba.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Nessa seção, passamos à caracterização da área de estudo e nas subseções seguintes um detalhamento dos procedimentos metodológicos adotados para realização das análises laboratoriais, interpretação dos dados e testes estatísticos.

3.2.1 Caracterização da área

A área estudada está situada ao norte do Estado da Bahia, tendo como clima predominante semiárido, índice de chuva inferior a 800 mm/ ao ano, cobertura vegetal floresta natural com formação savânica e formação campestre, o uso das terras predominante de pastagem e agricultura (MAPBIOMAS, 2019). Os solos classificados em campo foram: Cambissolo (9 perfis), Neossolo Regolítico (1), Luvisolo (4), Vertissolo (2) e Chernossolo (1). Os critérios de seleção dos perfis foram, inicialmente, a unidade geomorfológica pedimentos funcionais retocados por drenagem incipiente e relevo plano a suavemente ondulado com presença de relevo residual e a diversidade de material de origem.

Figura 3.1 Localização dos Perfis de Solo Classificados em Campo



No total foram descritos **morfologicamente** 17 perfis de solo conforme Santos et al., (2015), georreferenciados e apresentados na figura 3.1. Para cada perfil foi coletado amostra dos horizontes A, B e C totalizando 51 amostras de solos, para identificação da cor foi utilizado a cartela de Munsell, amostra seca. Na classificação até o quarto nível categórico foi utilizado (Santos et al, 2018) convergindo com dados morfológicos, químicos e físicos de solo.

3.2.2 Análises laboratoriais

As **análises químicas** realizadas foram: pH em água; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis extraídos por KCl 1 mol L^{-1} ; Na^{2+} e K^{+} trocáveis extraídos por Mehlich1 (HCl 0,05 mol

L-1 e H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹) e determinados por espectrofotometria de chama. O fósforo disponível foi extraído com solução de Mehlich1 e determinado por colorimetria, condutividade elétrica por extrato de saturação e equivalente de Carbonato de Cálcio. A partir dos resultados obtidos foram calculados soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), percentagem de magnésio trocável (Mg%) e índice de saturação de sódio, conforme a metodologia da Embrapa (1997). **Nas análises físicas**, foram determinados os valores de densidade do solo por balão volumétrico, porosidade total % por método mesa de tensão, e granulometria, areia total, silte e argila (a dispersão da argila foi em hexametáfosfato) (EMBRAPA, 1997).

A técnica analítica de espectroscopia de reflectância foi realizada no Laboratório de Espectrorradiometria do Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Ciências da Terra e do Ambiente na Universidade Estadual de Feira de Santana com o equipamento *ASD FieldSpec 4*, que abrange o intervalo de 350 a 2500 nanômetros. As amostras foram destorroadas, peneiradas em uma malha de 2mm e secas a 45° graus por 24 horas, de acordo com a metodologia de Demattê e Terra (2014). A faixa espectral escolhida para interpretação da curva foi de 400 nm a 2500 nm com espectral resolução de 3 nm até 700 e 10 nm a 1400 e 2100 nm.

3.2.3 Obtenção dos espectros

Os espectros foram obtidos a partir de uma média de 3 leituras, elaboração de biblioteca espectral com todos os espectros e por perfil de solo. Os espectros foram plotados no software Envi 5.1 e interpretados a partir das feições de absorção em reflectância com remoção do contínuo e sem remoção. Em seguida os dados foram exportados em formato ASCII, (txt) para o software Bioestat. 5.1 para o tratamento estatístico.

3.2.4 Análises Estatísticas e Interpretações Espectrais

Os espectros de solo fornecem informações diversas, uma vez que esses possuem uma composição heterogênea, tornando-se necessário utilizar um conjunto de técnicas de interpretação espectral, a fim de extrair todas as informações que o espectro pode fornecer. Inicia-se na identificação das principais feições de absorção, morfologia da curva (assimetria, simetria) em reflectância e aplicação do contínuo espectral e profundidade de feição. Nessa

etapa, todo o espectro é analisado, visto que cada faixa exibe informações a respeito da matéria orgânica, óxidos de Fe, textura, minerais e argilominerais.

O procedimento estatístico de *clusters* com distância euclidiana foi realizado no software Bioestat 5.1. Os dados espectrais utilizados foram em reflectância das feições espectrais nas bandas 401, 440, 530, 550, 650, 700, 845, 850, 870, 901, 931, 951, 1051, 1032, 1401, 1903, 2201, 2263, 2300, 2352, 2430 nm. As bandas foram escolhidas de acordo com a metodologia de Demattê e Terra (2014). O objetivo dessa análise foi de verificar a similaridade e, por seqüência, o agrupamento entre eles.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO





Os resultados da pesquisa basearam-se em um conjunto de procedimentos metodológicos, revisão bibliográfica, trabalho de campo, técnicas analíticas e testes estatísticos, resultando nas discussões que serão apresentadas a seguir: inicialmente caracterização e discussão das principais características pedológicas dos solos em estudo em seguida discussão dos resultados dos padrões espectrais das amostras de solo.

3.3.1 Caracterização dos Solos

Os LUVISSOLOS são solos que se desenvolvem a partir da intemperização das rochas cristalinas Pré-Cambrianas, sobretudo gnaiss, micaxistos, filitos, calcários e sedimentos argilo arenosos. Segundo Oliveira (2007), possuem gradiente textural devido à migração da argila para o horizonte B, sendo geralmente solos pouco profundos e com cores fortes.

Os quatro perfis classificados como Luvisolos foram: TC 68 LUVISSOLO HÁPLICO órtico típico; TC 71s/ LUVISSOLO CRÔMICO órtico vertissólico hipocarbonático, TC71 c/ LUVISSOLO CRÔMICO pálico saprolítico solódico, TC 73 LUVISSOLO HÁPLICO pálico hipocarbonático solódico, exibidos na figura 3.2

Figura 3.2 – Perfis de Luvisolo e respectivo material de origem

TX 68 LUVISSOLO HÁPLICO órtico típico	TC 71s/ LUVISSOLO CRÔMICO órtico vertissólico hipocarbonático	TC71 c/ LUVISSOLO CRÔMICO pálico saprolítico solódico	TX 73 LUVISSOLO HÁPLICO pálico hipocarbonático solódico.
			
Rocha sedimentar Carbonato impuros	Rocha sedimentar Carbonato	Rocha metamórfica Gnaiss	Rocha ígnea Monzogranito

A distinção morfológica mais clara entre os perfis foi a cor e tipo de estrutura (figura 3.2 e tabela 3.1). Quanto a consistência geralmente os solos apresentaram de dura a muito dura e firme quando úmido, são plásticos e ligeiramente plásticos, ligeiramente pegajoso a pegajoso. Descrições semelhantes para todos os perfis de Luvisolo classificado (tabela 3.1)

Tabela 3.1 Atributos Morfológicos Luvisolo

Hz	Prof. (Cm)	COR		Estrutura		Slic kesi nde		Consistência			Transição
		<i>Seco</i>	<i>grau</i>	<i>Taman ho</i>	<i>tipo</i>	<i>seco</i>	<i>úm ido</i>	<i>plasticidade</i>	<i>pegajosid ade</i>		
TX68 LUVISSOLO HÁPLICO órtico típico											
A	0-15	10YR 6/8	Mod	Gra	BS	Não	dura	Fir	Lpl	Pe	plana e difusa
Bt	15-46	2YR 6/6	Mod	Gra	BS	Não	Ma	Fir	Lpl	Pe	irregular e clara
C	46-70	5 Y7/6	Fra	Peq	Ma c	Não	Ma	Fir	Pl	Pe	Irregular e clara

Cr	70- 120	5Y 7/6										
TC71s/ LUVISSOLO CRÔMICO órtico vertissólico hipocarbonático												
A	0-7	5YR 4/4	For	Méd	Col	sim	ED	Mfir	Pl	Lpl	ondulada e difusa	
Bt	7-70	5YR 5/4	For	Gra	Pri	sim	ED	Fir	Pl	Pe	ondulada e adrupta	
C	70- 106	2Y7/1	For	Gra	BA	não	D	Mfir	Pl	Pe		
TC71 c/ LUVISSOLO CRÔMICO pálico saprólitico solódico												
A	0-34	5YR 4/3	For	Méd	BA	sim	MD	Mfir	Pl	Mpe	ondulada e gradual	
Bt	34- 90	5 YR 4/6	For	Gra	Col	sim	ED	Efirm	Pl	Pe	ondulada e clara	
C	90- 115	10 YR 5/4	Mod	Méd	Ma	não	Lpl	Fri	Pl	Lpe		
R	115- 180	2.5 y 7/1										
TX73 LUVISSOLO HÁPLICO pálico hipocarbonático solódico												
A	0- 10	2.5Y 7/6	fraca	Peq	GSi m	não	solta	Mfri	não	não	irregular e difusa	
E	10- 40	2.5Y 7/4	fraca	Peq	GSi m	não	solta	Mfri	não	não	ondulada clara	
Bt	40- 80	2.5Y6 /8	For	Gra	Col	pouc o	ED	Efirm	Pl	Pe	irregular e adrupta	
Cr	80- 95		Mod	Peq	Ma c	não	Sol	Mfri	não	não		

Fra - Fraca; Mod - Moderada; Gra - Grande; Gr - Granular; Mac - Maciça; Peq - Pequena; Méd - Média; BA - Bloco Angular; BS - Bloco Subangular; Pri - Prismática;
CS: Cerosidade
LD - Ligeiramente Duro; D - Duro; MD - Muito Duro; ED - Extremamente Duro; Fri - Friável; Fir - Firme;
For - Forte; Ma - Macio; Pl - Plástico; Lpl - Ligeiramente Plástico; Mpl - Muito plástico; Npl - Não plástico; Pe - Pegajoso; Mpe - Muito pegajoso; Lpe - Ligeiramente pegajoso; não pegajosa, ModPl - Moderadamente plástico

Como critério para classificação do Luvissole Santos et al (2018), estabelece que o teor de argila e o gradiente textural são atributos fundamentais. Nesse sentido a (tabela 3.2) apresenta os dados necessários para definir a ordem do solo. O perfil TX68 foi o que apresentou maior gradiente textural B/A 4.94 e classe textural franco argiloso arenoso no horizonte Bt, por se tratar de um perfil que tem seu material de origem rochas carbonáticas, no processo de intemperização da rocha ocorre a formação de argilominerais contribuindo o

incremento de argila no perfil, desse modo pode-se afirmar que não ocorre apenas o processo de translocação da argila, mas que esta argila é decorrente da disponibilização do material de origem. O segundo perfil que apresentou maior gradiente textural B/A foi TX73 e textura argilosa no horizonte Bt (tabela 3.2). Os perfis TC71c/ e TC71s/ foram os que apresentaram o menor gradiente textural, valores definidos por Santos et al (2018).

Tabela 3.2 Atributos físicos Luvissole

Densidade		Porosidade		Granulometria			Gradiente textural - B/A	Classe textural
Solo	Partículas	Total (%)	A. Total	Silte	Argila			
(kg/dm ³)			(g/kg)					
TX68 LUVISSOLO HÁPLICO órtico típico								
1.38	2.44	43.72	634.5	306.8	58.7			Franco arenosa
1.36	2.59	47.38	487.5	224.7	287.8	4.94		Franco argiloso arenosa
1.34	2.57	48.05	367.5	434.7	197.8			Franca
1.39	2.51	44.56	322.6	655.8	21.6			
TC 71c/ LUVISSOLO CRÔMICO pálico saprolítico solódico								
1.36	2.55	46.49	476.5	365.7	157.8			Franca
1.24	2.51	50.72	379.3	321.5	299.2	1.9		Franco argilosa
1.29	2.59	50.29	308.5	597.3	94.2			Franco siltosa
1.22	2.61	53.37	311.8	654.9	33.3			
TC71s/ LUVISSOLO CRÔMICO órtico vertissólico hipocarbonático								
1.42	2.54	44.01	495.9	382.5	121.6			Franca
1.33	2.55	47.81	459.0	290.5	250.6	2.08		Franca
1.32	2.54	48.03	276.1	518.4	205.6			Franco siltosa
TX73 LUVISSOLO HÁPLICO pálico hipocarbonático solódico								
1.45	2.81	48.34	709.8	158.3	132.0			Franco arenoso
1.52	2.55	40.37	699.1	177.1	123.9			Franco arenoso
1.21	2.54	52.31	312.2	196.1	491.7	3.96		argila
1.29	2.51	48.57	635.0	251.7	113.3			Franco arenoso

O horizonte E no perfil TC71c/ é apresentando não apenas como perca da argila, mas um material detrítico coluvial depositado em momentos pretéritos, verificado em campo a partir da disposição e organização e formato dos seixos. O material de origem monzogranito embora tenha presença de quartzo, o tamanho não condiz ao que está exposto no horizonte E (figura 3.2).

Referente aos atributos químicos (tabela 3.3) há uma consonância entre o terceiro e quarto nível categórico o caráter hipocarbonático para os perfis TC 71s/ (carbonato) e TC 73 e caráter solódico para os solos TC71c/ (material de origem gnaisse) e TC73(material de origem monzogranito), embora tenham material de origem distinto. De acordo com Mota e Oliveira (1999) a litologia está associada a ocorrência de ambientes salinos em conjunto com clima seco, gnaisse e monzogranito apresentam minerais que em sua composição química há presença de sódio sendo disponibilizado aos solos por processo intempérico.

O caráter hipocarbonático para os perfis TC71s/ e TX73, é influenciado pela presença de minerais de carbonáticos Calcita e Dolomita, identificados por DRX (apêndice D). De modo geral todos os perfis apresentam valores elevados do equivalente de Carbonato de Cálcio, valores elevados de Ca no complexo sortivo para os perfis TX68, TC71c/, TC71 s/ e TX73 (tabela 3.3), conferindo aos solos boa fertilidade.

Tabela 3.3 Atributos químicos perfis de Luvissoles

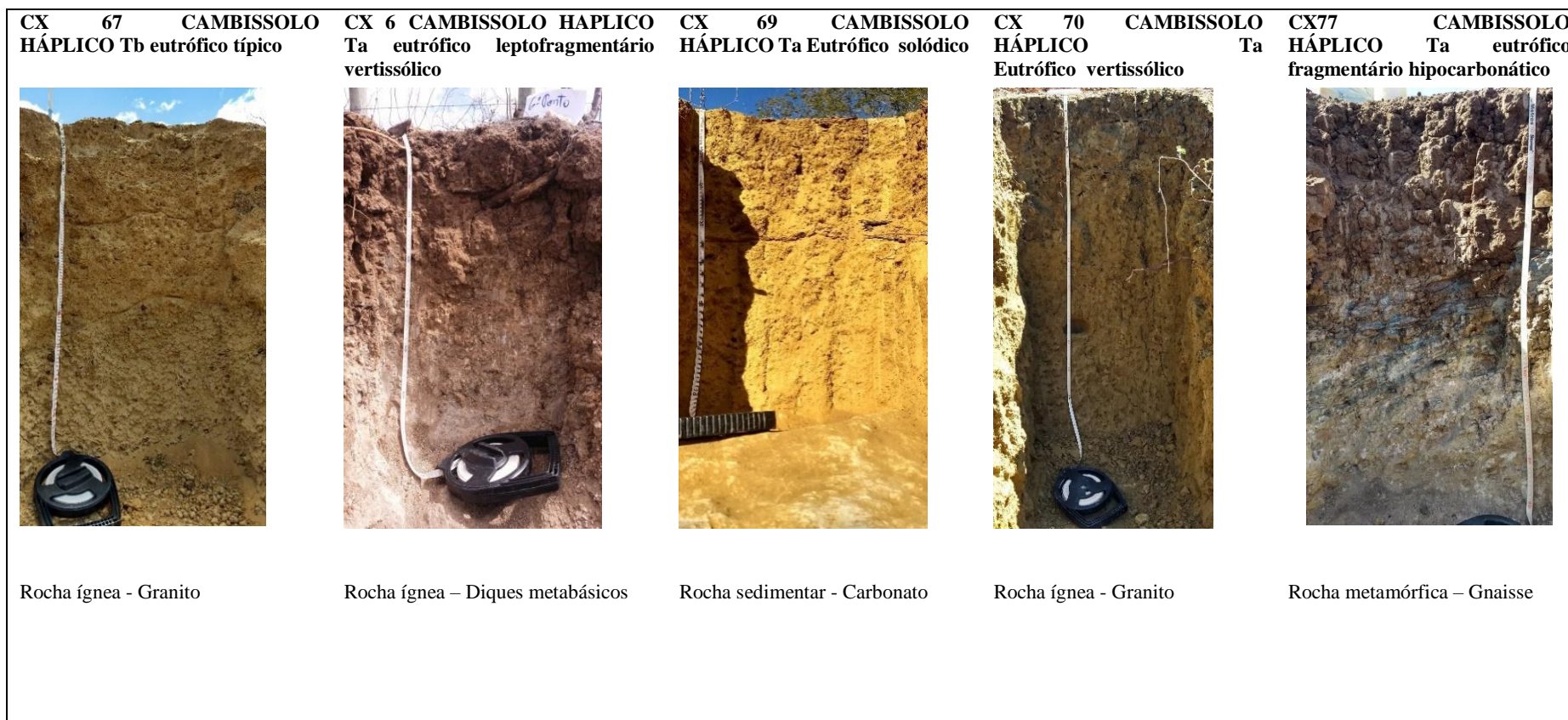
Hz	C.E	pH	Eq. CaCO ₃	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	ISNa
		<i>dmS cm⁻¹</i>	-	<i>g kg⁻¹</i>	<i>mg dm⁻³</i>			<i>-3 cmol c⁻¹ dm⁻³</i>					%	%
TX68 LUVISSOLO HÁPLICO órtico típico														
A	4.92	5.60	75,55	0.49	0.20	0.30	19.10	2.40	0.0	0.00	22.00	22.00	100.0	1.36
B	0.31	7.50	75,30	0.20	0.20	0.30	11.20	2.20	0.0	0.00	13.90	13.90	100.0	2.16
BC		7.90	0.00	0.06	0.20	0.20	11.40	2.30	0.0	0.00	14.10	14.10	100.0	1.42
CR	0.12	7.90	79,71	1.79	0.10	0.10	4.70	2.20	0.0	0.00	7.10	7.10	100.0	1.41
TC 71c/ LUVISSOLO CRÔMICO pálico saprolítico solódico														
A_c /	0.1 1	6.7 0	71,0 8	0.0 6	0.1	0.3	11.6	2.8 0	0.0	0.7	14.8	15.5	95.40	1.94
B_c/	1.0	7.1	73,8 0	2.2 9	0.1	1.1	18.7	5.4 0	0.0	0.0	25.3	25.3	100.0	4.35
C_c/ 3	1.0 0	7.6 0	80,7 2	3.3 7	0.1 0	1.8 0	19.9 0	6.6 0	0.0	0.0	28.4 0	28.4 0	100.0 0	6.34
R_c/ 6	0.2 6	8.5	79,2 8	0.0 6	0.2	1.4	11.0	3.0 0	0.0	0.0	15.6	15.6	100.0	8.97
TC71s/ LUVISSOLO CRÔMICO órtico vertissólico hipocarbonático														
A_s/ 4	0.1 4	7.4 0	74,6 4	0.0 6	0.3 0	0.2 0	13.2 0	2.1 0	0.0	1.2 0	15.8 0	17.0 0	92.90	1.18
B_s/ 6	0.2 6	7.2 0	77,4 9	0.0 6	0.1 0	0.3 0	20.1 0	2.9 0	0.0	0.0 0	23.4 0	23.4 0	100.0 0	1.28
C_s/ 1	0.8 1	7.5 0	81,6 3	0.2	0.1	0.3	16.6	2.6 0	0.0	0.0	19.6	19.0	100.0	1.53
TX73 LUVISSOLO HÁPLICO pálico hipocarbonático solódico														
A	0.1 1	6.8 0	74,5 6	3.5 2	0.9 0	0.2 0	5.70	1.2 0	0.0	0.0 0	8.00	8.00	100.0 0	2.50
E		6.9 0	--	0.0 6	0.3 0	0.3 0	4.20	1.6 0	0.0	1.7 0	6.40	8.10	79.20	3.70

B	0.3	5.9	74,0	0.0	0.1	1.7	8.30	5.1	0.	1.2	15.2	16.4	92.70	10.3
	6	0	1	6	0	0		0	0	0	0	0		7
C	0.8	8.0	76,5	48.	0.1	0.1	10.1	4.0	0.	0.5	14.3	14.8	96.80	0.68
	1		5	9					0					

Os valores do pH alto exibem solos com acidez fraca, neutros a alcalinos para todos os perfis de acordo com CFSEMG (1999), os valores C.E. extrato de saturação não conferem aos solos caráter salino e sálico. Os Valores de Mg^{2+} no perfil TC71c/ (Hz. C) e TX 73(Hz. B) (tabela 3.3) comparado aos demais perfis e horizontes foram os mais altos, nos demais perfis os valores de Mg^{2+} do complexo sortivo foram baixos.

Os CAMBISSOLOS por definição são pouco desenvolvidos, embora estejam também presentes em regiões litorâneas, apresentam o horizonte diagnóstico B incipiente, com material mineral pouco alterado e com estrutura pouca desenvolvido em regiões áridas e semiáridas. O interessante dessa classe é que ela indica um estágio de desenvolvimento para outra classe no quarto nível categórico vértico, planossólico, espódico, latossólico e gleissólico. Podem ser encontrados em todos os tipos de rochas, assim como também em diferentes níveis topográficos. Foram classificados 9 perfis de Cambissolo, exibidos na figura 3.3

Figura 3.3 – Perfis de Cambissolo e seus respectivos materiais de origem



CX78 CAMBISSOLO HÁPLICO

Ta léptico hipocarbonático sálico



Rocha sedimentar
Carbonato

CX6.1 CAMBISSOLO HÁPLICO

Ta Eutrófico fragmentário
hipocarbonático



Rocha sedimentar
Carbonato

CX1 CAMBISSOLO HÁPLICO

Ta Eutrófico léptico
hipocarbonático vertissólico



Diques metabásicos

CX1.1 CAMBISSOLO

HÁPLICO Ta Eutrófico
léptico hipocarbonático sódico



Rocha metamórfica
Xisto

Dos 9 perfis de solo classificados como Cambissolo percebe-se diferença marcante entre os atributos morfológicos, estrutura, cor, consistência, espessura dos horizontes (tabela 3.4), e o fator que influencia fortemente essa diferenciação é o material de origem, minerais e posição do perfil no relevo.

Tabela 3.4. Atributos morfológicos de Cambissolos

H Z	Prof undidade	CO R	Estrutura		Slickes inde		Consistência		Transição		
			<i>Seco</i>	<i>grau</i>	<i>Tamanho</i>	<i>tipo</i>	<i>seco</i>	<i>úmido</i>		<i>plasticidade</i>	<i>pegajosidade</i>
CX67 CAMBISSOLO HÁPLICO Tb eutrófico típico											
A	0-32	5Y6/4	Fra	Peq	Gsim	Não	solta	Fri	Npl	Npe	plana e difusa
Bi	32-66	5Y6/7	Fra	Méd	Gsim	Não	solta	Fri	Npl	Npe	plana e difusa
C²		5Y6/6									
CX69 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico											
A	0-34		Mod	Gra	BS	N	Lpl	Fri	Npl	Npe	plana e difusa
Bi	34-75		Mod	Gra	Lam	N	Lpl	Fri	Npl	Npe	adrupta p a rocha
CX70 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico											
A	0-10	10YR3/8	Mod	Peq	BS	n	Lpl	Fri	Npl	N	irregular difusa
Bi 1	10-60	10YR4/6	For	Mgra	BA	s	ED	Efirm	Pe	N	plana e difusa
Bi 2	60-116	10YR5/4	For	Mgra	BA	s	ED	Efirm	Pe	N	
CX77 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico fragmentário hipocarbonático											
A	0-10	2.5Y4/4	For	Gra	BS	s	MD	MFirm	Pl	Pe	plana e difusa

² Linha de pedra

Bi	10 - 34	10 YR 4/3	For	G r a	BS		s i m	MD	M Firm	Pl	Pe	ondulada e adrupta
-----------	---------	--------------	-----	-------	----	--	-------	----	--------	----	----	--------------------

Cr	34 - 94	2.5 Y 8/2										
-----------	---------	--------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CX78 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta léptico hipocarbonático sálico

A	0-10	2.5 Y 5/4	Mod	M é d	BA		n	LD	Firm	LP l	LPe	plana e difusa
----------	------	--------------	-----	-------	----	--	---	----	------	------	-----	----------------

Bi	10 - 50	2.5 Y4/ 4	Mod	G r a	colunar		M o d	dura	Firm	L Pl	LPe	ondulada e adrupta
-----------	---------	--------------	-----	-------	---------	--	-------	------	------	------	-----	--------------------

Cr	50 - 80	2.5Y 7/1										
-----------	---------	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CX6.1 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrofico fragmentário hipocarbonático

A	0-9	7YR 4/4	Mod	Mé d	BA		n	L D	Fir	n		Difusa e clara
----------	------------	--------------------	------------	-------------	-----------	--	----------	------------	------------	----------	--	-----------------------

Bi	9-23	7YR 4/4	For	Mé d	BS		n	L D	Fir	n		plana adrupta
-----------	------	------------	-----	------	----	--	---	-----	-----	---	--	---------------

Cr	23 - 130	7YR 7/1	Ma	Peq	GSim		n	M a	Fri	n		
-----------	----------	------------	----	-----	------	--	---	-----	-----	---	--	--

CX1 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutróficos léptico hipocarbonático vertissólico

A	0-10	7.5Y R 5/1	Mod	Gra	BS		sim	L D	F ir	Lpl	Pe	plana e difusa
----------	------	---------------	-----	-----	----	--	-----	-----	------	-----	----	----------------

Bi	10 - 45	5YR 3/2	For	Gra	Pri		sim	E D	F ir	Lpl	Pe	adrupta ondulada
-----------	---------	------------	-----	-----	-----	--	-----	-----	------	-----	----	------------------

Cr	45 - 80	7.5Y R 7/8	Fra	Méd a	Peq Gr		n	M a	F ir	n	n	
-----------	---------	---------------	-----	-------	--------	--	---	-----	------	---	---	--

CX6 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico leptofragmentário vertissólico

A	0-7	7.5 YR 3/2	Mod	Méd	BS		sim	MD	Fir	Npl	Pe	Difusa e ondulada
----------	-----	---------------	-----	-----	----	--	-----	----	-----	-----	----	-------------------

Bi	7-43	7.5 YR 3/3	For	Gra	Pri		sim	D	Fir	Npl	Pe	Adrupta e ondulada
-----------	------	---------------	-----	-----	-----	--	-----	---	-----	-----	----	--------------------

Cr	43 - 70		S/Estr	S/Estr	GR A		n	D	Fir	Lpl	Pe	
-----------	---------	--	--------	--------	------	--	---	---	-----	-----	----	--

CX1.1 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrofico léptico hipocarbonático sódico

A	0-13		For	Méd	BS		n	D	F	Lpl	n	Ondulada e clara
----------	------	--	-----	-----	----	--	---	---	---	-----	---	------------------

							i r			
Bi	13 - 52	For	Peq	BS	n	D	F i r	Lpl	Pe	Irregular e difusa
Cr	52 - 180	For	Méd	La m	N	D	F i r	Lpl	n	

Fra - Fraca; Mod - Moderada; Gra - Grande; Gr - Granular; Mac - Maciça; Peq - Pequena; Méd - Média; BA - Bloco Angular; BS - Bloco Subangular; Pri - Prismática;

CS: Cerosidade

LD - Ligeiramente Duro; D - Duro; MD - Muito Duro; ED - Extremamente Duro; Fri - Friável; Fir - Firme;

For - Forte; Ma - Macio; Pl - Plástico; Lpl - Ligeiramente

Plástico; Mpl - Muito plástico; Npl - Não plástico; Pe - Pegajoso; Mpe - Muito pegajoso; Lpe - Ligeiramente pegajoso; não pegajosa, ModPl - Moderadamente plástico

Dos atributos físicos (tabela 3.5) os perfis CX70 e CX78 apresentaram o gradiente textural B/A não o suficiente para caracterização de horizonte Bt com valores 1.63 e 1.67 respectivamente, entretanto, ressalta-se que pode estar ocorrendo um progressivo incremento de argila nesses horizontes e possivelmente esses perfis possam apresentar futuramente horizonte Bt sendo deslocado para outra de solo. As classes texturais dos perfis variaram entre franco arenoso, franco argiloso arenoso e franca, solos com características mais argilosas CX67, CX69 e CX 70 obtiveram essa semelhança por influência do mesmo material de origem Granito, já o perfil CX78 apresenta a característica argilosa com material de origem rochas carbonáticas, o que também confere desenvolvimento de solo argiloso a muito argiloso.

Tabela 3.5 Atributos físicos Cambissolo

Densidade		Porosidade		Granulometria				Gradiente textural - B/A	Classe textural
Solo	Partículas	Total (%)	A. Total	Silte	Argila				
(kg/dm ³)			(g/kg)						
CX67 CAMBISSOLO HÁPLICO Tb eutrófico típico									
1.48	2.64	43.97	788.4	60.2	151.5			Franco arenoso	
1.50	2.61	42.58	685.7	86.1	228.3	1.46		Franco argiloso arenosa	
1.42	2.57	44.65	531.7	195.0	273.3				
CX69 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico									
1.39	0.80	-73.35	591.7	182.2	226.1			Franco argiloso arenosa	
1.38	2.57	46.40	526.5	219.0	254.5	0.88		Franco argiloso arenosa	
CX70 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico									
1.24	2.48	49.99	487.7	287.5	224.8			Franca	

1.31	2.57	49.20	415.1	232.0	352.9	1.63	Franco argilosa
1.32	2.56	48.36	471.9	149.4	378.8		Argilo arenosa
CX77 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico fragmentário hipocarbonático							
1.35	2.37	42.93	637.8	198.9	163.3		Franco arenoso
1.32	2.37	44.19	533.6	232.9	233.5	1.42	Franco argiloso arenosa
1.22	2.55	52.10	521.2	378.2	100.6		
CX78 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta léptico hipocarbonático sálico							
1.42	2.53	43.83	665.7	176.8	157.5		Franco arenoso
1.22	2.45	50.03	554.7	181.8	263.5	1,67	Franco argiloso arenosa
1.37	2.50	45.25	797.0	141.3	61.7		
CX6.1 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico fragmentário hipocarbonático							
1.40	2.56	45.15	565.5	274.1	160.4		Franco arenoso
1.32	2.52	47.64	490.3	305.4	204.3	1,27	
1.25	2.53	50.74	257.6	508.8	233.6		
CX1 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutróficos léptico hipocarbonático vertissólico							
1.13	2.52	54.98	473.5	404.7	121.8		Franca
1.33	2.55	47.80	472.4	352.8	174.8	1,44	Franca
1.33	2.60	48.97	735.8	253.8	10.5		
CX 6 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico leptofragmentário vertissólico							
1.29	2.49	48.02	413.9	365.5	220.6		Franca
1.31	2.52	48.25	465.6	228.0	306.4	1.39	
1.46	2.72	46.29	735.0	142.2	122.8		
CX1.1 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico léptico hipocarbonático sódico							
1.24	2.50	50.63	596.5	217.9	185.6		Franco arenoso
1.28	2.54	49.85	557.8	188.2	254.0	1.37	Franco argiloso arenosa
1.31	2.58	49.40	726.0	110.2	163.8		

Dos atributos químicos (tabela 3.6) os valores de condutividade elétrica em extrato de saturação não satisfazem para caráter salino ou sálico, os valores de equivalente de Carbonato de cálcio variaram entre 71 a 82g/Kg. Destaque para elevados teores de Ca^{2+} nos perfis CX77 e CX 78 e Mg^{2+} no perfil CX 6, nesse perfil o material de origem é metabásica rica em minerais ferromagnesianos (apêndice D), minerais que disponibilizaram Mg^{2+} para o complexo sortivo (tabela 3.6). Os perfis CX69, CX78, CX 6.1, CX1, CX6, apresentaram índices de saturação de sódio conferindo aos solos o caráter sálico.

Tabela 3.6 Atributos químicos dos Cambissolos

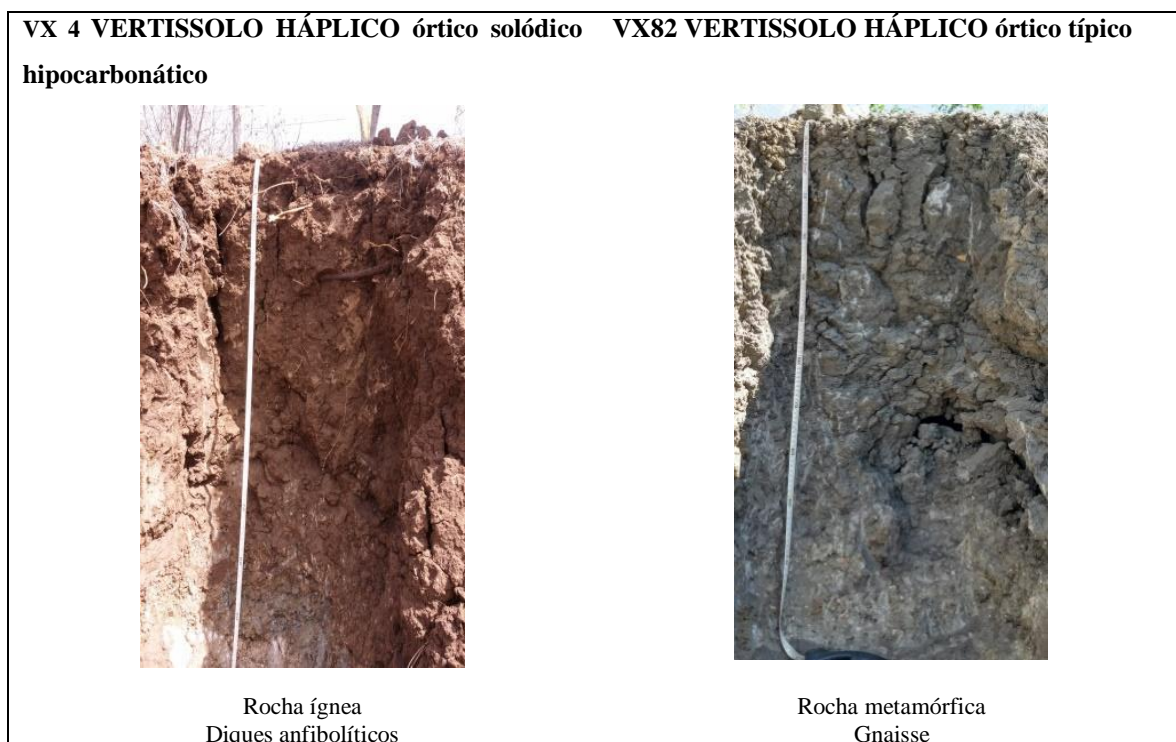
Hz	C.E	pH	Eq. CaCO ₃	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	ISNa
	<i>dmS</i> <i>cm⁻¹</i>	-	<i>g kg⁻¹</i>	<i>mg</i> <i>dm⁻³</i>				⁻³					%	%
								<i>cmol_c dm⁻³</i>						

CX67 CAMBISSOLO HÁPLICO Tb eutrófico típico														
A	0.13	4.70	71,62	0.06	0.30	0.20	1.80	1.20	0.15	1.00	3.50	4.50	78.50	4.44
B	0.05	4.90	71,55	0.06	0.10	0.10	1.90	1.10	0.15	0.70	3.20	3.90	81.60	2.56
C	0.14	4.60	71,76	0.56	0.10	0.20	2.60	1.10	0.15	1.40	4.00	5.40	73.50	3.70
CX69 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico solódico														
A	0.1	7.1	73,6	0.0	0.2	0.2	5.60	1.3	0.0	0.2	7.30	7.50	96.8	2.6
	1	0	1	6	0	0		0		0			0	7
B	0.0	6.4	72,5	0.0	0.2	1.0	10.8	1.1	0.0	0.5	13.1	13.6	96.5	7.3
	6	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
CX70 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico vertissólico														
A	1.0	6.9	74,4	0.0	0.1	0.8	11.2	2.5	0.0	0.5	14.6	15.1	96.8	5.3
	9	0	5	6	0	0	0	0		0	0	0	0	0
B	0.4	6.3	72,6	0.0	0.1	0.5	10.2	2.2	0.0	1.0	13.0	14.0	93.1	3.5
1	0	0	3	6	0	0	0	0		0	0	0	0	7
B	0.1	6.7	72,8	0.0	0.1	0.3	11.4	2.7	0.0	0.5	14.5	15.0	96.8	2.0
2	8	0	1	6	0	0	0	0		0	0	0	0	0
CX77 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico fragmentário hipocarbonático														
A	0.1	7.2	76,2	11.1	0.2	0.3	14.7	3.4	0.0	0.5	18.6	19.1	97.5	1.5
	4	0	3	5										7
B	0.6	7.0	75,7	1.64	0.1	0.5	36.8	5.2	0.0	0.0	42.6	42.6	100.	1.1
	9	0	9							0			0	7
C	0.2	7.5	82,3	0.63	0.7	1.0	36.0	3.2	0.0	0.0	40.9	40.9	100.	2.4
R	3		8										0	4
CX78 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta léptico hipocarbonático sálico														
A	0.2	7.8	76,2	6.90	0.5	0.3	16.0	2.2	0.0	0.0	19.1	19.1	100.	1.5
	9	0	3										0	7
Bt	1.4	7.2	74,9	0.27	0.2	0.5	19.5	2.0	0.0	0.0	22.2	22.2	100.	2.2
	5	0	9		0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
C	2.2	7.3	81,2	1.28	0.1	1.4	10.5	2.6	0.0	0.0	14.6	14.6	100.	9.5
R	7	0	2										0	9
CX 6.1 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrofico fragmentário hipocarbonático														
A	0.1	7.2	-	0.06	0.4	1.0	11.0	3.8	0.0	0.0	16.4	16.4	100.0	6.10
	1	0												
B	0.0	7.3	74,1	0.06	0.2	0.3	23.0	2.8	0.0	0.0	26.3	26.	100.0	1.14
	7	0	4										0	
C	0.1	7.7	80,1	0.06	0.1	0.8	11.0	1.8	0.0	0.0	13.7	13.0	100.0	5.84
	3	0	2											
CX 1 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutróficos léptico hipocarbonático vertissólico														
A	0.6	7.4	75,0	30.6	0.3	4.0	13.2	2.4	0.0	0.0	19.9	19.9	100.0	20.1
	2	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1.8	7.3	77,4	4.88	0.3	0.0	14.7	3.3	0.0	0.2	18.7	18.9	98.70	2.12
i	9	0	0											
C	1.1	8.1	81,4	3.80	0.8	0.5	15.3	0.7	0.0	0.5	17.3	17.8	97.30	2.81
	0	0	4											
CX 6 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico leptofragmentário vertissólico														
A	0.2	7.2	76,2	4.38	0.4	0.4	14.7	11.	0.0	0.0	27.0	27.0	100.0	1.4
	4	0	1					5						8
B	0.5	6.8	77,1	16.2	1.5	1.4	15.3	8.8	0.0	0.2	27.0	27.2	99.10	5.1
	0	0	4	6										5
C	1.0	7.7	74,5	15.9	1.6	1.5	8.40	5.4	0.0	0.2	16.9	17.1	98.60	8.7
	1	0	5	7										7
CX 1.1 CAMBISSOLO HÁPLICO sódico típico														
A	0.2	7.7	74,1	4.60	0.4	0.4	12.4	3.6	0.0	0.0	16.8	16.8	100.0	2.3
	2	0	5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	8

B	0.2 5	7.2 0	74,1 4	0.06	0.8	0.8	19.3	5.2	0.0	0.0	26.1	26.1	100.0	3.0 7
C	0.2 5	7.4 0	76,0 5	3.44	1.1	1.1	15.2	3.4	0.0	0.0	20.8	20.8	100.0	5.2 9
R														

Os VERTISSOLOS são solos com alto teor de argila e saturação de bases, presença de argilominerais expansivos e fendas de no mínimo 1cm de espessura desde o horizonte superficial, chegando até o Biv. Na região de estudo, essa classe tem maior abrangência espacial nas rochas carbonáticas, embora tenha sido encontrado em rochas ígneas e metamórficas. Na figura 3.4 é possível visualizar características marcantes dessa classe, a exemplo as feições de fricção, cor, estrutura e presença de raízes no VX4 (devido aos valores menores de argila, comparado ao VX82).

Figura 3.4 Perfis de Vertissolo e seus respectivo material de origem



A (tabela 3.7) apresenta as características morfológicas dos dois Vertissolos classificados. Os horizontes A e B de ambos perfis exibem característica *slinckesinde*, estrutura moderada a forte e o tipo prismática predominante. Consistência úmida, pegajosa a muito pegajosa, quando seco duro a extremamente duro, características marcantes dessa classe de solo. As cores dos perfis apresentam distinção clara decorrente da diferença do material de origem e posição no relevo.

Tabela 3.7 Atributos morfológicos de Vertissolo

HZ	Profundidade	Espesura	COR	Estrutura			Slickesidade	Consistência			Transição	
				Seco	grau	Tam anh o		tipo	seco	úmido		plasticidade
VX82 VERTISSOLO HÁPLICO órtico típico												
A	10	10	2 ForGle y 4/5PB	For	Méd	cuinf orme	Sim	ED	EFir	Pl	Pe	Difusa e gradual
Bv	70	60	2 ForGle y 4/2PB	For	Gra	Pri	Sim	ED	EFir	Pl	mt Pe	clara irregular
Cr	110	40	5 ForGle y 5/5PB	mt For	Méd	Mac	N	ED	EFir	n	n	
VX 4 VERTISSOLO HÁPLICO órtico solódico hipocarbonático												
A	9	9	7.5YR 5/2	Mod	Gra	BS	sim	mt dura	Fir	Lpl	Pe	gradual e difusa
Biv	78	69	2.5YR 5/1	For	Gra	Pri	sim	ED	Fir	ModPl	Pe	Gradual e ondulada
Cr	118	40		For	Gra	Pri	sim	ED	Fir	ModPl	Pe	

Fra - Fraca; Mod - Moderada; Gra - Grande; Gr - Granular; Mac - Maciça; Peq - Pequena; Méd - Média; BS - Bloco Subangular; Pri - Prismática; LD - Ligeiramente Duro; D - Duro; MD - Muito Duro; ED - Extremamente Duro; Fri - Friável; Fir - Firme; For - Forte; Ma - Macio; Pl - Plástico; Lpl - Ligeiramente Plástico; Mpl - Muito plástico; Npl - Não plástico; Pe - Pegajoso; Mpe - Muito pegajoso; Lpe - Ligeiramente pegajoso; não pegajosa, ModPl - Moderadamente plástico

Fisicamente os Vertissolos apresentam teores elevados de argila e classe textural franco argilosa, argilosa a muito argilosa. A tabela 3.8 aponta os valores que conferem para definição dessa classe de solo. Expressivamente esses solos possuem uma quantidade moderada a alta de argilominerais em todo seu perfil pedológico.

Tabela 3.8 Atributos físicos dos Vertissolos

Solo	Densidade		Porosidade		Granulometria		Gradiente textural - B/A	Classe textural
	(kg/dm ³)	Partículas	Total (%)	A. Total	Silte	Argila		
VX82 VERTISSOLO HÁPLICO órtico típico								
1.34	2.50	46.53	489.2	241.0	269.9			Franco argiloso arenosa
1.24	2.50	50.18	370.5	246.3	383.2	1.41		Franco argilosa

1.23	2.53	51.65	604.8	148.4	246.8		
VX 04 VERTISSOLO HÁPLICO órtico solódico hipocarbonático							
1.29	2.53	48.99	456.8	279.5	263.7		Franco argiloso arenosa
1.34	2.61	48.88	492.9	226.1	281.0	1,06	Franco argiloso arenosa
1.49	2.81	46.89	859.9	113.9	26.2		

Geralmente a química (tabela 3.9) desses solos proporcionam uma fertilidade natural alta, no caso dos Vertissolos em estudo, os valores de cátions trocáveis, pH, saturação de bases e CTC conferem à classificação de fertilidade elevada muito boa segunda (ALVAREZ V,1999).

No quarto nível categórico o perfil VX4 apresentou índice de saturação de sódio no horizonte C de 8.77 conferindo o caráter solódico, característica comum na área de estudo decorrente do grau de intemperismo químico dos solos < intemperismo físico, precipitação < evaporação, presença de minerais como albita³ na amostra de solo. Concomitante ao caráter solódico os valores de equivalente de carbonato de cálcio agregaram o caráter com carbonato, atribuindo o termo hipocarbonático na classificação, refere-se a presença de CaCO₃, equivalente igual ou superior a 50g/Kg de solo e inferior a 150g/Kg, esta propriedade discrimina solos sem caráter carbonático, mas que possuem horizonte com CaCO₃ (Santos et al, 2018). Embora o perfil VX82 apresente valores para caráter carbonático não há alternativa para o quarto nível categórico que atendam as propriedades apresentadas até o terceiro nível.

Tabela 3.9 Atributos Químicos Vertissolo

HZ	C.E	pH	Eq. CaC O₃	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+ Al	SB	C T C	V	ISNa
	<i>dmS cm⁻¹</i>	-	<i>g kg⁻¹</i>	<i>mg dm⁻³</i>				<i>-3 cmol_e dm</i>					<i>%</i>	<i>%</i>
VX 82 VERTISSOLO HÁPLICO órtico típico														
A	0.82	7.10	74,06	8.48	0.4	0.7	15. 0	9.40	0.0	0.2	25. 5	25. 7	99.10	2.72
Bv	0.14	6.90	75,89	0.27	0.2	0.3	15. 40	9.10	0.0	1.0	25. 00	26. 00	96.30	1.15
C	1.04	6.50	71,79	4.52	0.1	0.3	10. 50	5.50	0.0	1.0	16. 40	17. 40	94.50	1.72
VX4 VERTISSOLO HÁPLICO órtico solódico hipocarbonático														
A	0.25	6.90	77,26	5.17	0.3	0.1	20. 00	8.40	0.0	0.5	28. 80	29. 30	98.40	1.48
Biv	0.21	6.70	75,35	9.35	0.3	0.3	16. 70	9.90	0.0	0.2	27. 2	27. 40	99.10	5.14

³ Identificado por Difractometria de Raio X e Espectroscopia de reflectância

C	0.05	6.70	72,81	75.8 2	0.4	0.4	15. 30	1.10	0.0	0.2	15. 0	15. 20	98.40	8.77
---	------	------	-------	-----------	-----	-----	-----------	------	-----	-----	----------	-----------	-------	-------------

Os NEOSSOLOS categoricamente são divididos em quatro subclasses, quartzarênicos, regolíticos, litólicos e flúvicos. Neste trabalho, foi classificado apenas a subclasse regolítico e um único perfil, esse solo por definição apresenta as seguintes informações: Solos com horizonte A sobrejacente a horizonte C ou Cr e contato lítico a uma profundidade maior que 50 cm; admite horizonte Bi. Santos et al (2018). A Figura 3.5, exibe o perfil pedológico e a tabela 3.10 as propriedades morfológicas, ambos descritos em campo. Observa-se que na figura 3.5 e tabela 3.10 o perfil não possui estrutura bem definida, minerais facilmente intemperizáveis nos horizontes A, C e CR, bandamento pouco marcante da rocha no horizonte CR.

Figura 3.5 Perfil de Neossolo Regolítico e seu respectivo material de origem



Tabela 3.10 Atributos morfológicos Neossolo Regolítico

H Z	Profundida de	Espess ura	COR	Estrutura	Slickesi nde	Consistência	Transição
--------	------------------	---------------	-----	-----------	-----------------	--------------	-----------

	<i>Seco</i>	<i>gr</i>	<i>Taman</i>	<i>tipo</i>	<i>se</i>	<i>úm</i>	<i>plasticid</i>	<i>pegajosi</i>				
	<i>au</i>	<i>ho</i>			<i>co</i>	<i>o</i>	<i>ade</i>	<i>dade</i>				
NR75 NEOSSOLO REGOLÍTICO leptofragmentário sódico												
A	10	10	10YR 5/6	For	Méd	s/estr ut	não	solt a	Mfr i	não	não	Plana e gradual
C	50	40	10 YR 5/6	For	Méd	s/estr u	não	solta	M Fri	não	não	Plana e difusa
CR	100	50	2.5 7/2									

Méd – Média; For – Forte; Npl - Não plástico; não pegajosa, Mfri – Muito friável; s/estrut. – Sem estrutura

Dos atributos físicos e químicos exibidos na tabela 3.11 e 3.12 respectivamente. O atributo físico que merece destaque é classe textural com teores elevados de areia total, mas não o suficiente para classificação para Neossolo Quartzarênico.

Tabela 3.11 Atributos físicos Neossolo Regolítico

Densidade		Porosidade		Granulometria		
Solo	Partículas	Total (%)	A. Total	Silte	Argila	Classe textural
(kg/dm ³)	(g/kg)					
NR75 NEOSSOLO REGOLÍTICO leptofragmentário sódico						
1.49	2.52	40.95	809.0	74.8	116.2	Franco arenoso
1.26	2.75	54.12	741.8	173.8	84.5	Franco arenoso
1.28	2.70	52.46	837.4	135.7	26.9	Areia franca

Dos atributos químicos expresso na tabela 3.12 o destaque é o índice de saturação de sódio nos horizontes C e CR atribuindo ao solo para caráter sódico. Foi possível identificar macroscopicamente, DRX e espectroscopia de reflectância minerais que podem contribuir a esse caráter sódico. O intemperismo da albita e de outros plagioclásios ricos em sódio, associado com o clima semiárido, e a drenagem deficiente são os fatores condicionantes dos percentuais elevados de sódio Mota e Oliveira (1999).

Tabela 3.12 Atributos químicos Neossolo Regolítico

HZ	C.E	pH	Eq. CaC O ₃	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	ISNa
	<i>dmS</i>	-	<i>g kg⁻¹</i>	<i>mg</i>			<i>-3</i>						<i>%</i>	<i>%</i>
	<i>cm⁻¹</i>			<i>dm</i>			<i>cmol_c dm⁻³</i>							
NR75 NEOSSOLO REGOLÍTICO leptofragmentário sódico														
A	0.1 7	8.0 0	75,75	3.3	0.1	0.40	13.0	4.2	0.0	0.50	17.7	18.20	97.4	2.20

C	1.4 2	9.0 0	79,91	3.6 6	0.1 0	1.00	3.8	1.3	0.0	0.00	6.20	6.20	100.0	16.13
CR	1.0 7	9.0 0	81,91	1.8 6	0.1 0	1.00	2.4	1.4	0.0	0.00	4.90	4.90	100.0	20.41

Os CHERNOSSOLOS são solos com horizonte diagnóstico superficial A chernozêmico, exibindo cores que variam de escuro a preto devido à decomposição de matéria orgânica, podendo apresentar o C carbonático ou cálcico e B incipiente. A particularidade deles para as regiões áridas é justamente o acúmulo de CaCO_3 , com cores claras, textura siltosa a argilosa e característica macia. A preservação desse horizonte comprova um ambiente de semiaridez e sua ocorrência está associada preferencialmente em rochas que apresentem CaCO_3 . O Chernossolo classificado em campo figura 3.6 apresenta horizonte A chernozêmico, horizonte Bi e Cr, com fragmentos do material de origem carbonato. Referente aos atributos morfológicos a cor e profundidade do horizonte A, satisfazendo aos requisitos para A chernozêmico (figura 3.6) e (tabela 3.13).

Figura 3.6 Perfil de Chernossolo Rêndzico e respectivo material de origem

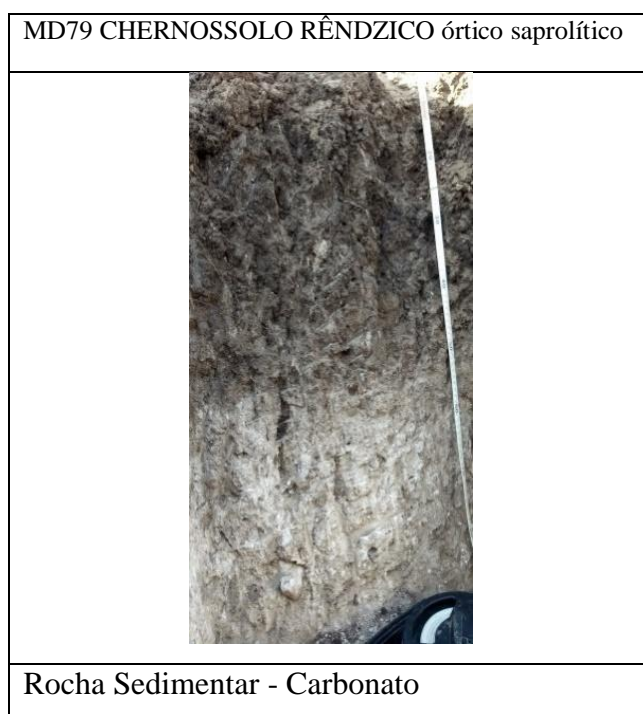


Tabela 3.13 Atributos morfológicos Chernossolo Rêndzico

HZ	Profundidade	Espesura	COR	Estrutura		Slickes inde	Consistência		Transição	
			<i>Seco</i>	<i>grau</i>	<i>Tamanho</i>	<i>tipo</i>	<i>seco</i>	<i>úmido</i>	<i>plasticidade</i>	<i>pegajosidade</i>

MD79 CHERNOSSOLO RENDZICO órtico saprolítico

A	40	40	1For Gley 4/10y	Mo d	Peq	BA	Sim	D	L D	LPI	LPe	plana e difusa
Bi	60	20	2For Gley 4/5 BG	For	Méd	BA	Sim	D	L D	LPI	LPe	plana e gradual
Cr	90	30	2 ForGley 8/5PB									

Mod - Moderada; Peq - Pequena; Méd - Média; BA - Bloco Angular

LD - Ligeiramente Duro; ED - Extremamente Duro; D -Duro; Fri - Friável; Fir - Firme; For - Forte; Ma - Macio;

Pl - Plástico; Lpl – Ligeiramente Plástico; Mpl - Muito plástico; Lpe - Ligeiramente pegajoso; não pegajosa,

O atributo físico que merece destaque para esse solo (tabela 3.14) é a classe textural franco argiloso arenosa e o teor de argila no horizonte CR, por se tratar de um horizonte com presença ainda de material pouco intemperizado, com presença de material de origem, os teores de argila demonstram que os minerais facilmente alteráveis como Calcita na fração areia tem disponibilizado por meio do intemperismo um aumento progressivo no teor de argila comparando os horizontes do perfil.

Tabela 3.14 Atributos Físicos Chernossolo Rêndzico

Densidade		Porosidade		Granulometria			Classe textural
Solo	Partículas	Total (%)	A. Total	Silte	Argila		
(kg/dm ³)			(g/kg)				
1.29	2.54	49.16	603.1	189.7	207.2	Franco argiloso arenosa	
1.26	2.45	48.74	481.3	270.9	247.9	Franco argiloso arenosa	
1.22	2.48	50.99	394.7	383.4	221.9	Franca	

Tabela 3.15 Atributos Químicos Chernossolo Rêndzico

HZ	C.E	pH	E. CaC O ₃	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+ Al	SB	CT C	V	ISN a
	dmS cm ⁻¹	-	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				-3 cmol _c dm ⁻³					%	%

MD79 CHERNOSSOLO RÊNDZICO órtico saprolítico														
A	0.19	7.90	81,29	8.70	0.40	0.3 0	20.2	6.60	0.0	0.0	27. 50	27.5 0	100. 00	1.0 9
B	1.12	7.40	81,91	0.06	0.10	0.3 0	27.5	1.70	0.0	0.0	29. 60	29.6 0	100. 00	1.0 1
CR	2.25	7.20	81,38	2.58	0.10	0.4 0	20.5	2.10	0.0	0.5 0	23. 10	23.6 0	98.0 0	1.6 9

E. CaCO₃ - Equivalente a Carbonato de Cálcio
ISNa - Índice de Saturação por sódio

De acordo com os dados analíticos químicos (tabela 3.15) do perfil do Chernossolo, os valores elevados de Ca²⁺ em todos os horizontes no complexo sortivo em segundo momento os valores de Mg²⁺ para o horizonte A e merecem destaque. O valor apresentado de Equivalente de carbonato de Cálcio tem caráter hipocarbonático, embora não tenha sido atribuído na classificação por definição da chave de classificação segundo Santos et al (2018).

3.3.2 Padrões espectrais como potencial tecnológico para identificação de atributos pedológicos

Encontrar padrões espectrais para classes de solos é um desafio dos pedólogos e da técnica do sensoriamento remoto, pois, antes dos padrões, é necessária a compreensão de determinados atributos pedológicos, para, assim, associar com o comportamento espectral. Em determinadas classes pedológicas, essa atividade é relativamente fácil, porém, quando se trata de solos do semiárido, onde os atributos pedológicos são mais heterogêneos, aumenta o desafio. Nesse sentido, Demattê et al. (2017) têm discutido a respeito da classificação de solos por meio de técnicas de sensoriamento remoto e ressalta a importância de analisar todo o perfil do solo em campo para que posteriormente a classificação de solos seja por meio de dados espectrais e de laboratório.

As classes de solos que foram submetidas para análise multivariada foram: Cambissolo háplico (CX), Neossolo regolítico (NR), Luvisolo crômico (TC), Chernossolo rëndzico (MD), Luvisolo háplico (TX), Vertissolo háplico (VX) e Vertissolo ebânico (VE). Utilizou-se apenas o primeiro e segundo nível categórico, a fim de tentar identificar classes de solos e atributos diagnósticos para classificação da primeira ordem por meio da espectroscopia de reflectância. A perspectiva de aplicação dos *clusters* neste artigo foi de verificar se há alguma similaridade de perfis e horizontes de solo, tendo como referência o conjunto de bandas espectrais.

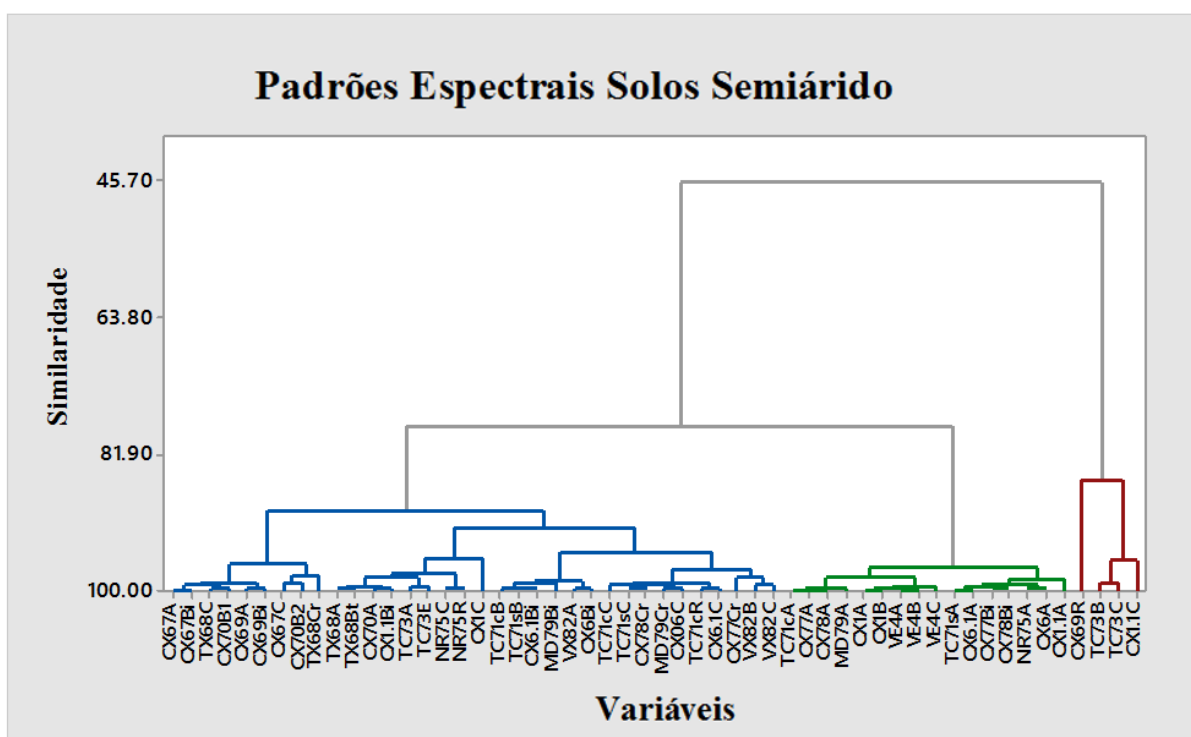
Neste conjunto, os resultados obtidos foram de três grandes *clusters* identificados pela cor: azul (primeiro), verde (segundo) e marrom (terceiro). Para cada *cluster* foi formado subgrupos e cada subgrupo interseções. O *cluster* 1/azul formou 4 subgrupos e em cada subgrupo um conjunto de interseções. É perceptível uma tendência de similaridade de classe de solo e horizontes. No primeiro subgrupo azul ocorreu predominância espectral da classe Cambissolo CX67, CX 69, CX70, TX 68. Dentro desse subgrupo ocorreu pequenos interseções de horizontes do mesmo perfil, CX67 (Hz: A e Bi) CX69 (Hz: A e Bi). Os solos CX67 (Hz.C) e CX70 (Hz. B2) o mesmo material de origem granito e TX 68 (Hz. Cr) embora tenha material de origem distinto Carbonato, trata-se de carbonatos impuros o que pode ter contribuído para sua união dentro do subgrupo. O segundo subgrupo do *cluster* 1/azul teve uma tendência de agrupamento dos perfis TX68 (Hz: A e Bt), TC 73 (Hz. A e E) e NR 75 (Hz. C e R), os dois primeiros embora tenham sido agrupados são horizontes distintos enquanto aos atributos pedológicos, a explicação para essa similaridade espectral por meio da análise multivariada é a presença de minerais (muscovita e goethita)⁴ (apêndice D) em ambos horizontes A e Bt do perfil TX68. Já o perfil e horizontes NR75(Hz. C e R), tanto atributos pedológicos de campo como espectrais são semelhantes. O terceiro subgrupo 1/azul obteve similaridade de horizontes Bi (em uma interseção) dos perfis MD70 e CX6 embora sejam perfis e material de origem distinto, atributos pedológicos foram semelhantes, os teores de Ca²⁺ elevado e valores de argila 247g/Kg e 254 g/kg (tabela 3.15 e 3.5). Ocorreu uma junção de Hz. Bt dos perfis TC71c/ e TC71s/ ambos apresentam características pedológicas e espectrais similares enquanto cor, teor de argila e Ca²⁺ vale ressaltar que todas essas semelhanças são possíveis de identificação no espectro óptico refletido. O quarto subgrupo do *cluster* 1/azul foi de horizontes C: TC71c/, TC71s/, CX06, CX6.1 e Cr: CX78, MD79 os dois Cr são do mesmo material de origem Carbonato, no final do subgrupo formou um agrupamento de VX82 (Hz. B e C) e CX77 (Hz. Cr) possuem o mesmo material de origem gnaiss. Desse modo, pode-se afirmar que a mineralogia, material de origem, teores de argila e Ca²⁺ contribuíram para o agrupamento dos espectros. Belissano et al (2010) ao aplicar principais componentes em uma biblioteca espectral de solos dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Mato Grosso, encontra uma semelhança espectral de solos que possuem o mesmo material de origem e com alguma diferença causada pela altitude.

⁴ Identificado por DRX (apêndice D)

O *cluster* 2/verde obteve três subgrupos, (figura 3.7) sendo o primeiro predominantemente de horizonte A dos perfis TC71c/, CX77, CX78 e MD79, sabe-se que a matéria orgânica tem forte influência na cor solo cores e conseqüentemente no espectro óptico refletido, desse modo a matéria orgânica contribuiu para a similaridade espectral no primeiro subgrupo 2/verde, o segundo subgrupo de classe de solo, VX 4 (todos os horizontes) e CX1 (Hz. A e B), ambos possuem teores de cálcio alto e caráter hipocarbonático, para o CX 1 o caráter vertissólico também foi atribuído, assim, os atributos pedológicos foram expressos espectralmente e distinguindo-se de outros perfis e horizontes. O terceiro subgrupo do *cluster* 2/verde obteve destaque para algumas interseções, horizontes A dos perfis TC71 e CX6.1; Hz. Bi dos perfis CX77 e CX78 e Hz A dos perfis NR75, CX6, CX1.1.

Por fim, o *cluster* 3/marrom seguiu a lógica de agrupamento de horizontes C dos perfis TC73 e CX1.1.

Figura 3.7 Dendograma dos perfis espectrais solos do semiárido

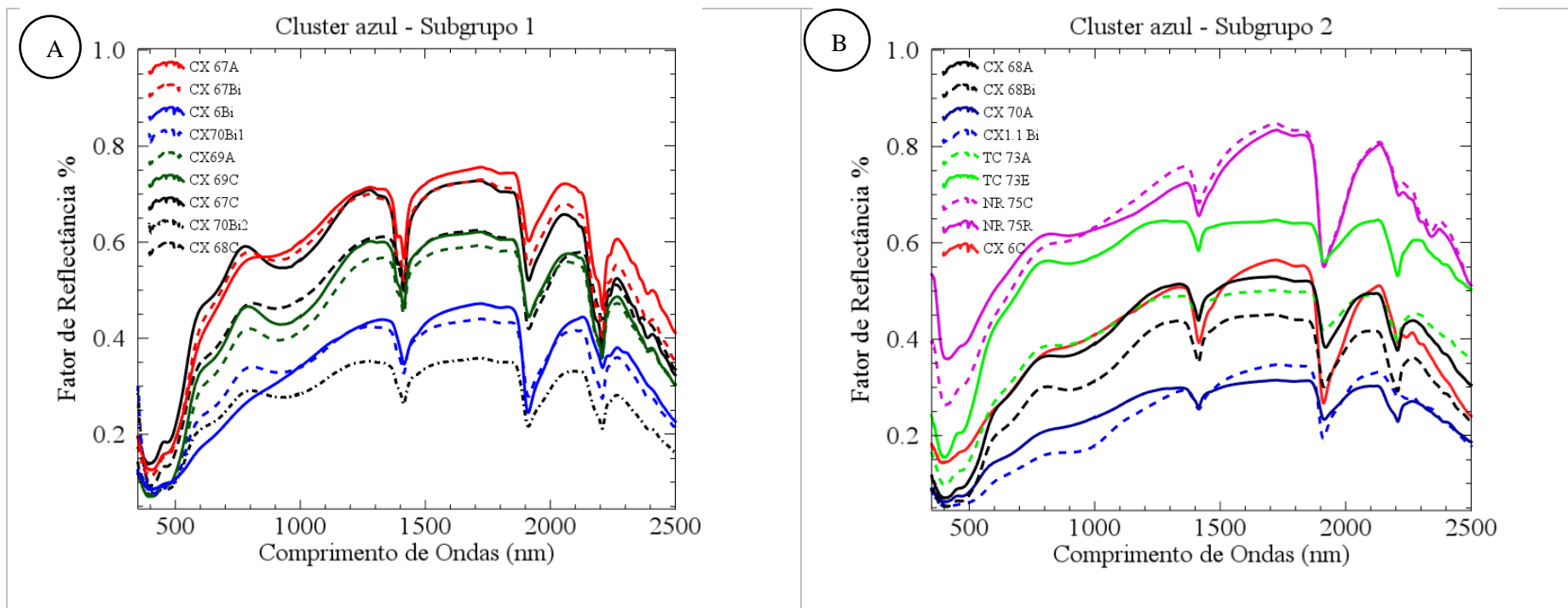


Com os resultados expostos na figura 3.7 é possível afirmar que a análise multivariada seguiu uma lógica de similaridade para elaboração dos *clusters*, percebe-se um padrão espectral de horizontes menos intemperizados, o comportamento espectral do solo traduz

horizontes diagnósticos, a exemplo Hz: Bi e Hz: Bt, horizontes A e Hz.C. Outras propriedades que contribuíram para o agrupamento que merece destaque foram minerais iguais em perfis e horizontes diferentes, teores elevados de Ca^{2+} agrupou perfis de solo, matéria orgânica agrupando horizontes A, teores de argila agrupou horizontes Bt de perfis distinto de Luvisolo

Com os resultados dos *clusters*, foram plotados os espectros que formaram os agrupamentos, a fim de verificar se existe uma tendência, similaridade da morfologia espectral. Foram realizados sete grupos de acordo com a similaridade do dendograma, as figuras (3.8, 3.9 e 3.10) exibem os espectros dos 3 *clusters*. Para melhor visualização, foi definido as cores iguais dos espectros para cada intersecção .

Figura 3.8: Cluster 1/Azul; A) subgrupo 1; B) subgrupo 2; C) subgrupo 3 e D) subgrupo 4



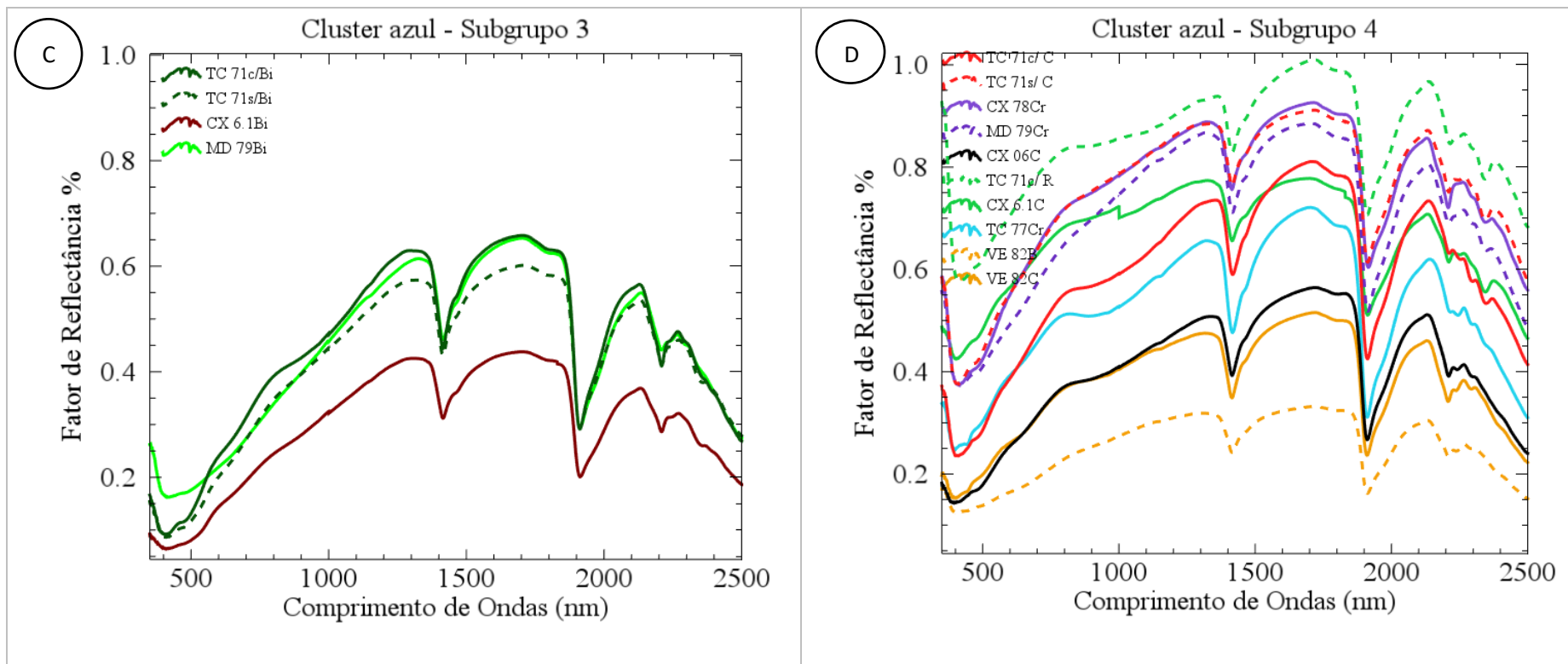


Figura 3.9. *Cluster 2/ Verde* e subgrupos: A) Subgrupo 1; B) Subgrupo 2 e C) Subgrupo 3

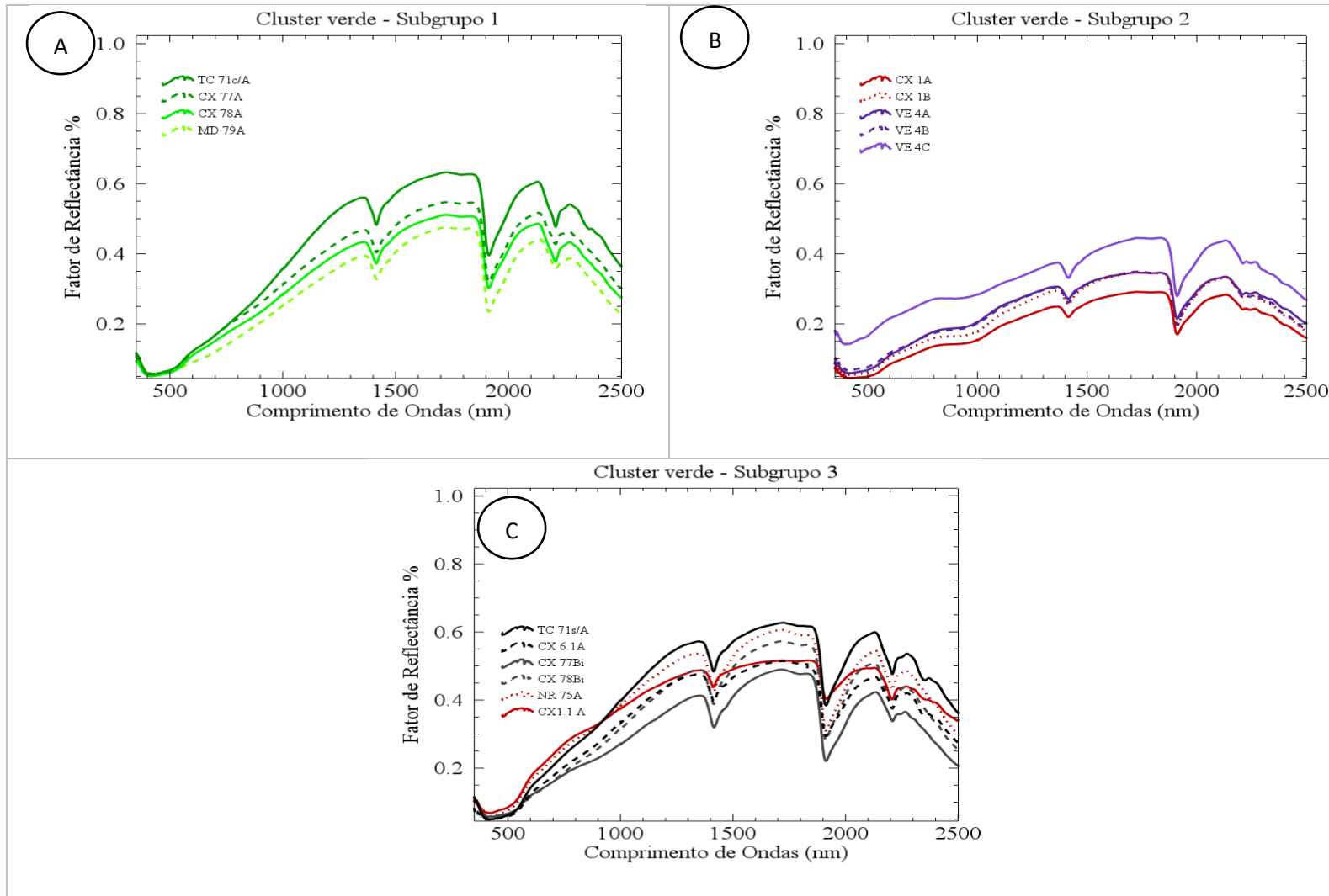
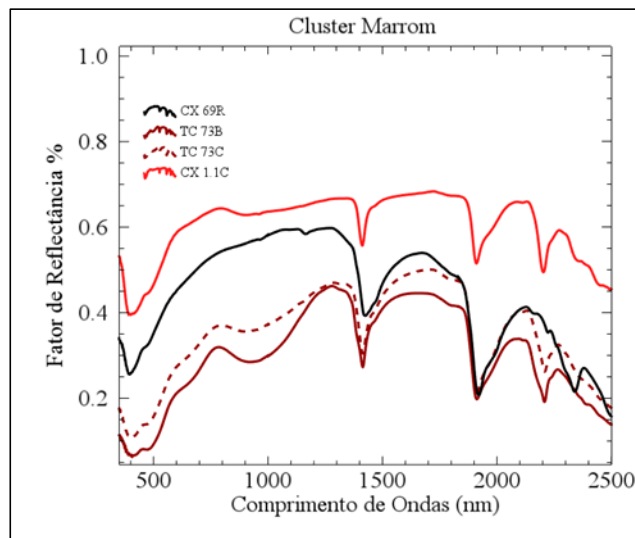


Figura 3.10: *Cluster 3/marrom* e subgrupos



A partir das figuras 3.8; 3.9 e 3.10 é possível observar uma semelhança espectral nas intersecções dos subgrupos. Essa semelhança está evidenciada nas feições de absorção das mesmas bandas e fator de reflectância. Esses parâmetros observados informam teores de matéria orgânica, minerais, textura. A exemplo o primeiro *cluster 1/azul* subgrupo 1, as intersecções apresentam espectros semelhantes das amostras CX 67 (Hz. A e Bi) CX69 (Hz. A e Bi), o segundo *cluster 2/verde* o subgrupo foi definido pela presença de matéria orgânica nas amostras, essa propriedade atribui ao espectro na faixa do VIS/NIR uma obliteração nas feições dos óxidos de ferro e rebaixamento do fator de reflectância. A figura 3.10 a intersecção do perfil TC73 (Hz. B e C) apresentam semelhança espectral, embora em todo espectro óptico refletido.

3.4 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados do agrupamento espectral permitiram verificar que a metodologia obteve êxito na distinção de horizontes de solo. Para cada *cluster* de horizonte diagnóstico agrupado, propriedades pedológicas foram expressas pelos dados espectrais.

Propriedades como minerais influenciaram no agrupamento de horizontes C e CR, propriedades químicas como Ca^{2+} do complexo sortido e teores de argila semelhantes contribuíram no agrupamento de horizontes diagnósticos Bi e Bt, a matéria orgânica auxiliou no agrupamento de horizontes A de perfis distintos.

Apenas um perfil de solo VE 04 VERTISSOLO HÁPLICO óptico solódico hipocarbonático foi agrupado com todos horizontes no *cluster 2/verde* – segundo subgrupo, desse modo pode-se afirmar que, classes de solos que apresentam características pedológicas semelhantes entre os horizontes podem apresentar padrão espectral. Entretanto não significa que o subgrupo que agrupou a classe do Vertissolo é padrão para todos os solos que tem essa ordem, uma vez outras propriedades minerais, granulometria, matérias orgânicas podem ser distintas da classe apresentada nesse trabalho. Sugere-se nesse caso análise de demais perfis de Vertissolo, afim de verificar seu comportamento espectral.

A morfologia espectral dos *clusters* de modo geral não apresentou semelhança para todos os subgrupos, entretanto ao se analisar as interseções de cada subgrupo é possível verificar semelhança espectral. As propriedades pedológicas como matéria orgânica, minerais, química e física dos solos foram identificadas no espectro óptico refletido colaborando para os agrupamentos espectrais e definição que a metodologia empregada é capaz de verificar padrões de propriedades pedológicas.

Em suma, os padrões espectrais seguiram tendência de acordo com os atributos pedológicos, solos mais argilosos, solos com teores alto de Ca^{2+} , matéria orgânica, material de origem e minerais, a consequência do agrupamento por esses atributos foi o clusters de horizontes diagnósticos. Desse modo afirma-se que, os dados espectrais aliado a técnicas multivariadas foram sensíveis na identificação de horizontes diagnósticos, tais técnicas devem estar associadas aos procedimentos analíticos tradicionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. D. S.; BAPTISTA, G. M. M.; ALMEIDA, T. Espacialização de sesquióxidos de ferro (Goethita e Hematita) em mancha de solo exposto por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 4, p. 81-88, 2016.
- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO, A.C. & SOUZA, R.B. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5a aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.67-78.
- BAPTISTA, G. M. M.; CORREA, R. S.; SANTOS, P. F.; MADEIRA NETTO, J. S.; MENESES, P. R. Use of Imaging Spectroscopy for Mapping and Quantifying the Weathering Degree of Tropical Soils in Central Brazil. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2011, p. 1-7, 2011.
- BELLINASSO, H. et al. Soil spectral library and its use in soil Classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 34 p. 861-870, 2010
- CFSEMG. **Recomendações de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 4a Aproximação. Viçosa, 1999.
- DEMATTÊ, J. A. M.; HORAK-TERRA, I. BEIRIGO, R. M.; TERRA, F. S.; MARQUES, K. P. P.; FONGARO, C. T.; SILVA, A. C. VIDAL-TORRADO, P. Genesis and properties of wetland soils by VIS-NIR-SWIR as a technique for environmental monitoring. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p. 50-62. 2017.
- DEMATTÊ, J. A. M.; TERRA, F. S. Spectral pedology: A new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations. **Geoderma** v. 217-218, p. 190-200, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.11.012>>.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 Ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- MOTA, F. O. B; OLIVEIRA, J. B. Mineralogia de solos com excesso de sódio no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:799-806, 1999.
- NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M. Spectral Reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 2, 2006.
- OLIVEIRA, L. B. **Mineralogia, micromorfologia, gênese e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de Rochas no semiárido do Nordeste Brasileiro**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Viçosa, 2007.

PIZZOLATTO, S. B. Correlação de análises físico-químicas e espectroscopia de laboratório com dados obtidos em campo por espectrorradiômetro. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Química do Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

RAMIREZ-LOPEZ, L. R. Pedologia quantitativa: espectrometria VIS-NIR-SSWIR e mapeamento de solos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2009.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. Ed. Embrapa: Brasília, 2018. 353 p.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa Solos, 2015. 102p.

VICENTE, L. E.; SOUZA FILHO, C. R.; Identification of mineral components in tropical soils using reflectance spectroscopy and advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 1824-1836, 2011.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WEBSTER, R. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible–near infrared spectra. **European Journal of Soil Science**, v. 62, 637–647. 2011. Disponível em: < doi: 10.1111/j.1365-2389.2011. 01356.x >

VISCARRA ROSSEL, R. A; CATTLE, S. R.; ORTEGA, A.; FOUAD, Y. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy. **Geoderma**, v. 150, n. 3-4, 2009.

Xie, Xian-Li; Li, An-Bo. Identification of soil profile classes using depth-weighted visible–nearinfrared spectral reflectance. **Geoderma** v. 325, p. 90–101. 2018

CAPÍTULO 3

ARTIGO 2 - ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA APLICADA AO ESTUDO PEDOGENÉTICO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA ORIUNDA DE ROCHAS MÁFICAS DE UAUÁ-BA⁵

RESUMO

As regiões semiáridas são um importante sistema natural, caracterizado por uma diversidade pedológica com solos pouco intemperizados e, em processo de formação, diante das características peculiares apresentadas por esses solos observa-se a moderada atuação ao que tange ao estudo dos solos por meio do comportamento espectral. Dito isso, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o comportamento espectral dos solos para compreender a pedogênese que ocorre em uma topossequência nos diques máficos no município de Uauá-BA localizado no norte da Bahia, utilizando espectroscopia de reflectância na faixa do espectro óptico refletido, aliado a propriedades morfológicas, químicas e físicas do solo. O presente trabalho foi realizado em uma topossequência de 250 metros, com relevo suavemente ondulado, inserido na unidade geomorfológica de Pedimentos funcionais no qual predomina o processo de pediplanação característico de ambientes semiáridos. Para o desenvolvimento desse artigo foi realizado o trabalho de campo na área apresentada com descrição morfológica e coleta de amostras. Em seguida o material foi submetido a análises: química, física, geoquímica, mineralogia e espectral. Os resultados passaram por rotina estatística multivariada. Para a interpretação dos dados espectrais foi utilizado os procedimentos: remoção do contínuo espectral, profundidade de feição e segunda derivada, para validação da identificação mineralógica a difratometria de raio X. As análises estatísticas utilizadas foram teste de hipótese, coeficiente de correlação de *Kendall* e Análise de Componentes Principais. De posse dos dados, foi feita a caracterização dos minerais que, associada a análises morfológicas, químicas, físicas dos solos permitiu a identificação da pedogênese, bem como a classificação dos mesmos ao longo da vertente. Os solos foram classificados como: CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (P1) (topo), VERTISSOLO EBÂNICO órtico solódico (P2) (meia encosta) e CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico (P3) (base da vertente). A partir dos dados obtidos, foi possível identificar os processos de: bissialitização (P1, P2 e P3), vertissolização (P2 e P3) e salinização (P2). Os resultados das componentes principais formaram dois grupos: componentes principal 1 de horizontes A e B e o perfil de Vertissolo, a segunda componente principal foi formada predominantemente de horizonte C, de todos os perfis. A identificação dos minerais e a associação com os atributos pedológicos permitiu compreender os processos pedogenéticos, mesmo que ainda incipientes para os solos estudados.

Palavras-chave: Pedogênese. Minerais. Comportamento espectral.

⁵ Artigo submetido à avaliação para a Revista Brasileira de Geomorfologia:
<http://lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/index>

REFLECTANCE SPECTROSCOPY APPLIED TO THE PEDOGENETIC STUDY IN A TOPOSEQUENCE FROM MAFIC ROCKS IN UAUÁ-BA

ABSTRACT: The semi-arid regions are an important natural system, characterized by a pedological diversity with little weathered soils and, in the formation process, in view of the peculiar characteristics presented by these soils, there is a moderate performance with regard to the study of soils through behavior spectral. That said, the present work aims to present the spectral behavior of the soils to understand the pedogenesis that occurs in a toposequence in the mafic dykes in the municipality of Uauá-BA located in the north of Bahia, using reflectance spectroscopy in the range of the reflected optical spectrum, combined with the morphological, chemical and physical properties of the soil. The present work was carried out in a toposequence of 250 meters, with gently undulating relief, inserted in the geomorphological unit of Functional Pediments, in which predominates the pediplanation process characteristic of semiarid environments. Fieldwork was carried out in the area presented with a morphological description and sample collection. Then the material was subjected chemistry, physics, geochemistry, mineralogy and spectral analysis. The results went through a multivariate statistical routine. For the interpretation of spectral data, the following procedures were used: removal of the spectral continuum, feature depth and second derivative, and to validate mineralogical identification using X-ray diffractometry. The statistical analyzes used were hypothesis testing, Kendall's correlation coefficient and Analysis of Principal Components. With the data in hand, the characterization of the minerals was carried out, which, associated with morphological, chemical and physical analyzes of the soils, allowed the identification of pedogenesis, as well as their classification along the slope. The soils were classified as: Typical Eutrophic Ta HAMPLIC CAMBISOL (P1) (top), solodic ortic EBANIC VERTISOL (P2) (half slope) and Ta Eutrophic HABIC CAMBISOL (P3) (slope base). From the obtained data, it was possible to identify the processes of: bisialitization (P1, P2 and P3), vertisolization (P2 and P3) and salinization (P2). The main components results formed two groups: main components 1 of horizons A and B and the profile of Vertisol, the second main component was formed predominantly of horizon C, of all profiles. The identification of minerals and the association with pedological attributes allowed to understand the pedogenetic processes, even if they are still incipient for the studied soils.

Keywords: pedogenesis; minerals; spectral behavior

4.1 INTRODUÇÃO

O processo pedogenético pode ser analisado a partir de uma perspectiva integrada da paisagem, compreendendo-a como um conjunto indissociável dos sistemas naturais, que trocam entre si energia e matéria em determinado tempo e espaço. Destacam-se entre os processos iniciais a adição, perdas, transformação e translocação de materiais, podendo os processos atuarem dialética ou individualmente. A busca da gênese dos solos é fundamentada na interpretação dos agentes formadores e processos pedogenéticos que atuaram em sua formação, Kampf e Curi (2012) Demattê et al (2017).

O clima é um fator de formação que tem efeito significativo na cor, na profundidade do solo, na textura, na alteração dos argilominerais e, conseqüentemente na composição química dos solos. Ambientes em que predomina o clima semiárido apresentam solos com grau de intemperismo químico menos acentuado, exibindo em sua cobertura pedológica características do material de alteração e minerais ainda inalterados. Nesse contexto, Kampf e Curi (2012) afirmam que é possível entender o processo de bissialitização como predominante na formação de solos nesses pedoambientes. Para identificar propriedades pedológicas inseridas aos processos de alteração mineralógica e pedogênese, a espectroscopia de reflectância surge como método inovador. Segundo Demattê e Terra (2014), a identificação de processos pedogenéticos em escala latitudinal, ou seja, em topossequência, é passível de compreensão utilizando tais tecnologias aliado a procedimentos tradicionais como, trabalho de campo, descrição morfológica, química e física.

No tocante a inovação, a capacidade da espectroscopia de reflectância têm sido aplicados na caracterização de componentes pedológicos tais como: minerais, umidade, granulometria e matéria orgânica. O comportamento espectral dos solos é dependente de suas características físicas, químicas e biológicas (DALMOLIN et al, 2005). As características das feições de absorção e intensidade das absorções que ocorrem no VNIR e no SWIR, podem ser claramente identificadas e atribuídos a componentes mineralógicos (BAPTISTA, MADEIRA NETTO e SOUZA, 2019). Desse modo, distinguir propriedades pedológicas por espectrorradiometria de reflectância nos permite afirmar que se torna uma técnica inovadora no estudo da pedogênese, sendo uma técnica analítica rápida, custo baixo e exploratória.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o comportamento espectral dos solos para compreender a pedogênese que ocorre em uma topossequência nos diques máficos

no município de Uauá-BA, utilizando espectroscopia de reflectância na faixa do espectro óptico refletido. A escolha da topossequência é decorrente dos seguintes pontos: a especificidade do material de origem, unidade geomorfológica em que predomina o processo de pediplanação, relevo suavemente ondulado e clima semiárido. O conjunto desses fatores contribuem para formação de solos com clara diferenciação entre horizontes, pedogênese, propriedades físicas, químicas e morfológicas, tais características são expressas no espectro óptico refletido. Em contrapartida os solos das zonas úmidas foram desenvolvidos sob forte influência de processos redoximórficos, que causam redistribuição de Fe e Mn e acumulação de carbono orgânico Demattê et al (2017). Desse modo a relevância de compreender as particularidades do comportamento espectral dos solos em rochas com diversidade mineralógica com clima predominantemente semiárido.

4.2.MATERIAL E MÉTODOS

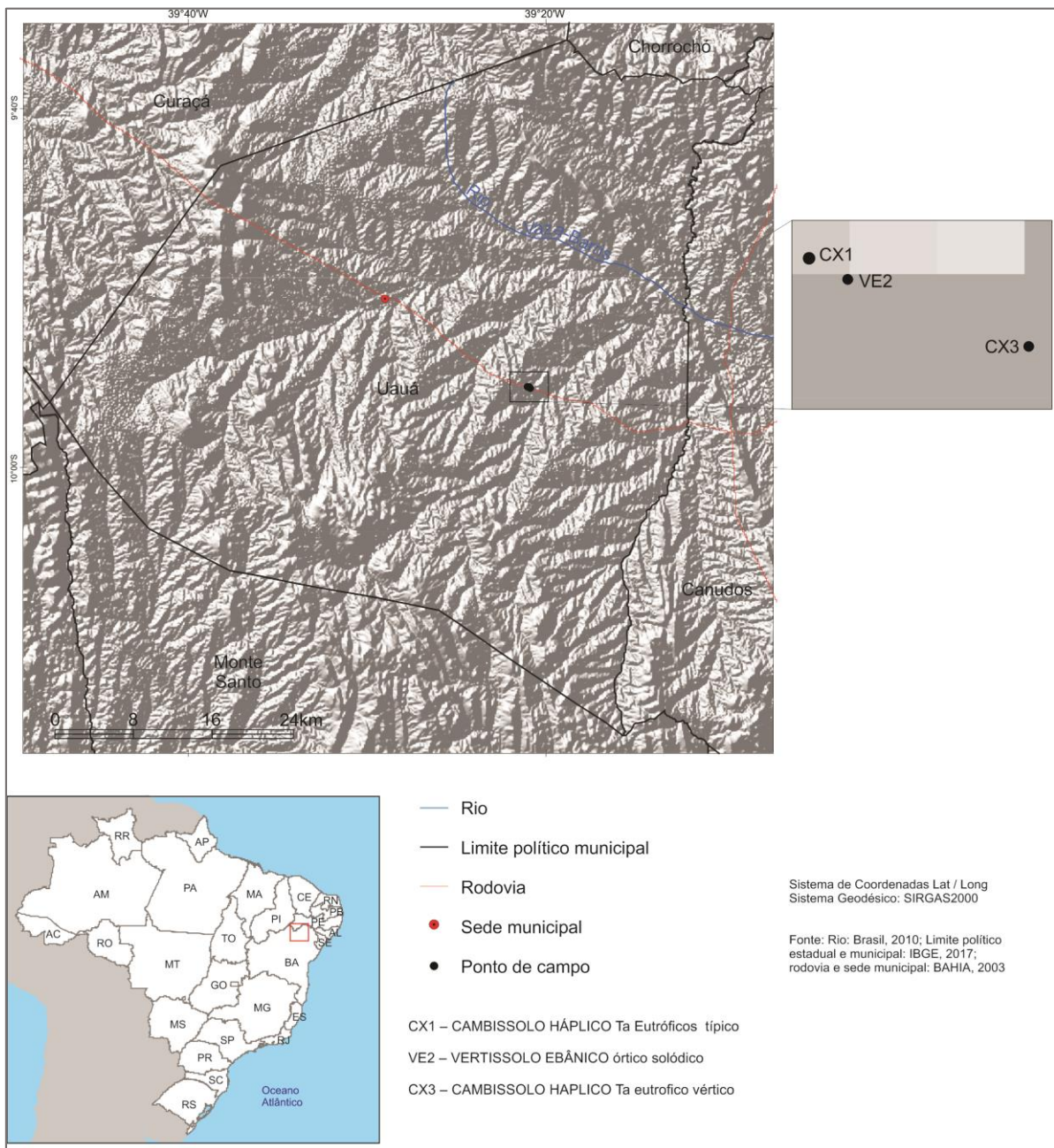
Inicialmente foi realizado uma caracterização da área de estudo apontando elementos geoambientais presentes na localização da topossequência. Nas sessões seguintes foi detalhado os procedimentos analíticos adotados no desenvolvimento do trabalho, desde atividade de campo, análise laboratorial, interpretação dos dados e testes estatísticos.

4.2.1 Caracterização da área

A região Nordeste do Brasil tem predominância de clima semiárido, com baixo índice de pluviosidade (média anual de 400 a 500mm) e chuvas irregulares. O município de Uauá-BA está localizado no norte da Bahia, (figura 4.1) no bioma da Caatinga com predominância da Caatinga Arbustiva (RADAM Brasil, 1983), caracterizada por duas fitofisionomias: a raquítica – dominante em solos rasos, com árvores finas e copas pequenas e espaçadas umas das outras, com predominância de agrupamentos de xique xique (*Pilocereus gouneller*), macambira de lajedo (*Encholirium spectabili*) e outras cactáceas – e a fase de regeneração com arbórea baixa.

Quanto à geomorfologia regional, o referido município está inserido na unidade pedimentos funcionais retocados por drenagem incipiente, possuindo relevo local tipicamente suave a plano com morros residuais, com declividade de 5° e altitude média de

400 metros, com hidrografia de rios intermitentes, tipologia climática Bsh clima seco sem estação definida (SEI, 1998).



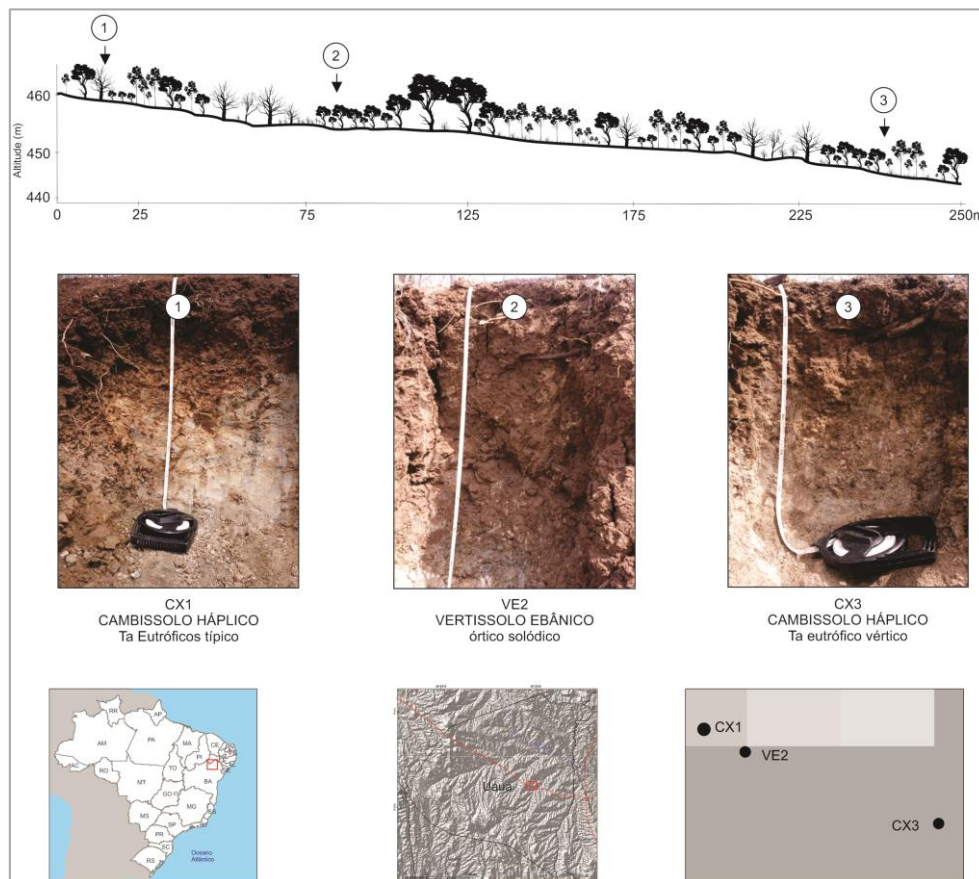
No contexto da geologia regional, o município está inserido no embasamento granítico gnáissico migmatítico, com médio grau de metamorfismo, origem no Arqueano e retrabalhado no Proterozoico Inferior. Em relação à litologia encaixante, são formadas predominantemente por gnaisses quartzo-feldspáticos, com níveis centimétricos de biotita e hornblenda migmatitos (MENEZES, 1992).

Especificamente no local da topossequência estudada (figura 4.2), o enxame de diques máficos de Uauá é definido por duas gerações de formação, a primeira representada pelos diques máficos e anfibolíticos os quais ocorrem de forma pouco expressiva não ultrapassa 2 metros de espessura.

Os diques metabásicos ocorrem com coloração preta e textura média muito semelhante aos diques de segunda geração, sendo a mais expressiva geograficamente compondo 85% dos corpos amostrados, afloram sob forma de blocos rolados, cortes de estradas e possui granulação fina e mais raramente média, seguindo a direção NE_NW e menos comumente, NS e NW-SE, seus contatos com a rocha encaixante não são observados devido a gradação do solo (MENEZES, 1992).

A partir da caracterização de Menezes (1992) foi possível identificar em campo o material de origem dos perfis pedológicos e a escolha da topossequência

Figura 4.2 Localização da Topossequência e perfis estudados no município de Uauá - BA



Os perfis ocuparam diferentes localizações na topossequência (Figura 4.2), o perfil topográfico foi realizado com GPS Garmin GPSMAP 64S Outdoor, projeção sirgas 2000. Primeiro ponto está localizado no topo da vertente com coordenada UTM -24S X: 462003;

Y:8902917. O segundo perfil (na meia encosta) (UTM -24S X:462043; Y:8902896). O terceiro perfil UTM -24S X: 462231; Y:8902831 (terço inferior). O comprimento total da rampa foi de 256 metros e com amplitude altimétrica do topo à base da vertente de 20 metros, com declividade de 5° graus, medido em campo com GPS. Importante destacar que, em se tratando de ambiente semiárido, o processo de pediplanação é predominante e, por conta disso, foi escolhida uma vertente que não possui uma amplitude altimétrica acentuada, com superfície de aplainamento, a qual representa um estágio final da evolução de uma paisagem submetida ao recuo das vertentes, como relatam Passos e Bigarella (2001).

Em ambientes semiáridos, os processos morfogenéticos se sobressaem aos processos pedogenéticos, e a pediplanação é a que apresenta maior destaque. Nesse sentido, a escolha da unidade geomorfológica foi o que delimitou a área de estudo, visto que os pedimentos se destacam pela abrangência em escala.

4.2.2 Determinação da morfologia, física, química e geoquímica

A descrição **morfológica** dos solos foi realizada em campo com abertura de 3 trincheiras, para cada trincheira foi classificado solo até o quarto nível categórico, em cada perfil foi definido três horizontes A, B e C, totalizando 9 amostras de solos. Para classificação em campo, foi utilizado o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al, 2018) e o Manual de Descrição e Coleta de Solos (SANTOS et al, 2015), para identificação da cor foi utilizado a cartela de Munsell, amostra seca. **Análises Física**, foram determinados os valores de densidade do solo por balão volumétrico, porosidade total % por método mesa de tensão, e granulometria, areia total, silte e argila (a dispersão da argila foi em hexametáfosfato) (EMBRAPA, 1997).

As **análises químicas** realizadas foram: pH em água; Acidez potencial pelo método de Acetato de cálcio tamponado a pH 7,01; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis extraídos por KCl 1 mol L⁻¹; Na^{2+} e K^{+} trocáveis extraídos por Mehlich1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹) e determinados por espectrofotometria de chama. O fósforo disponível foi extraído com solução de Mehlich1 e determinado por colorimetria, condutividade elétrica por extrato de saturação e equivalente de Carbonato de Cálcio. A partir dos resultados obtidos foram calculados soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), percentagem de magnésio trocável (Mg%) e índice de saturação de sódio, conforme a metodologia da Embrapa (1997).

A Fluorescência de raio X foi determinada espectrômetro de FRX simultâneo *Axios FAST* e identificou a percentagem de SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O P₂O₅. O procedimento para preparação das amostras foram: terra fina seca ao ar e pulverização. As leituras foram realizadas no laboratório de Geocronologia – UnB.

Para identificação dos minerais, foram utilizadas técnica analítica de difratometria de raio X, difratômetro difratômetro RIGAKU – ULTMA IV, operando com tubo de cobre e filtro de níquel, sob 30 kV e 15 mA DRX, laboratório de Difração de Raio X – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicada e Geodinâmica – UnB. Os procedimentos adotados foram: amostra total (pulverizada), etileno glicol, glicerol, aquecida a 400°C, em seguida os resultados foram interpretados pelo software Jade.

A técnica analítica de espectroscopia de reflectância foi realizada no Laboratório de Espectrorradiometria do Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Ciências da Terra e do Ambiente na Universidade Estadual de Feira de Santana com o equipamento *ASD FieldSpec 4*, que abrange o intervalo de 350 a 2500 nanômetros. As amostras foram destorroadas, peneiradas em uma malha de 2mm e secas a 45° graus por 24 horas, de acordo com a metodologia de Demattê e Terra (2014). A faixa espectral escolhida para interpretação da curva foi de 400 nm a 2500 nm.

A partir dos dados obtidos os solos foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

4.2.3 Análise das curvas espectrais e interpretação

O entendimento para interpretação das curvas espectrais aqui abordadas foi por posicionamento das feições de absorção e morfologia da curva em feições de absorção por reflectância com e sem remoção do contínuo compreendendo que cada banda espectral representa a composição química heterogênea dos solos do semiárido. De modo geral, a resposta espectral nas faixas do espectro óptico refletido dar-se-á pelos elementos químicos que apresentam interações nessas faixas em vibrações não fundamentais, podendo cada elemento representar um grupo de minerais ou mesmo uma característica pontual na amostra de solo. Nesse caso, cabe observar as propriedades adjuntas dos solos para inferir as interpretações corretas.

O conjunto das bandas de absorção e a morfologia da curva auxiliam na determinação dos elementos químicos e, conseqüentemente, na determinação dos minerais e propriedades

nas amostras de solo. As feições de absorção da banda foram interpretadas por remoção do contínuo espectral, profundidade de feição, morfologia da curva e comparação com os *endmembers* da biblioteca espectral USGS, baseados nos resultados obtidos na análise dos dados do DRX (Apêndice D). Clark (1999) afirma que o processo de remoção do contínuo isola as características espectrais e as coloca em condições de igualdade para que elas possam ser comparadas. Assim, torna-se possível identificar as feições de absorção e compará-las com a biblioteca espectral USGS.

A profundidade de uma feição de absorção está diretamente relacionada com a abundância do elemento que provoca absorção. À medida que a abundância do segundo mineral é aumentada, a profundidade de banda da absorção (D) no primeiro mineral diminui Clark (1999) (equação 1). As bandas utilizadas para determinação da profundidade de feição dos espectros de laboratório e da biblioteca espectral USGS foram: 400, 525, 650, 775, 900, 1025, 1150, 1275, 1400, 1525, 1650, 1775, 1900, 2025, 2150, 2272, 2400 nm, intervalo de 125 nm para cada banda, seguindo a metodologia de Terra (2007).

$$D = 1 - Rb \quad (1)$$

A equação utilizada para identificação da profundidade de absorção (D) está expressa na equação 1, no qual Rb é a reflectância da banda no comprimento de onda correspondente.

Para melhor interpretar os espectros e evidenciar as feições que não são aparentes, foi aplicada a transformação pela segunda derivada, no software *View Spec Pro*. Tsai & Philpot (1998) ressaltam que a derivativa aplicada a dados hiperespectrais permite uma melhor interpretação das mudanças mais sutis do espectro eletromagnético, sendo uma das causas das mudanças na composição do material/alvo. Baptista et al (2019) corrobora da aplicação dessa técnica, afirmando obter uma caracterização de bandas de absorções e identificação mais precisa dos componentes minerais.

4.2.4 Análise estatística

Os métodos estatísticos aplicados foram *Shapiro Wilk*, correlação de *Kendall* e análise de principais componentes, foram realizados no software BioEstat 5.0. O primeiro método utilizado foi o teste *Shapiro Wilk*, que possibilitou a verificação da distribuição da

normalidade dos dados espectrais de profundidade de feição, reflectância e reflectância com contínuo removido dos espectros de laboratório e da biblioteca espectral USGS (*United States Geological Survey*), com base nas 17 bandas utilizadas.

Foi elaborada uma hipótese alternativa e outra nula H_A , na qual os dados de laboratório e da biblioteca espectral não possuem distribuição normal, visto que nem todos minerais estão presentes em todas as amostras. Já na hipótese nula H_0 , os espectros de campo e biblioteca possuem distribuição normal, pois os componentes mineralógicos presentes na amostra correspondem aos minerais da biblioteca espectral amostrada. Para rejeitar a hipótese nula, é necessário que os dados tenham valor de significância 5%, ou seja, valor de p tem que ser maior que 0,05. No caso das variáveis analisadas, o valor de foi $p < 0,05$, rejeitando a hipótese nula. Diante dos resultados, aceitou-se a hipótese alternativa.

A escolha da correlação Tau de *Kendall* ocorre por conta da não normalidade e não paramétricos. Assim, para além do resultado, a escolha foi definida devido ao fato de o tamanho da amostra ser menor que 50.

Foi efetuada uma análise de índice de regressão a partir do erro médio quadrático (RMSE), representado pela (equação 2).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (2)$$

Os valores utilizados para a aplicação do RMSE foram de profundidade de feição dos espectros de laboratório e de minerais da biblioteca espectral USGS. Os minerais identificados foram actinolita, albita, clinocloro, calcita, hornblenda, ilita, montmorilonita, e as bandas foram 400, 525, 650, 775, 900, 1025, 1150, 1275, 1400, 1525, 1650, 1775, 1900, 2025, 2150, 2275, 2400.

O RMSE tem como objetivo mostrar as diferenças individuais entre a previsão do modelo (\hat{y}_n) e as observações (y_n), sendo n o total de comparações. Elevam-se as diferenças ao quadrado e força-se a tratar igualmente os resultados negativos e positivos. Mede o erro total (sistemáticos e randômicos). É utilizado para medir a magnitude do erro (FERREIRA, 2011).

Por fim, foi realizada a análise de componentes principais dos dados das feições espectrais em reflectância em 17 bandas. As principais componentes têm como objetivo reduzir a dimensionalidade dos dados. Essa técnica foi aplicada utilizando os espectros de

reflectância e as mesmas bandas que foram empregadas no teste do RMSE dos 3 perfis da topossequência.

4.2.5 Análise de difratometria de raio X

No que tange à aplicação da difratometria de raio X, pode-se considerar uma técnica tradicional para identificação de minerais que possuem estrutura cristalina bem definida, em frações silte (< 63 nm) e argila (< 2 nm). A difratometria de raio-X é a mais poderosa ferramenta para estudo de minerais do solo, particularmente na fração argila, em que ocorrem a identificação e caracterização (tamanho, grau de cristalinidade, substituintes isomórficos) (RESENDE et al, 2005).

Os procedimentos adotados para análise de difratometria de raio X foram: 1) preparação das amostras; 2) análise no equipamento; e 3) interpretação dos difratogramas. Em relação a preparação das amostras, a sequência adotada foi: a) fração total, as amostras foram peneiradas em uma malha de 500nm e pulverizadas, armazenadas em uma lâmina de vidro; b) as amostras da fração argila foram pulverizadas, pesadas com 4 gramas e armazenadas em um recipiente com preenchimento de água destilada até 50ml, o procedimento seguinte foi da centrífuga a 750 rpm por 7 minutos para separação da fração argila, retirou-se a solução em suspensão e preencheu-se novamente com água destilada e centrifugou-se a 3000 rpm por 30 minutos, descartou-se a solução e a argila foi utilizada para elaborar as lâminas orientadas; c) dissecação em etileno glicol; e, por fim, d) aquecimento das lâminas a 400°C em 4 horas e 30 minutos. Ao fim de cada procedimento amostral realizado, as amostras foram analisadas no difratômetro RIGAKU – ULTIMA IV, operando com tubo de cobre e filtro de níquel, sob 30 kV e 15 mA DRX e as interpretações foram realizadas no software JADE.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente artigo apresenta nas sessões subseqüentes resultados obtidos por meio dos procedimentos metodológicos, revisão bibliográfica, trabalho de campo, técnicas analíticas e testes estatísticos, aponta inicialmente uma discussão pedológica dos perfis de solos da topossequência em estudo, em seguida caracterização espectral, mineralógica, geoquímica.

Por fim os resultados apresentados discutem sobre a variação do comportamento espectral na topossequência por meio de técnicas analíticas multivariada.

4.3.1 Caracterização pedológica dos perfis da topossequência Uauá-BA

O solo representado pelo perfil 1 encontra-se em uma altitude de 459 m e sobre o dique metabásico, tendo como minerais essenciais predominantes plagioclásio e piroxênio, como minerais acessórios o quartzo e a apatita e como minerais de alteração a calcita, epidoto, muscovita e clorita (MENEZES, 1992). A partir dos dados obtidos em campo (exame morfológico) e em laboratório (análises físicas e químicas) o solo foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutróficos léptico hipocarbonático vertissólico, cumprindo os requisitos: presença de mineral de argila, alta atividade, horizonte B incipiente imediatamente abaixo de horizonte A fraco ou moderado, (tabela 4.3) saturação por bases acima de 50%,(tabela 4.1) com caráter hipocarbonático e teor de equivalente de carbonato de cálcio variando em 72 a 77 g/Kg (tabela 4.1). O caráter vertissólico foi atribuído devido à presença de fendas verticais não suficientes para caracterização de Vertissolo (Santos et al, 2015). A espessura no horizonte A é de 0-10 cm, no horizonte Bi é de 35 cm e no horizonte C é de +40 cm de espessura, não alcançando o horizonte R.

O perfil 2 encontra-se na cota 450 m, sobre os diques anfibolíticos, que apresentam coloração cinza escura, quase preta e esverdeada, bem como granulação fina. As características principais dos minerais constituintes são: hornblenda, plagioclásio, quartzo (pequena quantidade) e minerais opacos (magnetita). A calcita e muscovita são secundários, produtos de alteração do plagioclásio (MENEZES, 1992).

Quanto à espessura dos horizontes: A com 9 cm de espessura; Biv 69 cm e Cr 40+ cm. A transição do Biv para o Cr é difusa e ondulada, com presença dos minerais de material de origem ainda não alterados e estrutura pouco elaborada. A partir das características do horizonte diagnóstico, o perfil satisfaz a classificação de VERTISSOLO HÁPLICO órtico solódico hipocarbonático, valores de equivalente de carbonato de cálcio variando entre 74 a 76 g/kg (tabela 4.1), não sendo o suficiente para a caracterização carbonático, e sim hipocarbonático (SANTOS et al, 2018). São solos constituídos por material mineral com horizonte vértico entre 25 e 100 cm de profundidade e relação textural insuficiente para caracterizar um B textural (tabela 4.2). Apresentam fendas verticais no período seco, com

pelo menos 1 cm de largura, atingindo, no mínimo, 50cm de profundidade, presentes na figura 4.2.

Em campo, foi possível identificar as características morfológicas do solo, destacando Biv, propriedade diagnóstica de horizonte vértico, caracterizado por um horizonte mineral subsuperficial que, devido à expansão e contração das argilas, apresenta feições pedológicas típicas, que são as superfícies de fricção “*slickensides*” com fendas em período mais seco do ano, com mínimo de 1cm de largura. A sua textura mais frequente varia de argilosa a muito argilosa (Santos et al, 2015). Outros atributos morfológicos identificados em campo merecem destaque, como o do grau de estrutura forte e bem definida, classificada em prismática, muito duro e úmido é extremamente firme (tabela 4.3).

O solo representado pelo perfil 3 (figura 4.2) tem 70 cm+ de profundidade e é encontrado sobre os diques metabásicos do enxame de diques máficos do complexo Uauá. Esses diques passaram por 2 gerações de metamorfismo mantendo-se ainda preservados com recristalização incipiente na rocha (MENEZES, 1992). A cota altimétrica do perfil é de 444 m e situa-se no final da vertente, próxima a uma área lacustre. O perfil possui três horizontes com espessuras distintas: A com 7 cm, Bi com 36 cm e C com 27 cm. Classificada CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico leptofragmentário vertissólico, uma característica significativa dessa classe é a presença de minerais primários facilmente intemperizáveis grupo das micas, plagioclásios.

A textura desse perfil nos horizontes A e Bi é franco arenoso (tabela 4.2), seguindo horizontes subjacentes de textura franco. Os solos com predominância de argilominerais esmectita vão de textura argilosa a muito argilosa e possivelmente apresentem superfície de fricção *slink sides* (tabela 4.3).

Tabela 4.1 Atributos Químicos de uma Topossequência no município de Uauá-BA

Perfil	Horizonte	C.E.	Equ ⁶ . CaCO ₃	pH ⁷	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+A I	SB	CTC	V	Atividade e da Argila	IsNa ⁸
		<i>dS/m</i>	<i>g/Kg</i>	-	<i>mg dm⁻³</i>				<i>cmol_c dm⁻³</i>					<i>%</i>	<i>Cmol/kg</i>	
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico																
01	A	25.43	77,26	6.9	5.17	0.30	0.10	20.0	8.40	0.00	0.5	28.8	29.3	98.4	111.1	0.34
	Bi	20.96	75,35	6.7	9.35	0.30	0.30	16.7	9.90	0.00	0.2	27.2	27.4	99.1	97.5	1.09
	C	4.877	72,81	6.7	75.82	0.40	0.40	15.3	1.10	0.00	0.2	15.0	15.2	98.4	580.1	2.63
VERTISSOLO HÁPLICO órtico solódico hipocarbonático																
02	A	23.99	76,21	7.2	4.38	0.40	0.40	14.7	11.5	0.00	0.0	27.0	27.0	100.0	122.3	1.48
	Biv	49.67	77,14	6.8	16.26	1.50	1.40	15.3	8.80	0.00	0.2	27.0	27.2	99.1	88.7	5.15
	Cr	100.8	74,55	7.7	15.97	1.60	1.50	8.4	5.40	0.00	0.2	16.9	17.1	98.6	139.2	8.77
03	A	22.23	74,15	7.7	4.60	0.40	0.40	12.4	3.60	0.0	0.0	16.8	16.8	100.0	90.5	2.38
	Bi	25.03	74,14	7.2	0.06	0.80	0.80	19.3	5.20	0.0	0.0	26.1	26.1	100.0	102.7	3.07
	Cc	25.23	76,05	7.4	3.44	1.10	1.10	15.0	3.40	0.0	0.0	20.8	20.8	100.0	126.9	5.29

⁶ Equivalente de Carbonato de Cálcio⁷ PH em água⁸ IsNa – Índice de Saturação de sódio

Tabela 4.2 Atributos físicos de uma Topossequência no município de Uauá-BA

Perfil	Horizonte	Densidade (kg/dm ³)		Porosidade	Granulometria (g/kg)			Gradiente Textural B/A	Classe textural
		Solo	Partículas	P. Total (%)	A. Total	Silte	Argila ⁹		
01	A	1.29	2.53	48.99	456.8	279.5	263.7	-	Franco
	Bi	1.34	2.61	48.88	492.9	226.1	281.0	1.0	Franco argilosa
	C	1.49	2.81	46.89	859.9	113.9	26.2	-	areia
02	A	1.29	2.49	48.02	413.9	365.5	220.6	-	Franco
	Biv	1.31	2.52	48.25	465.6	228.0	306.4	1.3	Franco argiloso
	Cr	1.46	2.72	46.29	735.0	142.2	122.8	-	Franco arenoso
03	A	1.24	2.50	50.63	596.5	217.9	185.6	-	Franco arenoso
	Bi	1.28	2.54	49.85	557.8	188.2	254.0	1.3	Franco
	Cc	1.31	2.58	49.4	726	110.2	163.8	-	Franco arenoso

⁹ Argila dispersa em hexametáfosfato

Tabela 4.3 Caracterização morfológica Topossequência Uauá - BA

Perfil	HZ ¹⁰	PF ³	Cor		Estrutura ¹¹		slickesind e		consistência ¹²			transição
			<i>seco</i>	<i>grau</i>	<i>tamanho</i>	<i>tipo</i>	<i>seco</i>	<i>úmido</i>	<i>plasticidade</i>	<i>pegajosidade</i>		
1	A	0-10	7.5YR, 2.5/1	Mod	Gra	Bs	sim	L.D	Fir	Lpl	Pe	plana e difusa
	Bi	10-45	5YR 3/2	For	Gra	Pri	sim	ED	Fir	Lpl	Pe	adrupta ondulada
	C	45-80	7.5YR 7/8	Fra	Sem estrutura	Gs	n	Ma				
2	A	0-9	7.5YR 2.5/2	Mod	Gra	BS	sim	MD	Fir	Lpl	Pe	gradual
	Biv	9-78	2.5YR 2.5/1	For	Gra	Pri	sim	ED	Fir	ModPl	Pe	adrupta
	Cr	78-118		For	Gra	Pri	sim	ED	Fir	ModPl	Pe	
3	A	0-7	7.5 YR 3/2	Mod	Méd	BS	sim	MD	Fir	Npl	Pe	difusa
	B	7-43	7.5 YR 3/3	For	Gra	B	sim	D	Fir	Npl	Pe	adrupta ondulada
	Cc	43-70		S/Estr	s/Estr	Gs	n	D		Npl		

¹⁰ HZ: Horizonte, PF: Profundidade, EP Espessura

¹¹ Fra- Fraca; Mod- Moderada; Gra- Grande; Gr- Granular; Mac- Maciça; Peq- Pequena; Méd- Média; BA- Blocos Angulares; BS- Bloco Subangular; GS – grãos simples Pri- Prismática;

¹² LD- Ligeiramente Duro; D- Duro; MD- Muito Duro; ED- Extremamente Duro; Fri- Friável; Fir- Firme; For- Forte; Ma- Macio; Pl- Plástico; Lpl- Ligeiramente Plástico; Mpl- Muito plástico; Npl- Não plástico; Pe- Pegajoso; Mpe- Muito pegajoso; Lpe- Ligeiramente pegajoso; não pegajosa, ModPl; Moderadamente plástico

4.3.2. Caracterização mineralógica, espectral e geoquímica dos perfis da topossequência Uauá-BA

A montmorillonita é um argilomineral filossilicato do grupo das esmectitas, que quando presente confere aos solos características vérticas como fendilhamento, estrutura cuneiforme, superfícies de compressão e, ou estriamento (*slincksides*), características estas observadas, em maior ou menor grau, nos três solos estudados. Sua estrutura cristalina é formada por duas folhas, octaédrica e tetraédrica, e entre elas há uma molécula de H₂O e um cátion. Essa estrutura tem resposta espectral característica e exibe uma intensa absorção assimétrica em 1900nm decorrente da presença da água adsorvida, e uma absorção moderada em 2205nm, decorrente do cátion ligado ao Al, que, no caso da amostra, é Mg. Segundo Hunt e Salisbury (1970), as feições diagnósticas para identificação da montmorillonita são em 1400, 1900 e 2200nm. Sobre as amostras na banda 2200nm a 2240nm, houve deslocamento para a direita, sendo a causa do deslocamento espectral nessa faixa espectral elucidada por Clark (1999). Aqui, ocorrem substituições isomórficas causadas pelas pequenas mudanças na banda de absorção entre as ligações entre Al-OH, Fe-OH, Mg-OH. (CLARK, 1999).

Quanto à origem das esmectitas, para todos os perfis da topossequência, trata-se de uma esmectita dioctaédrica, resultado de neoformação. A neoformação das esmectitas requer que o material de origem forneça elementos que as constituam, Mg e/ou, Fe. São frequentes em solos com pouca lixiviação, drenagem limitada, clima árido e rochas magmáticas básicas encontradas em horizontes mais profundos, diminuindo em direção à superfície (AZEVEDO e VIDAL TORRADO, 2009). A presença da montmorillonita nos solos foi identificada em campo, por meio de observações de características próprias e validado com a análises de DRX e espectroscopia de reflectância.

A illita foi identificado no perfil 3, nas feições (1400, 1900 e 2205nm) em todos os horizontes. Vários são os estudos que confirmam a intensidade de absorção eletromagnética em 1900nm referente aos argilominerais 2:1 e 1:1. Demattê et al (2013) afirmam que, quando há absorções na mesma banda por minerais diferentes, a distinção de cada mineral é dada pelo formato da absorção da curva, tal afirmação contribui para diferenciar illita de montmorillonita, uma vez que ambas respondem espectralmente nas mesmas bandas o que diferencia é a morfologia da feição de absorção. Trata-se de um mineral abundante nos solos na fração argila. Segundo Kampf e Marques (2009), classifica-se como um mineral não expansivo, filossilicato,

2:1, ocorrendo uma substituição parcial de Si^{+4} por Al^{+3} , compensado nas cargas negativas por K^+ .

Além dos argilominerais identificados, está presente o mineral albita em todos os perfis e horizontes, pertencente ao grupo dos feldspatos, que também tem absorção em 2205nm. Para a identificação desse mineral e diferenciação dos demais que absorvem na mesma banda, foi observado o formato da curva no contínuo removido, intensidade de reflectância e absorção. Hunt e Salisbury (1970) analisando espectros com presença de feldspato, afirmam que a presença desse mineral aumenta a reflectância espectral dos solos. Resende et al. (2005) afirmam que os feldspatos, de forma mais ou menos intensa, experimentam alterações durante o intemperismo da rocha até a formação do solo. O produto de sua decomposição nem sempre é fácil de se prever, mas normalmente inclui caulinita, gibbsita, alofana e argilominerais 2:1. No caso da topossequência, pode-se afirmar que alguns dos minerais 2:1, especialmente as esmectitas, são produtos que podem ter sido originados da alteração da albita, predominância do processo de bissialitização, devido à pouca circulação hídrica, processo de hidrólise incipiente e maior concentração de hidroxilas e cátions.

O grupo dos anfibólios pode ser originado de rochas ígneas e metamórficas com temperaturas médias a alta e tem natureza básica e /ou cálcio silicático. Em 2290 nm e 2380 nm, identificaram-se os minerais hornblenda/actinolita, clorita e talco. A biblioteca espectral da USGS (2007) auxilia na identificação desses minerais, permitindo a compreensão das principais características, sendo possível fazer uma comparação entre os espectros das amostras de solo e da biblioteca espectral USGS. Clark (2007) retrata a característica de uma mistura mineralógica actinolita - hornblenda, apresentando uma banda larga de Fe^{+2} em 1000 nm, estiramento em 1400 nm referente ao OH^- e uma combinação de absorção forte em $(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{OH}$ em 2320 e 2380nm, corroborando a amostra analisada. O quadro 4.1 demonstra, de forma sistematizada, a caracterização das principais feições diagnósticas de absorção e os elementos que correspondem a elas.

No solo representado pelo o perfil 3 no horizonte B, foi possível identificar respostas espectrais da calcita (quadro 4.1). Esse mineral é um carbonato de cálcio e pode ser encontrado em veios hidrotermais associado com sulfetos e em rochas sedimentares, podendo ocorrer como mineral predominante ou acessório. A maioria dos cristais da calcita tem composição muito próxima de CaCO_3 puro, no entanto, é possível uma substituição de Ca por Fe^{+2} , Mn^{+2} , Mg, proporcionando a formação de outros minerais do grupo dos carbonatos (KLEIN e DUTROW, 2012). Esse mineral tem absorção na faixa espectral de 2300 a 2400, e a vibração em maior

destaque é do CO₃ ligado ao Ca. Como mostra, a seguir, o perfil 3 nos horizontes B e C, foi possível identificar essas respostas espectrais.

Quadro 4.1 Caracterização das feições de absorção dos minerais presentes em solos de uma topossequência no município de Uauá – BA

Características das feições de absorção dos Minerais					
Minerais	Faixa espectral	Absorção de elementos	Modo de interação	Interação microscópica	Perfis e Hz
Montmorilonita	SWIR	1400nm OH e H ₂ O; 1900 H ₂ O; 2200 – AlOH e MgOH	Combinações	Nível Molecular	1, 2 e 3 A, B e C
Albita	SWIR	2200 – AlOH e MgOH	Vibração não fundamental	Nível Molecular	1, 2 e 3 A, B e C
Actinolita	SWIR	2300nm – MgOH	Vibração não fundamental		1 e 2
Ilita	SWIR	2211 a 2220 – AlOH	Vibração não fundamental	Nível Molecular	3 – A, B e C
Hornblenda	SWIR	2400nm – MgOH	Vibração não fundamental	Nível Molecular	3
Calcita	SWIR	2343 – Ca e CO ₃	Vibração não fundamental	Nível Molecular	3 – B e C

Fonte: Elaborado pela autora.

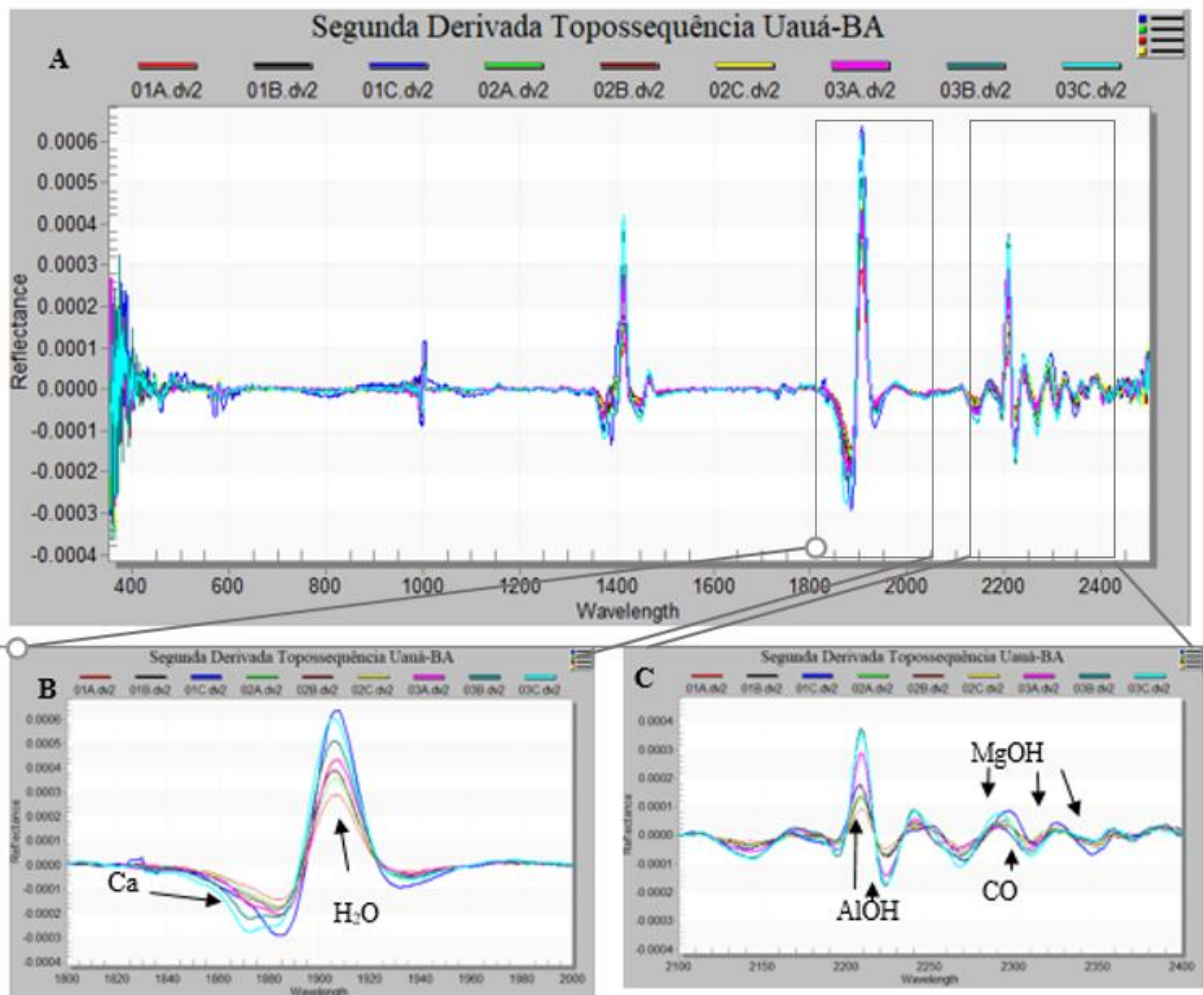
Thompson (1999) discorre sobre a combinação de diversas bandas de absorção no espectro de reflectância: a faixa do SWIR é particularmente sensível a certas moléculas e radicais, incluindo ligações OH, H₂O, NH₄, CO₃. OH e os cátions Al-OH, Mg-OH e Fe-OH. As posições das feições no espectro e suas formas são funções das ligações moleculares presentes no mineral. Um espectro típico apresenta várias feições de absorção (THOMPSON, 1999).

Segundo Hunt (1977), o grupo do OH⁻ tem características bem resolvidas no espectro eletromagnético e, dentre os minerais, destacam-se o grupo das micas, minerais de argila e anfibólios. As bandas de combinação na região de 2000nm, que envolvem o modo de estiramento fundamental de OH⁻, geralmente aparecem em pares, com o membro de comprimento de onda mais curto, normalmente entre 2200 nm até 2300 nm e 2300 a 2400 nm. No entanto, é possível apresentar uma maior intensidade com a presença do alumínio em 2200

nm e em 2300 nm do magnésio, sendo expressa com melhor detalhe por análise de segunda derivada.

Assim, a derivativa espectral auxilia na identificação das vibrações moleculares. Segundo Heil et al (2019), as derivadas espectrais são utilizadas para resolver sobreposição de absorções e tornar os picos mais evidentes. A figura 4.3A apresenta a derivativa de todo espectro eletromagnético, eixo X as bandas espectrais e eixo Y a reflectância. Na figura 4.3 B destaca a interferência das moléculas de água, e a figura 5C (AlOH, MgOH e CO₃) representa a segunda derivada do comprimento de ondas de 2100 a 2500 nm.

Figura 4.3 Segunda derivada dos espectros de reflectância da topossequência Uauá - BA



As bandas que apresentaram um maior destaque foram 2200 nm, 2243 nm e 2300 nm. Na banda em 2200nm destaca-se a absorção do AlOH. Já em 2243 nm a absorção de

substituição isomórfica de AlOH por MgOH foi evidenciada na derivativa. A banda 2300 nm trata de uma absorção de CO, segundo Hunt (1977), decorrente da calcita.

Após a determinação dos elementos químicos por espectroscopia foi realizada a correlação do conjunto de bandas no fator de reflectância, com e sem remoção do contínuo vs fluorescência de raio X (apêndice B), utilizando intervalo de 125 nm, na faixa espectral de 400 a 2500. As bandas espectrais correlacionadas com os valores de XRF, foram 400, 525, 650, 775, 900, 1025, 1150, 1275, 1400, 1525, 1650, 1775, 1900, 2025, 2150, 2272 e 2400nm. Os dados, inicialmente, passaram por teste de normalidade, e o teste escolhido foi de Shapiro Wilk. O objetivo desse teste é observar se o universo das amostras tem distribuição normal, pois a partir do resultado pode-se definir com maior precisão o tipo de correlação a ser aplicado. Os resultados do teste estão expressos na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Teste de Normalidade Shapiro Wilk - Dados espectrais de reflectância e Fluorescência de Raio X

Resultados teste Shapiro Wilk	Tamanho da amostra =	Média =	Desvio padrão =	W =	p =
- 1 -	9	56.0546	4.6467	0.8804	0.2125
- 2 -	9	15.6759	1.5413	0.8796	0.2083
- 3 -	9	2.7918	1.5257	0.8835	0.2287
- 4 -	9	9.3196	3.1884	0.8156	0.0395
- 5 -	9	4.5663	1.3170	0.8961	0.2954
- 6 -	9	2.2990	0.4729	0.8241	0.0461
- 7 -	9	0.3731	0.2383	0.8005	0.0275
- 8 -	9	1.2697	0.3788	0.9839	0.9797
- 9 -	9	0.1157	0.1722	0.6175	0.0081
- 10 -	9	0.1501	0.0645	0.8958	0.2939
- 11 -	9	0.0924	0.0414	0.9132	0.3853
- 12 -	9	0.1246	0.0628	0.9120	0.3787
- 13 -	9	0.1935	0.0795	0.9347	0.4984
- 14 -	9	0.2508	0.0867	0.9718	0.8977
- 15 -	9	0.2722	0.0802	0.9132	0.3855

- 16 -	9	0.3053	0.0845	0.8751	0.1850
- 17 -	9	0.3543	0.0883	0.8670	0.1423
- 18 -	9	0.3892	0.0929	0.8955	0.2923
- 19 -	9	0.3509	0.0734	0.9362	0.5130
- 20 -	9	0.4084	0.0879	0.9348	0.4989
- 21 -	9	0.4331	0.0935	0.9198	0.4198
- 22 -	9	0.4342	0.0904	0.9186	0.4138
- 23 -	9	0.2703	0.0542	0.9633	0.8055
- 24 -	9	0.3723	0.0677	0.9398	0.5516
- 25 -	9	0.4035	0.0735	0.8889	0.2574
- 26 -	9	0.3484	0.0607	0.8431	0.0736
- 27 -	9	0.2821	0.0505	0.9078	0.3570

A tabela 4.4, apresenta o resultado do teste de normalidade dos dados espectrais de 17 bandas em reflectância com a percentagem dos elementos químicos identificados por Fluorescência de Raio X (XRF), o resultado obtido foi a não normalidade dos dados, adotando-se a hipótese alternativa e o tipo de correlação que atenda à distribuição dos dados, ou seja, correlação tau de *kendall* τ .

As feições espectrais em reflectância e XRF (tabela 4.5) obtiveram correlação moderadamente forte para as composições químicas MgO, CaO e Fe₂O₃ na banda 2150 nm, variando o $\tau = 0,61$ até 0,72 (tabela 4.5). Na banda em 2400 nm, os valores foram negativos moderadamente fortes para MgO $\tau = -0,55$.

Tabela 4.5 Correlação de *Kendall* - Dados de fluorescência de raio X e feições espectrais remoção do contínuo

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
400	-0.33	0.83*	-0.17	-0.17	0.17	0.61*	0.11	-0.88*	0.28	-0.55*
525	-0.28	0.83*	-0.22	-0.22	0.11	0.55*	0.17	-0.83*	0.33	-0.61*
650	-0.28	0.83*	-0.22	-0.22	0.11	0.55*	0.17	-0.83*	0.33	-0.61*
775	-0.22	0.83*	-0.28	-0.28	0.06	0.61*	0.22	-0.77*	0.28	-0.66*

900	-0.11	0.83*	-0.39	-0.39	-0.06	0.61*	0.33	-0.66*	0.17	-0.77*
1025	-0.11	0.83*	-0.39	-0.39	-0.06	0.61*	0.33	-0.66*	0.17	-0.77*
1150	-0.17	0.83*	-0.33	-0.33	0.00	0.66*	0.28	-0.72*	0.22	-0.72*
1275	-0.17	0.83*	-0.33	-0.33	0.00	0.66*	0.28	-0.72*	0.22	-0.72*
1400	-0.11	0.83*	-0.39	-0.28	0.06	0.72*	0.33	-0.66*	0.28	-0.66*
1525	-0.17	0.83*	-0.33	-0.33	0.00	0.66*	0.28	-0.72*	0.22	-0.72*
1650	-0.17	0.83*	-0.33	-0.33	0.00	0.66*	0.28	-0.72*	0.22	-0.72*
1775	-0.17	0.83*	-0.33	-0.33	0.00	0.66*	0.28	-0.72*	0.22	-0.72*
1900	-0.06	0.83*	-0.44	-0.33	0.00	0.77*	0.28	-0.61*	0.33	-0.50
2025	-0.06	0.83*	-0.44	-0.33	0.00	0.77*	0.39	-0.61*	0.33	-0.61*
2150	-0.17	0.83*	-0.33	-0.33	0.00	0.66*	0.28	-0.72*	0.22	-0.72*
2275	-0.06	0.83*	-0.44	-0.33	0.00	0.77*	0.39	-0.61*	0.33	-0.61*
2400	0.00	0.83*	-0.50	-0.39	-0.06	0.83*	0.33	-0.55*	0.28	-0.55*

*Valor de significância $p < 0,05$

A correlação dos dados espectrais em reflectância com remoção do contínuo e XRF expressa na (tabela 4.6) foi positiva e forte $\tau = 0,83$ para todas as 17 bandas na composição química Al_2O_3 . A segunda correlação mais significativa foi para Na_2O , variando de $\tau 0,67$ até $\tau 0,83$ na banda 2400. TiO_2 e MnO apresentaram maiores valores na correlação forte negativa, variando entre $\tau = -0,50$ até $\tau - 0,83$, para todas as bandas. A correlação dos dados de reflectância com remoção do contínuo para MgO variou de fraca nas faixas do visível e infravermelho próximo a moderada na faixa do infravermelho de ondas curtas, sendo negativa para todas as bandas. O crescimento linear da correlação ao longo do espectro do Mg corrobora o que fora encontrado por Souza Junior (2009), quanto maior for a quantidade de Mg , menor será a energia refletida, obtendo-se valores negativos na correlação. Determinados elementos químicos terão correlação positiva em maiores concentrações com o fator de reflectância como Al_2O_3 e Na_2O , ao passo que outros elementos têm correlação forte negativa. O TiO_2 e MnO , por exemplo, são influenciados pelos processos vibracionais e pela energia absorvida em conjunto com a cor que é atribuída ao material.

Tabela 4.6 Correlação de *Kendall* - Dados de Fluorescência de Raio X e feições de absorção em reflectância

	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO
400	-0.44	0.61*	0.06	-0.06	0.39	0.39	0.00	-0.77*	0.06	-0.44

525	-0.39	0.77*	-0.11	-0.11	0.22	0.55*	0.06	-0.94*	0.22	-0.50
650	-0.44	0.72*	-0.06	-0.06	0.28	0.50	0.00	-0.88*	0.17	-0.44
775	-0.22	0.72	-0.17	-0.17	0.28	0.61*	0.22	-0.77*	0.28	-0.55*
900	0.39	0.22	-0.44	-0.77*	-0.22	0.55*	0.61*	-0.17	-0.11	-0.72*
1025	0.55*	0.17	-0.39	-0.72*	-0.39	0.50	0.66*	0.00	-0.28	-0.55*
1150	0.66*	0.06	-0.50	-0.83*	-0.50	0.39	0.55*	0.11	-0.39	-0.44
1275	0.50	0.22	-0.55*	-0.55*	-0.55*	0.33	0.28	-0.06	-0.22	-0.50
1400	0.06	-0.33	0.33	0.22	0.11	-0.11	-0.17	0.39	-0.11	0.50
1525	-0.22	-0.28	0.50	0.39	0.39	-0.17	-0.22	0.22	0.06	0.55*
1650	-0.42	-0.31	0.59*	0.64*	0.37	-0.42	-0.37	0.14	0.20	0.48
1775	-0.33	-0.39	0.50	0.83*	0.39	-0.39	-0.33	0.22	0.28	0.66*
1900	-0.06	0.11	0.11	0.11	0.11	0.33	-0.17	-0.06	0.11	0.17
2025	-0.11	0.06	0.06	0.17	0.17	0.28	-0.11	0.00	0.17	0.22
2150	-0.44	-0.28	0.61*	0.72*	0.61*	-0.39	-0.11	0.11	0.28	0.55*
2275	0.00	-0.39	0.50	0.17	0.06	-0.50	-0.33	0.33	-0.39	0.33
2400	0.28	0.22	-0.55*	-0.66*	-0.22	0.55*	0.50	-0.17	0.00	-0.50

*Valor de significância $p < 0,05$

Mediante o exposto, a correlação dos dados de XRF com as bandas espectrais em reflectância e com remoção do contínuo convergem com resultados encontrados por Terra (2007) e Sousa Junior (2011). As altas correlações dos dados de XRF e feições de absorção em bandas espectrais indica que para cada faixa espectral há uma resposta de um elemento ou composição química, no qual pode-se afirmar que a espectroscopia de reflectância auxilia na identificação da composição química dos materiais, entretanto, há a ressalva que no comprimento de ondas de 350 a 2500 nm não são todas as composições químicas identificadas, ou seja, uma técnica não substitui a outra. Já que por espectrorradiometria de reflectância, outra propriedade é possível de ser identificada em detrimento a XRF.

A fim de validar as interpretações por espectrorradiometria de reflectância, foram realizadas análises de difratometria de raio X, interpretadas no software Jade. A tabela 4.7 apresenta todos minerais identificados. Ressalta-se que não foram todos identificados na espectroscopia de reflectância, visto que, alguns desses minerais não respondem espectralmente na faixa espectral aplicada.

Dentre os minerais que têm destaque na identificação da difratometria de raio X e espectroscopia de reflectância estão: montmorillonita, albita, calcita, as micas ilita. Os minerais citados apresentam bandas de absorção específicas em conjunto com a morfologia da curva, contribuindo na identificação.

Tabela 4.7 Minerais identificados por difratometria de raio X

HORIZONTE	PERFIL 1	PERFIL 2	PERFIL 3
A	Ferroactinolita, albita, montmorillonita, talco e quartzo.	Ferroactinolita, albita, talco, montmorillonita, clinocloro, quartzo.	Montmorillonita, quartzo, albita,
B	Ferroactinolita, albita, ortoclisotina, talco, montmorillonita, clinocloro e quartzo	Ferroactinolita, albita, quartzo, ortoclisotina, talco, montmorillonita, clinocloro	Magnesiohornblenda, quartzo montmorillonita, albita, calcita
C	Ferroactinolita, albita, quartzo, ortoclisotina talco, montmorillonita, clinocloro	Ferroactinolita, albita, quartzo, ortoclisotina, talco, montmorillonita, clinocloro,	Quartzo, montmorillonita, albita, calcita, caulinita, magnesiohornblenda e ilita

Após a identificação por Difratometria de Raio X foi possível verificar uma discordância dos resultados do DRX e espectrorradiometria de reflectância. No DRX foi identificado caulinita no horizonte C do perfil 3, em horizonte C de perfis de solo, especialmente em ambientes onde a intemperização química é pouco marcante e na matriz do solo apresenta ainda material parental da rocha é provável que a interpretação esteja equivocada. Esse mineral no espectro óptico refletido expressa feições marcantes com dupla absorção em 1400nm, 2205nm, o que não foi verificado nos espectros. Nesse caso, pode-se afirmar que para argilominerais a espectrorradiometria de reflectância é uma técnica eficaz.

A partir dos resultados obtidos por DRX verificou-se a correspondência com a biblioteca espectral da USGS e amostras de solo, o teste RMSE raiz do erro médio quadrático da diferença, a fim de averiguar a dimensão dos dados observados (minerais da biblioteca e preditivos minerais das amostras de solo). Os valores totais obtidos no RMSE variaram de 0,07 a 0,30. Os valores mais significativos foram para os minerais montmorillonita, com RMSE predominante em todos os horizontes 0,07. A albita obteve um RMSE = 0,15 em quase todos os perfis, quanto mais perto de 0, menor é o erro entre as variáveis. (Apêndice A)

4.3.3. Variação do comportamento espectral dos solos ao longo da topossequência

A partir da análise conjunta dos perfis apresentados, observou-se que os valores de profundidade de feição de todos os horizontes e perfis variaram de (0.44 a 0.95). As bandas que apresentaram maiores valores foram 400nm, 525nm em todas as amostras e as bandas que apresentaram menores valores foram 1650nm e 1775nm para todas as amostras. A profundidade de feição é uma indicação da quantidade do elemento químico, quanto mais próximo de 1, maior a proporção do elemento químico na banda espectral de sua absorção. (Apêndice B)

Os horizontes que obtiveram maior reflectância foram os horizontes C dos perfis 1 e 3 (apêndice E) isso decorre devido ao material mineralógico ser o mesmo, além de esse horizonte ser um corpo pedológico que tem o grau de intemperismo químico menor. De acordo com Oliveira (2008), o horizonte C é relativamente pouco afetado pelos processos pedogenéticos. Resultados encontrados por Demattê et al, (2015) corroboram o que foi identificado na topossequência em estudo. De modo geral, os solos com maior grau de intemperismo apresentam intensidade de reflectância mais baixa e feições de absorção menos pronunciadas.

Em ambiente semiárido o processo de alteração dos minerais pode ocorrer distintamente. A diferença entre o perfil 2 (Vertissolo), que possui horizonte Biv (mais espesso), e os perfis 1 e 3 (Cambissolo), com horizonte Bi, foi a disponibilidade de alteração do material de origem a partir do processo de hidrólise ainda pouco atuante. A granulometria fina da rocha no perfil 2 aumentou a superfície de contato e neoformação de argilominerais, favorecendo a uma textura franco argilosa. Nos perfis analisados há predominância os processos pedogenéticos, vertissolização (perfil 2), bissialitização (perfis 1, 2 e 3) e salinização (perfil 2).

No perfil 2, o processo pedogenético atuante foi o de vertização ou vertissolização que se refere à formação de características morfológicas vérticas, geralmente presentes em solos com predomínio de argilominerais expansivos, combinados com fendas profundas no subsolo e estrutura forte (KAMPF E CURI, 2012). Com a identificação da montmorillonita por meio da espectroscopia de reflectância e a associação ao atributo morfológico de superfície de fricção, teor de argila, é possível afirmar que a mineralogia contribuiu diretamente para a gênese dessa classe de solo Vertissolo. No perfil 3, o caráter vértico foi atribuído. As fendas iniciam no horizonte A e vão até o Bi, sendo a montmorillonita um dos minerais que proporciona essa característica morfológica. A profundidade de feição dos espectros deste perfil obteve maiores

valores nas bandas que correspondem a esse mineral, mas não o suficiente para classificá-lo como Vertissolo.

Em contrapartida, nas regiões tropicais, o intemperismo do material de origem em alto grau permite a instalação dos processos de dessilicação e de ferratização (KAMPF; CURI, 2012). Tendo em vista que muitos estudos voltados para a ciência do solo são voltados para as regiões tropicais, destaca-se a necessidade de ampliar os métodos pré-existentes.

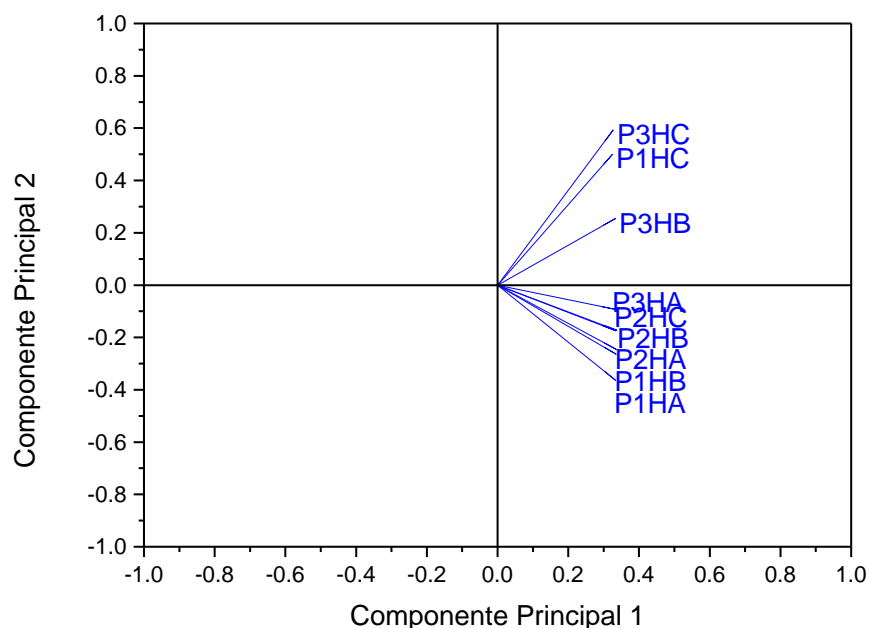
4.3.4 Análise de Componentes Principais auxiliares na interpretação da pedogênese

A Análise por Componentes Principais (ACP – PCA ou *Principal Components Analysis* em inglês) é uma técnica de análise estatística multivariada que tem como princípio determinar a variância existente dentro de um conjunto de variáveis ortogonais e, com base nesses valores, a covariância, reagrupando os dados (GALVÃO, 2001).

A partir das feições de absorção em reflectância dos perfis, foi realizada a análise de principais componentes. A CP1 explicou 96% da variância dos dados, e a CP2 explicou 4%. O diagrama de dispersão das CPs apresentou dois agrupamentos (Figura 4.4).

Figura 4.4 Distribuição CP 1 e CP2 dos espectros de reflectância topossequência Uauá

– BA



A CP1 foi predominante de horizonte C, dos perfis 1 e 3 (figura 4.4), e a similaridade espectral refletiu o material de origem diques máficos. A explicação para a presença do horizonte B do perfil 3 fazer parte do agrupamento é por ainda conter material de origem. CP 2 relacionou o horizonte A de todos os perfis, sendo a influência da matéria orgânica fundamental para esse agrupamento. O perfil 2 (Vertissolo) agrupou-se completamente, e essa resposta ocorre em função das características morfológicas e químicas serem semelhantes para todo o perfil. Segundo Galvão (2001), a composição mineralógica e química é o principal fator que influencia a resposta espectral dos alvos, porém, fatores como umidade e granulometria também podem ser importantes e decisivos no resultado da análise. Demattê et al (2017), ao aplicar a CP, teve como resultado 3 CP, sendo que a primeira foi definida pela reflectância e presença de matéria orgânica e as demais CP tiveram influência dos óxidos de ferro e minerais. Dentre os resultados o referido autor distinguiu solos de diferentes ambientes, a exemplo solos de regiões úmidas e secas, isso é possível devido as características que o hidromorfismo atribui ao solo no processo de redução de ferro. Já Viscarra Rossel et al (2009), utilizou o modelo de CP como etapa preliminar para predição dos teores de argila nos solos por espectroscopia de reflectância. Diante do exposto, observa-se que a análise multivariada utilizada tem sido referenda para aplicações de dados de solos espectrais.

4.4 CONCLUSÃO

1. A espectroscopia de reflectância foi eficiente na identificação de argilominerais no solo, em contrapartida a identificação da Caulinita no horizonte C do perfil 3 por DRX foi um equívoco da técnica. Por se tratar de solos jovens e um horizonte com expressão do material parental, esse mineral não corresponde aos resultados obtidos em campo e por espectroscopia de reflectância. Desse modo recomenda-se a espectroscopia de reflectância para identificação de argilominerais em solos jovens.
2. Todos os solos apresentaram, em maior ou menor grau, processos de bissialitização e vertissolização como principais responsáveis para a sua formação em diferentes estágios de desenvolvimento, sendo estes diretamente associados ao ambiente semiárido onde os solos se encontram. O processo de bissialitização foi identificado a partir de atributos químicos, geoquímicos e principalmente devido a predominância dos argilominerais 2:1. A vertissolização nos perfis de solo foi identificado em atividade de campo e expressa no comportamento espectral dos solos por meio das feições de absorção dos argilominerais expansivo. A salinização no perfil 2 foi identificada por análise química das amostras de solo.
3. A aplicação de análises multivariadas de principais componentes dos dados espectrais teve como resultado o agrupamento dos horizontes C na CP 1, e agrupamento do perfil de Vertissolo e de horizontes A na CP 2. A separação de horizontes de solo por meio de dados espectrais afirma que propriedades pedológicas semelhantes podem apresentar características espectrais semelhantes. A exemplo a mineralogia que influenciou diretamente o comportamento espectral, permitindo que a CP verificasse essa semelhança e como resultado o agrupamento de horizonte C.
4. Os dados de correlação – moderada a alta dos espectros de laboratório com análise dos dados de fluorescência de raios-X – são um avanço para a espectroscopia de reflectância, uma vez que quanto mais forte a correlação dos dados espectrais com XRF é a sua identificação na amostra por meio da espectrorradiometria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, A. C. VIDAL TORRADO, P. Esmectitas, vermiculitas, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Orgs.). **Química e mineralogia do solo I**. SBCS: Viçosa, 2009.

BAPTISTA, G.M.M.; MADEIRA NETTO, J. S. SOUZA, D. T. M. **Reflectância dos solos**. In: MENESES, P. R. ALMEIDA T. BAPTISTA, G. M. M. (Org.). **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Texto, 2019.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Secretária Geral. Projeto RADAMBRASIL, Folhas SC 24/25 Aracaju/ Recife. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso do potencial da terra. Rio de Janeiro 1983. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/colecao_digital_publicacoes.php>. Acesso em: março. 2017.

CLARK, R. N. Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In: RENCZ, A. N. (Ed.). **Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for the Earth Sciences**, vol. 3, 1999.

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

DEMATTÊ, J. A. M. et al. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma toposequência em Piracicaba (SP). **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 679-688, 2015.

DEMATTÊ, J. A. M. et al. Genesis and properties of wetland soils by VIS-NIR-SWIR as a technique for environmental monitoring. **Journal of Environmental Management**, V. 197 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.014>>

DEMATTÊ, J. A. M.; TERRA, F. S. Spectral pedology: A new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations. **Geoderma**, v. 217-218, p. 190-200, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.11.012>>.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 Ed. Rio de Janeiro, 1997.

FERREIRA, S. P. **Estudo comparativo do pós-processamento estatístico aplicado ao modelo Brams**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. UFRGS, Porto Alegre, 2011.

GALVÃO, L. S.; PIZARRO, M. A.; EPIFHANIO, J. C. N. Variations in reflectance of tropical soils: spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 245-255. 2001. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00170-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00170-X)>.

HEIL, J.; HÄRING, V.; MARSCHNER, B.; STUMPE, B. Advantages of fuzzy k-means over k-means clustering in the classification of diffuse reflectance soil spectra: A case study with West African soils. **Geoderma**, v. 337, p. 11-21, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.004>>.

HUNT G. R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. **Geophysics**, v. 42, 1977.

HUNT, G. R.; SALISBURY J. W. Visible and Near-Infrared spectra of minerals and rocks: I silicats minerals. **Modern Geology**, v. 1, p. 283-300, 1970.

KAMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). **Pedologia: Fundamentos**. SBCE: Viçosa, 2012.

KAMPF, N.; CURI, N. MARQUES. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Orgs.). **Química e mineralogia do solo I**. SBCE: Viçosa, 2009.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciência dos Minerais**. 23. Ed. Bookman: Porto Alegre, 2012.

MENEZES, A. B. **O enxame de diques máficos de Uauá-BA: Caracterização Petrográfica e geoquímica**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação Mineral e Petrologia. Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 1992.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3 Ed. FEALQ: Piracicaba, 2008.

PASSOS, E.; BIGARELLA. Superfícies de Erosão. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2001.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações**. Editora UFLA: Lavras, 2005.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. Ed. Embrapa: Brasília, 2018. 353 p.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa Solos, 2015. 102p.

SEI, Secretária do Planejamento Ciência e Tecnologia. Mapa de tipologia climática koppen. 1998.

SOUSA JÚNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. M.; ARAÚJO, S. R. Modelos espectrais terrestres e orbitais na determinação de teores de atributos dos solos: potencial e custos. **Bragantia**, v.70, n.3, p.610-621, 2011

TERRA, F. S. Estudo da contribuição do comportamento espectral de diferentes substratos do bioma pampa na componente espectral dos modelos agrometeorológicos-espectrais. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e do Ambiente. UFRGS, Porto Alegre, 2007.

THOMPSON, A. J. B. Alteration Mapping in Exploration: Application of Short-Wave Infrared (SWIR) Spectroscopy. **SEG Newsletter**, n. 39, 1999.

TSAI, F.; PHILPOT, W. Derivative analysis of hyperspectral data. **Remote sensing Environment**, v. 66, p. 41-51, 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00032-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00032-7)>.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; CATTLE, S. R.; ORTEGA, A.; FOUAD, Y. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy. **Geoderma**, v. 150, n. 3-4, 2009.

CAPÍTULO 4

ARTIGO 3 - PEDOMETRIA APLICADA AO ESTUDO DA GÊNESE DE SOLOS NUMA PEDOLITOSEQUÊNCIA NO NORTE BAHIA ¹³

RESUMO: Compreender o processo de pedogênese é um desafio para os pedólogos, iniciando por levantamento de solos, trabalho de campo e classificação, em seguida associando aos processos que se estabeleceram para a gênese do solo em conjunto com os fatores de formação. Os métodos e procedimentos adotados para análise de solo se tornam caros e demandam tempo. A perspectiva do sensoriamento remoto hiperespectral de laboratório aliado a técnicas analíticas multivariadas vêm contribuindo para interpretações das propriedades pedológicas. Essas técnicas têm sido amplamente aplicadas a ambientes tropicais úmidos, assumindo a perspectiva de quantificação e análise de processos pedogenéticos, mas não tem sido utilizada nas regiões semiáridas. Diante desta lacuna o presente artigo tem como objetivo aplicar a Pedometria no estudo de pedogênese em ambiente semiárido. Foram classificados quatro perfis de solos de acordo com SBCS (propriedades químicas, físicas e morfológicas), mineralogia e geoquímica, em uma pedolitossequência de contato litológico gnaiss e calcário. Os espectros foram obtidos com o equipamento *Field Spec*® 3 Hi-Res (400-2500nm), e as interpretações foram realizadas a partir da morfologia das curvas espectrais com reflectância do contínuo removido e reflectância. Os resultados espectrais e analíticos laboratoriais foram submetidos a técnicas analíticas multivariadas de *clusters* e Principais Componentes, ambos, apresentaram resultados semelhantes, foram capazes de distinguir horizontes de solo. Os responsáveis pela discriminação de horizontes foram os constituintes: material de origem, matéria orgânica e teor de argila. Formaram 2 grandes grupos, grupo 1 de horizontes C e CR, sendo influenciado pelo material de origem e grupo 2 de horizonte A, sendo influenciado pela presença de matéria orgânica, dentro desse segundo grupo encontra-se também horizontes Bi de Cambissolo. Desse modo, compreende-se que os atributos pedológicos material de origem, matéria orgânica, textura podem ser identificados por espectrorradiometria VIS-NIR e contribuem para a compreensão da gênese dos solos do semiárido, como também para distinção de horizontes. Com a identificação de propriedades pedológicas por espectrorradiometria associada análise (química, física e morfológica) foi possível identificar a pedogênese atuante, NEOSSOLO REGOLÍTICO leptofragmentário sódico (RR1), (bissialitização e salinização), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico fragmentário hipocarbonático (CX2) (bissialitização, carbonatação), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta léptico hipocarbonático sálico (CX3) (bissialitização, carbonatação, salinização e início de argiluviação), CHERNOSSOLO RÊNDZICO órtico saprolítico (MD4) (bissialitização e calcificação).

Palavras-chave: Espectroscopia de Reflectância, Evolução dos solos, Semiárido.

¹³ Artigo submetido à avaliação ao periódico Anuário Instituto de Geociências:
<http://www.anuario.igeo.ufrj.br/principal.htm>

PEDOMETRY APPLIED TO SOIL GENESIS STUDY IN A PEDOLITOSEQUENCY IN NORTHERN BAHIA

ABSTRACT: Understanding the process of pedogenesis is a challenge for pedologists, starting with soil survey, fieldwork and classification, then associating with the processes that have been established for the genesis of the soil together with the formation factors. The methods and procedures adopted for soil analysis become expensive and time-consuming. The perspective of laboratory hyperspectral remote sensing combined with multivariate analytical techniques has contributed to the interpretation of pedological properties. These techniques have been widely applied to humid tropical environments, assuming the perspective of quantification and analysis of pedogenetic processes, but have not been used in semiarid regions. In view of this gap, this article aims to apply Pedometry in the study of pedogenesis in a semiarid environment. Four soil profiles were classified according to SBCS (chemical, physical and morphological properties), mineralogy and geochemistry, in a pedolitosequence of lithological contact with gneiss and limestone. The spectra were obtained with the *Field Spec*® 3 Hi-Res equipment (400-2500nm), and the interpretations were performed from the morphology of the spectral curves with continuum removal and reflectance. The spectral and analytical laboratory results were subjected to multivariate analytical techniques of clusters and Main Components, both of which presented similar results, and were able to distinguish soil horizons. The responsible for the discrimination of horizons were the constituents: source material, organic matter and clay content. They formed 2 large groups, group 1 of horizons C and CR, being influenced by the source material and group 2 of horizon A, being influenced by the presence of organic matter, within this second group are also horizons Bi de Cambissolo. In this way, it is understood that the pedological attributes material of origin, organic matter, texture can be identified by VIS-NIR spectroradiometry and contribute to the understanding of the genesis of semiarid soils, as well as to distinguish horizons. With the identification of pedological properties by spectroradiometry associated with analysis (chemical, physical and morphological), it was possible to identify the active pedogenesis, sodium leptofragmentary REGOLITIC NEOSOL (RR1) (bisalitization and salinization), HAMPLIC CHAMBISOLO Hutrophic fragmentary hypocarbonatic (BX2) (carbonation), HAMPLIC CAMBISSOL Hepatic carbonate lactic (CX3) (bisialitization, carbonation, salinization and beginning of argiluviation), RENDZIC CHERNOSSOL saprolitic orthotic (MD4) (bisialitization and calcification).

Key words: Reflectance Spectroscopy, Soil evolution, Semi-Arid.

5.1 INTRODUÇÃO

A Pedoesfera é um ambiente de interface entre diversas esferas terrestres, sendo utilizada para estudo pedológico como escala em nível continental. Trata-se de um conceito que está diretamente ligado a uma visão sistêmica. No contexto dessa visão, há o processo de formação dos solos e a troca de matéria e energia entre seus fatores de formação de modo organizado e complexo.

Hierarquizar a dimensão escalar do sistema solo é a melhor maneira para compreender a interface e integração entre os seus componentes. A escala adotada é de sistema Polipedon, que são porções da pedoesfera Kampf e Curi (2012). De modo geral, utiliza-se a escala de topossequências para o estudo de pedogênese dos solos, partindo do pressuposto que o relevo, enquanto fator de formação, é um condicionante relevante na definição das classes de solos devido à circulação lateral e superficial da água na vertente. Essa abordagem não será adotada no presente artigo.

Com o objetivo de refletir sobre a pedogênese dos solos do semiárido, bem como analisar os fatores de formação, clima e material de origem como potencializadores no desenvolvimento de solos “tipicamente” de ambientes áridos, surge a proposta de um novo termo: pedolitossequência, sendo já utilizado por Demattê et al (2012), entretanto a conotação que aqui está sendo aplicada, a priori, em ambiente semiárido, tem, como conjectura, a pedogênese como alteração das rochas e dos minerais em contato com a água e atividade biológica, e a topografia como um fator passivo no processo, influenciando pouco na formação dos solos.

O desenvolvimento dos solos recebe influência, principalmente, da rocha e dos minerais em conjunto com os paleoclimas. Nesse contexto, tem-se como objetivo analisar a capacidade da espectroscopia de reflectância em diferenciar propriedades pedológicas e pedogênese a partir de técnicas estatísticas multivariadas. Também espera-se avaliar a aplicação do conceito de pedolitossequência.

A escolha da área para o estudo foi de uma área de contato litológico com a rocha metamórfica (gnaisse) e sedimentar Carbonato no município de Juazeiro-BA, o relevo predominante é de pedimentos funcionais retocados por drenagem incipiente.

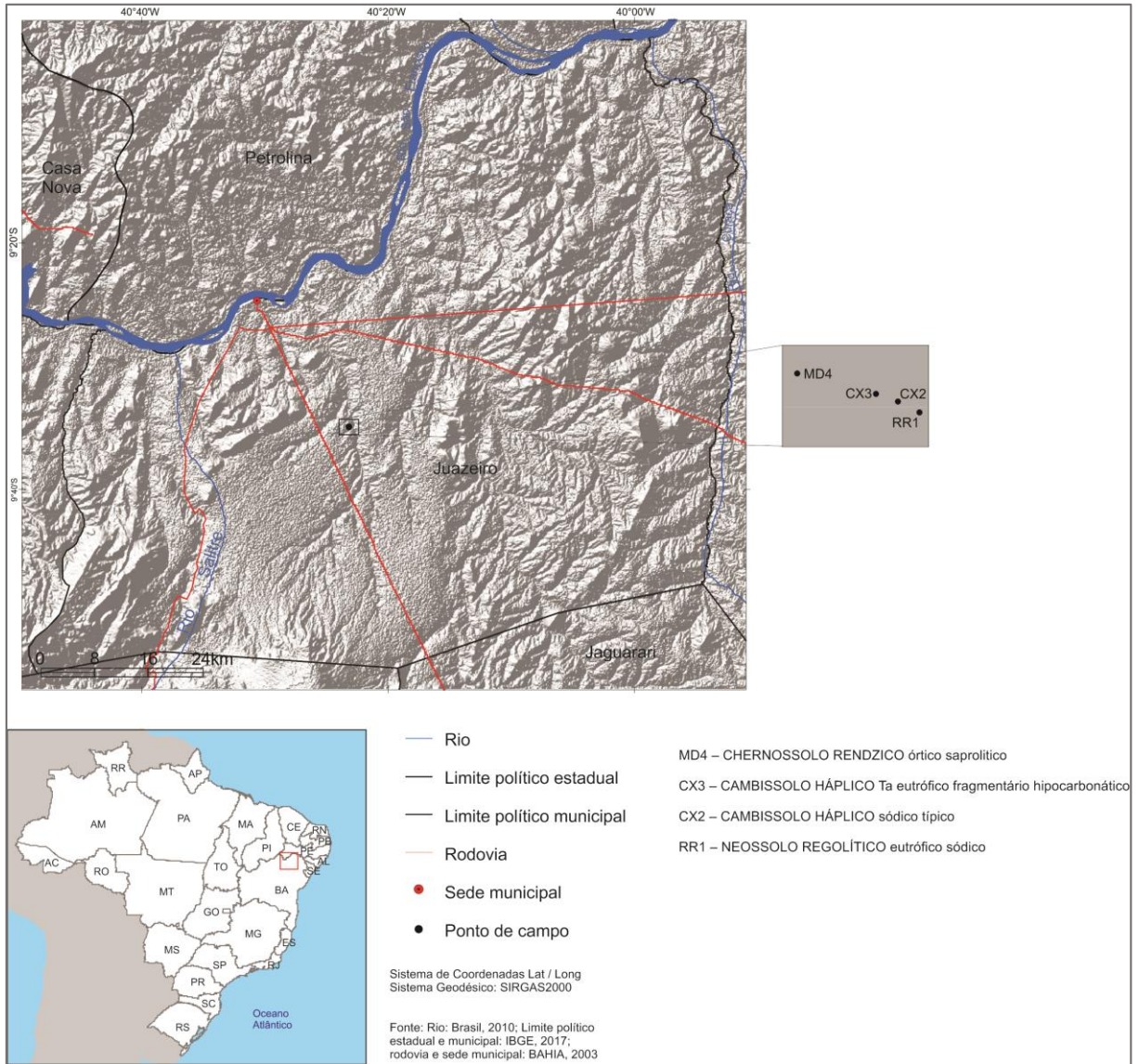
5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização da área

O município de Juazeiro está inserido na porção norte do estado da Bahia e tem como sua principal atividade econômica a agricultura. As condições geoambientais (solo, água e clima) favorecem o seu desenvolvimento. Essa região também é conhecida pela fertilidade natural dos solos, que são favorecidos por dois fatores: tipo de rocha e clima semiárido. Localizada em um contato litológico de rochas sedimentares, ígneas e metamórficas, apresenta uma abundância de minerais constituintes de rochas. Porém, é de uma rocha específica que a atividade agrícola extrai condições de solos altamente férteis. As rochas carbonáticas da Formação Caatinga (rochas sedimentares – calcário) tem como mineral predominante a calcita. Ricas em Ca e Mg, conferem ao solo, em conjunto com outros elementos processos químicos em solução, uma fertilidade natural elevada.

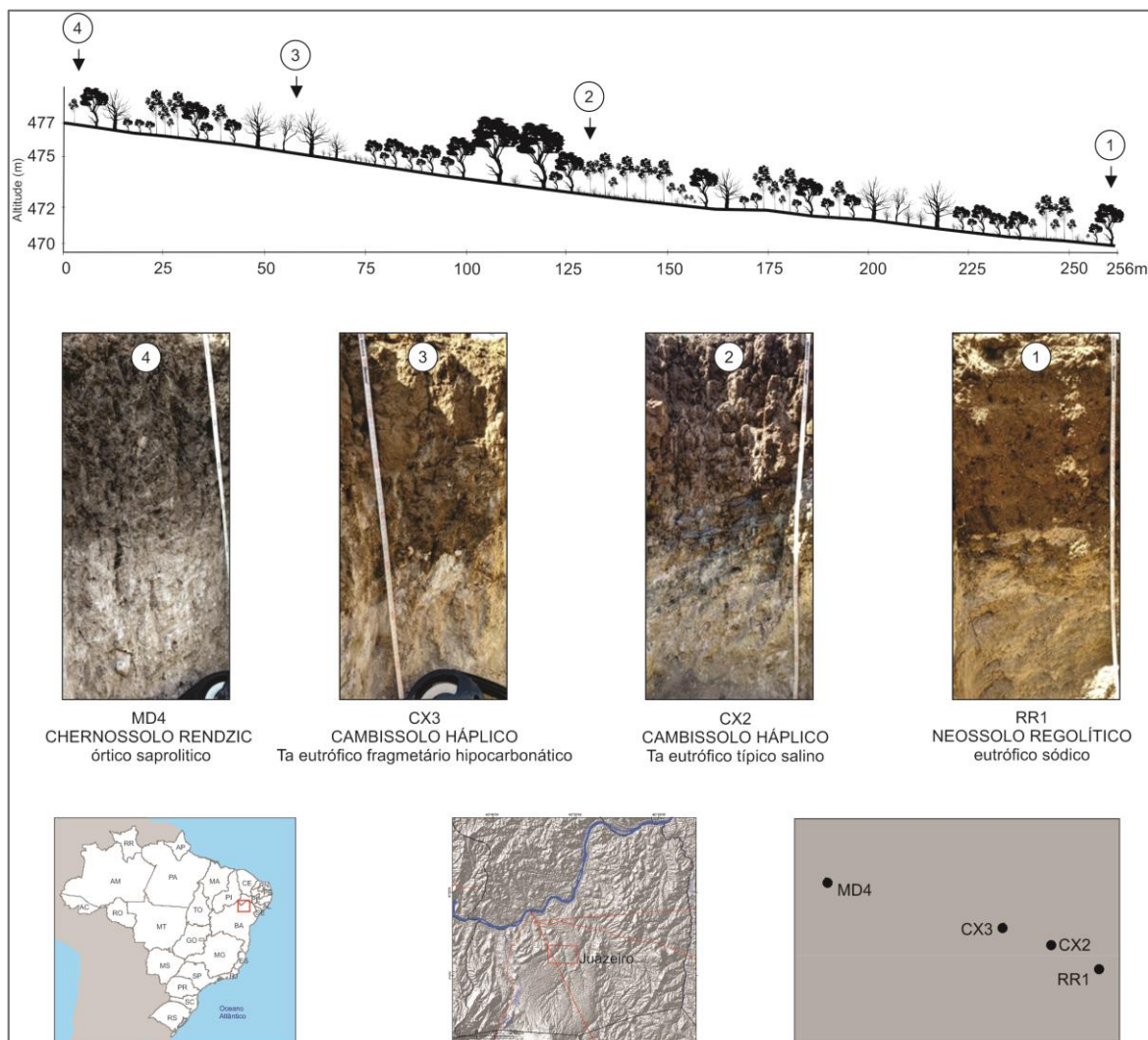
A unidade geomorfológica na qual a pedolitossequência se encontra é dos Pedimentos funcionais retocados por drenagem incipiente, relevo de superfícies aplainadas e degradadas. A figura 5.1 apresenta a espacialização dos solos na pedolitossequência.

Figura 5.1 Mapa de localização Pedolitossequência no município de Juazeiro – BA



A extensão total da pedolitossequência é de 263m (figura 5.2). Foram descritos 4 perfis de solos conforme Manual de Descrição e Coleta de Solos em Campo (Santos et al, 2015) e classificados com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al, 2018). Em campo, foram definidas as propriedades morfológicas e coletadas 12 amostras, uma por horizonte de solo, sendo 3 amostras para cada perfil. A Pedolitossequência tem orientação longitudinal N-S.

Figura 5.2 – Espacialização dos perfis de solo da Pedolitossequênia Juazeiro-BA



Os perfis amostrados ocuparam diferentes posições, optando-se por analisar da base ao topo. A descrição dos perfis na primeira ordem é a seguinte: RR1 Neossolo, base da vertente; CX2 Cambissolo, meia encosta; CX3 Cambissolo, terço superior da encosta e MD4 Chernossolo (topo). A distância do perfil 1 até o perfil 2 foi de 120 metros, do perfil 2 ao 3 ao perfil, 70 metros e distância do perfil 3 para o perfil 4 é de 73 metros, relevo suave ondulado. A não linearidade da distância dos perfis deveu-se à topografia e à distinção de classes de solos

5.2.2 Análises laboratoriais

Foram determinadas as análises químicas, físicas e geoquímicas. As **análises químicas** foram: pH em KCl; Acidez potencial pelo método de Acetato de cálcio tamponado a pH 7,0;

Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis extraídos por KCl 1 mol L⁻¹; Na²⁺ e K⁺ trocáveis extraídos por Mehlich1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹) e determinados por espectrofotometria de chama. O fósforo disponível foi extraído com solução de Mehlich1 e determinado por colorimetria, condutividade elétrica por extrato de saturação e equivalente de Carbonato de Cálcio. A partir dos resultados obtidos foram calculados soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), percentagem de magnésio trocável (Mg%) e índice de saturação de sódio, conforme a metodologia da Embrapa (1997). **Análise física:** Densidade do solo por balão volumétrico, porosidade total % por método mesa de tensão, e granulometria, areia total, silte e argila (a dispersão da argila foi em hexametáfosfato) (EMBRAPA, 1997). Ambas análises foram realizadas no laboratório de Solos – Embrapa Semiárido- Petrolina/ PE

Análise de Difractometria de Raio X foi aplicada para identificação dos minerais, os métodos utilizados: amostra total, etileno glicol, glicerol e aquecimento a 400°C. O procedimento ocorreu no equipamento difratômetro RIGAKU – ULTMA IV, operando com tubo de cobre e filtro de níquel, sob 30 kV e 15 mA DRX, Laboratório de Difração de Raio X – Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicada e Geodinâmica – UnB. Os resultados foram interpretados pelo software Jade. **Análise de Fluorescência de Raio X** foi realizada no Laboratório de Geocronologia – UnB. O procedimento para preparação das amostras foram: terra fina seca ao ar e pulverização. As leituras foram realizadas no equipamento espectrômetro de FRX simultâneo *Axios FAST*. Os elementos químicos determinados foram: percentagem de SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, LOI (perda ao fogo), Sr, Ni e Ba.

Para análise de **espectroscopia de reflectância** as amostras foram destorroadas, peneiradas em uma malha de 2mm, alocadas em uma placa de *petri* e secas a 45° graus por 24 horas. Em seguida foi realizada a leitura espectral no Laboratório de Espectrorradiometria do Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Ciências da Terra e do Ambiente na Universidade Estadual de Feira de Santana. O equipamento utilizado *ASD FieldSpec 3*, que abrange o intervalo de 400 a 2500 nanômetros. A interpretação espectral foi realizada a partir das bandas de absorção, morfologia das absorções, reflectância, segunda derivada no *software View Spec Pro* e aplicação do contínuo removido no Envi 5.1. Esse é um procedimento que auxilia na interpretação das feições de absorção, normalizando o espectro e extraindo todos as interferências. Tal técnica evidencia os processos moleculares na faixa do SWIR e as transições eletrônicas na faixa VNIR

a) Análises Estatísticas

Para análise estatística foram utilizadas 4 metodológicas para obter informações diferentes dos dados espectrais, a primeira metodologia foi verificação da normalidade dos dados espectrais de solo, fluorescência de raio X, físicos e químicos. Os dados foram submetidos a teste de hipótese e normalidade. Foi aplicado o teste de normalidade *shapiro wilk* no conjunto de 17 bandas espectrais, por se tratar de dados hiperespectrais, foi escolhido o intervalo fixo que abrangesse todo o espectro eletromagnético sem utilizar toda a curva espectral. Os dados espectrais para a correlação foram das feições de absorção em reflectância com e sem remoção do contínuo nas bandas: 400, 525, 650, 775, 900, 1025, 1150, 1275, 1400, 1525, 1650, 1775, 1900, 2025, 2150, 2275, 2330 e 2400 nm, dados de XRF, química e física, resultando em uma distribuição não paramétrica. A segunda metodologia foi a correlação tau de *Kendall* nas feições espectrais em reflectância com e sem remoção do contínuo *versus* percentagem dos resultados de XRF, química e física do solo. O objetivo foi identificar quão correlacionáveis são as informações espectrais com a geoquímica, química e física dos solos.

A terceira metodologia aplicada teve como objetivo verificar se há tendências de agrupamentos de solo por classes ou horizontes ou demais atributos. Para realização do método de *Clusters Ward* com distância euclidiana, foram utilizadas as feições espectrais em reflectância sem remoção do contínuo das amostras foram extraídas dos 4 perfis de solos, totalizando 12 amostras de solo. O software utilizado foi o Bioestat 5.1.

A quarta metodologia empregada foi de análise de Componentes Principais (ACP) tem como objetivo tomar conhecimento da estrutura dos dados buscando visualizar similaridades e diferenças entre um conjunto de amostras em estudo e reduzir a dimensionalidade desses os dados Silva et al (2020). Os dados aplicados a esse procedimento foram das feições espectrais em reflectância das 17 bandas citadas acima. O software utilizado foi Origin 9.0 (versão gratuita)

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perspectiva da inserção e discussão do conceito de pedolitossequência é ainda pouco explorada. Neste trabalho, adota-se a hipótese de que o material de origem é o elemento

fundamental no processo de pedogênese, em que, a partir das mudanças litológicas, ocorre mudança nas classes de solos.

5.3.1 Caracterização pedológica e espectral da pedolitossequência

O perfil RR1 localizado na base da vertente foi classificado como NEOSSOLO REGOLÍTICO leptofragmentário sódico (Figura 5.1). O material originário desse perfil é o gnaisse, com bandamentos pouco marcantes devido ao grau de alteração da rocha. Os minerais predominantes identificados na difratometria de raio X foram albita, vermiculita¹⁴, quartzo, calcita e muscovita (tabela 5.1). Nos horizontes A e C, para o horizonte R, ocorre a substituição da albita por anortita, ambas pertencentes ao grupo dos plagioclásios. A albita é rica em sódio, e a anortita é rica em cálcio, embora a última possa também apresentar substituição isomórfica por (sódio) Na. O grau de desenvolvimento do perfil é pouco avançado, não possuindo o suficiente para o desenvolvimento da cor e de estrutura. O caráter solódico presente nos horizontes C e R é decorrente da intemperização química incipiente e concentração de sais, com destaque para os valores de IsNa (tabela 5.2), pode-se ainda afirmar o grau de halomorfismo.

Tabela 5.1: Atributos morfológicos e mineralógicos Pedolitossequência Juazeiro – BA

Horizonte	PF	ESP	Color	Estrutura	Minerais – Fração total e Argila
	Cm		Seco		
RR1 NEOSSOLO REGOLÍTICO leptofragmentário sódico					
A	10	10	10YR 5/6	Mod, Méd e BS	Quartzo, Caulinita, Muscovita, Vermiculita, Calcita, Albita, Microclino
C	50	40	10 YR 5/6	Fra, Méd e BS	Quartzo, Muscovita, Vermiculita, Calcita, Albita,
CR	100	50	2.5 7/2	For, Méd e Lam	Quartzo, Muscovita, Vermiculita, Calcita e Anortita
CX2 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico fragmentário hipocarbonático					

¹⁴ Mineral identificado por Difratometria de Raio X, não identificado por espectrorradiometria de reflectância. Trata-se de um mineral de alteração química de ambientes com maiores índices de pluviosidade e apresenta características espectrais específicas, desse modo, não foi considerado esse mineral presente na amostra.

A	10	10	2.5Y 4/4	For, Gra, BS	Quartzo, Muscovita, Goethita, Vermiculita, Anortita, e Halita
Bi	34	24	10YR 4/3	For, Gra e Pri	Quartzo, Muscovita, Vermiculita, Calcita, Anortita, Magnésiohornblend e Hematita
Crk	94	60	2.5Y 8/2	Mod, Gra e Lam	Quartzo, Muscovita, Vermiculita, Anortita, Calcita e Magnésiohornblend
CX3 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta léptico hipocarbonático sálico					
A	10	10		Mod, Méd e BS	Quartzo, Caulinita, Muscovita, Calcita, Vermiculita, Rutilo e Albita
Bi	50	40		Mod a For, Gra e Col	Quartzo, Caulinita, Muscovita, Vermiculita, Rutilo e Albita
Cr	80	30		Mod, Fra,BA	Caulinita, Muscovita, Vermiculita, Calcita, Albita, Microclino
MD4 CHERNOSSOLO RÊNDZICO órtico saprólítico					
A	40	40	1For Gley 4/10y	Mod, Peq e BA	Quartzo, Caulinita, Muscovita, Vermiculita, Calcita, Albita e Microclino
AC	60	20	2For Gley 4/5 BG	For, Méd e BA	Quartzo, Muscovita, Vermiculita, Calcita, Albita e Microclino
C	90	30	2 ForGley 8/5PB	Mod Peq e Gr	Quartzo, Muscovita, Vermiculita, Calcita

Fra - Fraca; Mod - Moderada; Gra - Grande; Gr - Granular; Mac - Maciça; Peq - Pequena; Méd - Média; BA - Bloco Angular; BS - Bloco Subangular; Pri - Prismática;
CS: Cerosidade

No perfil CX2, classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico fragmentário hipocarbonático (Figura 5.1), material de origem gnaiss, os minerais identificados por DRX foram: no horizonte A quartzo, muscovita, goethita, vermiculita anortita e halita; no horizonte B, quartzo, muscovita, vermiculita, calcita, anortita, magnésiohornblend, hematita; no horizonte C, quartzo, muscovita, vermiculita, calcita, anortita e magnésiohornblend. Houve predominância de minerais primários em todo o perfil, característico de horizontes B incipiente, embora apresente estrutura em blocos e o grau forte, demonstrando a agregação das argilas.

O perfil 3, CAMBISSOLO HÁPLICO Ta léptico hipocarbonático sálico (com caráter salino) (Figura 5.1), material de origem Carbonato, com declividade quase nula e horizonte diagnóstico B incipiente. A fonte do caráter salino é o intemperismo de minerais primários e a permanência desses sais no solo, esse caráter é verificado pelo teor de IsNa (tabela 5.2). Uma vez no solo, os sais são prontamente removidos com fluxo de água saturado ou não saturado e precipitam quando é excedido o seu produto de solubilidade (KAMPF e CURI, 2012). Os sais presentes foram disponibilizados pelos minerais calcita e albita identificados DRX. No horizonte A, quartzo, caulinita, muscovita, vermiculita, rutilo e albita; no horizonte B, quartzo, caulinita, muscovita, vermiculita, rutilo e albita; e no horizonte C, caulinita, muscovita, vermiculita, calcita e albita (tabela 5.1). A textura é franco-arenosa ou mais fina, incremento de argila total do horizonte A para B, embora seja insuficiente para configuração de horizonte B textural. A relação textural B/A foi de 1,67, sendo a saturação de bases também alta (tabela 5.3).

Tabela 5.2 Atributos Químicos da Pedolitossequência Juazeiro – BA

Amostra	pH	C.E.	Equivalente Carbono	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	IsNa
	-	4dS/m		$mg\ dm^{-3}$			$cmol\ c\ dm^{-3}$						%	
1A	8.0	17.39	75,75	3.30	0.10	0.40	13.0	4.20	0.00	0.5	17.7	18.2	97.4	2.20
1 C	9.0	142.3	79,91	3.66	0.10	1.00	3.8	1.30	0.00	0.0	6.2	6.2	100.0	16.13
1 CR	9.0	106.6	81,91	1.86	0.10	1.00	2.4	1.40	0.00	0.0	4.9	4.9	100.0	20.41
2A	7.2	14.36	76,23	11.15	0.20	0.30	14.7	3.40	0.00	0.5	18.6	19.1	97.5	1.57
2Bi	7.0	69.24	75,79	1.64	0.10	0.50	36.8	5.20	0.00	0.0	42.6	42.6	100.0	1.17
2Cr	7.5	22.6	82,38	0.63	0.70	1.00	36.0	3.20	0.00	0.0	40.9	40.9	100.0	2.44
3A	7.8	28.58	76,23	6.90	0.50	0.30	16.1	2.20	0.00	0.0	19.1	19.1	100.0	1.57
3Bi	7.2	145.3	74,99	0.27	0.20	0.50	19.5	2.00	0.00	0.0	22.2	22.2	100.0	2.25
3Cr	7.3	227	81,22	1.28	0.10	1.40	10.5	2.60	0.00	0.0	14.6	14.6	100.0	9.59
4A	7.9	18.62	81,29	8.70	0.40	0.30	20.2	6.60	0.00	0.0	27.5	27.5	100.0	1.09
4AC	7.4	112.2	81,91	0.06	0.10	0.30	27.5	1.70	0.00	0.0	29.6	29.6	100.0	1.01
4Cr	7.2	225	81,38	2.58	0.10	0.40	20.5	2.10	0.00	0.5	23.1	23.6	98.0	1.69

Perfil MD4, CHERNOSSOLO RÊNDZICO órtico saprolítico (figura 5.1), material de origem Carbonato, foi classificado a partir do horizonte diagnóstico A chernozêmico, cuja principal característica é a presença de matéria orgânica decomposta, atribuindo cor escura. Esse atributo diagnóstico pode ser identificado pela cor e teor de Carbono orgânico. Neste trabalho, a definição se deu pela cor utilizando a cartela de Munsell. Nos atributos químicos, destaca-se a alta saturação de bases (tabela 5.2). Horizonte C carbonático ou cálcico, contudo, assumiu-se o caráter carbonato, devido ao teor de CaCO_3 81,38 g/ Kg (tabela 5.2). Apesar de não se utilizar dados geoquímicos na atribuição de subgrupo, destacamos os valores de CaO, 27,23% (tabela 5.4) da amostra analisada por fluorescência de raio X, e, para além dos dados, a presença de calcita, sendo identificada por espectroscopia de reflectância e difratometria de raio X. No âmbito agrícola, são solos quimicamente ricos, embora não tenham maior abrangência espacial.

Tabela 5.3 Atributos físicos Pedolitossequência Juazeiro-BA

Hz	Solo	Partículas	Total (%)	A. Total	Silte	Argila	Classe Textural	Gradiente textural B/A	Transição
	(kg/dm ³)			(g/kg)					
RR1 – NEOSSOLO REGOLÍTICO leptofragmentário sódico									
A	1.49	2.52	40.95	809.0	74.8	116.2	Areia franca		Plana e clara
C	1.26	2.75	54.12	741.8	173.8	84.5	Areia franca		Descontínua e difusa
CR	1.28	2.70	52.46	837.4	135.7	26.9	Areia franca		
CX2 - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico fragmentário hipocarbonático									
A	1.35	2.37	42.93	637.8	198.9	163.3	Franco arenoso		Plana e gradual
Bi	1.32	2.37	44.19	533.6	232.9	233.5	Franca	1.42	Difusa e irregular
Crk	1.22	2.55	52.10	521.2	378.2	100.6	Franca		
CX3 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta léptico hipocarbonático sálico									
A	1.42	2.53	43.83	665.7	176.8	157.5	Franco arenoso		Plana e Gradual
Bi	1.22	2.45	50.03	554.7	181.8	263.5	Franco argilo arenosa	1.67	Irregular e Difusa
Cr	1.37	2.50	45.25	797.0	141.3	61.7	Areia franca		
MD4 – CHERNOSSOLO RÊNDZICO órtico saprólítico									
A	1.29	2.54	49.16	603.1	189.7	207.2	Franco argilo arenosa		Plana e Difusa
AC	1.26	2.45	48.74	481.3	270.9	247.9	Franca		Ondulada e Difusa
Cr	1.22	2.48	50.99	394.7	383.4	221.9	Franca		

Tabela 5.4 Atributos Geoquímicos Pedolitossequência Juazeiro – BA

	RR1 A	RR1 C	RR1 CR	CX2 A	CX2 Bi	CX2 Cr	CX 3 A	CX 3 Bi	CX 3 Cr	MD4 A	MD4 AC	MD4 Cr
SiO ₂	73.52	38.21	37.53	67.33	62.40	34.70	71.34	67.15	43.16	67.63	52.75	34.77
Al ₂ O ₃	13.14	8.89	8.34	14.20	15.63	10.27	14.63	16.29	10.56	13.49	11.64	7.20
MgO	0.60	1.47	1.76	1.07	2.20	2.35	0.68	0.90	0.74	1.40	1.23	0.86
Fe ₂ O ₃	4.04	4.02	4.49	5.61	8.02	6.74	4.05	4.80	1.80	4.45	4.13	2.38
CaO	2.27	22.62	21.33	2.25	2.95	22.76	2.14	2.15	19.89	3.19	13.57	27.23
Na ₂ O	2.85	2.17	2.19	2.68	2.04	1.05	2.57	2.46	2.21	2.16	1.34	0.93
K ₂ O	1.90	1.72	1.75	1.92	1.32	0.33	2.02	1.97	2.43	1.79	1.25	0.83
TiO ₂	0.49	0.50	0.63	0.63	0.77	0.69	0.55	0.60	0.21	0.60	0.52	0.30
P ₂ O ₅	0.04	0.29	0.41	0.05	0.03	0.05	0.04	0.04	0.15	0.05	0.05	0.04
MnO	0.06	0.05	0.06	0.09	0.12	0.09	0.06	0.07	0.04	0.07	0.07	0.04
LOI*	2.96	19.47	18.32	5.71	6.45	21.03	4.43	5.88	18.16	6.94	14.42	24.68
Total	101.8 7	99.42	96.80	101.5 3	101.9 1	100.0 6	102.5 0	102.3 0	99.34	101.7 8	100.9 6	99.26
Sr <i>ppm</i>	652.4 7	387.6 9	394.7 9	544.7 4	405.2 1	140.6 6	606.5 8	575.2 6	396.2 6	535.3 2	303.7 3	175.1 0
Ni <i>ppm</i>	11.11	9.08	9.56	24.76	52.10	55.14	14.66	17.34	2.88	19.98	25.35	7.69
Ba <i>ppm</i>	449.6 7	199.9 1	244.2 8	415.2 0	375.1 5	50.56	365.8 8	407.6 3	360.2 6	287.3 0	160.0 0	11.09

* LOI – Perda ao fogo

Em relação aos dados espectrais, a figura 5.3, apresenta os espectros em fator de reflectância e fator de reflectância com remoção do contínuo dos perfis da pedolitossequência. O perfil 1 NEOSSOLO REGOLÍTICO leptofragmentário sódico apresentam fator de reflectância em 0.8% para os horizontes Bi e Cr do perfil 1, sendo essa característica decorrente do material mineral presente no corpo pedológico com predominância de calcita e albita, oferecendo aos solos coloração branca e ao espectro maior albedo. Exibem absorções expressivas nas bandas 1400, 1900 e 2205 nm. São bandas correspondentes a OH, H₂O e OH-Al, a feição de absorção intensa em 1900nm, refere-se a presença de argilominerais expansivos, que entre camada na estrutura cristalina tem moléculas de H₂O ligadas a cátions Ca, Mg. Desse

modo, pode-se afirmar que, em 1900 nm, a água estrutural está ligada a um cátion que compõe um mineral secundário 2:1.

Esse perfil apresenta absorções específicas da presença da muscovita nas bandas 2300nm e 2330nm, dos horizontes C e Cr. Hunt (1977; 1979), afirma que alguns minerais apresentam características nítidas, a exemplo os argilominerais pertencentes ao grupo OH, pois essa molécula tem feição de absorção clara na faixa do infravermelho próximo, nessa faixa há também a identificação de minerais de mica e anfibólios. Presente na composição química desses minerais citados o alumínio apresenta absorções próximas de 2200nm, e o magnésio as absorções próxima de 2300 nm. Um outro grupo de minerais que apresenta intensa absorção é dos carbonatos, desse grupo foi identificado a calcita, as principais feições espectrais estão expressas entre 1800 a 2500nm, devido às vibrações moleculares de duplo tom de combinação.

Já o perfil CX2 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico fragmentário hipocarbonático a intensidade de reflectância está exibida no horizonte C, decorrente da presença de minerais que aumentam a intensidade de reflectância (albita e calcita) em seguida o segundo espectro com maior fator de reflectância foi o horizonte A, normalmente os horizontes A apresentam menor intensidade de reflectância decorrente da presença de matéria orgânica, entretanto, devido ao teor de areia presente na amostra em comparação com o horizonte B, essa propriedade contribuiu para interferir no resultado. O horizonte B, apresenta translocação da argila, não o suficiente para caracteriza-lo como B textural, contudo, tal características foi apresentado na reflectância espectral, nas feições de absorção correspondentes aos argilominerais. Quando aplicado a remoção do contínuo, os horizontes B e C apresentam morfologia e absorção dos minerais montmorilonita e calcita. As absorções mais evidentes da calcita ocorrem em 1800 e 2348 nm, conforme sugere por, Baptista, Madeira Netto e Souza (2019).

Os perfis CX3 e MD4, apesar de serem classes pedológicas distintas, ambos são originados do mesmo material de origem – Carbonato. Nos horizontes A de ambos os perfis apresentam semelhança espectral na morfologia das feições de absorção do VNIR/SWIR, decorrente da presença da matéria orgânica. Diferente do perfil 2 que apresentou intensidade de reflectância diferenciada entre os Hz. A e B devido a distinção do teor de argila, Hz¹⁵ Bi (CX3) e AC (MD4) apresentam teores de argila semelhante e com intensidade de reflectância distinta de 0.08% a mais para o Hz. AC (P4) isso decorre devido a diferenciação da propriedade entre horizontes, teor de CaO e Ca (valores mais altos no Hz AC – (MD4) (tabela 5.4 e 5.2

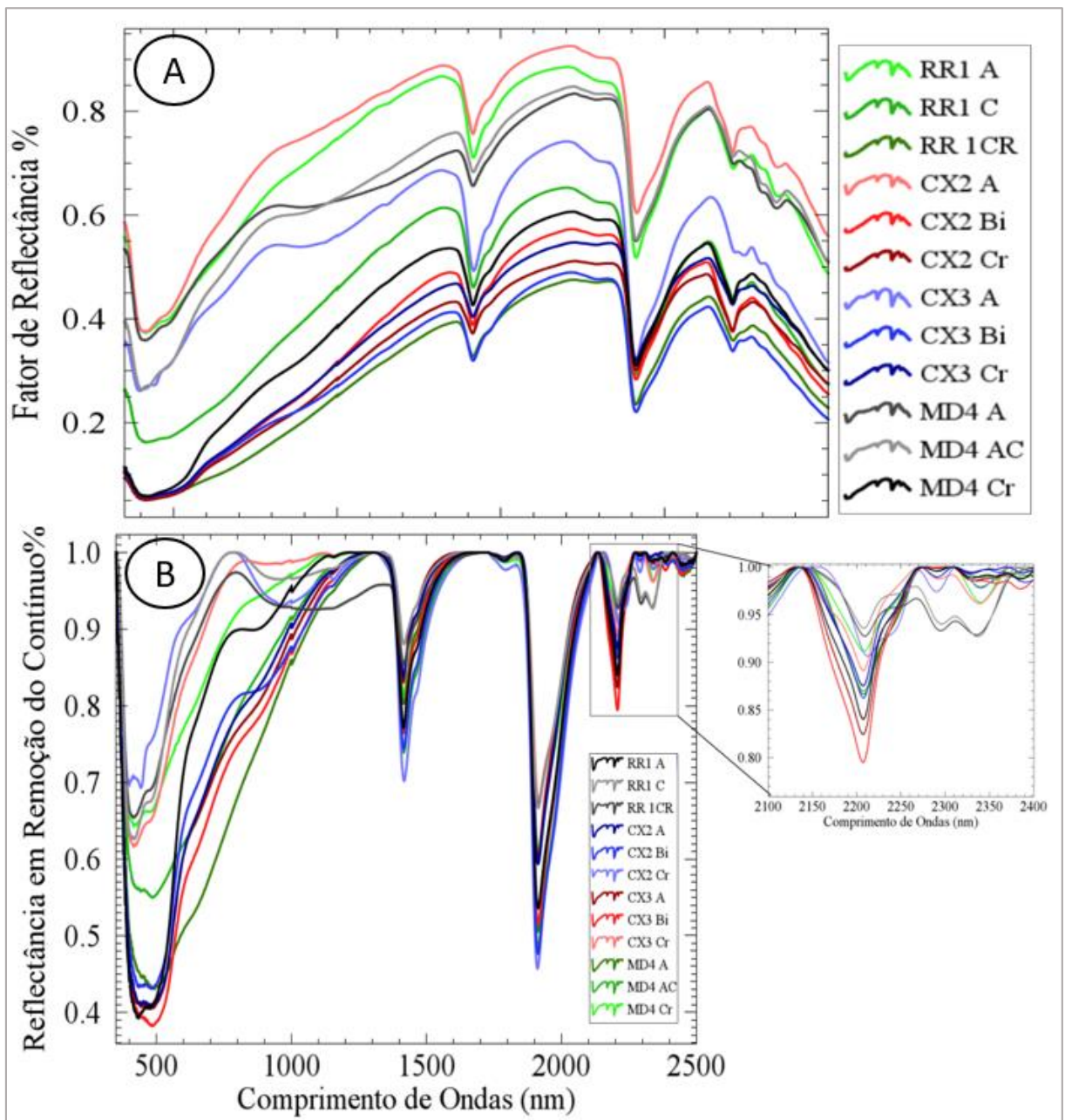
¹⁵ Hz - Horizonte

respectivamente) e a presença da calcita, expressa na feição espectral com remoção do contínuo centrada em 2336nm. Em suma, entre os dois espectros Bi (CX3) e Hz AC (MD4) o que prevaleceu para diferenciar a intensidade de reflectância e feições de absorção com remoção do contínuo foram os teores de CaO, Ca e calcita (tabelas 5.4, 5.2, 5.1).

Referente aos horizontes C dos perfis CX3 e MD4, o último é mais argiloso (221 g/kg) comparado ao horizonte Cr (CX3), teor de argila 61.7 g/Kg (tabela 5.3). Embora sejam espectros semelhantes a distinção dos teores de argila é pronunciada no espectro óptico refletido, na faixa de identificação dos argilominerais. Esse atributo confere ao espectro menor fator de reflectância e absorção intensa nas feições bandas 1416nm e 1913nm com remoção do contínuo espectral. Segundo Poppiel et al. (2017) os solos com textura mais argilosa tendem a apresentar um menor fator de reflectância na faixa do SWIR. As bandas dos argilominerais apresentam assimetria nas absorções, evidenciando a presença de argilas expansivas.

Mediante ao exposto pode-se afirmar que, propriedades pedológicas como textura, minerais, química e geoquímica influenciam diretamente na curva espectral dos solos, o que traz vantagem a técnica, por permitir analisar diferentes atributos pedológicos. Entretanto, há sugestão de interpretações comparativas quando se trata de mais de um espectro e validação com os dados de DRX, XRF, química e física do solo.

Figura 5.3 Espectros da Pedolitosequência Juazeiro – BA – A) Espectros em reflectância sem remoção do contínuo; B) Espectros em reflectância com remoção do contínuo



A caulinita e vermiculita foram identificadas por DRX, entretanto, esses argilominerais é produto de alteração intemperismo químico, espectralmente esses minerais tem feições de absorção específicas, o que não foi detectado no espectro óptico refletido. As feições de absorção que representam os argilominerais presentes nas amostras de solo detectam montmorillonita, argilomineral com caráter expansivo em presença de água. Desse modo afirma-se que ocorreu um equívoco das análises de DRX na identificação de Caulinita e Vermiculita, podendo afirmar que a espectroscopia de reflectância é uma técnica analítica promissora na detecção de argilominerais no solo.

5.3.2 Efeitos da física, química e geoquímica no comportamento espectral dos solos do semiárido

Os níveis de intemperismo e, conseqüentemente, os processos pedogenéticos produzem mudanças que refletem em seu comportamento espectral na profundidade do perfil (DEMATTÊ e TERRA, 2014). A espectroscopia de reflectância permite detectar as alterações do solo ao longo da topossequência através de variações em intensidade de reflectância, características de feições absorção e morfologia espectral. Essa perspectiva de trabalho vem sendo também desenvolvida por Demattê et al. (2017) e Demattê e Terra (2014).

Com a composição heterogênea dos solos, as absorções que são expressas refletem material orgânico, inorgânico, moléculas de água, textura, umidade, essas propriedades e composição influenciam diretamente no comportamento espectral. Assim, as propriedades físicas químicas e geoquímicas apresentam um efeito direto na curva espectral. Afim de verificar qual o efeito dos solos na curva espectral e analisar a eficiência da técnica ER foi realizado uma correlação de Tau *Kendall* com os atributos pedológicos física, química e geoquímica X feições de absorção em reflectância.

A tabelas 5.5 apresenta o coeficiente de correlação dos elementos químicos identificados por fluorescência de raio X e as feições espectrais em reflectância sem remoção do contínuo. Valores de correlação forte possibilitaram a determinação de elementos químicos com maior exatidão por meio da espectroscopia de reflectância (ER).

Quanto aos resultados obtidos pelo coeficiente de correlação XRF e dados espectrais, o que teve melhor desempenho foi o de **feições espectrais em reflectância sem remoção do contínuo** (tabela 5.5), correlação moderada com fator de significância $p < 0.05$, para os elementos químicos SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , P_2O_5 , MnO (tabela 5.5). É importante destacar

que no espectro óptico refletido no comprimento de 400 a 2500nm não se tem absorções do SiO₃. Os modos de combinações que podem aparecer no NIR estão perto de 1875nm; 1454nm, próximo de 1380nm, 1135nm, 942nm, podem estar diretamente ligadas a OH e a um cátion (Hunt, 1977). O resultado da correlação das feições espectrais em reflectância com remoção do contínuo e XRF (apêndice C) apresentaram correlação variando de positiva a negativa moderada para a banda 900 nos elementos SiO₂, Al₂O₃, CaO e MnO e na banda 1400 Fe₂O₃, TiO, MnO, as demais bandas e elementos químicos identificados por XRF não apresentaram correlação expressiva com os dados em reflectância com remoção do contínuo, Terra (2007) encontrou valores semelhantes para a banda 1900nm, SiO₂ apresentou os valores de coeficiente negativo mais elevado, seguido de Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, CaO e K₂O, o resultado encontrado por Terra (2007) na feição de absorção em 1900 está associada ao processo vibracional molecular provavelmente ocasionado pelo radical hidroxila ou pela existência de água adsorvida aos minerais argilosos formados por estes constituintes. Na literatura, os trabalhos que realizam a correlação de dados espectrais estão concentrados em análises químicas e físicas de solo (CEZAR et al, 2013), (SOUSA JUNIOR et al, 2011), (VISCARRA ROSSEL et al., 2009).

Tabela 5.5 Coeficiente de correlação de Tau *Kendall* Feições Espectrais em Reflectância com valores de Fluorescência de Raio X

nm	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Sr	Ni	Ba
400	-0.51*	-0.78*	0.12	-0.39	0.72*	-0.27	-0.33	-0.34	0.53*	-0.45*	-0.48*	-0.36	-0.39
525	-0.57*	-0.72*	0.06	-0.33	0.60*	-0.21	-0.27	-0.31	0.44	-0.42	-0.42	-0.36	-0.27
650	-0.51*	-0.66*	0.06	-0.33	0.54*	-0.15	-0.21	-0.31	0.44	-0.42	-0.36	-0.36	-0.21
775	-0.51*	-0.66*	0.00	-0.39	0.54*	-0.15	-0.21	-0.37	0.44	-0.48*	-0.36	-0.42	-0.21
900	-0.48*	-0.69*	-0.03	-0.42	0.51*	-0.12	-0.18	-0.40	0.46*	-0.51*	-0.33	-0.45*	-0.24
1025	-0.48*	-0.63*	-0.09	-0.48*	0.51*	-0.18	-0.18	-0.46*	0.40	-0.58*	-0.33	-0.51*	-0.30
1150	-0.48*	-0.63*	-0.09	-0.48*	0.51*	-0.18	-0.18	-0.46*	0.40	-0.58*	-0.33	-0.51*	-0.30
1275	-0.48*	-0.63*	-0.09	-0.48*	0.51*	-0.18	-0.18	-0.46*	0.40	-0.58*	-0.33	-0.51*	-0.30
1400	-0.42	-0.69*	-0.09	-0.48*	0.57*	-0.12	-0.18	-0.46*	0.46*	-0.58*	-0.33	-0.51*	-0.30
1525	-0.48*	-0.63*	-0.09	-0.48*	0.51*	-0.18	-0.18	-0.46*	0.40	-0.58*	-0.33	-0.51*	-0.30
1650	-0.48*	-0.63*	-0.09	-0.48*	0.51*	-0.18	-0.18	-0.46*	0.40	-0.58*	-0.33	-0.51*	-0.30
1775	-0.48*	-0.63*	-0.09	-0.48*	0.51*	-0.18	-0.18	-0.46*	0.40	-0.58*	-0.33	-0.51*	-0.30
1900	-0.24	-0.51*	-0.15	-0.48*	0.33	0.06	0.06	-0.40	0.50*	-0.54*	-0.15	-0.57*	-0.18

2025	-0.33	-0.60*	-0.06	-0.45*	0.48*	-0.03	-0.09	-0.43	0.50*	-0.54*	-0.24	-0.48*	-0.21
2150	-0.36	-0.63*	-0.03	-0.42	0.51*	-0.06	-0.12	-0.40	0.53*	-0.51*	-0.27	-0.45*	-0.24
2275	-0.39	-0.66*	-0.12	-0.51*	0.54*	-0.09	-0.15	-0.49*	0.44	-0.61*	-0.30	-0.54*	-0.27
2330	-0.33	-0.66*	-0.18	-0.51*	0.48*	-0.03	-0.09	-0.49*	0.44	-0.61*	-0.24	-0.60*	-0.27
2400	-0.27	-0.60*	-0.12	-0.45*	0.42	0.03	-0.03	-0.43	0.50*	-0.54*	-0.18	-0.54*	-0.21

*Valor de significância $p < 0.05$

Na tabela 5.6 é apresentado o coeficiente de correlação Tau de *Kendall* dos dados químicos e físicos com feições espectrais em reflectância. Das propriedades químicas, as bases trocáveis que apresentaram maiores valores foram: Na (sódio) ($\tau = 0,51$), basicamente para todas as bandas, Mg (magnésio), a partir da banda 1025nm ($\tau = 0,48$), Ca (cálcio), apenas nas bandas 1900nm e 2400nm ($\tau = -0,51$). SB (soma de bases), obtiveram-se valores expressivos a partir da banda 1900nm ($\tau = 0,54$). Para os atributos físicos, a argila apresenta ($\tau = -0,51$) a partir da banda 1900nm. Terra et al (2018) encontraram valores semelhantes ($\tau = -0,54$), mas para a banda 843 nm. Já os dados desenvolvidos por Cezar et al (2013) são valores superiores aos encontrados ($\tau = 0,80$).

Os valores encontrados por Nanni e Demattê (2006) foram relativamente altos para correlação de determinados atributos do solo com os valores espectrais: argila com ($\tau = 0,91$) para camadas superficiais e ($\tau = 0,81$) para camadas subsuperficiais. Para saturação de bases, os valores foram ($\tau = 0,87$) para camadas superficiais e ($\tau = 0,86$) para camadas subsuperficiais. Moreira et al (2015) e Prado (2015) aplicaram o conjunto de dados estatísticos a fim de quantificar atributos químicos nos solos e mineralogia, por meio de espectroscopia de reflectância, e, dentre os pacotes estatísticos aplicados, encontram-se R^2 e RMSE. Os resultados referentes à aplicação da espectroscopia de reflectância foram significantes na determinação de H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , SB, CTC, areia total, argila mineralogia e salinidade.

Tabela 5.6: Coeficiente de Correlação de Tau de *Kendall* dos dados químicos e físicos X
Feições espectrais em reflectância

Nm	pH	P	K	Na	Ca	Mg	SB	CTC	Areia	Silte	Argila
400	0.19	-0.12	-0.37	0.41	-0.18	-0.21	-0.21	-0.21	0.03	0.06	-0.42
525	0.13	-0.18	-0.51*	0.51*	-0.24	-0.33	-0.27	-0.27	0.03	0.06	-0.42
650	0.13	-0.24	-0.48*	0.54*	-0.30	-0.39	-0.33	-0.33	0.09	0.00	-0.48*
775	0.13	-0.24	-0.45	0.51*	-0.30	-0.39	-0.33	-0.33	0.09	0.00	-0.42
900	0.16	-0.21	-0.41	0.48*	-0.33	-0.42	-0.36	-0.36	0.12	-0.03	-0.45*
1025	0.16	-0.21	-0.41	0.51*	-0.27	-0.48*	-0.30	-0.30	0.06	-0.03	-0.39
1150	0.16	-0.21	-0.41	0.51*	-0.27	-0.48*	-0.30	-0.30	0.06	-0.03	-0.39
1275	0.16	-0.21	-0.41	0.51*	-0.27	-0.48*	-0.30	-0.30	0.06	-0.03	-0.39
1400	0.19	-0.15	-0.37	0.45	-0.33	-0.42	-0.36	-0.36	0.12	-0.03	-0.45*
1525	0.16	-0.21	-0.41	0.51*	-0.27	-0.48*	-0.30	-0.30	0.06	-0.03	-0.39
1650	0.16	-0.21	-0.41	0.51*	-0.27	-0.48*	-0.30	-0.30	0.06	-0.03	-0.39
1775	0.16	-0.21	-0.41	0.51*	-0.27	-0.48*	-0.30	-0.30	0.06	-0.03	-0.39
1900	0.25	0.03	-0.26	0.45	-0.51*	-0.36	-0.54*	-0.54*	0.30	-0.21	-0.57*
2025	0.28	-0.12	-0.37	0.54*	-0.42	-0.45*	-0.45*	-0.45*	0.21	-0.12	-0.54*
2150	0.25	-0.15	-0.37	0.51*	-0.39	-0.48*	-0.42	-0.42	0.18	-0.09	-0.51*
2275	0.22	-0.12	-0.37	0.48*	-0.36	-0.39	-0.39	-0.39	0.15	-0.06	-0.48*
2330	0.22	-0.06	-0.30	0.45	-0.42	-0.33	-0.45*	-0.45*	0.21	-0.12	-0.54*
2400	0.28	-0.06	-0.30	0.51*	-0.48*	-0.39	-0.51*	-0.51*	0.27	-0.18	-0.60*

*Valor de significância $p < 0.05$

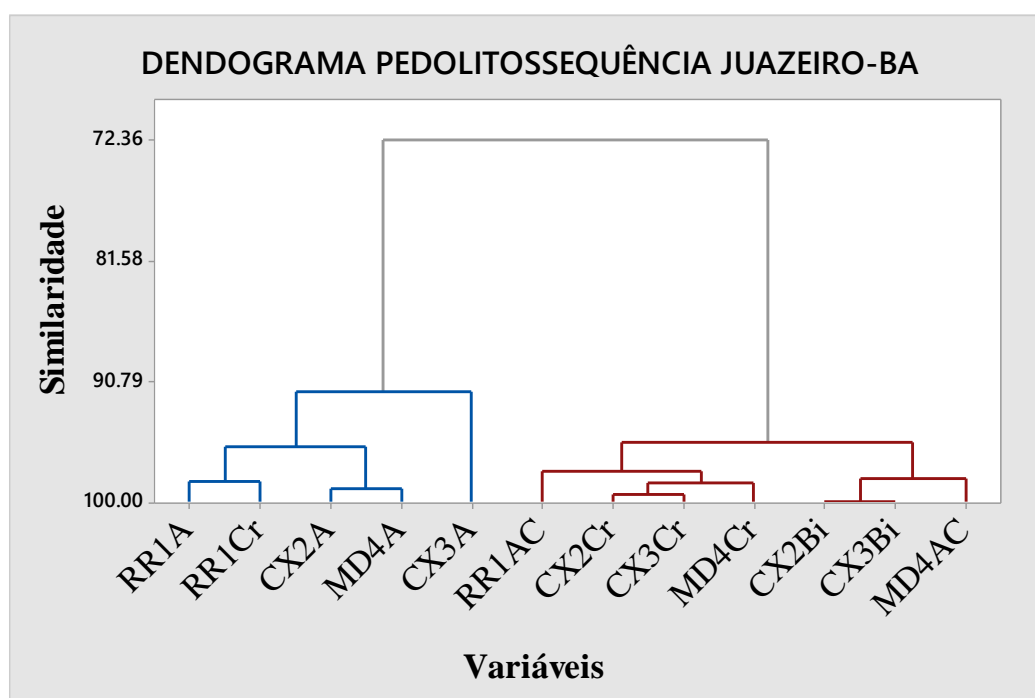
Em suma, as correlações expressivas para o Ca, Mg, SB e argila nas bandas espectrais do SWIR reforçam a ideia de que os processos moleculares atuam em proporções expressivas e de que os argilominerais contribuem para estes processos moleculares, exibindo informações no espectro eletromagnético por meio de absorções, altura, área e reflectância da curva espectral. Os valores que apresentaram correlação moderada a forte para os dados de XRF, química e física com os dados espectrais explicam o potencial de identificação desses atributos por meio da espectroscopia de reflectância.

5.4 AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS MULTIVARIADAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE CLASSES DE SOLOS DO SEMIÁRIDO E SEUS RESPECTIVOS HORIZONTES

A aplicação de técnicas multivariadas em dados espectrais em amostras de solo tem sido adotada a fim de reduzir o volume de dados, prever informações acerca de atributos pedológicos. Diferentes solos apresentam diferenças nos processos físicos, químicos, biológicos, na formação do solo e diferenças no material parental. Portanto, existem diferenças nos minerais da argila, óxidos de ferro, carbonatos e matéria orgânica, que se espera que cada um absorva radiação em comprimentos de onda característicos. Assim espera-se que diferentes classes de solo absorvam e reflitam, radiação de maneira diferente (Viscarra Rossel e Webster, 2011)

Os dados utilizados foram as feições espectrais em reflectância dos perfis e horizontes das bandas 400, 525, 650, 775, 900, 1025, 1150, 1275, 1400, 1525, 1650, 1775 1900, 2025, 2150, 2275, 2330 e 2400nm adotaram-se as técnicas multivariadas *Clusters* com método de distância euclidiana (figura 5.4) e Análise de Componentes Principais (figura 5.4), com objetivo de avaliar a potencialidade dos dados espectrais. Os resultados organizaram-se por material de origem, classe textural, processo pedogenético atuante e por fim, classe de solo.

Figura 5.4 Dendograma para os solos característicos de uma pedolitossequência no município de Juazeiro - BA

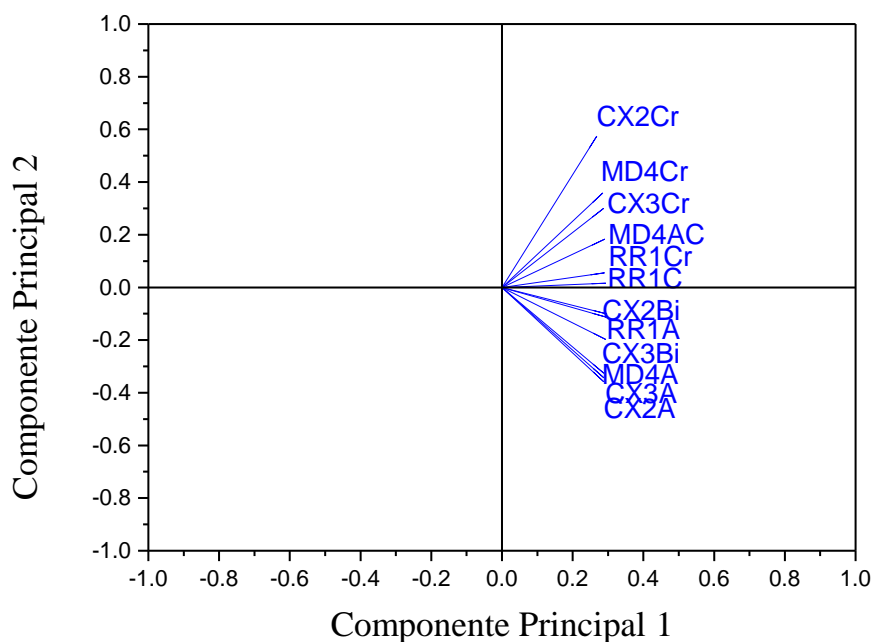


Da esquerda para direita, o *cluster* 1 teve predominância de horizontes A, sendo influenciado pela presença de matéria orgânica decomposta e, conseqüentemente, na cor do solo, como também na resposta espectral, diminuindo a reflectância na faixa do VNIR. Nesse mesmo *cluster*, ocorreu uma subdivisão para o RR1, Hz A e Cr. O *Cluster* 2 foi subdividido em 2 subgrupos, sendo o primeiro predominantemente de horizonte AC e Cr, relacionado à predominância da calcita nesses horizontes, evidenciada pela cor branca e influenciando na reflectância espectral devido ao albedo e à composição química do mineral. O segundo subgrupo é de horizontes Bi e AC, que tem similaridade explicada pelas características pedológicas, teor de argila semelhante dos horizontes CX3Bi (233.5 g/Kg) CX2Bi (263.5 g/Kg) e MD4AC (247.9 g/kg). Em suma, a análise dos espectros, a partir de técnicas multivariadas, refletem determinadas um conjunto de características pedológicas dos solos.

Resultados similares foram encontrados por Ogen et al (2019), aplicando *clusters Kmends*, em amostras de solos da região semiárida e árida de Israel. No trabalho mencionado, apresentaram-se parâmetros similares aos do trabalho aqui desenvolvido: material de origem com predominância de carbonato de cálcio, constituindo solos com horizontes cálcicos/ carbonáticos e horizontes com alto teor de matéria orgânica. Os resultados encontrados foram 5 grandes *clusters*, sendo que 1 agrupamento foi de horizonte carbonático, enquanto o outro, de horizonte chernozêmico. Viscarra Rossel e Webster (2011) também encontraram resultados semelhantes, a partir de espectros NIR-VIS e técnicas estatísticas foi possível discriminar horizontes de solo superficial e subsuperficial, a discriminação entre classes de solos também foi alcançado.

A classificação dos componentes principais (figura 5.5) foi similar aos resultados dos *clusters*. Criaram-se dois grupos a partir dos dados espectrais **CP 1**=RR1A, CX2A, CX3A, MD4A, CX2Bi, CX3Bi e **CP 2** = RR1Cr, RR1C, CX2Cr, CX3Cr, MD4AC, MD4Cr. O resultado das CPs agruparam os perfis por atributos pedológicos, ressaltando-se que os dados inseridos foram espectrais. A CP1 agrupou os horizontes A e Bi dos Cambissolo, pedogeneticamente pelo teor de argila. A CP 2 agrupou predominantemente os horizontes C, Cr.

Figura 5.5 Análise de Componentes Principais dos perfis da Pedolitossequência Juazeiro - BA



Heil et al. (2019) encontraram resultados similares para amostras coletadas no continente africano. Os autores utilizaram análise de componentes principais, e 2 grandes grupos refletiram o material geológico: grupo espectral de rochas sedimentares neoproterozóica, predominando xistos lateralizados pré-intemperizados e grupo espectral de complexos de rochas intrusivas paleoproterozóicas, em grande parte de granito e gnaiss. A pesquisa em foco resulta na individualização espectral por rochas bem como na individualização de conceitos como horizonte, textura e mineralogia.

A Análise de Componentes Principais não agrupou por perfis, visto que as classes de solos Neossolo, Cambissolo e Chernossolo apresentam características distintas entre horizontes, a saber: granulometria, teor de matéria orgânica, cor e mineralogia. A análise de *Clusters* obteve uma diferença de resultado com a ACP para o Hz Bi dos Cambissolos, embora estejam no segundo *cluster*, eles apresentaram uma interseção dentro do *cluster* com predominância de horizonte C. Já na ACP os Hz Bi encontram-se na CP com predominância de horizonte A. Essa característica pode ser explicada pelo próprio comportamento pedológico do Hz Bi, por se tratar de um horizonte em formação, os dados espectrais associados a técnica multivariada não apresentaram padrão específico, o mesmo correu para o horizonte MD4 AC.

No *clusters* o MD4AC obteve similaridade com os horizontes C, por ser um horizonte transicional o comportamento espectral não apresentou padrão específico.

5.5 PERSPECTIVA DA GÊNESE DOS SOLOS NA PEDOLITOSSEQUÊNCIA

A partir das análises espectrais, mineralógicas, morfológicas, químicas, físicas e aplicação de técnicas multivariadas, é possível afirmar que os solos da pedolitossequência são autóctones, com presença do material parental em todos os perfis e horizontes. O processo de bissialitação é predominante e tem forte tendência a salinização. Os perfis 1, NEOSSOLO REGOLÍTICO leptofragmentário e 2 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico fragmentário hipocarbonático e sódico, estão na base da pedolitossequência, com preservação do material de origem gnaiss, rico em microclino, albita, anortita, minerais facilmente intemperizáveis, por estarem na base da vertente mesmo com pouca declividade. Tais perfis não apresentam desenvolvimento considerável, embora o perfil 2 tenha uma estrutura forte, comparado ao perfil 1.

O perfil 3, classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Ta léptico hipocarbonático sálico, apresenta um incremento de argila no horizonte Bi, mesmo não sendo suficiente para caracterização de textural, com relação B/A de 1,67. Esse Cambissolo exibe características semelhantes às de um Luvisso, podendo-se afirmar que, futuramente, poderá se desenvolver até a classe citada. Assume-se essa constatação de acordo com a perspectiva de um processo pedogenético progressivo e desenvolvimento construtivo.

Particularmente, o perfil 3 foi identificado por DRX o mineral caulinita. Em ambientes tropicais chuvosos, a neoformação predominantemente perpassa pelo ciclo – minerais primários facilmente intemperizáveis para minerais 1:1 ou 0:1. Porém, na escala de intemperização do semiárido no polígono da seca, esse processo não é o que prevalece. Além disso, trata-se de um perfil com característica salina, o que inviabiliza essa interpretação por DRX

As classes de solos distintas nas extremidades possuem material de origem distinto e demonstram que, no ambiente semiárido, o fator principal determinante no processo de pedogênese é o material de origem, embora o relevo tenha uma contribuição incipiente, não determinante comparado a ambientes tropicais úmidos. Solos localizados em áreas topograficamente mais baixas deveriam ter tido maior desenvolvimento morfológico devido à percolação e migração subsuperficial da água, sem condições de hidromorfismo. Nas áreas mais altas, embora a declividade seja menor, desenvolveu-se o Chernossolo. A presença do horizonte

A chernozêmico se deve aos processos que favorecem a presença de bicarbonatação ou que reduzem a decomposição da MOS resultando na sua acumulação. Isoladamente, o clima e o relevo não explicam a distribuição dos Chernossolos, pois apresentam **polipedogênese**. Segundo Kampf e Curi (2012) a decomposição da matéria orgânica a presença de água no sistema num determinado período associado à presença do cálcio pedogênico. O próprio perfil pedológico expressa essa presença paleoclimática nas cores, estrutura e horizontes diagnósticos, visto que, para formação de horizonte textural e horizonte chernozêmico, a presença de água é indispensável. O carbonato de cálcio presente no material de origem dos solos atua como floculante da matéria orgânica (OADES, 1988).

5.6 CONCLUSÃO

A aplicação da espectroscopia de reflectância nas amostras de solo em perfis de ambiente semiárido mostrou se eficiente na identificação de atributos pedológicos como matéria orgânica, minerais, textura. Tais resultados permitem afirmar que se trata de uma técnica promissora, uma vez que para identificação de cada atributo citado é preciso técnicas analítica tradicional distintas e essas são caras e custam tempo.

A atribuição dos dados espectrais as modelagens de técnicas multivariadas Principais Componentes e *Clusters* forneceram resultados satisfatórios. Os resultados de ambas as técnicas foram semelhantes, os espectros e a modelagem foram influenciados pelos atributos mineralógicos, matéria orgânica e argila, agrupando os solos por horizontes. Os horizontes do solo e seus atributos são diagnósticos para classificação, desse modo, identificar os atributos e influenciam na classificação dos solos é um avanço para a área da Geociências.

A técnica analítica Difractometria de Raio X, apresentou equívocos na identificação de argilominerais como Caulinita e Vermiculita, são minerais que apresentam feições espectrais específicas e no caso dos espectros apresentados, não foi identificado essas feições, além do mais, trata-se de minerais de alteração de intemperismo químico e no caso dos solos estudados não poderiam estar presente por se tratar de solos pouco intemperizados com caráter salino, processo de bissialitização em seus horizontes. Diante do exposto espectroscopia de reflectância exibe sua potencialidade na identificação e distinção entre argilominerais de solos.

Os resultados de correlação dos dados espectrais e XRF, química e física do solo foram importantes para compreender de que maneira esses atributos influenciam no espectro óptico refletido. Destaque para correlação moderada para cátions trocáveis Mg^{+2} , Ca^{+2} , Na^{+} , Soma de

Bases e argilominerais, o que evidencia que há relação direta da resposta espectral com informações de solo e dessa forma é possível aplicar a espectroscopia de reflectância na identificação e quantificação desses atributos.

O termo pedolitossequência aqui aplicado foi coerente, principalmente na perspectiva de escala e do próprio processo pedogenético no ambiente semiárido. Justificam-se a predominância da rocha e dos paleoclimas no processo de formação dos solos, as informações da Paisagem em conjunto com as técnicas analíticas e, em especial, a espectroscopia de reflectância (com suas diversas formas de análise: reflectância, contínuo removido, segunda derivada, morfologia da curva e absorções), permitiram compreender a gênese dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, G.M.M. MADEIRA NETTO, J. SOUZA, D.T.M. Reflectância dos Solos, in: **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. Org. MENESES, P. R. ALMEIDA, T. BAPTISTA, G. M. M. São Paulo: Oficina de Textos, 2019

CEZAR, E.; NANNI, M. R.; CHICATI, M. L.; OLIVEIRA, R. B.; DEMATTÊ, J. A. M. Discriminação entre solos formados em região transicional por meio de resposta espectral. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 644-654, 2013.

CEZAR, E.; NANNI, M. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; CHICATI, M. L. R. B.; OLIVEIRA. Estimativa de Atributos do Solo por meio de Espectrorradiometria Difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 858-868, 2013.

DEMATTÊ, J. A. M. et al. Fotopedologia, espectroscopia e sistema de informação geográfica na caracterização de solos desenvolvidos do Grupo Barreiras no Amapá. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p.438-446, 2012

DEMATTÊ, J. A. M.; HORAK-TERRA, I. BEIRIGO, R. M.; TERRA, F. S.; MARQUES, K. P. P.; FONGARO, C. T.; SILVA, A. C. VIDAL-TORRADO, P. Genesis and properties of wetland soils by VIS-NIR-SWIR as a technique for environmental monitoring. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p. 50-62. 2017.
Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.014>>.

DEMATTÊ, J. A. M.; TERRA, F. S. Spectral pedology: A new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations. **Geoderma**, v. 217-218, p. 190-200, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.11.012>>.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 Ed. Rio de Janeiro, 1997.

HEIL, J.; HÄRING, V.; MARSCHNER, B.; STUMPE, B. Advantages of fuzzy k-means over k-means clustering in the classification of diffuse reflectance soil spectra: A case study with

West African soils. **Geoderma**, v. 337, p. 11-21, 2019. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.004>>.

HUNT, G. R. Near-infrared (1.3 - 2.4 micrometros) spectra of alteration minerals potential for use in remote sensing. **Geophysics**, v. 44, n. 12, p. 1974-1986, 1979.

HUNT, G. R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. **Geophysics**, v. 42, n. 3, p. 501-511, 1977.

KAMPF, N. CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). **Pedologia: Fundamentos**. SBCS: Viçosa, 2012.

MOREIRA, L. C. J.; TEIXEIRA, A. S.; GALVÃO, L. S. Análise quantitativa da concentração de sais nos solos a partir de dados de espectroscopia de reflectância. In: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa, 2015.

OADES, J. M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, v. 5, p. 35-70, 1988.

OGEN, Y. et al. Cluster-based spectral models for a robust assessment of soil properties. **Geoderma**, v. 340, p. 175-184, 2019. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.022>>.

POPPIEL, R. R. et al. Surface Spectroscopy of Oxisols, Entisols and Inceptisol and Relationships with Selected Soil Properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-26, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160519>>.

PRADO, E. M. G. et al. Espectrorradiometria de reflectância aplicada à análise quantitativa da mineralogia do depósito N4W, Província Mineral de Carajás, Pará, Brasil. In: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa, 2015

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5 Ed. Embrapa: Brasília, 2018. 356 p.

SANTOS, R. D et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa Solos, 2015. 102p.

SOUSA JÚNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. M.; ARAÚJO, S. R. Modelos espectrais terrestres e orbitais na determinação de teores de atributos dos solos: potencial e custos. **Bragantia**, v.70, n.3, p.610-621, 2011

TERRA, F. S. Estudo da contribuição do comportamento espectral de diferentes substratos do bioma pampa na componente espectral dos modelos agrometeorológicos espectrais. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Porto alegre - RS, 2007

TERRA, F. S.; DEMATTÊ, J. A. M.; VISCARRA ROSSEL, R. A. Proximal spectral sensing in pedological assessments: vis-NIR spectra for soil classification based on weathering and

pedogenesis. **Geoderma**, v. 318, p. 123-136. 2018. Disponível em: <doi: 10.1016/j.geoderma.2017.10.053>.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WEBSTER, R. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible–near infrared spectra. **European Journal of Soil Science**, v. 62, 637–647. 2011. Disponível em: < doi: 10.1111/j.1365-2389.2011. 01356.x>

VISCARRA ROSSEL, R. A.; CATTLE, S. R.; ORTEGA, A.; FOUAD, Y. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis–NIR spectroscopy. **Geoderma**, v. 150, n. 3-4, 2009.

CONCLUSÕES GERAIS

A partir da identificação dos atributos pedológicos, minerais, argilominerais, textura por meio da espectrorradiometria e associação das informações físicas, químicas e morfológicas é possível inferir o desenvolvimento pedogenético e o nível de intemperismo dos solos.

Os processos pedogenéticos que prevaleceram nos solos dos artigos 2 e 3, vertissolização, bissialitização, argiluviação, carbonatação, salinização. Os atributos que auxiliam na identificação foram: argilominerais expansivos, presença de minerais 2:1, gradiente textural, presença de CaCO_3 , acúmulo de sais nos horizontes do solo.

Os resultados obtidos pelas análises multivariada *clusters* e ACP permitiu o agrupamento de horizontes diagnósticos. Assim é possível afirmar que horizontes de solo apresentam padrão espectral e as propriedades que contribuíram no resultado foram, minerais, argilominerais, textura, cátions trocáveis. Desse modo afirma-se que, os dados espectrais aliado a técnicas multivariadas foram sensíveis na identificação de horizontes diagnósticos, tais técnicas devem estar associadas aos procedimentos analíticos tradicionais.

A correlação de dados espectrais com Fluorescência de Raio X ofereceu informações de como a geoquímica, química e física dos solos interage em cada feição espectral. Os valores de correlação em reflectância que obtiveram melhores coeficientes foram Al_2O_3 , Na_2O , TiO_2 , MnO , SiO_2 , CaO , MnO , Destaque para correlação moderada para cátions trocáveis Mg, Ca, Na, Soma de Bases.

A aplicação da Difractometria de Raio X mostrou pouco eficaz na identificação de argilominerais. Argilominerais expansivos que apresentam valores da distancia basal próximo são confundidos a exemplo montmorilonita e vermiculita, mesmo com aplicação de tratamentos como etileno glicol. A espectroscopia de reflectância apresenta feições de absorção específicas para identificação dos minerais citados o que permite predizer que essa técnica tem potencial para discriminação de minerais argilosos.

APÊNDICE A – RMSE dados espectrais topossequência Uauá-BA e *endemenbers* JPL

RMSE							
	Actinolita	Montmorilonita	Talco	Albita	Ilita	Glaucofano	Clinocloro
P1HA	0.19	0.08	0.27	0.16	0.17	0.26	0.23
P1HB	0.19	0.8	0.27	0.16	0.17	0.26	0.23
P1HC	0.16	0.5	0.27	0.16	0.15	0.23	0.2
P2HA	0.18	0.07	0.26	0.14	0.15	0.25	0.22
P2HB	0.19	0.09	0.27	0.16	0.16	0.26	0.23
P2HC	0.19	0.06	0.25	0.13	0.15	0.24	0.21
P3HA	0.18	0.07	0.26	0.14	0.14	0.25	0.22
P3HB	0.18	0.11	0.28	0.17	0.15	0.27	0.24
P3HC	0.18	0.15	0.31	0.21	0.18	0.28	0.27
P4HA	0.18	0.07	0.26	0.13	0.14	0.25	0.22
P4HB	0.22	0.13	0.3	0.19	0.15	0.27	0.25
P4HC	0.22	0.14	0.3	0.2	0.17	0.28	0.26

APÊNDICE B - Profundidade de feição dos solos pertencentes em uma topossequência no município de Uauá-BA

Profundidade de feição dos solos pertencentes em uma topossequência no município de Uauá-BA									
Banda	P1 A	P1 B	P1 C	P2 A	P2 B	P2 C	P3 A	P3 B	P3 C
400	0.95	0.95	0.83	0.94	0.94	0.90	0.93	0.91	0.86
525	0.95	0.93	0.75	0.92	0.92	0.84	0.90	0.88	0.80
650	0.90	0.88	0.65	0.86	0.87	0.77	0.83	0.81	0.72
775	0.87	0.85	0.60	0.82	0.84	0.72	0.76	0.74	0.64
900	0.86	0.83	0.65	0.81	0.83	0.74	0.71	0.70	0.61
1025	0.84	0.81	0.64	0.78	0.81	0.75	0.66	0.65	0.58
1150	0.80	0.76	0.56	0.74	0.76	0.67	0.62	0.60	0.54

1275	0.77	0.72	0.52	0.70	0.73	0.62	0.59	0.57	0.50
1400	0.78	0.73	0.55	0.71	0.74	0.65	0.62	0.62	0.57
1525	0.74	0.68	0.48	0.65	0.70	0.59	0.57	0.56	0.48
1650	0.73	0.66	0.46	0.63	0.68	0.57	0.55	0.53	0.44
1775	0.72	0.66	0.46	0.62	0.67	0.57	0.54	0.53	0.44
1900	0.81	0.78	0.63	0.76	0.80	0.72	0.68	0.72	0.69
2025	0.75	0.70	0.54	0.65	0.72	0.62	0.59	0.60	0.55
2150	0.74	0.67	0.52	0.63	0.69	0.61	0.56	0.57	0.50
2275	0.77	0.72	0.59	0.68	0.74	0.68	0.61	0.62	0.59
2400	0.81	0.78	0.65	0.74	0.80	0.73	0.67	0.70	0.68

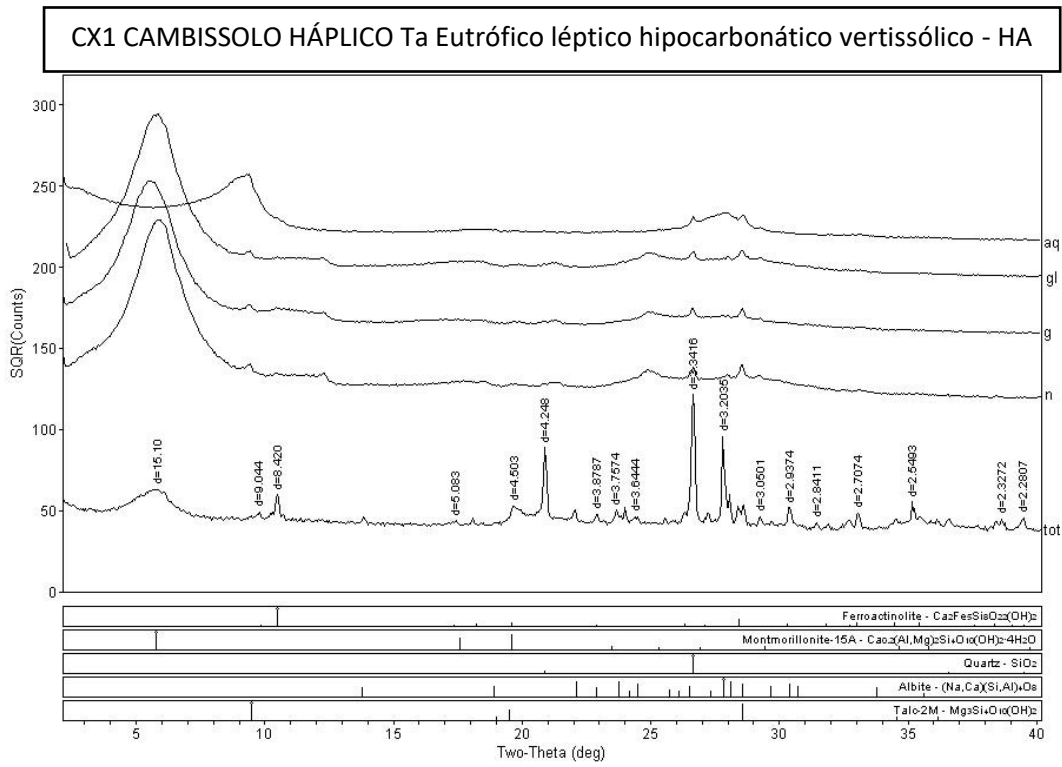
APÊNDICE C - Coeficiente de correlação de tau de *kendall* dos dados espectrais de contínuo removido e fluorescência de raio x

nm	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI	Sr	Ni	Ba
400	0.36	0.15	-0.21	0.06	-0.33	0.24	0.18	0.09	-0.17	0.03	-0.33	0.33	0.09	0.18
525	0.21	-0.06	-0.12	-0.03	-0.12	0.21	0.09	0.03	-0.03	-0.06	-0.18	0.24	0.00	0.09
650	0.33	0.00	0.00	0.09	-0.24	0.39	0.21	0.15	0.03	0.00	-0.30	0.36	0.00	0.27
775	0.30	-0.03	-0.03	0.06	-0.21	0.36	0.18	0.12	0.03	-0.03	-0.27	0.33	-0.03	0.24
900	-0.45*	-0.60*	0.00	-0.39	0.54*	-0.15	-0.21	-0.37	0.34	-0.48*	0.42	-0.36	-0.42	-0.27
1025	0.15	-0.12	0.06	0.03	-0.06	0.15	0.09	0.15	0.20	-0.03	-0.06	0.18	-0.12	0.09
1150	-0.09	-0.06	0.12	-0.09	0.18	-0.21	-0.09	0.03	0.00	-0.19	0.24	-0.06	-0.18	-0.15
1275	0.08	-0.08	-0.17	-0.35	0.14	0.02	0.08	-0.33	-0.08	-0.37	0.08	0.11	-0.32	0.02
1400	0.12	0.27	0.33	0.48*	-0.21	0.12	0.00	0.49*	0.13	0.45*	-0.21	0.09	0.27	0.24
1525	0.00	0.21	0.27	0.24	-0.15	0.00	0.06	0.22	0.17	0.19	-0.09	0.03	0.09	0.12
1650	-0.35	-0.08	0.29	0.02	0.20	-0.32	-0.20	0.05	0.15	-0.02	0.26	-0.35	-0.02	-0.26
1775	0.00	0.21	0.27	0.18	-0.15	-0.12	0.00	0.15	0.10	0.23	-0.09	-0.03	0.15	0.12
1900	0.30	0.21	0.15	0.24	-0.21	0.24	0.24	0.22	0.17	0.26	-0.21	0.33	0.09	0.36
2025	0.18	0.27	0.15	0.24	-0.27	0.30	0.30	0.15	0.17	0.16	-0.21	0.33	-0.03	0.36
2150	0.18	-0.03	-0.15	0.00	-0.15	0.06	-0.06	0.06	-0.17	0.00	-0.21	0.15	0.09	0.06

2275	-0.14	0.02	0.11	-0.11	0.11	-0.14	-0.02	-0.17	-0.02	0.02	0.11	-0.11	0.05	-0.02
2330	-0.24	0.03	0.33	0.06	0.15	-0.42	-0.30	0.00	-0.20	0.16	0.21	-0.33	0.27	-0.24
2400	0.39	0.18	0.12	0.27	-0.24	0.33	0.15	0.34	0.07	0.19	-0.30	0.36	0.06	0.39

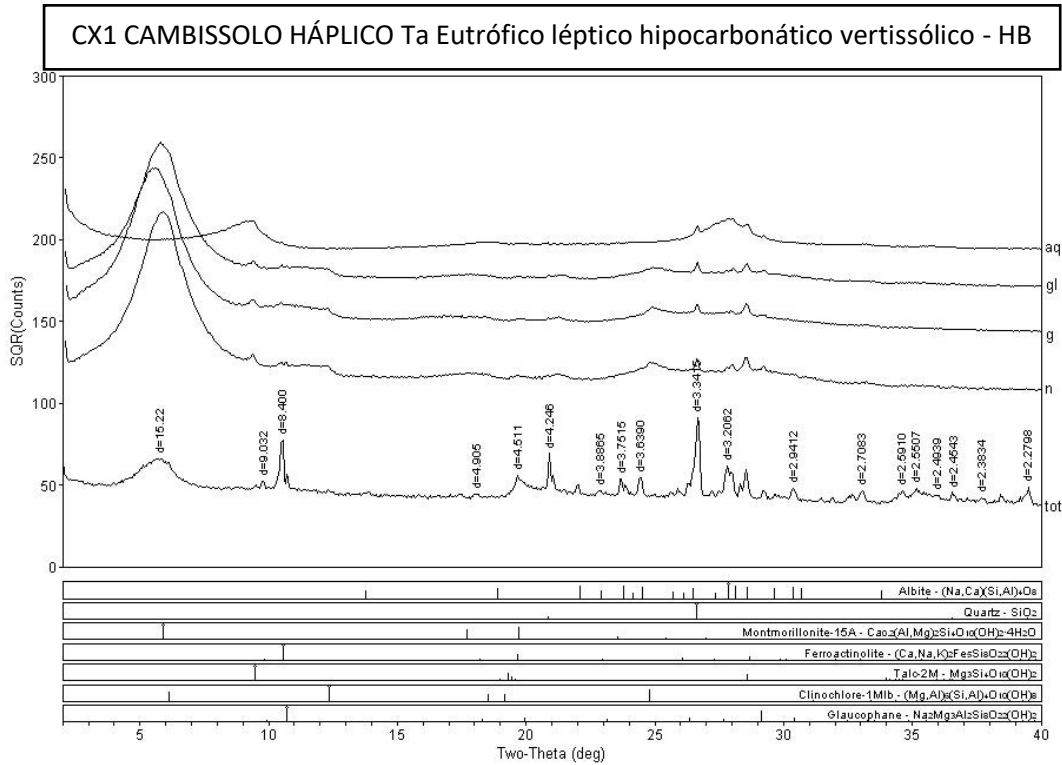
*Valor de significância $p < 0.05$.

APÊNDICE D - DIFRATOGRAMAS



Campus Univ Darby Ribeiro

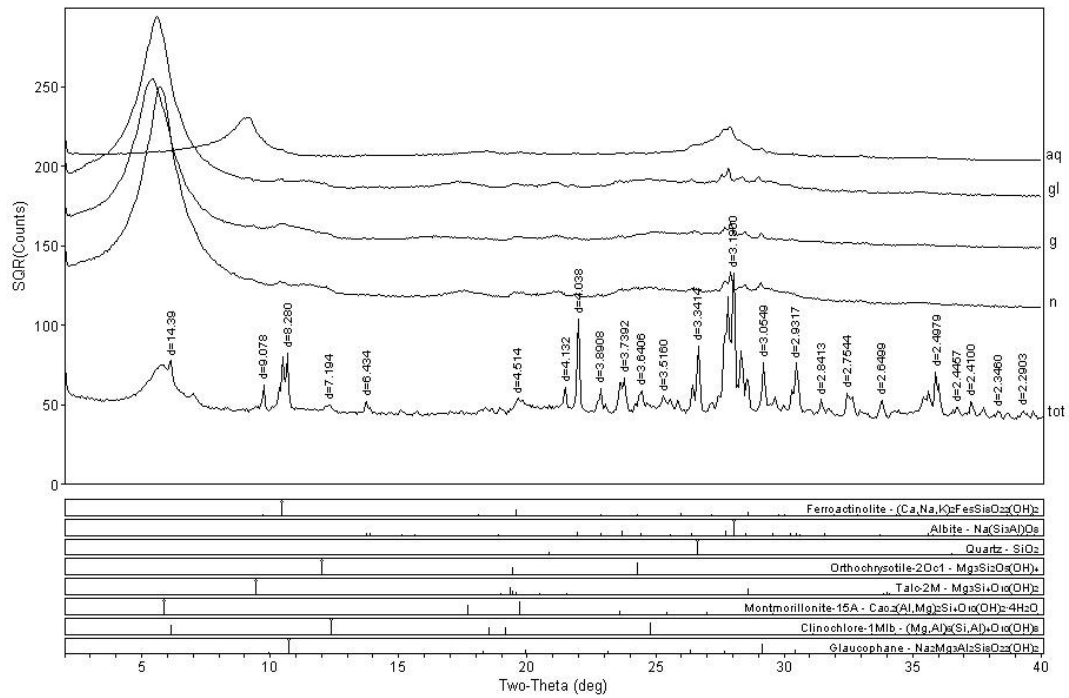
[RAIO-X]IG Friday, December 09, 2016 04:53p (MDI/UJADEB)



Campus Univ Darby Ribeiro

[RAIO-X]IG Friday, December 09, 2016 04:53p (MDI/UJADEB)

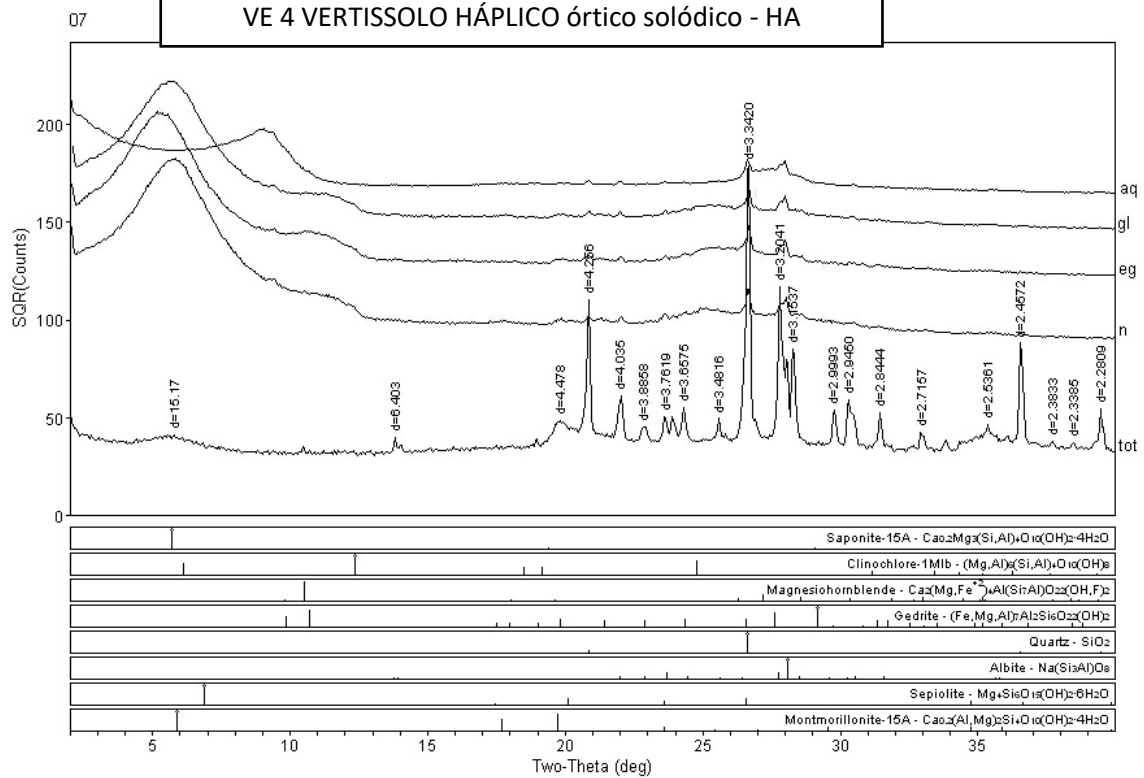
CX1 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico hipocarbonático vertissólico - HC



Campus Univ Darby Ribeiro

[RAIO-X]IG Friday, December 08, 2016 04:54p (MDIJADE8)

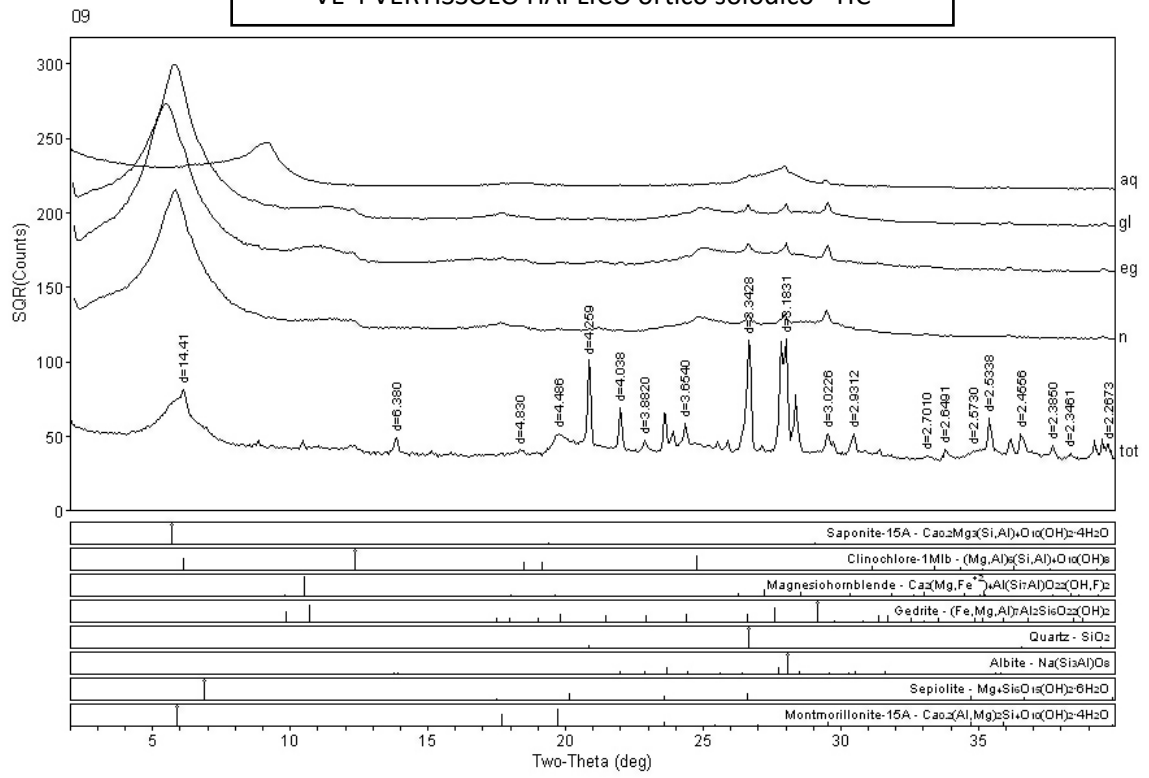
VE 4 VERTISSOLO HÁPLICO órtico solódico - HA



Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Thursday, December 14, 2017 03:25p (MDIJADE9)

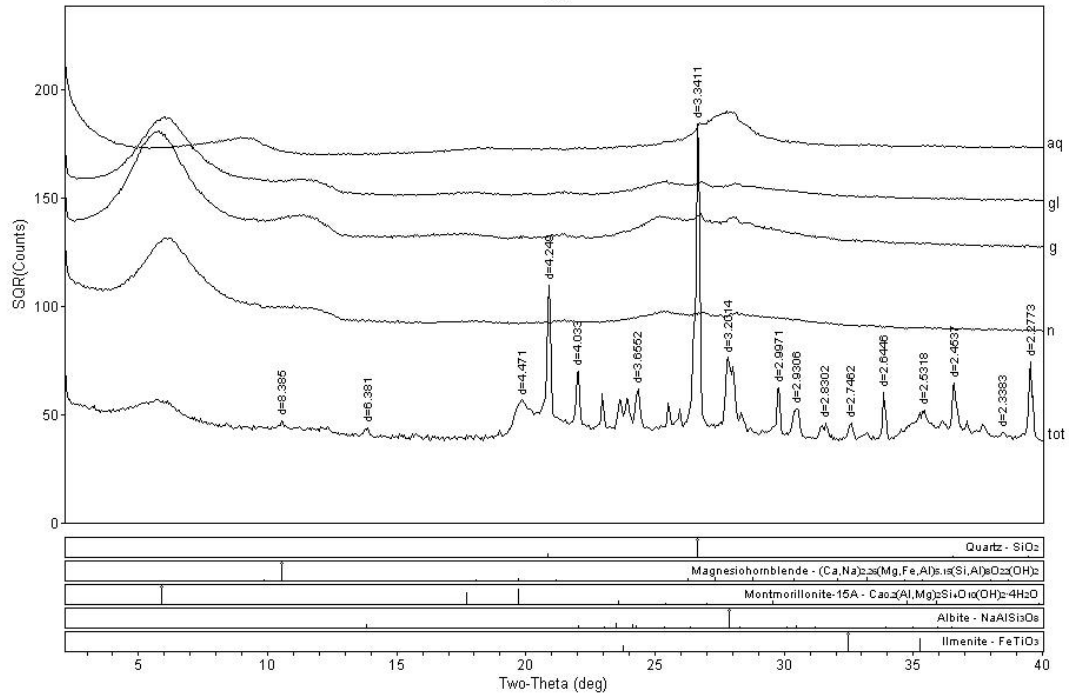
VE 4 VERTISSOLO HÁPLICO órtico solódico - HC



Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Thursday, December 14, 2017 04:10p (MDIWADE9)

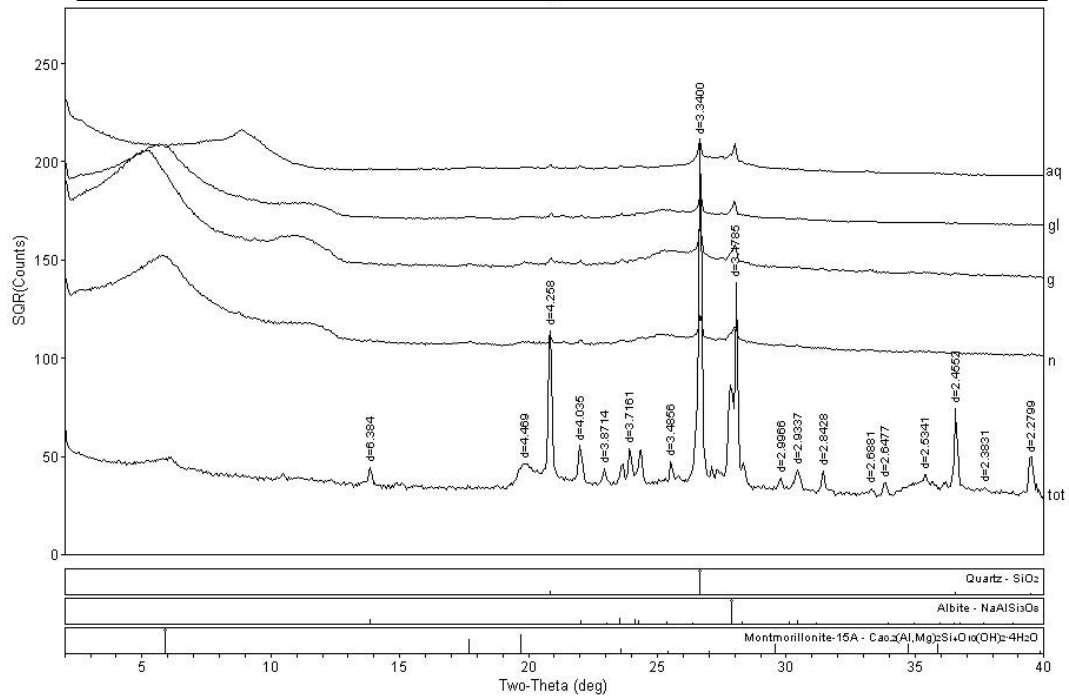
VE 4 VERTISSOLO HÁPLICO órtico solódico - HB



Campus Univ Darby Ribeiro

[RAIO-X]IG Friday, December 09, 2016 04:56p (MDIWADE8)

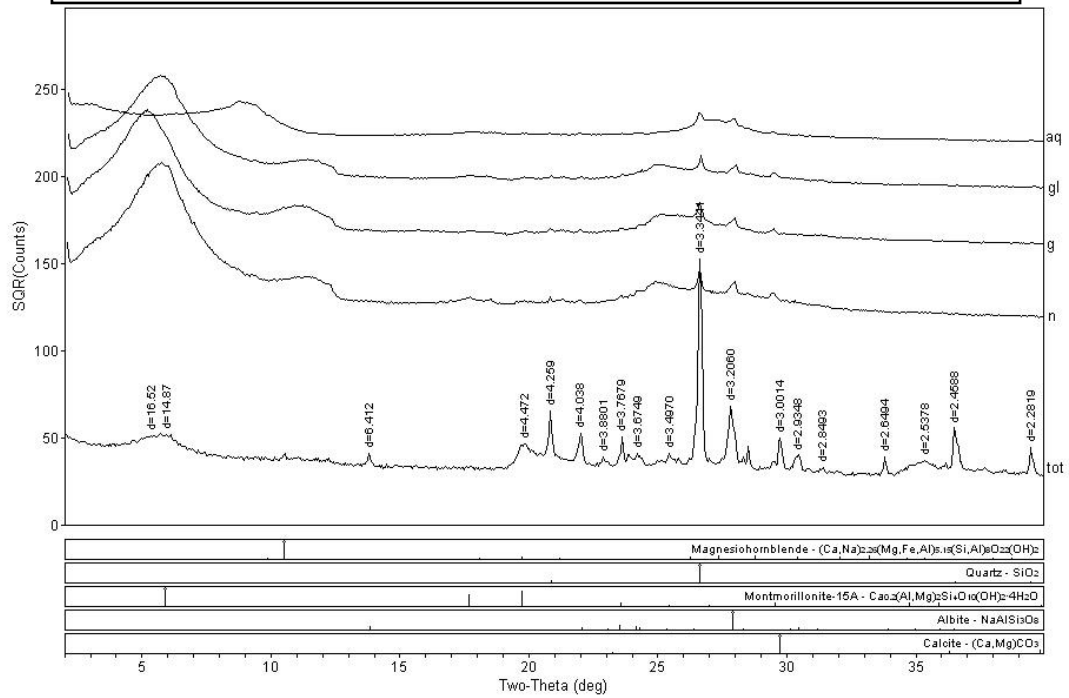
CX 6 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico leptofragmentário vertissólico HA



Campus Univ Darby Ribeiro

[RAIO-X]IG Friday, December 09, 2016 04:58p (MDI/JADEB)

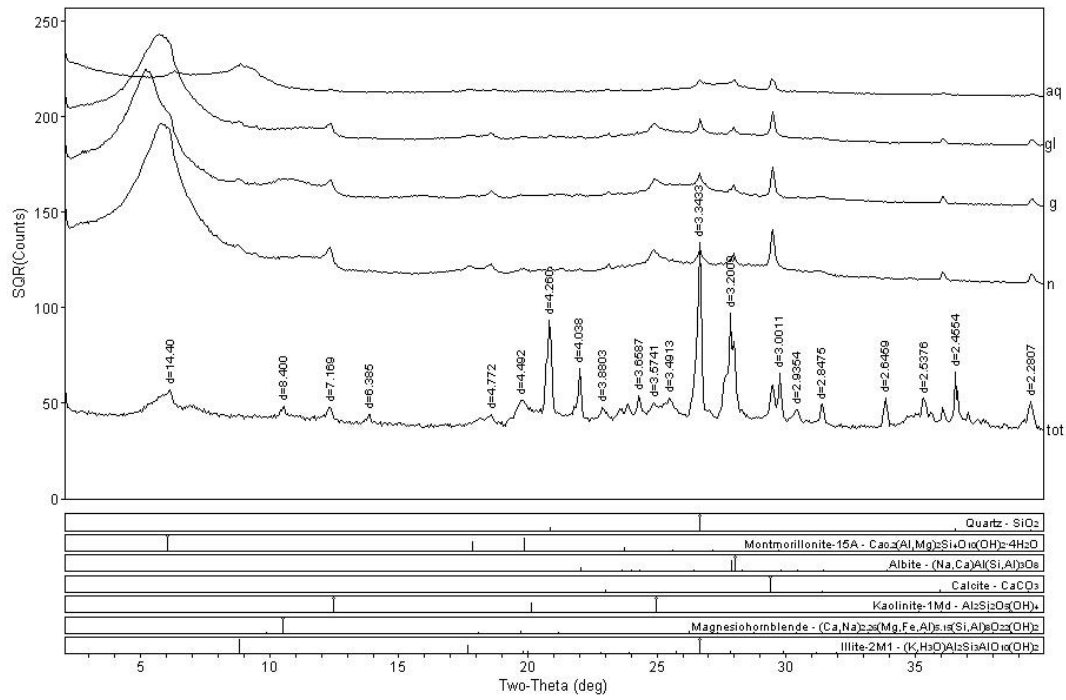
CX 6 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico leptofragmentário vertissólico HB



Campus Univ Darby Ribeiro

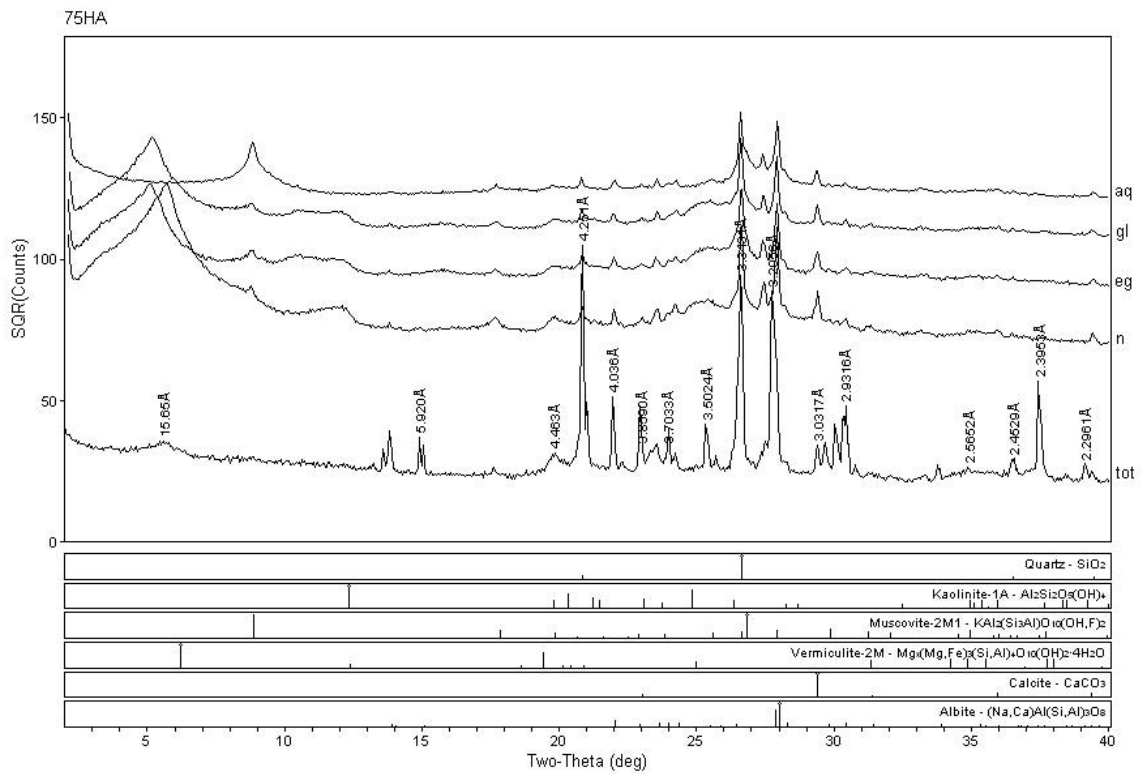
[RAIO-X]IG Friday, December 09, 2016 05:03p (MDI/JADEB)

CX 6 CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico leptofragmentário vertissólico HC



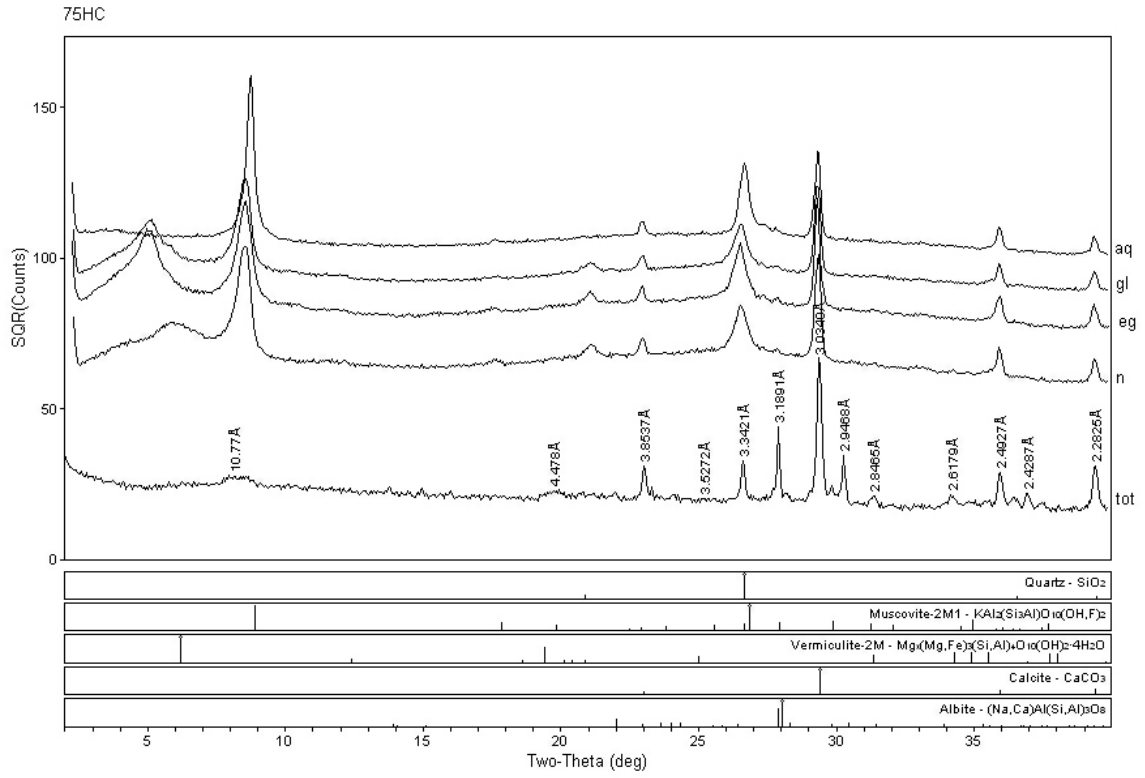
Campus Univ Darby Ribeiro

[RAIO-X]IG Friday, December 09, 2016 05:03p (MDIJADEB)



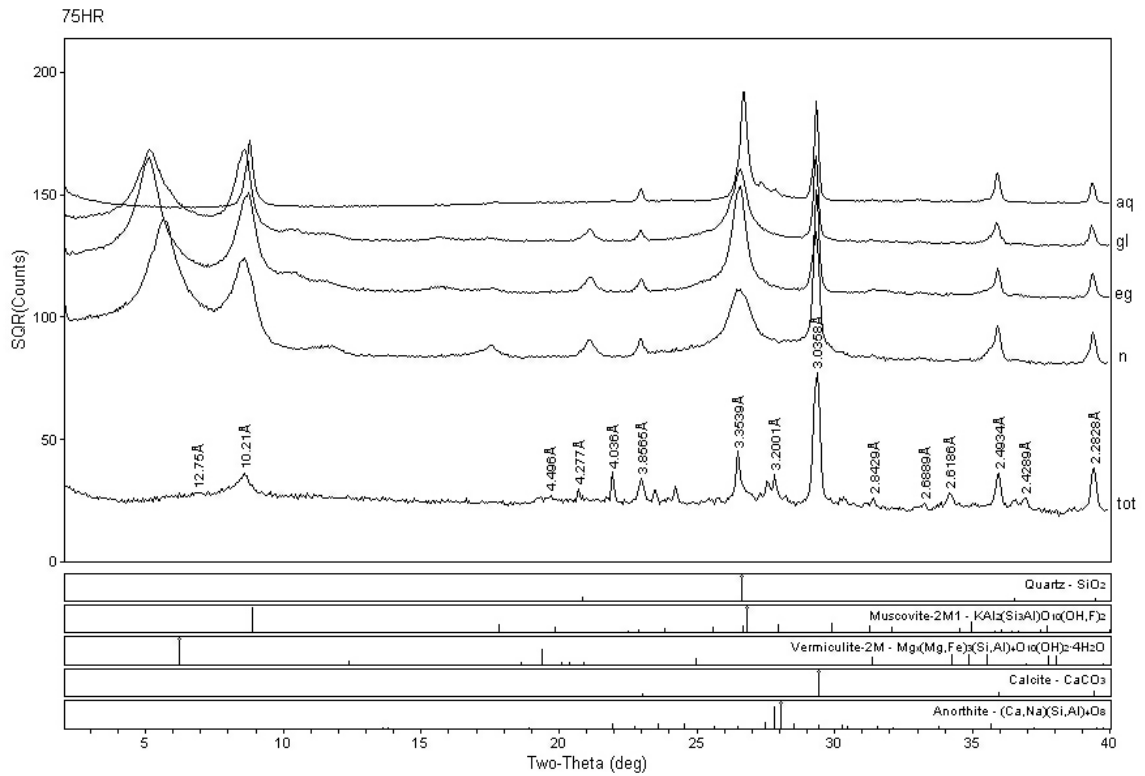
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 03:09p (MDIJADE9)



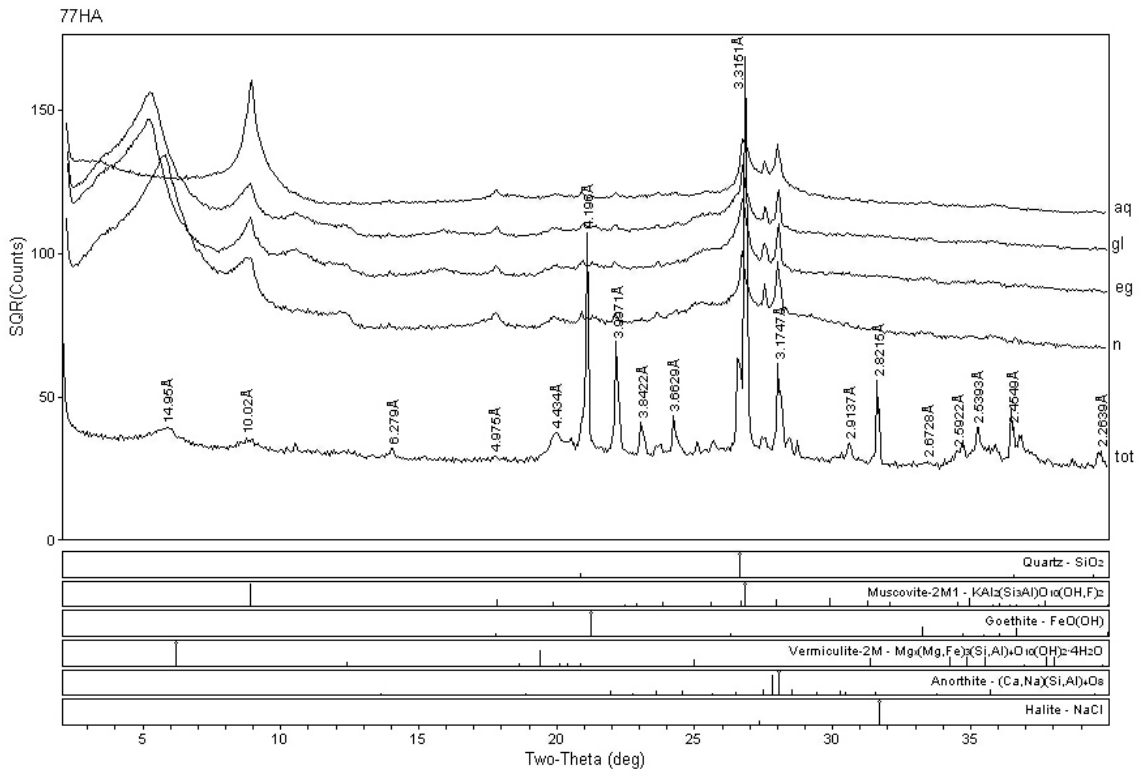
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 03:11 p (MDIKJADE9)



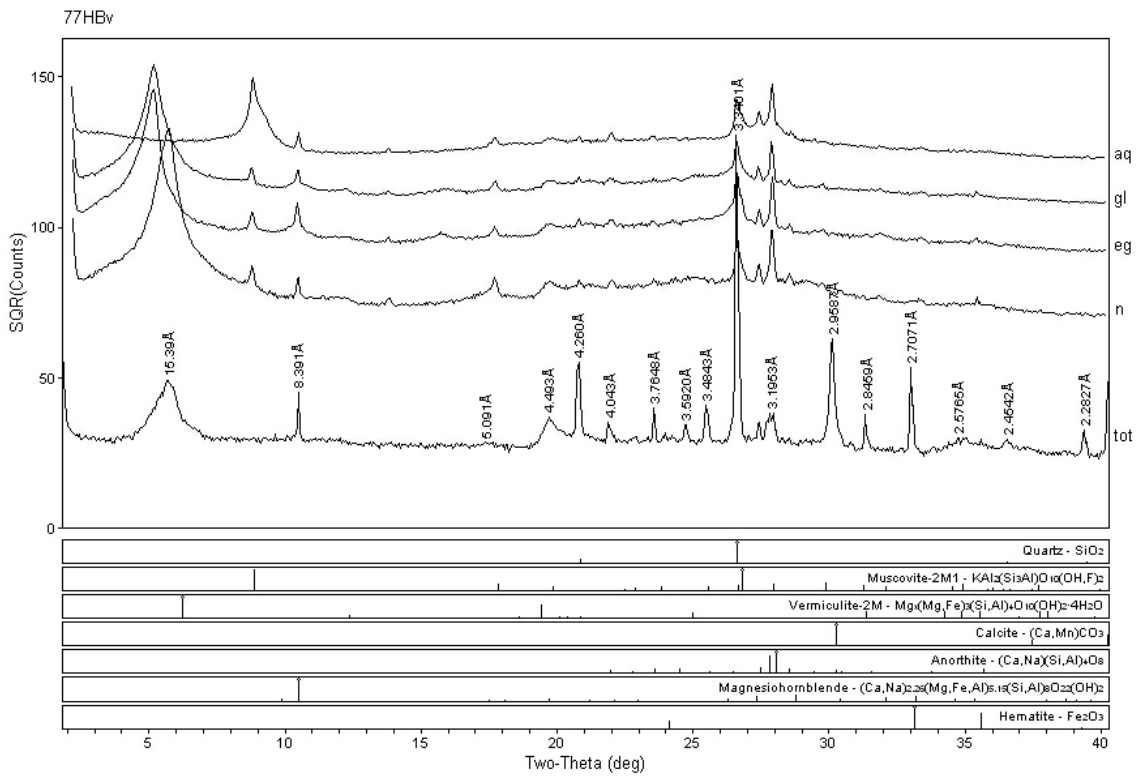
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 04:34 p (MDIKJADE9)



Campus Univ Darcy Ribeiro

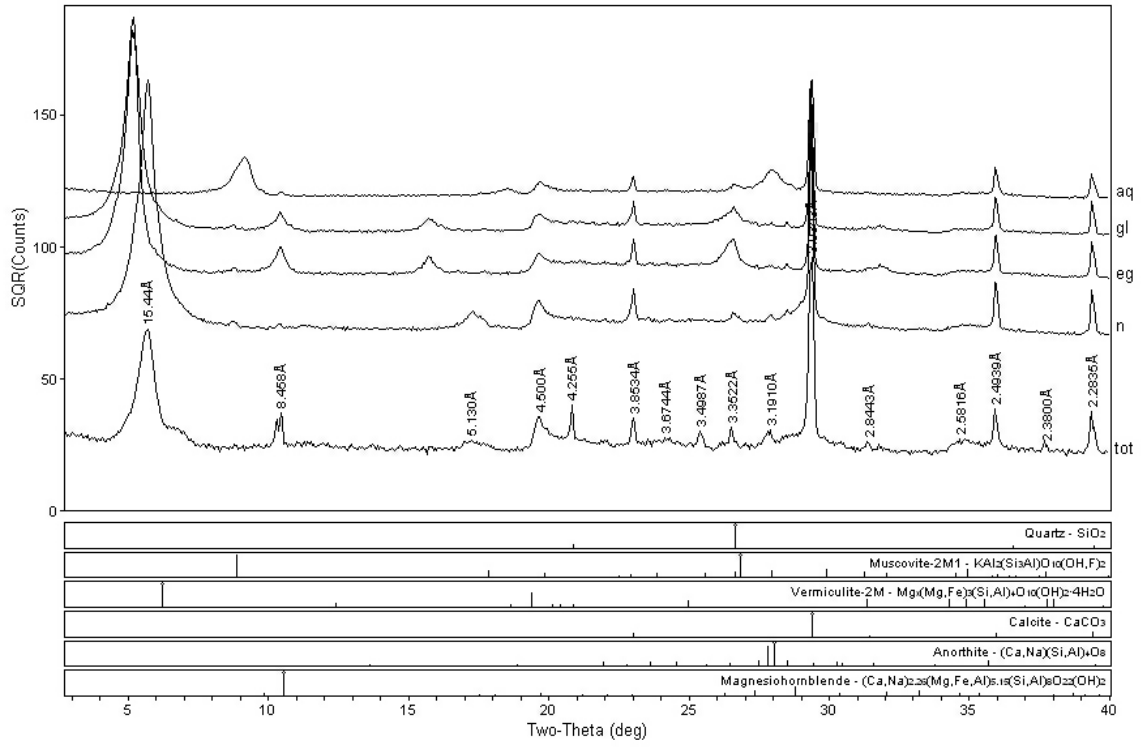
[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 03:28p (MDI/JADE9)



Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 03:31p (MDI/JADE9)

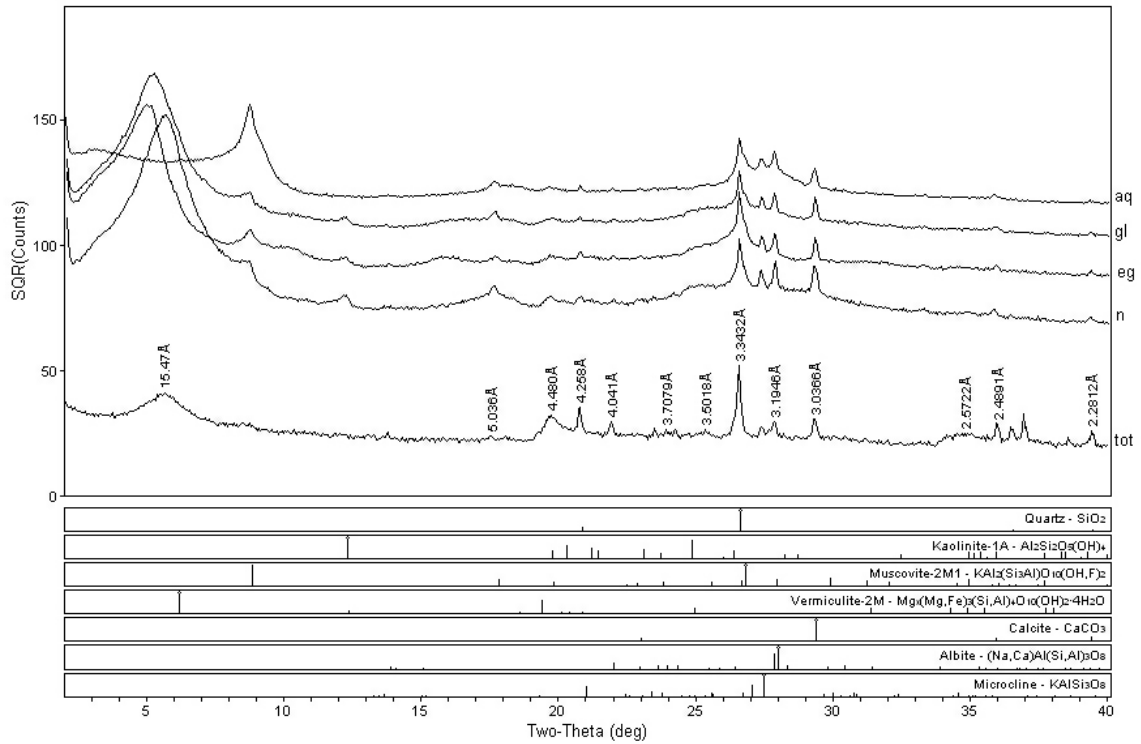
77HCr



Campus Univ Darcy Ribeiro

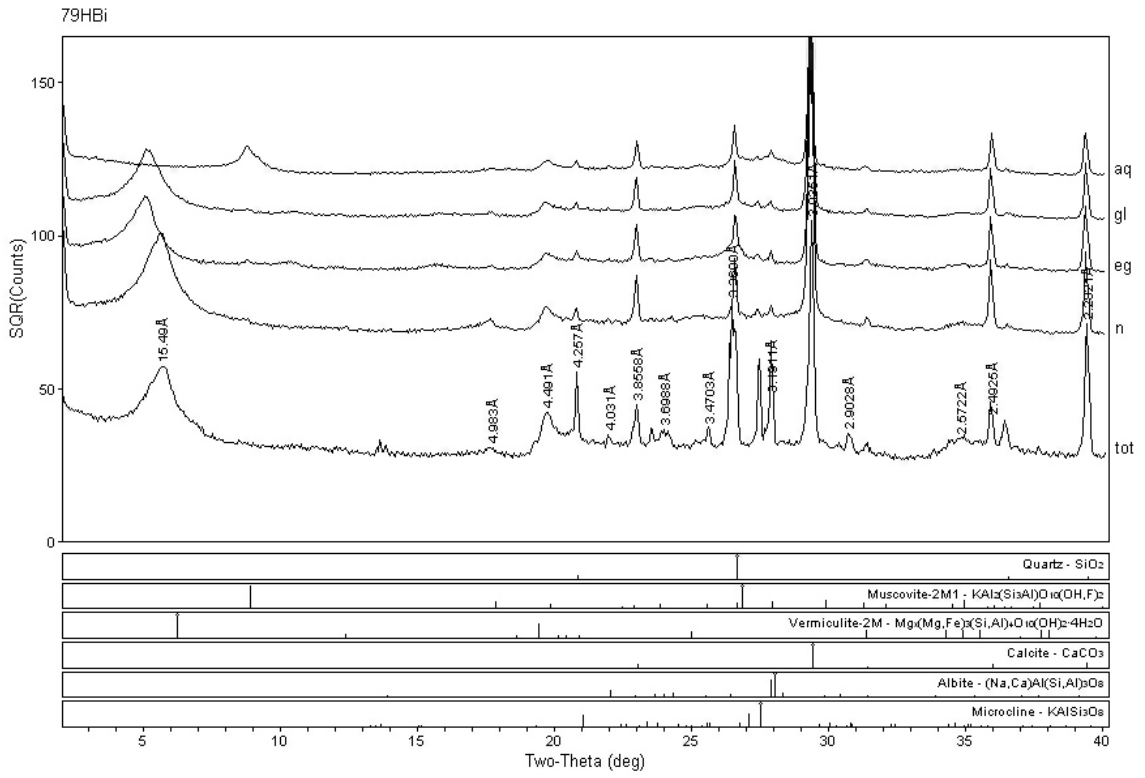
[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 04:08p (MDIJADE9)

79HA



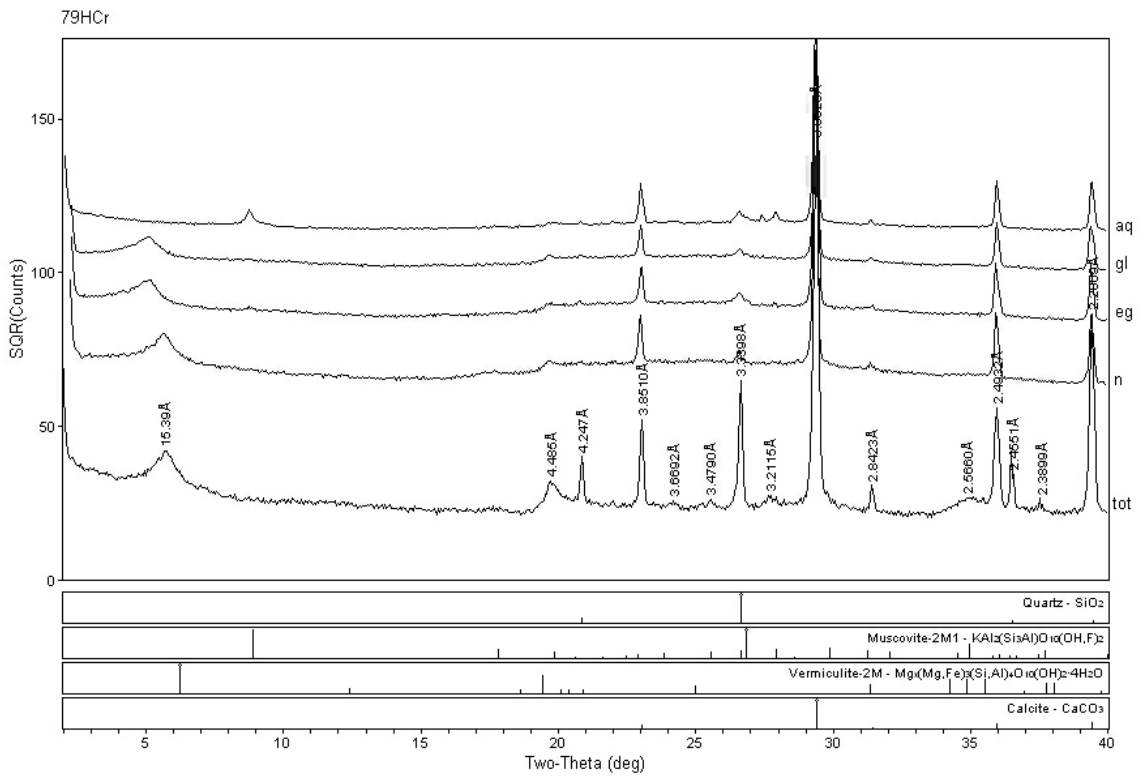
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 04:26p (MDIJADE9)



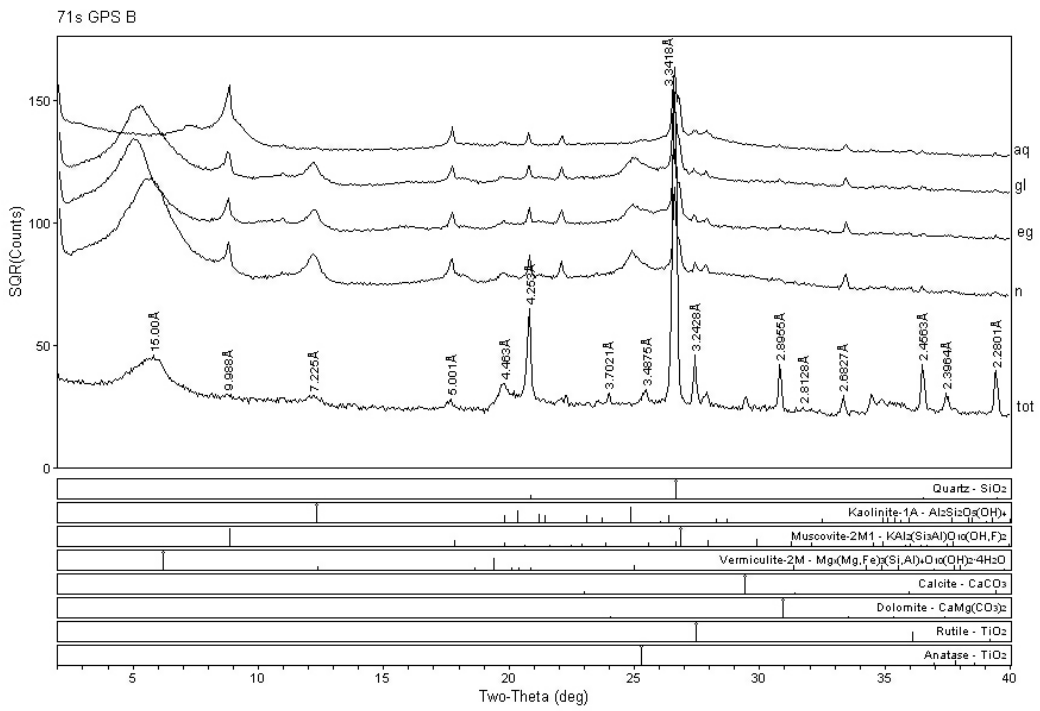
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 04:28p (MDIKJADE9)



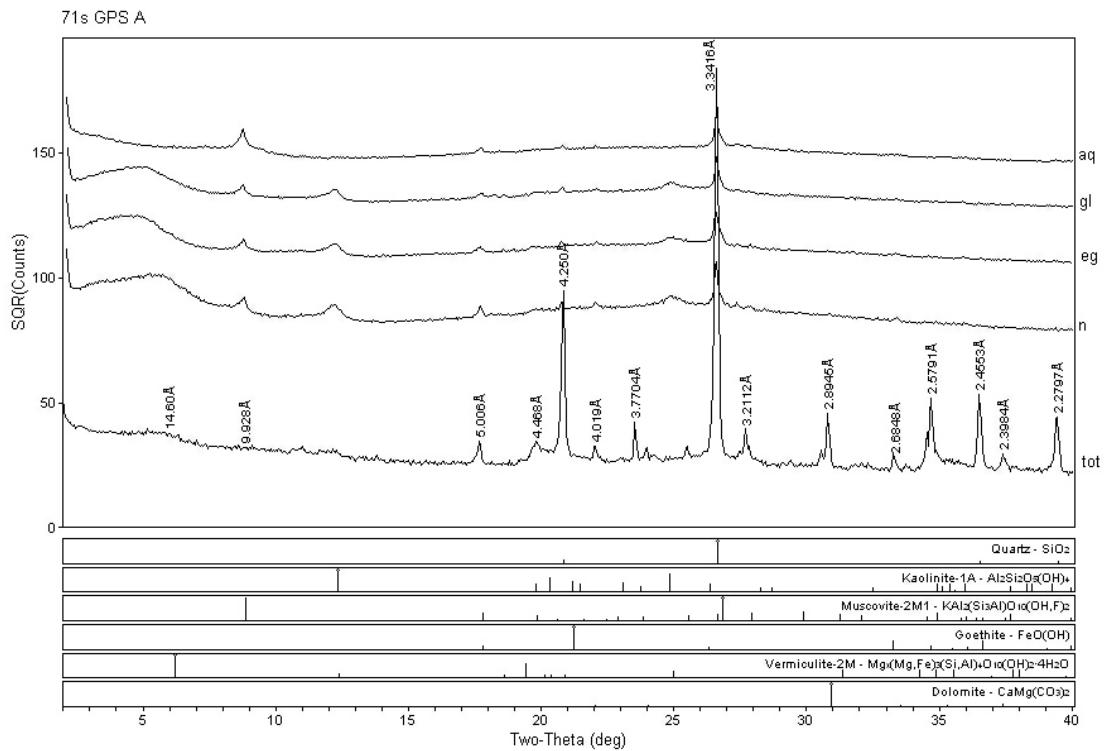
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 04:30p (MDIKJADE9)



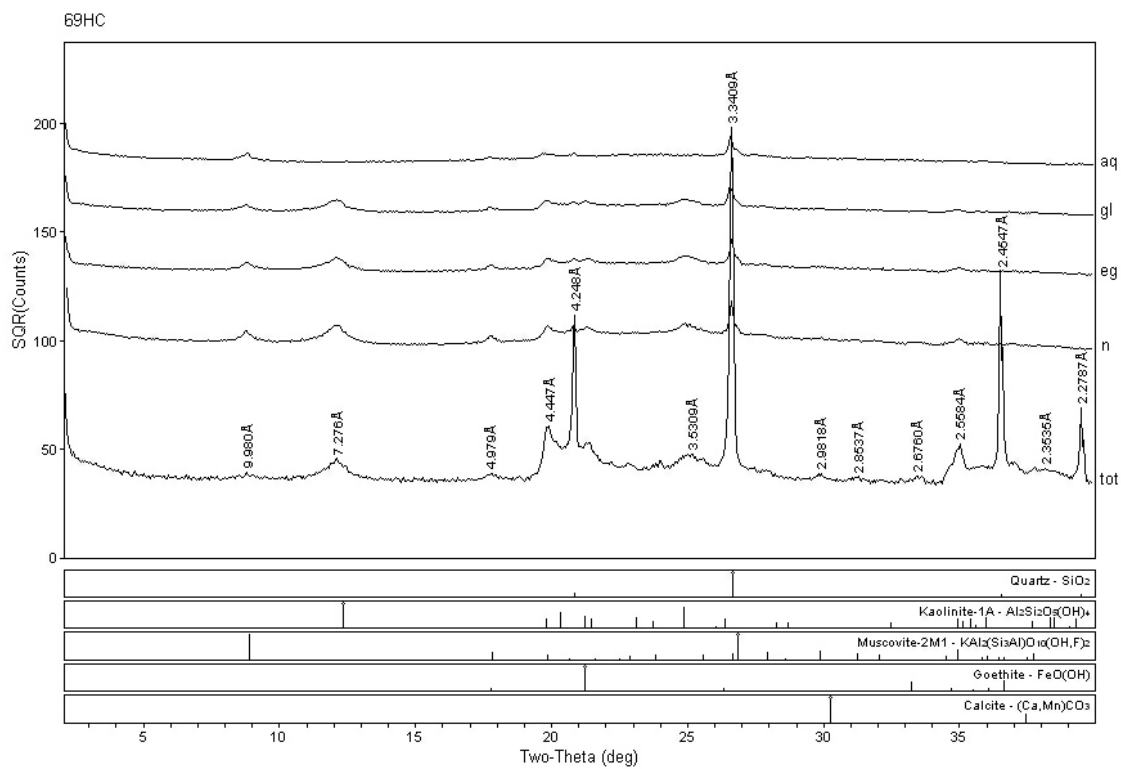
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 02:28p (MDI/JADE9)



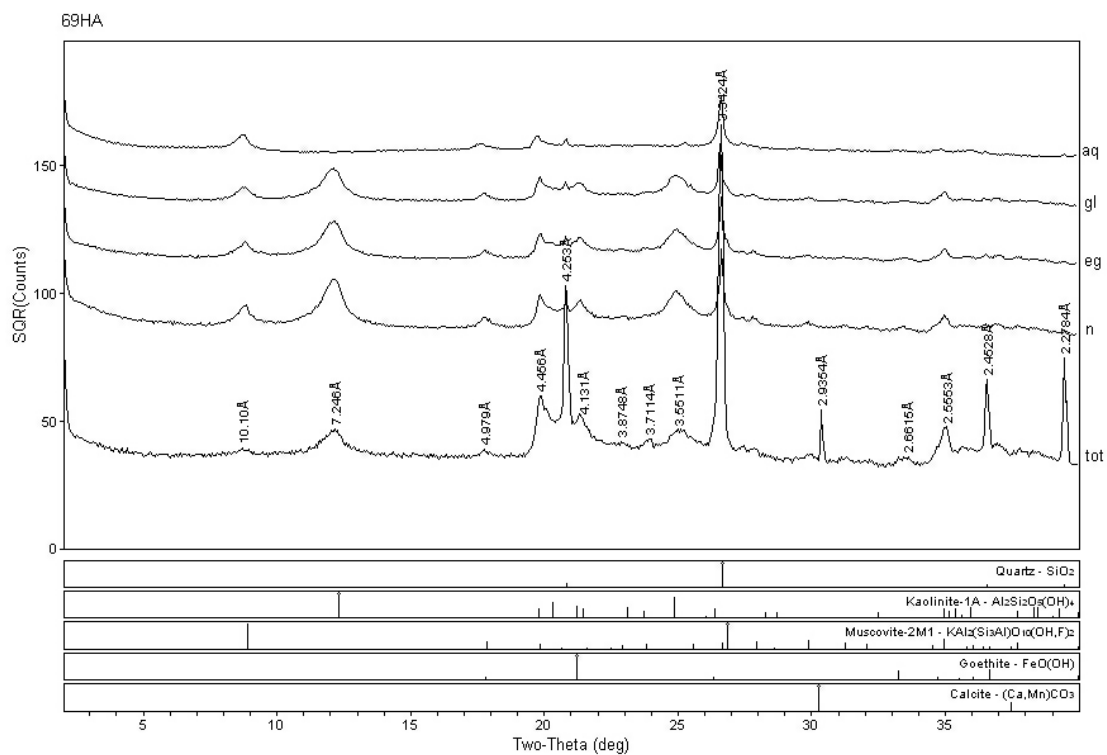
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 02:26p (MDI/JADE9)



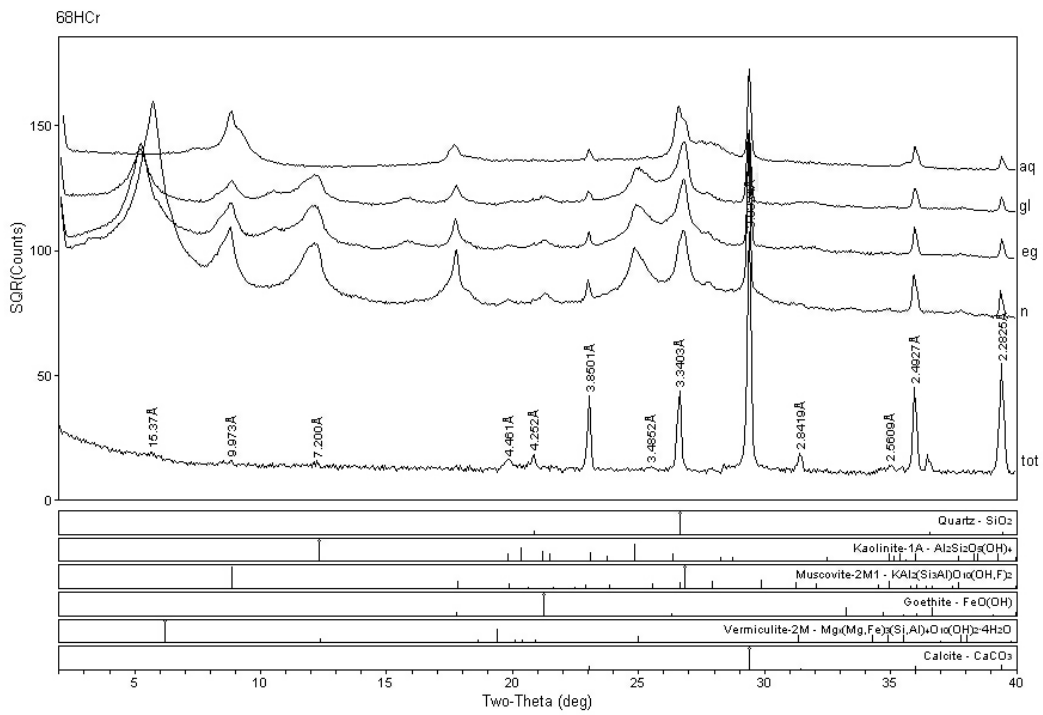
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 02:21p (MDI/JADE9)



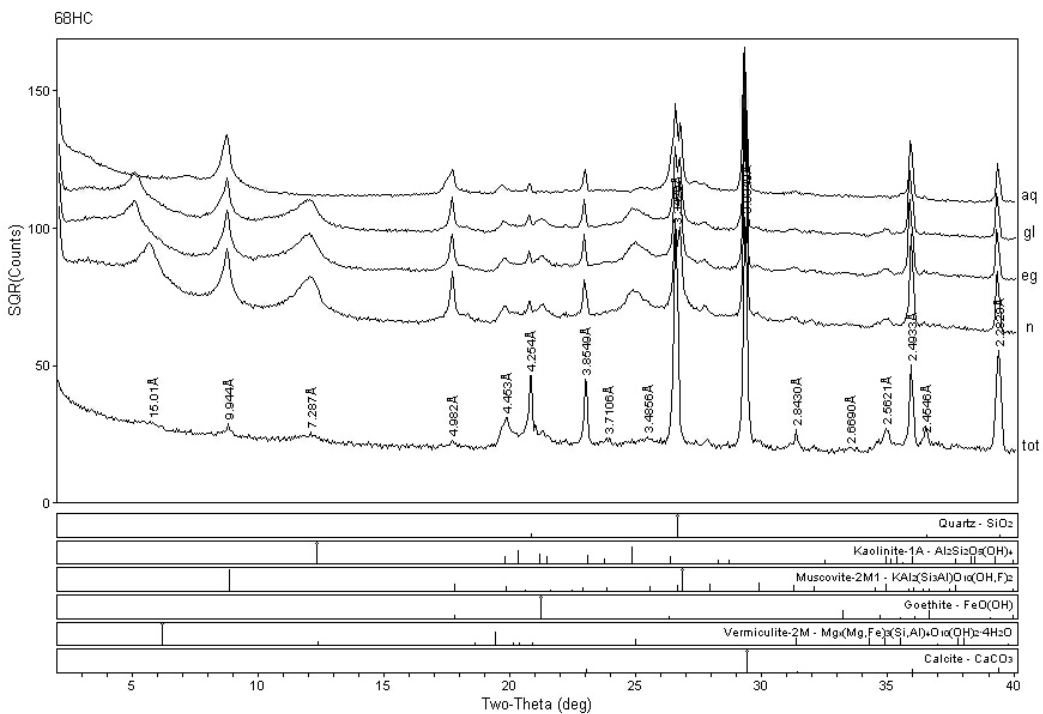
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 02:20p (MDI/JADE9)



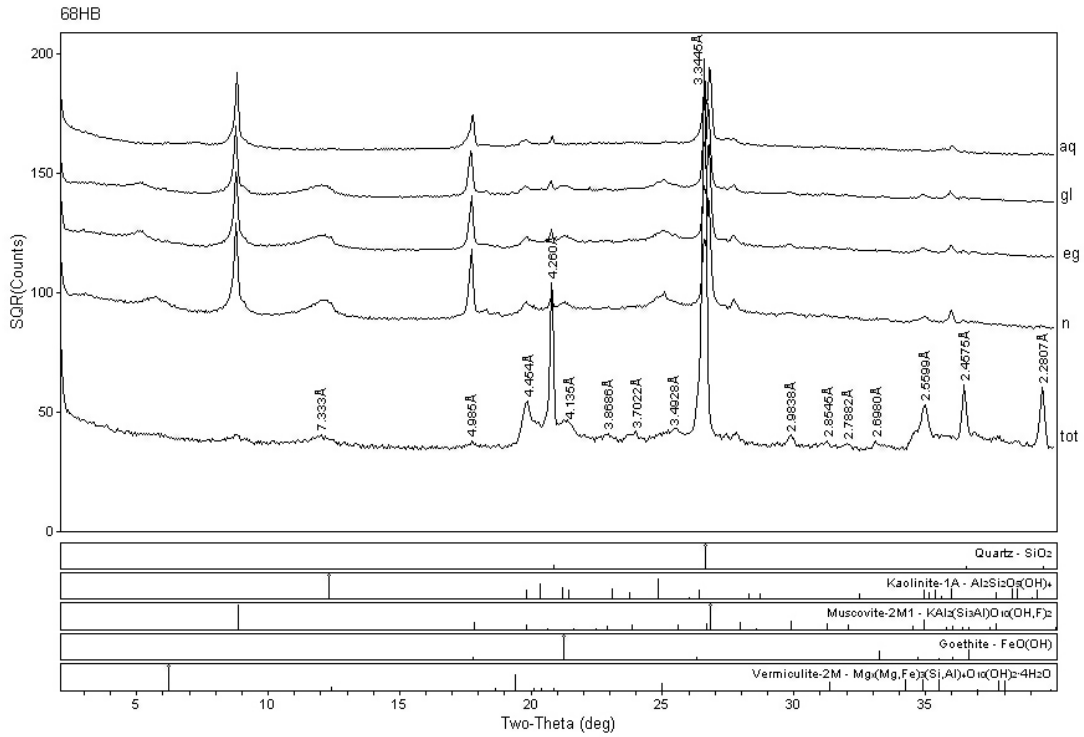
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 02:11p (MDIJADE9)



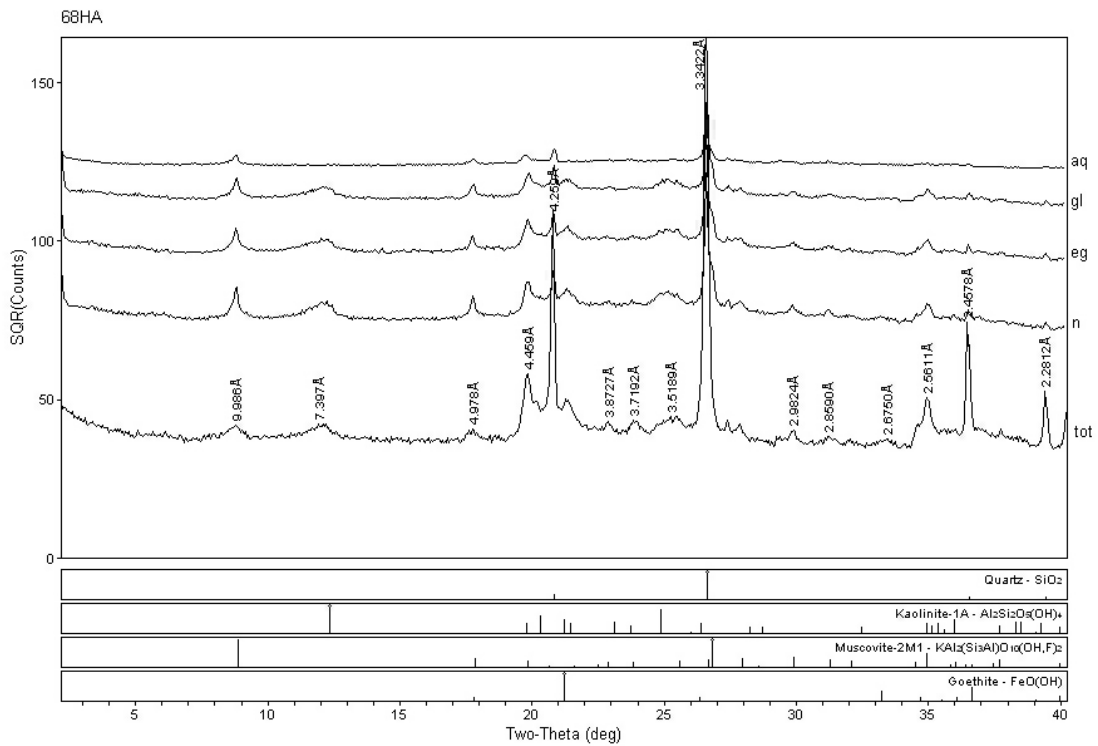
Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 02:09p (MDIJADE9)



Campus Univ Darcy Ribeiro

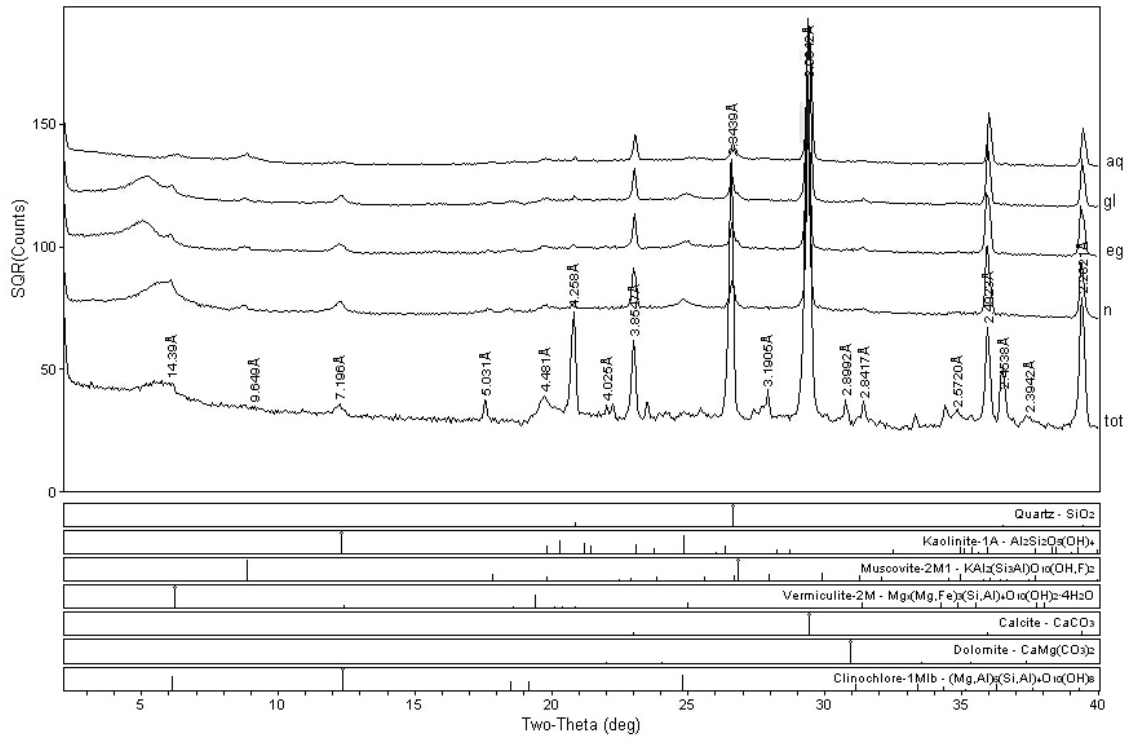
[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 02:05p (MDIKJADE9)



Campus Univ Darcy Ribeiro

[RAIO-X]IG Tuesday, January 30, 2018 02:01p (MDIKJADE9)

71s GPS C



APÊNDICE E - Caracterização espectral perfil de solo topossequência Uauá-BA

