

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Biblioteca espectral de solos e sua aplicação na quantificação de atributos e  
classificação**

**Henrique Bellinaso**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e  
Nutrição de Plantas**

**Piracicaba  
2009**

Henrique Bellinaso  
Engenheiro Agrônomo

**Biblioteca espectral de solos e sua aplicação na quantificação de atributos e classificação**

Orientador:  
Prof. Dr. **JOSÉ ALEXANDRE MELO DEMATTÊ**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e  
Nutrição de Plantas**

**Piracicaba  
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Bellinaso, Henrique

Biblioteca espectral de solos e sua aplicação na quantificação de atributos e  
classificação/ Henrique Bellinaso. - - Piracicaba, 2009.  
264 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.  
Bibliografia.

1. Análise do solo 2. Classificação do solo 3. Sensoriamento remoto I. Título

CDD 631.44  
B444b

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo seu propósito eterno e a Jesus por ser Senhor e ter morrido por mim.

A meus pais **Ivo F. Bellinaso** e **Maria H. B. Bellinaso** pela minha formação, por todo o amor e por serem instrumentos de Deus em minha vida e a meus irmãos **Letícia** e **Filipe**, pela amizade e companherismo.

A igreja em Piracicaba e aos demais irmãos em Cristo Jesus por serem minha família, em especial **Matheus, Juliana e Miguel** pelo cuidado e por serem instrumentos de Deus em minha vida,

Ao professor **Dr. José Alexandre Melo Demattê**, pela orientação, confiança, paciência e fundamental ajuda, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

À **Comissão do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas** da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, pela oportunidade concedida, Prof. Dr. Álvaro Pires da Silva, Prof. Dr. Luis Reynaldo Ferracciú Alleoni e Prof. Dr. Pablo Vidal-Torrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**CAPES**) por conceder a bolsa de estudos essencial à condução deste trabalho.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (**FAPESP**) pelo auxílio a pesquisa, projeto número 07/54976-8.

A todos os **colegas da pós-graduação**, em especial **Leonardo Ramirez, Marcelo Rodrigo Alves, Suzana Araújo Romeiro, Marco Bortoletto, Fabrício Terra e Rodnei Rizzo** pelos bons momentos, troca de conhecimentos e convivência durante o mestrado.

Aos estagiários do **Laboratório de Sensoriamento Remoto**, por toda a ajuda em especial na intensa coleta de dados.

A todos os **funcionários** do Departamento de Ciência do Solo.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram pela realização deste trabalho.





## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
Referências .....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Reflectância do Solo.....	19
2.2 Sensoriamento remoto espectral e aplicações .....	20
2.3 Bibliotecas Espectrais de solos.....	22
Referências .....	24
3 BIBLIOTECA ESPECTRAL E SUA APLICAÇÃO EM CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS .....	31
Resumo .....	31
Abstracts .....	31
3.1 Introdução.....	33
3.2 Material e métodos .....	34
3.2.1 Amostras de terra utilizadas .....	34
3.2.2 Análises laboratoriais .....	35
3.2.2.1 Análises químicas e granulométricas .....	35
3.2.2.2 Obtenção de dados espectrais.....	35
3.2.3 Gráficos das curvas espectrais.....	36
3.2.4 Análise de Componentes Principais .....	36
3.2.5 Classificação de solos pelo método da Comparação Descritiva Simplificada (CDS).....	37
3.3 Resultados e discussão .....	38
3.3.1 Caracterização do comportamento espectral dos perfis de solos avaliados .....	38
3.3.2 Componentes principais dos dados espectrais dos solos das diferentes regiões .....	181
3.3.3 Classificação de perfis via comparação descritiva simplificada (CDS) do seu comportamento espectral com a Biblioteca Espectral.....	185
3.4 Conclusões.....	185
Referências .....	186
4 REGIONALIZAÇÃO ESPECTRAL NA ESTIMATIVA DE ATRIBUTOS DE SOLO .....	191
Resumo .....	191
Abstracts .....	192

4.1 Introdução .....	193
4.2 Material e Métodos .....	195
4.2.1 Área de estudo.....	195
4.2.2 Análises laboratoriais.....	195
4.2.2.1 Análises químicas .....	195
4.2.2.2 Obtenção de dados espectrais .....	196
4.2.2.3 Construção das Bibliotecas Espectrais.....	197
4.2.2.4 Tratamento dos dados espectrais .....	200
4.2.3 Análises estatísticas .....	200
4.2.3.1 Análise estatística dos dados de referência dos atributos .....	200
4.2.3.2 Análise de componentes principais (PCA) e identificação de <i>outliers</i> dos dados espectrais .....	200
4.2.3.3 Seleção de amostras .....	201
4.2.3.4 Calibração e validação de modelos espectrais de quantificação de atributos.....	202
4.3 Resultados e discussão.....	205
4.3.1 Análise de Componentes Principais (PCA).....	205
4.3.2 Análise estatística dos dados de referência.....	206
4.3.3 Calibração e validação dos modelos de estimativa gerados pelas bibliotecas espectrais: geral, regionais e locais.....	209
4.3.4 Validação das equações de estimativa da Biblioteca Espectral I e de Sub-superfície.....	215
4.4 Conclusões .....	216
Referências.....	218
5 INTERPRETAÇÃO MÚLTIPLA DE ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA (IMER) NA CLASSIFICAÇÃO DO SOLO .....	222
Resumo .....	222
Abstract .....	223
5.1 Introdução .....	224
5.2 Material e métodos.....	225
5.2.1 Coleta de amostras dos perfis .....	225
5.2.2 Coleta de dados das amostra .....	226
5.2.2.1 Análises química e granulométrica.....	226

5.2.2.2 Obtenção de dados espectrais .....	226
5.2.3 Técnicas de sensoriamento remoto na avaliação dos dados .....	227
5.2.3.1 Determinação de atributos químicos, granulométricos, índices de intemperismo e mineralogia .....	227
5.2.3.2 Cor do solo .....	228
5.2.3.3 Avaliação qualitativa das curvas espectrais dos perfis .....	228
5.2.4 Classificação dos perfis com base em técnicas de sensoriamento remoto .....	232
5.2.5 Comparação entre classificações .....	232
5.2.6 Programas Utilizados .....	232
5.3 Resultados e discussão .....	233
5.3.1 Classificação por sensoriamento remoto .....	233
5.3.2 Validação das classificações .....	255
5.4 Conclusões .....	259
Referências .....	260



## RESUMO

### **Biblioteca espectral de solos e sua aplicação na quantificação de atributos e classificação**

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais na área agrícola tendo o solo como base dos seus sistemas de produção. O planejamento adequado dos sistemas de produção exige a obtenção de dados geoespaciais básicos como o mapa de solos e fertilidade. Entretanto, os levantamentos pedológicos ainda consomem muito tempo, são onerosos e necessitam de grande número de análises laboratoriais. O desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto laboratorial tem se apresentado como alternativa para o avanço de levantamentos pedológicos mais rápidos e menos onerosos. As técnicas de espectroscopia (VIS-NIR) também tem demonstrado boa eficiência na predição de atributos de solos de maneira rápida e menos poluente. Estas técnicas se baseiam em informações espectrais de solos e na montagem de um banco de dados espectral (Biblioteca Espectral). Portanto, tanto para a caracterização de classes de solo, quanto para a estimativa de atributos é necessário o desenvolvimento de Bibliotecas Espectrais (BE) que contenham dados representativos da variabilidade dos solos. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo a montagem de uma BE de solos de diferentes regiões agrícolas do Brasil e a partir destas informações desenvolver técnicas de classificação de perfis e quantificação de atributos de solo. Para isso foram coletadas 7185 amostras de terra provenientes de perfis e de tradagens. Foi montado um banco de dados com o comportamento espectral de cada horizonte de 233. Também foram geradas bibliotecas espectrais de diferentes abrangências geográficas, com finalidade de desenvolver modelos de predição de atributos. Baseado nos dados da BE gerada foi possível caracterizar distintas classes de solos e utilizar essas informações para classificar perfis de classe desconhecida a partir de dados espectrais. Também foram obtidos bons modelos de predições de atributos como areia, argila e  $Fe_2O_3$ . Foi demonstrado que BE que contenham dados de regiões com alta variabilidade de solos apresentam piores predições de atributos químicos. Um importante fator a ser considerado na montagem de BE é a alta amplitude de teor do atributo a ser predito. A montagem da BE contribuiu para avanços nas técnicas qualitativas e quantitativas de avaliação espectral dos solos.

Palavras chave: Sensoriamento remoto; Classificação do solo; Análise do solo



## ABSTRACT

### **Soil Spectral Library and its application in the attributes quantification and classification**

The Brazil is one of the major world agriculture producers having the soil like base of his production systems. The right planning of production systems needs the basic geospatial data obtaining such as soil and fertility maps. However, pedological surveys consume a lot of time, are expensive and need many laboratorial analyses. The development of laboratorial remote sensing techniques is an alternative for advanced of quicker and cheaper pedological surveys. The VIS-NIR spectroscopy techniques have been demonstrated a good efficiency in the fast and not pollutant soil attributes predictions. These techniques are based on soil spectral information and on development of the spectral data base (Spectral Library). Therefore, as much soil class characterization as attribute estimate it's necessary spectral library (SL) development that have representative data of soil variability. In this sense, this work aim to build a soil SL from Brazil's different agricultural regions and from this information on to develop profile classification techniques and soil attributes quantification. 7185 soil samples were collected from profiles and polls. A data base was built with spectral behavior of the 233 profiles and their horizons. SLs with different geographical coverage are purpose-built of development of attributes predictions models. Based on SL data created, it was possible distinguish different soil classes and use these information to classify profiles of unknown classes from spectral data. Good attributes prediction models were obtained to sand, clay and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . It was demonstrated that SL containing regional data with high variability of soil have shown worse chemical attribute predictions. An important factor needs being considered in the SL building is the high amplitude of predicted attribute content. The SL building has brought advances to qualitative and quantitative soil spectral evaluation techniques.

Keywords: Remote sensing; Soil classification; Soil analysis





## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais na área agrícola tendo o solo como base dos seus sistemas de produção. Logo, a demanda crescente por alimentos e fontes energéticas renováveis vem ocasionando o uso cada vez mais crescente do solo. Nessa ótica a ocupação desordenada, muitas vezes impulsionada por fatores econômicos, pode levar o mesmo a problemas de contaminação por poluentes, erosão ou uso aquém de seu potencial devido a seu manejo inadequado.

De acordo com a conferência global de infra-estrutura e dados geoespaciais (Global Infra-structural and Geospatial Data), realizada em 2006 no Chile, dados geoespaciais tornam-se a mais importante informação relacionada com a pobreza humana. A conferência recebeu mais de 63 países. Os sistemas quando supridos de informações espaciais, como uso da terra, crescimento urbano e solos, servem de auxílio para decisões sociais. A conferência concluiu fortemente a necessidade que informações geoespaciais globais sejam desenvolvidas e distribuídas para a comunidade, quebrando o histórico não-compartilhamento de dados. Assim, o conhecimento profundo das características dos solos de uma região ou país é de fundamental importância para um planejamento ambiental, social e produtivo adequado.

Desta maneira o mapa de solos (em escala adequada) de uma área entra como ferramenta indispensável. O mapa de solos tem, entre outras, as seguintes finalidades: Ser base para definição de técnicas conservacionistas a serem adotadas na área. Indicar áreas com maior risco de erosão e compactação, auxiliar na escolha de áreas para implantação agrícola e de assentamentos, indicar áreas e épocas adequadas para o manejo da cultura em função do solo, indicar áreas mais ou menos produtivas baseada na informação solo. Indicar áreas para produção agrícola ou reserva permanente, otimizar o planejamento de amostragem para fins de fertilidade para utilização de técnicas de Agricultura de Precisão, é base para determinação de métodos de avaliação de terra como Aptidão Agrícola, Capacidade de Uso da Terra, Grupos de Manejo e Ambientes de Produção. Base para planejamento sem afetar aspectos ambientais. Autores como Vink já declaravam em 1960 que os mapas de solos são de grande importância para o desenvolvimento de um país.

A maioria dos estados brasileiros, porém, possui mapas de levantamento pedológico de pequena escala (exploratório e/ou reconhecimento), poucos possuem áreas com levantamentos de

nível detalhado ou semidetalhado, os quais são de uso mais direto no planejamento de sistemas agropecuários. Segundo Santos e Santos, 2007 a grande extensão do território brasileiro, as desigualdades regionais, a permanente falta de verba, assim como déficit de material e recursos humanos e suporte institucional insuficiente forçam o país a eleger a execução de levantamentos generalizados de pequena escala, os quais não fornecem informação suficiente para o planejamento agrícola e ambiental nos níveis hoje necessários Segundo Olmos Iturri Larach et al. (1981), os levantamentos de solos nos níveis semidetalhado e detalhado correspondem a aproximadamente 0,25% da área do país, no nível de reconhecimento 17,1% e no exploratório 75,6%. Esta escassez de mapas de solos de maior grau de detalhamento vem sendo discutida em nível nacional e internacional (BEN-DOR et al., 2008).

Recentemente o alto preço do açúcar e o aumento da demanda por álcool combustível nas regiões sudeste e centro oeste vem ocorrendo um alto crescimento agrícola. Porém, esse crescimento tem sido desordenado, sem critérios agrônômicos, sem conhecimento dos tipos de terra. Um crescimento deste tipo terá conseqüências ambientais e sociais futuras. Atualmente grandes áreas em todo o Brasil carecem completamente de informação de solos em níveis de levantamento e escalas apropriadas para fornecer suporte adequado aos atuais problemas de uso, manejo, conservação, prevenção e recuperação de áreas degradadas agrícolas e não agrícolas (SANTOS E SANTOS, 2007). A questão que permanece, portanto, é como planejar em larga escala sem mapas de solo? Como indicar onde são as áreas propícias para determinada cultura? Como saber onde ocorrem os solos que devem ser preservados do descarte de subprodutos? Como ter condições de mapear um território tão grande em pouco tempo? O ambiente pode esperar? A busca por resultados agrícolas para diminuir a fome pode esperar? Enfim, como planejar sem o mapa básico para isso?

Para isso várias linhas de atuação podem ser adotadas. A principal é a do mapeamento de solos pela metodologia tradicional. Esse vem sendo realizado há muito tempo, porém esbarra em questões diversas, a principal é devido ao método ser demorado aliado com a grande extensão territorial. Conclusão, estima-se que mapas semi-detalhados que começaram a ser realizados na década de 70 até hoje atingiram o máximo de 13% da área do estado de São Paulo (SANTOS E SANTOS, 2007). Ou seja, em 38 anos houve um avanço de pouca significância. Em contrapartida a agricultura evoluiu tendo hoje grande impacto na economia brasileira. Como contribuir para solução dessa questão? Formação de pedólogos em técnicas que otimizem o

mapeamento, sendo esse realizado de maneira mais rápida e mais sustentável. Essa necessidade é consenso na comunidade científica (RIVERO et al. 2007, CHRISTY, 2008).

Somado a isso, no caminho do desenvolvimento de mapas de solo e principalmente para o manejo de fertilidade do solo, estão as análises químicas de solo. Estima-se que no Brasil o número de análises químicas de terra tenha atingido 1 milhão de amostras no ano de 2001 (RAIJ et al., 2001). Além do alto custo e tempo gasto em análises convencionais, existe um fator de grande importância que são as altas quantidades de resíduos produzidos pelos laboratórios que podem levar a contaminação do ambiente se não tiverem uma destinação adequada.

Na busca de solução para esses problemas técnicas de sensoriamento remoto (SR) têm sido desenvolvidas para cooperar no levantamento de solos de maneira mais rápida e com menor impacto no ambiente e na estimativa de atributos do solo, diminuindo assim o volume de resíduos laboratoriais, o tempo de espera das análises e os custos.

A técnica de SR desde o advento da fotointerpretação tem uma longa tradição na pesquisa mundial e nacional. Especificamente a área de radiometria tem ganhado impulso nos últimos anos, principalmente com o advento de novos sensores. Inúmeros artigos científicos já provaram sua eficácia no reconhecimento, identificação de solos e seus atributos (STONER E BAUMGARDNER, 1981; DUNN et al., 2002; VISCARRA-ROSSEL, et al., 2006; DEMATTÊ et al., 2004; MADARY et al., 2006; MCBRATNEY et al., 2006; NANNI E DEMATTÊ., 2006; RIVERO et al., 2007; BEN-DOR et al., 2008). A comprovação, entretanto, é realizada de maneira aleatória e não organizada, o que dificulta sua implementação. De que adianta saber e comprovar que a técnica funciona, se não é aplicada? A aplicação da técnica esbarra numa questão simples: a determinação de padrões que fiquem disponíveis ao público. Logo, a obtenção de padrões mais abrangentes e detalhados é a base para que todo o esforço nesta linha de pesquisa possa realmente avançar para o aplicado, ou seja a criação de bibliotecas espectrais de solos funcionando como padrão para caracterização de solos e estimativa de atributos . Uma outra aplicação importantíssima de uma biblioteca espectral é sua aplicabilidade como dado base para interpretações de dados radiométricos obtidos por sensores orbitais, nos últimos anos foi número de satélites lançados, sendo grande parte desses satélites contendo sensores hiperespectrais. O estudo dos atributos de solo por meio do SR pode facilitar os levantamentos de solos, a predição da erosão e as práticas de adubação de culturas para um manejo mais preciso (SULLIVAN et al., 2005).

Desta forma o conhecimento e criação de uma biblioteca de curvas espectrais de diferentes solos do Brasil, serve de base para todo tipo de estudo sobre os solos, uma vez que serve como uma forma de padrão para o desenvolvimento das técnicas de SR e suas aplicações. Além disso serve de suporte para a criação de equações que estimam atributos de solo, ou seja, a aplicação de informações presentes no meio científico, como ferramenta mais rápida, menos onerosa e de baixo impacto ambiental na análise de amostras de solo.

Neste contexto as hipóteses testadas foram: (a) A construção de uma Biblioteca Espectral (BE) de solos de diferentes regiões agrícolas do Brasil possibilita a obtenção de melhores resultados na classificação de solos via técnicas de sensoriamento remoto; (b) Bibliotecas Espectrais Regionais geram modelos de estimativas de atributos mais precisos do que Bibliotecas Espectrais de maior abrangência.

## Referências

- BEN-DOR, E.; TAYLOR, G.R.; HILL, J.; DEMATTÊ, J.A.M.; WHITING, M.L.; CHABRILLAT, S.; SOMMER, S. Imaging spectrometry for soil applications. **Advances in Agronomy**, New York, v.97, p.321-392, 2008
- DEMATTÊ, J.A.M.; CAMPOS, R.Co.; ALVES, M.C. ; FIORIO, P.R. ; NANNI, M.R. Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma**, Amsterdan, v. 121, p. 95-112, 2004.
- DUNN, B. W.; BEECHER, H. G.; BATTEN, G. D.; CIAVARELLA, S. The potencial of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.42, p.607-614, 2002.
- CHRISTY, C.D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v.61, p.10–19, 2008.
- MADARI, B.E.; REEVES III, J.B; MACHADO, P.L.O.A; GUIMARÃES, C.M.; TORRES, E.; McARTY, G.W. Mid- and near-infrared spectroscopy assesment of soil compositional parameters and structural indices in two Ferralsols. **Geoderma**, Amsterdan, v.136, p.245-259, 2006.

McBRATNEY, A.B.; MINASNY, B.; VISCARRA-ROSSEL, R.. Spectral soil analysis and inference systems: A powerful combination for solving the soil data crisis. **Geoderma**, Amsterdam, v.136, p.272-278, 2006

NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M. Spectral reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.70, p.393-407, 2006.

OLMOS ITURRI LARACH, J.; SOUZA, J.L.R.; SILVEIRA, C.O. Levantamentos pedológicos no Brasil executados pelo SNLCS – EMBRAPA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, 1981. Rio de Janeiro **Anais...** Rio de Janeiro, 1981. p.13-29.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.

RIVERO, R.G.; GRUNWALD, S.; BRULAND, G.L. Incorporation of spectral data in to multivariate geostatistical models to map soil phosphorus variability in a Florida wetland. **Geoderma**, Amsterdam, v.140, p.428-443, 2007

SANTOS, M.L.M; SANTOS, H.G dos. **The State of the Art of Brazilian Soil Mapping and Prospects for Digital Soil Mapping..** In: LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A.B.; VOLTZ, M. (Ed.). Digital soil mapping: an introductory perspective. Developments in soil science, Amsterdam: Elsevier, 2007. v.31 p 39-54,601.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 6, p. 1161- 1165, Nov. 1981

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



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Reflectância do Solo

A espectrorradiometria de reflectância é uma técnica de SR que registra o fluxo de radiação eletromagnética refletida por objetos, no caso o solo, não havendo contato físico entre sensor e alvo. A quantidade de radiação refletida (radiância) comparada com a quantidade incidente (irradiância) sobre o solo fornece a medida de reflectância captada por sensores, denominados radiômetros ou espectrorradiômetros (DALMOLIN et al, 2005).

A medida dos valores de reflectância de um corpo ou alvo ao longo do espectro eletromagnético é definida como o seu comportamento espectral. Como diferentes alvos podem apresentar respostas espectrais características, podemos devido a esta propriedade, identificá-los na natureza (SABINS, 2000). O comportamento espectral do solo depende diretamente de sua composição química, física, biológica e mineralógica sendo os principais constituintes que o afetam matéria orgânica, óxidos de ferro, mineralogia da fração argila, além de tamanho de partículas, rugosidade e umidade do solo (DALMOLIN et al., 2005)

A reflectância pode ser expressa em curvas de reflectância espectral. Estas curvas espectrais, que de maneira geral abrangem a região do espectro eletromagnético de 400 a 2500 nm, apresentam feições típicas ou bandas de absorção, devido a interação dos átomos ou moléculas dos diferentes constituintes do solo com a radiação eletromagnética em comprimento de ondas específicos (DALMOLIN et al., 2005) .

Os estudos em reflectância dos solos pode ser realizado por sensores colocados em terra, no campo ou em laboratório. Estes sensores apresentam alta resolução espectral podendo ser muito mais detalhados do que os colocados em órbita. Os sensores terrestres são os principais responsáveis pela obtenção dos padrões espectrais ‘puros’ dos solos, para posterior validação por sensores orbitais (HUETE, 1996). Porém o conceito em ambos os caso é o mesmo, guardadas as devidas diferenças.

Recentes estudos (DEMATTE et al., 2004; MADARY et al., 2006; MCBRATNEY et al., 2006; NANNI E DEMATTE., 2006; RIVERO et al., 2007; BEN-DOR et al., 2008) demonstram



que a caracterização de solos com técnicas de estudo da reflectância espectral pode substituir ou melhorar as técnicas convencionais de caracterização de solos.

## **2.2 Sensoriamento remoto espectral e aplicações**

Os inventários sobre solos são de maneira geral realizados pelos métodos convencionais como o caso de Brasil (1960) e Soil Survey Staff (1994) empregados no Brasil e nos Estados Unidos respectivamente. Os métodos convencionais são trabalhosos, caros e demorados em comparação a técnicas mais modernas de mapeamento (SINGH E DWIVEDI, 1989). As técnicas auxiliares ao mapeamento evoluíram nos últimos anos, acompanhando a evolução dos sistemas de classificação no Brasil (CAMARGO et al., 1987; EMBRAPA, 1999; EMBRAPA, 2006) e nos EUA (SOIL SURVEY STAFF, 1994). Dentro das novas técnicas o SR vem se destacando como ferramenta auxiliadora no reconhecimento de solos (DEMATTÊ, 1999). Isto tem estimulado estudos quanto à influência de diferentes propriedades e características dos solos em relação à sua reflectância, tornando-se uma ferramenta das mais importantes na aplicação das Geociências (EPIPHANIO E FORMAGGIO, 1990).

Além disso o SR tem sido usado em várias áreas de estudo em ciência do solo como: quantificação de atributos do solo (MORRA et al., 1991; BEN-DOR et al., 1997; GALVÃO et al., 1997; DEMATTÊ E GARCIA, 1999; SHEPHERD E WALSH, 2002; BEN-DOR, 2002; DUNN et al., 2002; VISCARRA-ROSSEL, et al., 2006; NANNI E DEMATTÊ, 2006; BROWN, et al., 2006; MALEKI et al., 2007; MOUAZEN et al., 2007); Em agricultura de precisão (THOMASSON et al., 2001; MALEKI et al. 2007; MOUAZEN, et al. 2007); Estudos de erosão (SERVENAY E PRAT, 2003; FIORIO et al. 2000); Decomposição de Matéria Orgânica (BEN-DOR et al., 1997); Metais pesados no solos (ZHAO WU et al. 2005). Farifteh et al., 2007 usaram métodos de regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR) e redes neurais artificiais (ANN) para identificar solos afetados por sais.

Os estudos radiométricos iniciaram na porção não visível, o infravermelho próximo, descoberta em 1800, por Herschel, citado por Stark et al. (1986). Posteriormente, vários autores têm documentado farto embasamento científico sobre a íntima relação entre atributos dos solos e a energia eletromagnética refletida (BOWERS E HANKS, 1965; HUNT et al., 1971; STONER E BAUMGARDNER, 1981; GOETZ, 1992). Nas condições laboratoriais, os parâmetros físicos permanecem constantes, não há problemas atmosféricos e os ruídos espectrais são mínimos,

permitindo o uso de técnicas não destrutivas na quantificação dos solos (BEN-DOR E BANIN, 1995; MADEIRA-NETTO et al., 1996). Vários autores vêm buscando resultados utilizando estas técnicas que correlacionam atributos do solo e reflectância espectral (GALVÃO et al., 1997; DEMATTÊ E GARCIA, 1999; VISCARRA-ROSSEL et al., 2006), sendo que alguns modelos têm apresentado alto potencial (MORRA et al., 1991; BEN-DOR et al., 1997).

Coleman et al. (1991) obtiveram bons resultados na estimativa de argila. Apesar dos resultados terem sido pouco consistentes, os autores sugerem a continuidade do processo.

O grande salto de desenvolvimento e credibilidade no uso de técnicas de sensoriamento na estimativa de atributos de solo ocorreu após o ano 2000. Desde então inúmeros trabalhos tem demonstrado a eficácia do método mostrando que o mesmo deixou de ter seu uso como um possível potencial e passou a ser realidade (CHANG et al, 2001; DUNN et al., 2002; SHEPHERD E WALSH, 2002; LEE et al., 2003; MORÓN E COZZOLINO , 2007; BROWN et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2008). Posteriormente aos trabalhos em laboratório, o uso de sensores no campo e diretamente em tratores vêm sendo realizados, com o intuito de ser aplicado de forma pratica em Agricultura de Precisão (SUDDUTH E HUMMEL, 1993; CHRISTY et al., 2003; SHONK et al., 1991).

Seguindo esta linha de trabalho, Nanni e Demattê (2001) verificaram haver alta correlação entre vários atributos físicos e químicos com a energia refletida e sugerem a diminuição das análises de solo em laboratório tradicional em detrimento das análises por sensores. Bogrekci e Lee (2007) avaliaram as regiões espectrais do ultravioleta, infravermelho próximo e do visível na predição de fósforo em amostras de terra chegando a conclusão que a melhor região a ser utilizada na estimativa de teores de fósforo é a região do infravermelho próximo. Cohen et al (2007) demonstraram que a estimativa de atributos de solo através de técnicas de sensoriamento remoto é possível e que o erro na estimativa é tão igual ou menor que o erro cometido por um laboratório de análise de solos tradicional.

A aplicação do uso da técnica a campo tem sido demonstrada em vários países, trabalho de revisão de literatura, Ge et al. (2006) demonstram diferentes trabalhos em que técnicas de sensoriamento remoto são utilizadas na quantificação de atributos de solos visando sua aplicação em agricultura de precisão. Adamchuk et al. (2004) apresentam uma revisão de literatura mostrando os diferentes tipos de sensores com potencial de utilização no campo a bordo de máquinas. Christy (2008) avaliou a capacidade de um sensor óptico predizer em tempo real os

atributos do solo em diferentes áreas da região central do Kansas, os melhores resultados encontrados foram para estimativa dos teores de matéria orgânica. Maleki et al. (2007) avaliaram a aplicação de fósforo no solo baseada na necessidade estimada através de sensor a bordo de trator. Wetterlind et al. (2008) utilizaram dados espectrais para diminuir o número de amostras de solos a serem analisadas em laboratórios convencionais para confecção de mapas de atributos de solo de uma propriedade agrícola.

Somado a esses inúmeros trabalhos o avanço de modelos matemáticas (MINASNY E MCBRATNEY, 2008; PIERNA E DARDENNE, 2008) e programas computacionais (VISCARRA-ROSSEL, 2008) tem cooperado com o aumento da precisão da quantificação de atributos através de dados espectrais. Segundo VISCARRA-ROSSEL et al. (2008) a região do infravermelho médio é de maior potencial na quantificação de atributos químicos do que a região do visível e do infravermelho próximo, segundo os autores isso ocorre pois é nessa região que as vibrações moleculares desses componentes ocorrem.

### 2.3 Bibliotecas Espectrais de solos

Um dos primeiros trabalhos de elaboração de biblioteca espectral de solos foi o realizado por Stoner et al. (1980), que avaliaram vários solos americanos, tendo sido incluído um solo brasileiro do estado do Paraná. Posteriormente foi publicado trabalho científico relacionado ao tema (STONER E BAUMGARDNER, 1981).

Posteriormente no Brasil, Epiphanyo et al. (1992) elaboraram uma biblioteca ao nível de estado de São Paulo. Tais bibliotecas foram realizadas ao nível de papel e não tiveram condições, naquela época, de angariar maiores detalhes para utilização pela comunidade. No mesmo ano, Grove et al. (1992) criaram uma biblioteca espectral de 160 minerais, patrocinado pela NASA. Vários autores tem obtido curvas espectrais de solos porém, publicadas de maneira dispersa para a utilização pública (FORMAGGIO et al., 1996; DALMOLIN, 2002; DEMATTÊ, 1999; DEMATTÊ et al. 2004).

Atualmente existem algumas bibliotecas espectrais disponíveis de maneira *online* porém na maioria referem-se a outros materiais como minerais e rochas e não solo propriamente dito.(ASTER, 2007; USGS, 2007)

Muitos pesquisadores têm se defrontado com o dilema de não serem capazes de entender ou explicar as causas de muitas das variações na reflectância da superfície dos solos

(BAUMGARDNER E STONER, 1982). Coleman e Montgomery (1987) utilizando imagens TM-Landsat para diferenciação da superfície de solos com propriedades similares, concluíram que este sensor possibilitou a diferenciação dos solos de uma mesma ordem, mas sua resolução espacial ainda torna os resultados comprometedores em relação aos limites separativos. Dilemas como estes ocorrem desde os primeiros estudos de solos com dados multiespectrais de sensores, tanto montados em plataformas aéreas como espaciais. Alguns novos sensores, comentam os autores, por possuírem diferentes bandas espectrais possibilitam, através da análise digital de seus dados, classificarem cenas da paisagem em diversas categorias espectralmente separáveis, com base nas diferenças de fácil percepção existentes entre uma e outra banda espectral dos sensores. Daí a importância da obtenção de padrões espectrais em laboratório.

Em recente trabalho publicado, Shepherd e Walsh (2002) elaboraram uma ampla biblioteca espectral com mais de 1000 amostras de terras (das mais diferentes classes) provenientes do sul e leste do continente africano, após a elaboração da biblioteca os autores testaram seu uso para a estimativa de características químicas e texturais de novas amostras. De acordo com os autores, a biblioteca espectral “abre novas possibilidades na modelagem, e acesso ao manejo e avaliação de solos para agricultura”. Os autores reforçam que trabalhos como o elaborado devem continuar abrindo maiores possibilidades de quantificação dos solos e de seu atributos.

Segundo Nanni e Demattê (2006) a escolha do método laboratorial ou dados imagem espectral, para estimativa de atributos do solo, dependerá do objetivo do usuário e sua aplicação é ilimitada.

Galvão e Formaggio (2007) ressaltam a importância de bibliotecas espectrais, uma vez que servem de referência para estudos de solo usando sensores hiperespectrais orbitais, ou seja seus dados são necessários para estudos de solos visando detecção de minerais opticamente ativos, por exemplo.

Viscarra-Rossel et al. (2008) desenvolveram uma biblioteca espectral de solos da Austrália para o seu uso em áreas ocupadas por algodão. Esta biblioteca espectral incorpora modelos de estimativa de atributos físico-químicos a partir de dados hiperespectrais com os quais se diminui significativamente o custo e o tempo para obtenção de informações relacionadas com a fertilidade do solo, possibilitando a caracterização detalhada de grandes áreas em um período relativamente curto.

Recentemente foi criado o grupo de espectroscopia em solos (*The Soil Spectroscopy Group*), cujo intuito é a montagem de uma biblioteca espectral mundial de solos (<http://groups.google.com/group/soil-spectroscopy>).

## Referências

- ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.44, p.71–91, 2004.
- ASTER Spectral Library. Disponível em: <http://speclib.jpl.nasa.gov>. Acesso em: 25 fev. 2009.
- BAUMGARDNER, M. F.; STONER, E. R. Soil mineralogical studies by remote sensing. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 12., 1982. New Delhi **Proceedings...** New Delhi:ISSS, 1982. p.419-441.
- BEN-DOR, E.; BANIN, A. Near-Infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 59, p.364-372, 1995.
- BEN-DOR, E.; IMBAR, Y.; CHEN, Y. The Reflectance spectra of organic matter in the visible near infrared and short wave infrared region (400-2500nm) during a control decomposition process. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.61, p.1-15, 1997.
- BEN-DOR, E. Quantitative remote sensing of soil properties. **Advances in Agronomy**, New York, v.75, p.173-243, 2002.
- BEN-DOR, E.; TAYLOR, G.R.; HILL, J.; DEMATTÊ, J.A.M.; WHITING, M.L.; CHABRILLAT, S.; SOMMER, S. Imaging spectrometry for soil applications. **Advances in Agronomy**, New York, v.97. p.321-392, 2008.
- BOGREKCI, I. ; LEE, W.S. Comparison of ultraviolet, visible, and near infrared sensing for soil phosphorus. **Biosystems Engineering** , Cambridge, v.92, p.293–299, 2007.
- BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflectance of radiant energy from soils. **Soil Science**, Baltimore, v.100, n.2, p.130-138, 1964-65.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisa Agrônômica. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, 1960. 634p (SNPA. Boletim, 12).
- BROWN, D.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G.; MAYS, M.D.; REINSCH, T.G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v.132, p. 273-290, 2006.

CAMARGO, M.N.; KLANT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n.1, p. 11-13, jan/abr. 1987.

CHANG, C.W.; LAIRD, D.A.; MAUSBACH, M.J.; HURBURGH JUNIOR, C.R. Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.480-490, 2001.

CHRISTY, C.D.; DRUMMOND, P.; D.A, LAIRD. An on-the-go Spectral Reflectance Sensor for Soil. St. Joseph, Mich.:ASAE, 2003. (ASAE Paper No. 031044.)

CHRISTY, C.D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy. **Computers and electronics in agriculture**, Amsterdam, v.61, p.10–19, 2008.

COHEN, M.; MYLAVARAPU, R.S.; BOGREKCI, I.; LEE, W.S.; CLARK, M.W. Reflectance Spectroscopy For Routine Agronomic Soil Analyses. **Soil Science**, Baltimore, v.172, p.469-485, 2007.

COLEMAN, T. L.; MONTGOMERY, O. L. Soil moisture, organic matter and iron content effect on the spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols in Alabama. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Maryland, v.53, p. 1659-1663, 1987.

COLEMAN, T.L.; AGBU, P.A.; MONTGOMERY, O.L.; GAO, T.; PRASAD, S. Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathered soils. **Soil Science**, Baltimore, v.151, n.5, p.355-361, 1991.

DALMOLIM, R.S.D. **Matéria Orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes**. 2002. 151p. Tese (Doutor em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

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

DEMATTÊ, J. A.M. **Reflectância espectral de solos**. 1999. 452p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

DEMATTÊ, J.A.M.;GARCIA, G.J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 63, n.2, p.327-342, Mar./Apr. 1999.

DEMATTÊ, J.A.M.; CAMPOS, R.Co.; ALVES, M.C. ; FIORIO, P.R. ; NANNI, M.R. Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma**, Amsterdan, v. 121, p. 95-112, 2004.

DUNN, B. W.; BEECHER, H. G.; BATTEN, G. D.; CIAVARELLA, S. The potencial of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.42, p.607-614, 2002.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. Estudo de umidade do solo através de dados de reflectância. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990. Manaus. **Anais...** São José dos Campos : INPE, SBC, 1990. p.269- 285.

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

FIORIO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; SPAROVEK, G. Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na microbacia hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.671-679, abr. 2000.

FORMAGGIO, A.R.; EPIPHÂNIO, J.C.N.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 467-474, set.-dez. 1996.

GALVÃO, L.S.; VITORELLO, I.; FORMAGGIO, A.R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.61, p.24-33, 1997.

GALVÃO, L.S.; FORMAGGIO, A.R. Sensoriamento remoto hiperespectral e geração de informações pedológicas. In: Métodos tradicionais e novas ferramentas para levantamento de solos – **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.27-31. jan-abril, 2007.

GE, Y.; THOMASSON, J. A.; SUI, R. Remote sensing of soil properties in precision agriculture: a review .In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2006. Portland, Oregon 9 – 12 July 2006. (Paper Number: 061176. 2006.)

GOETZ, A.F.H. Principles of narrow band spectrometry in the visible and IR: Instruments and data analysis. In:TTOSELLI,F. BODECHTEL, T. (Ed.). **Imaging Spectroscopy: Fundamentals and Prospective Applications** Dordrecht, Kluwer Academic Publishers , 1992. p. 21-31.

GROVE, C.I. ; HOOK, S.J. ; TAYLOR, E.D. **Laboratory reflectance of 160 minerals, 0.4 to 2.5 micrometers.** Pasadena : National Aeronautics and Space Administration, 1992. 355p.

HUETE, A. R. Extension of soil spectra to the satellite: atmosphere, geometric, and sensor considerations. **Photo Interpretation**, Paris, v. 34, n. 2, p.101-114, 1996.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C. J. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and hydroxides. **Modern Geology**, New York, v.2, p.195-205, 1971.

LEE, W.S.; SANCHEZ, T.F.; MYLAVARAPU, R.S.; CHOE, J.S. Estimating chemical properties of florida soils using spectral reflectance. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, v.46, n.5, p.1443-1453, 2003.

MADARI, B.E.; REEVES III, J.B; MACHADO, P.L.O.A; GUIMARÃES, C.M.; TORRES, E.; McARTY, G.W. Mid- and near-infrared spectroscopy assesment of soil compositional parameters and structural indices in two Ferralsols. **Geoderma**, Amsterdam, v.136, p.245-259, 2006

MADEIRA NETTO, J. S. Spectral reflectance properties of soils. **Photo Interpretation**, Paris, v. 34, p.59-70, 1996.

MALEKI, M.R. ; MOUAZEN, A.M. ; RAMON, H. ; BAERDEMAEKER, J. DE. Optimisation of soil VIS–NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus. **Soil E Tillage Research**, Amsterdam, n.94, p.239-250, 2007.

McBRATNEY, A.B.; MINASNY, B.; VISCARRA-ROSSEL, R.. Spectral soil analysis and inference systems: A powerful combination for solving the soil data crisis. **Geoderma**, Amsterdam, v.136, p.272-278, 2006

MINASNY , B.; McBRATNEY, A.B. Regression rules as a tool for predicting soil properties from infrared reflectance spectroscopy. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v.94, p.72–79, 2008

MOUAZEN, A.M. ; MALEKI, M.R. ; BAERDEMAEKER, J. DE ; RAMON, H. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS–NIR sensor. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.93, p.13-27, 2007.



MORRA, M.J.; HALL, M.H.; FREEBORN, L.L. Carbon and nitrogen analysis of soil fractions using near-infrared reflectance spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, p. 288-291, 1991.

MORON, A.; COZZOLINO, D. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy to analyze soil chemical and physical characteristics. **Journal of Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.140, p. 65-71, 2003.

NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M. Quantification and discrimination of soils developed from basalt as evaluated by terrestrial, airborne and orbital sensors. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. 1 CD-ROM.

NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M. Spectral reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.70, p.393-407, 2006.

PIERNA, J.A.F ; DARDENNE, P. Soil parameter quantification by NIRS as a Chemometric challenge at 'Chimiométrie 2006'. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v.91, p.94-98, 2008

RIVERO, R.G.; GRUNWALD, S.; BRULAND, G.L. Incorporation of spectral data in to multivariate geostatistical models to map soil phosphorus variability in a Florida wetland. **Geoderma**, Amsterdam, v.140, p.428-443, 2007

SABINS, F.F. **Remote sensing: principles and interpretations**. 3<sup>rd</sup> . ed. New York: W. H. Freeman , 2000. 494p.

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

SHONK, J. L., L. D. GAULTNEY, D. G. SCHULZE, AND G. E. VAN SCOYOC. Spectroscopic sensing of soil organic matter content. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 34, p.1978-1984, 1991.

SERVENAY, A.; PRAT, C. Erosion extension of indurated volcanic soil of Mexico by aerial photographs and remote sensing analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v.117, p.367-375, 2003

SINGH, A. N.; DWIVEDI, R. S. Delineation of salt affected soils through digital analysis of Landsat MSS data. **International Journal of Remote Sensing**, Oxon, v.10, n.1, p.83-92, 1989.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 6th ed. Washington: U.S. Gov. Print Office, 1994. 306 p.

STARK, E.; LUCHTER, K.; MARGOSHES, M. Near-infrared analysis (NIRA): a technology for quantitative and qualitative analyses. **Applied Spectroscopy Reviews**, Philadelphia, v.22, n.4, p.335-399, 1986.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 6, p. 1161- 1165, Nov. 1981

STONER, E.R., BAUMGARDNER, M.F. ; BIEHL, L.L. ; ROBINSON, B.F. **Atlas of soil reflectance properties**. West Lafayette : Purdue University, 1980. 75p.

SUDDUTH, K.A.; HUMMEL, J.W. Portable, near-infrared spectrophotometer for rapid soil analysis. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 36, p.185-193, 1993

THOMASSON, J. A.; SUI, R.; COX, M. S.; Al-RAJEHY. Soil reflectance sensing for determining soil properties in precision agriculture. **Transactons of ASAE**, St. Joseph, n. 44, p.1445-1453, 2001.

USGS Digital Spectral Library. Disponível em: <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html> . Acesso em: 25 Fev. 2009.

VISCARRA ROSSEL, R.A. ParLeS: Software for chemometric analysis of spectroscopic data. **Chemometrics Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v.90, p.72-83, 2008.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; JEON, Y.S.; ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B. Using a legacy soil sample to develop a mid-IR spectral library. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v. 46, p. 1-16, 2008.

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

WETTERLIND, J.; STENBERG, B.; SODERSTROM, M. The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale. **Precision Agriculture**, New York, v.9, p. 57-69, 2008.

ZHAO WU, Y.Z.; CHEN, J.; FENG, J.; TIAN, Q.J.; MIN WU, X. Feasibility of reflectance spectroscopy for the assessment of soil mercury contamination. **Environmental Science & Technology**, Iowa City, v. 39, p.873-878, 2005.



### 3 BIBLIOTECA ESPECTRAL E SUA APLICAÇÃO EM CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

#### Resumo

A ciência do solo tem buscado desenvolver técnicas que contribuam para a melhor utilização e caracterização do solo, dentre essas se encontra a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto. O uso de sensores terrestres na obtenção de dados espectrais de solos tem possibilitado a caracterização dos mesmos e o avanço de técnicas de quantificação de seus atributos. Para isso a montagem de uma biblioteca espectral de solos se faz necessária. Uma biblioteca espectral deve ser representativa da variabilidade de solos de uma região. O presente trabalho teve por objetivo criar uma biblioteca espectral de distintos solos de algumas regiões agrícolas do Brasil. Para isso foram coletados dados espectrais (sensor Fieldspec, 350-2500 nm) dos horizontes de 233 perfis de solos das regiões de Matão, Paraguaçu Paulista, Andradina, Ipaussu, Mirandópolis, Piracicaba, São Carlos, Araraquara, Guararapes, Valparaíso (SP); Naviraí, Maracajú, Rio Brillhante, Três Lagoas (MS); Goianésia (GO); Uberaba e Lagoa da Prata (MG). Posteriormente foi realizada a análise de componentes principais (PCA) dos dados e a representação gráfica das curvas espectrais de cada perfil. A intensidade das curvas foi influenciada principalmente pelos teores de  $Fe_2O_3$ , argila, matéria orgânica e presença de minerais opacos. Latossolos, Nitossolos e Neossolos Quartzarênicos não apresentam mudança no comportamento espectral das curvas de seus horizontes. Argissolos apresentam curvas dos horizontes superficiais com maior albedo após os 2200 nm. Cambissolos e Neossolos Litólicos possuem curvas de maior albedo nos horizontes pouco desenvolvidos. Gleissolos apresentaram forma convexa da curva na região dos 350-400 nm. A PCA foi capaz de separar diferentes regiões de coleta de dados em função do material de origem. A PC1 se correlacionou com o albedo das amostras e a PC2 com a inclinação entre a região do visível e do infravermelho das amostras. O uso da Biblioteca espectral como indicativo de possíveis classes de um solo, mostrou ser ferramenta importante para a classificação de perfis.

Palavras chaves: Classificação do solo; Análise de componentes principais; Sensoriamento remoto

### 3 SPECTRAL LIBRARY AND ITS APPLICATION IN SOIL CLASSIFICATION

#### Abstracts

The soil science claims for techniques that improve soil characterization and land use. Among these is the application of remote sensing techniques. The use of ground sensors to acquire soil spectra has enabled these characterizations and provided the technique progress in soil attributes quantification. That's why the soil spectral library assembly is necessary. A spectral library should represent soil variability in a region. This study aims to create a spectral library from different soils of some agricultural regions of Brazil. Consequently, spectra were collected (Fieldspec sensor, 350-2500 nm) from horizons of 233 soil profiles located in the following regions: Mata, Paraguaçu Paulista, Andradina, Ipaussu, Mirandópolis, Piracicaba, São Carlos, Araraquara, Guararapes, Valparaíso (SP); Naviraí, Maracajú, Rio Brillhante, Três Lagoas (MS); Goianésia (GO), and Lagoa da Prata Uberaba (MG). After that, we carried out a principal component analysis (PCA) and spectral graphical representation of each profile. The spectra

intensity was influenced mainly by  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , clay and organic matter contents, besides opaque minerals presence. Oxisol, Alfisol and PSAMENT do not change their spectral behavior in different horizons. Argisols spectra presented surface horizons with higher albedo in wavelengths higher than 2200 nm. Cambisols and Neossolos Litólicos shows higher albedo in less developed horizons. Gleissols indicated convex shape in 350-400 nm region. PCA identified different sampling areas, this might be related to parental material. The PC1 was correlated with samples albedo and PC2 with the slope between visible and infrared region of the samples. The library used as an indicator of soil classes, proved to be an important tool for profiles classification.

Keywords: Soil Classification; Principal Components Analyses; Remote Sensing

### 3.1 Introdução

O uso adequado do solo pela agricultura passa pela necessidade de conhecer as suas características químicas, físicas, mineralógicas e biológicas. Para tanto, a ciência do solo tem buscado desenvolver técnicas que contribuam para melhor caracterizar o solo. Dentro dos diversos estudos a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto tem ganhado grande enfoque nas últimas décadas, principalmente devido a credibilidade no meio científico que estas técnicas tem demonstrado em promover caracterizações mais rápidas e baratas. A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em solos começou na décadas de 50 e 60 (BROOKS, 1952; BOWERS E HANKS, 1965), posteriormente várias foram as aplicações da técnica: quantificação de atributos de solos de maneira rápida e não destrutiva (JANIK et al., 1998; REEVES et al., 1999; SHEPHERD E WALSH, 2002; DUNN et al., 2002; VISCARRA-ROSSEL, et al., 2006a; NANNI E DEMATTÊ, 2006; BROWN, et al. 2006; MOUAZEN et al. 2007), ferramenta no levantamento de solos (DEMATTÊ et al., 2004), quantificações mineralógicas (VISCARRA-ROSSEL et al., 2006b; SCHEINOST et al., 1998; MADEIRA-NETO et al., 1996), mapeamento digital do solo ( VISCARRA-ROSSEL E MCBRACTNEY, 2008), agricultura de precisão (THOMASSON et al., 2001; MALEKI et al. 2007; MOUAZEN et al. 2007) e quantificação de metais pesados (ZHAO WU et al. 2005). Para tanto um requerimento básico para o uso destas técnicas é criação de um banco de dados espectrais ou biblioteca espectral (VISCARRA-ROSSEL et al., 2008).

Brown et al. (2006) mencionam que a reflectância do solo na região do visível e infravermelho próximo é em função da composição mesmo – material orgânico, minerais primários, minerais de argila, sais e materiais mal cristalinizados, cada um desses componentes são os elementos bases no sistema de classificação de solos norte americano (*Soil Taxonomy*) e base para interpretações de manejo do solo.

Dunn et al. (2002) ressaltam que para que as técnicas de espectroscopia tenham uma aplicação comercial usual é preciso que haja uma ampla gama de dados provenientes de diferentes tipos de solos com variações em seus componentes orgânicos e inorgânicos. Shepherd e Walsh (2002) relatam que embora bibliotecas espectrais geológicas existentes que incluam

curvas espectrais de solos minerais (CLARK, 1999), há poucos exemplos de bibliotecas espectrais que possuam uma alta diversidade de solos e suas informações físico-químicas.

VISCARRA-ROSSEL et al. (2008) comentam que são poucos os trabalhos que apresentam bibliotecas espectrais que englobam solos variados de regiões geográficas distintas, podendo serem apontados os trabalhos de Dunn et al. (2002), Shepherd e Walsh (2002) e Brown et al. (2006). Segundo os mesmos autores são três os requerimentos básicos necessários no desenvolvimento de uma biblioteca espectral de solos:

- a) A biblioteca espectral deve conter um número de amostras suficiente que contemple a variabilidade de solos encontrados na região em que a biblioteca contempla.
- b) As amostras dever ser cuidadosamente sub-amostradas, manuseadas, preparadas, armazenadas e escaneadas (tudo que vier a acontecer com a amostra terá efeito em sua curva espectral)
- c) Os dados analíticos de referência do solo, usados nas calibrações, devem ser adquiridos através do uso de procedimentos analíticos reconhecidos e confiáveis.

Portanto, o presente trabalho teve por objetivo criar uma biblioteca espectral de distintos solos de algumas regiões agrícolas do Brasil. O intuito é que a biblioteca espectral sirva para elaboração de modelos de quantificação de atributos do solo e de padrão modal com a finalidade de classificar solos. Espera-se que a partir dos gráficos contidos na biblioteca espectral um usuário possa reconhecer a classe de um solo desconhecido, baseado na sua informação espectral.

## **3.2 Material e métodos**

### **3.2.1 Amostras de terra utilizadas**

Foram utilizadas amostras de terra provenientes de horizontes de perfis de solos representativos dos municípios de Matão, Paraguaçu Paulista, Andradina, Ipaussu, Mirandópolis, Piracicaba, São Carlos, Araraquara, Guararapes, Valparaíso (SP); Naviraí, Maracajú, Rio Brillante, Três Lagoas (MS); Goianésia (GO); Uberaba e Lagoa da Prata (MG). No total foram coletadas amostras de terra provenientes dos horizontes de 233 perfis de solos. Todos os perfis descritos morfológicamente (LEMOS e SANTOS, 1996) e classificados até o 4º nível categórico (EMBRAPA, 2006). As amostras são provenientes de trabalhos realizados pelo Laboratório de

Sensoriamento Remoto do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, e foram armazenadas ao longo da realização dos mesmos.

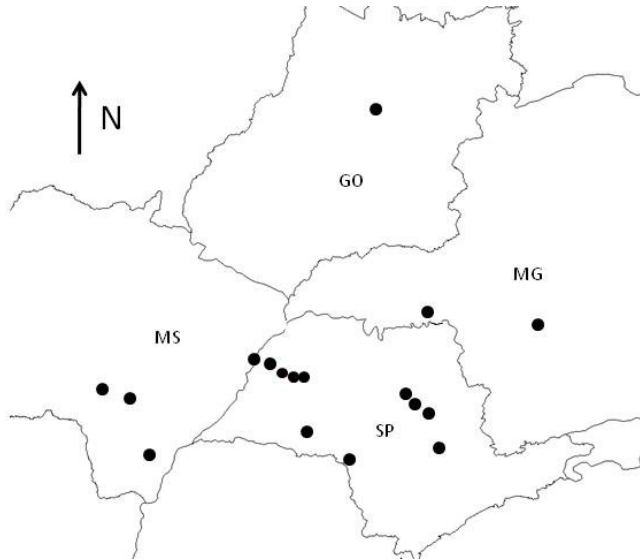


Figura 3.1 – Regiões de coleta de amostras dos perfis

### 3.2.2 Análises laboratoriais

#### 3.2.2.1 Análises químicas e granulométricas

A metodologia utilizada para análise dos teores de areia, silte e argila foram as de Camargo; Moniz; Valadares, 1986, química a de Raij et al. (2001). A partir desses dados, obteve-se o valor da soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%). O ferro total ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), o titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e manganês (MnO) foram determinados pelo ataque sulfúrico (CAMARGO; MONIZ; VALADARES, 1986).

#### 3.2.2.2 Obtenção de dados espectrais

Os dados espectrais foram obtidos em laboratório com o espectroradiômetro FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo.) (HATCHELL, 1999). Trata-se de um sensor cuja resolução espectral é de 1 nm nos comprimentos de onda de 350 a 1100 nm e de 2 nm nos



comprimentos que vão de 1100 a 2500 nm. Para a coleta dos dados de reflectância, as amostras secas em estufa à 45°C durante 24 horas (HENDERSON et. al., 1992), em seguida moídas e peneiradas (malha de 2 mm). Cada amostra corresponde à aproximadamente um volume de 15 cm<sup>3</sup> de solo. Essa foi alocada em placa de petri para leitura no sensor. A reflectância de cada amostra foi dada pela média de 100 leituras realizadas pelo sensor. A ponta de captação luminosa do equipamento (entrada do cabo de fibra ótica) foi colocada em posição vertical a 8 cm de distância da amostra, onde foi medida a luz refletida numa área aproximada de 2 cm<sup>2</sup> no centro da amostra. A fonte de iluminação utilizada foi uma lâmpada halógena de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado, sendo posicionada a 35 cm da amostra e com um ângulo zenital de 30°. Utilizou-se como padrão de referência, uma placa branca de sulfato de bário, considerada como padrão de 100% de reflectância.

### 3.2.3 Gráficos das curvas espectrais

Os gráficos contendo as curvas espectrais dos horizontes dos perfis de solo representativos de cada região foram elaborados através do programa SigmaPlot 11.0. Acompanhando os gráficos, estão contidas as informações analíticas de cada perfil.

### 3.2.4 Análise de Componentes Principais

Com a finalidade de diminuir a dimensionalidade de informações e verificar a variabilidade dos dados espectrais foi realizada a análise de componentes principais (PCA) através do programa *The Unscrambler* 9.7. Para tanto os dados espectrais foram pré-processados, sendo transformados em absorvância e centrados na média.

Segundo Sabin et al. (2002), a análise por componentes principais (PCA) é um dos métodos mais comuns empregados na análise de informações (BROWN, 1995), sendo principalmente utilizada pela sua capacidade de compressão dos dados em função da existência de correlação entre diversas variáveis medidas. Quando aplicamos um algoritmo de PCA num conjunto de variáveis, como por exemplo, curvas espectrais de solos, o conjunto original destas variáveis é substituído por um novo conjunto de variáveis (ou *scores*) denominado de

componentes principais (CPs). A principal característica deste novo conjunto é a ortogonalidade, porém o mesmo é facilmente reconstruído a partir da combinação linear das variáveis originais (curvas espectrais). Como vantagem, o novo conjunto de variáveis (CPs), geralmente concentra a maior parte da informação (variância) em poucas variáveis (*scores*), diminuindo assim a dimensionalidade dos dados, sem perda significativa da informação química. A maioria dos aplicativos disponíveis utilizam a técnica de decomposição do valor singular (SDV) para obter as CPs, sendo neste caso a primeira componente principal (CP1) definida na direção (eixo) de maior variância do conjunto de variáveis originais. De forma decrescente em termos de variação são definidas as demais componentes principais, porém estas serão sempre ortogonais a CP1 e entre si. Por exemplo, um sistema que seja reduzido a 3 CPs (CP1, CP2 e CP3) se assemelha ao sistema de coordenadas cartesiano onde todos os eixos são linearmente independentes, isto é, ortogonais entre si. Para os casos de conjuntos de espectros consideramos inicialmente uma matriz de dados  $\mathbf{X}$  ( $i \times j$ ), sendo que  $i$  corresponde ao número de amostras (curvas espectrais) e  $j$  o número de variáveis (comprimento de onda), que pode ser decomposta em três outras matrizes,  $\mathbf{U}$ ,  $\mathbf{S}$  e  $\mathbf{V}$  (FERREIRA, 2002), conforme expressão 1:

$$\mathbf{X} = \mathbf{USV}^t \quad (1)$$

As colunas de  $\mathbf{U}$  e  $\mathbf{V}$  são ortogonais. A matriz  $\mathbf{V}$  é a matriz dos pesos, onde a primeira coluna contém os pesos de PC1 e assim por diante. O produto  $\mathbf{U} \times \mathbf{S}$  corresponde à matriz  $\mathbf{T}$  dos *scores*. Por fim,  $\mathbf{S}$  é uma matriz diagonal cujos elementos (valores singulares) contém informações sobre a quantidade de variância que cada componente principal descreve. A matriz  $\mathbf{S}$  é importante na determinação da dimensionalidade intrínseca da matriz de dados, podendo os analistas definir quantas CPs ou fatores devem ser utilizados para análises posteriores. Os autovalores que forem pequenos serão excluídos, e as informações relevantes podem de alguma maneira ser separadas, eliminando-se assim os ruídos experimentais.

### 3.2.5 Classificação de solos pelo método da Comparação Descritiva Simplificada (CDS)

Os gráficos das curvas espectrais de 13 perfis de solo (de classe desconhecida) foram comparados ao conteúdo da Biblioteca Espectral de maneira descritiva. Para cada perfil foi

estabelecido possíveis classes de solo baseado na semelhança do comportamento espectral do perfil com o comportamento espectral dos perfis da Biblioteca Espectral. Foi apontado o número de possíveis classes (somente até 1º nível categórico) de solos.

O método propõe a interpolação mental de informações das curvas espectrais do perfil (intensidade, forma e inclinação das curvas espectrais, presença de feições e comportamento entre as curvas do um mesmo) com as informações dos perfis contidos na Biblioteca Espectral.

### **3.3 Resultados e discussão**

#### **3.3.1 Caracterização do comportamento espectral dos perfis de solos avaliados**

As figuras 3.2 a 3.83 apresentam as curvas espectrais dos perfis de solos avaliados e suas respectivas análises químicas e granulométricas (Tabelas 3.1 a 3.57).

A região de Piracicaba, SP apresenta alta variabilidade de solos (Figuras 3.2 a 3.8) provenientes de distintos materiais de origem. Essa variabilidade refletiu na alta variação do albedo das curvas espectrais, com solos possuindo intensidade de reflexão média de 0,2 e outros 0,5. A variação na intensidade é devida a alta variação dos teores de argila dos diferentes perfis (Tabelas 3.1 a 3.5) e dos teores de  $Fe_2O_3$ . Horizontes com maiores teores de areia apresentam maiores intensidades proveniente da alta reflectância do quartzo (WHITE et al., 1997). De maneira geral, solos desenvolvidos a partir de rochas vulcânicas apresentam menores albedos enquanto solos desenvolvidos de rochas sedimentares com alguma quantidade de ferro apresentam albedos intermediários e solos desenvolvidos sobre rochas sedimentares de baixa quantidade de ferro apresentam altos valores de albedo.

Quanto as classes de solos, a região de Piracicaba, SP apresentou Latossolos e Nitossolos com similaridade de comportamento espectral das curvas de seus horizontes, com intensidades muito semelhantes (Figura 3.7), sendo que a presença da matéria orgânica (M.O.) nos horizontes superficiais levou a uma diminuição da intensidade da curva principalmente na faixa dos 350 a 1350 nm concordando com Mathews et al. (1973). Já os Argissolos apresentam uma característica padrão, na faixa espectral dos 2250 nm a 2500 nm, o albedo das curvas espectrais superficiais (Horizontes A e E) é maior do que os das curvas sub-superficiais (Horizonte Bt) (Figura 3. 3). Já os Cambissolos e Neossolos apresentaram um padrão de comportamento já

relatado em outros trabalhos (DEMATTÊ et al., 2003; CLEMENTE et al., 2000), os horizontes de sub-superfície com baixo desenvolvimento pedogenético (Horizontes B incipiente ou C) apresentam albedo maior do que os horizontes superficiais (Figura 3.4).

As curvas apresentaram diferentes feições como dos argilominerais 2:1 (1400, 1990 e 2200 nm) (GROVE et al., 1992; DEMATTÊ E GARCIA, 1999a; CLARK, 1999; GOETZ; CURTISS; SHILEY, 2009), da caulinita (2200 nm), dos óxidos de ferro (concauidade na região dos 850-900 nm)(EPIPHANIO et al., 1992; DEMATTÊ E GARCIA, 1999a; STONER et al., 1980), da goethita (450-480 nm)(DALMOLIN, 2002) e da gibbsita (2265 nm)(MADEIRA-NETTO et al., 1996).

A região de Araraquara, SP apresentou menor variabilidade de solos, com curvas de intensidade média a baixa (Figuras 3.9 a 3.11). A variação de intensidade foi em função da maior ou menor presença de  $Fe_2O_3$ . Solos com maiores quantidades de  $Fe_2O_3$  (Tabela 3.8) apresentaram menores valores de albedo. Outra característica marcante nas curvas espectrais foi a presença da feição da gibbsita (2265 nm)(MADEIRA-NETTO et al., 1996) na grande maioria dos solos, sendo que nos Latossolos a feição geralmente é mais clara do que em Nitossolos. Também foram observadas as feições da caulinita (2200 nm), dos óxidos de ferro (concauidade na região dos 850-900 nm) e da goethita (450-480 nm).

A região de Andradina, SP (de menor variabilidade de solos) apresentou curvas de médio a alto albedo (Figuras 3.12 a 3.17). A região situa-se no planalto ocidental paulista e os principais materiais de origem dos solos são arenitos. Este fato leva à predominância de solos com baixos teores de argila (Tabelas 3.9 a 3.11) e maiores teores de areia o que explica os maiores valores de albedo.

Assim como em outras regiões os Latossolos da região de Andradina, SP apresentaram comportamento espectral semelhante das curvas dos seus horizontes (Figura 3.14). Assim como na região de Piracicaba, SP os Argissolos apresentaram padrão de maior albedo dos horizontes superficiais a partir dos 2200 nm, esse padrão ocorreu na grande maioria dos perfis de Argissolos, mas para poucos casos não. De maneira geral, a presença desse é indicativo de Argissolos (Figura 3.15). Os gleissolos apresentaram feições típicas de horizontes hidromórficos, como a convexidade na região dos 350 a 450 nm e a ausência da concauidade dos óxidos de ferro na região dos 850-900 nm, concordando com dados de Epiphanio et al. (1992)

Verificou-se a ausência das feições da gibbsita (2265 nm) e da goethita (450-480 nm) entretanto foi observada presença das feições dos argilominerais 2:1 (em 1400, 1990 e 2200 nm), da caulinita (2200 nm) e dos óxidos de ferro (concauidade na região dos 850-900 nm).

A região de Mirandópolis, SP apresentou solos e suas respectivas curvas espectrais (Figura 3.19 e 3.19) com características semelhantes aos da região de Andradina, SP. Estas regiões são próximas geograficamente, se situando no oeste do estado de São Paulo e apresentando as mesmas características geológicas e geomorfológicas.

A região de Ipaussu, SP se caracterizou por apresentar solos com teores médios a altos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabela 3.16), ocasionando curvas com intensidades médias a baixa (Figuras 3.20 a 3.25). Em geral os solos com maiores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  apresentaram menores albedos. Os perfis de Latossolos e Nitossolos apresentaram comportamento espectral semelhante entre as curvas dos seus diferentes horizontes. Os Argissolos foram os solos com maior albedo e apresentaram maior albedo dos horizontes superficiais, em relação aos sub-superficiais, no comprimento de onda de 2200 a 2500 nm (Figura 3.25). Os gleissolos apresentaram feições características de hidromorfismo, convexidade da curva na região dos 350 a 450 nm, ausência de concavidade dos óxidos de ferro (850-900 nm) e mudança de inclinação da curva na faixa de 800 nm, formando quase um vértice (Figura 3.24). A grande maioria das curvas não apresentaram feição da gibbsita (2265 nm) e da goethita (450-480 nm), mas se verificou a dos argilominerais 2:1 (1400, 1990 e 2200 nm), da caulinita (2200 nm) e dos óxidos de ferro (concauidade na região dos 850- 900 nm).

Os solos da região de São Carlos, SP (Figuras 3.26 a 3.30), apresentaram comportamento espectral semelhante a solos da região de Araraquara, SP. As duas regiões são próximas geograficamente possuindo os mesmo materiais de origem. Diferindo dos demais perfis, o perfil 25 (Figura 3.28) apresentou maior intensidade de reflectância e presença da feição característica da Goethita (450-480 nm). Os de altos teores de M.O. nas camadas superficiais ocasionaram menores albedos e suavização de feições na faixa espectral dos 350 aos 1350 nm. Os Neossolos Quartzarênicos, apresentaram altos valores de albedo e inclinação ascendente das curvas, devido aos altos teores de areia (Tabelas 3.17 a 3.18). Os Argissolos apresentaram padrão citado em outras regiões. Fica evidente que nas mais diferentes regiões o padrão de maior intensidade dos horizontes superficiais em relação aos sub-superficiais após os 2200 nm se repete (Figura 3.29) sendo comum nesta classe, podendo então ser denominado como padrão de seu comportamento espectral.

A região de Guararapes, SP apresentou solos e suas curvas espectrais com comportamento espectral (Figuras 3.31 a 3.33) semelhante aos solos das regiões de Andradina, SP e Mirandópolis, SP. Estas regiões se localizam próximas geograficamente e possuem mesma geologia e variabilidade de solos.

A região de Maracajú, MS apresentou solos com comportamento espectral de baixo albedo (Figuras 3.34 a 3.41). Isto devido aos altos teores de argila, por consequência baixos teores de areia, e também aos altos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabelas 3.22 a 3.26). Latossolos e Nitossolos apresentaram similaridade de comportamento espectral das curvas de seus horizontes. Na maior parte dos perfis Latossolos apresentaram a presença da feição da gibbsita (2265 nm) e Nitossolos não. A presença mais clara de gibbsita em latossolos se deve ao fato destes serem solos mais intemperizados do que Nitossolos, ou seja, maior formação de óxidos de ferro e alumínio e maior perda de  $\text{SiO}_2$  (BOUL et al., 1997). Os Cambissolos apresentaram maior intensidades das curvas espectrais de seus horizontes B incipiente e C (Figura 3.40). Foi possível verificar feições características da caulinita (2200 nm) e dos óxidos de ferro (concauidade na região dos 850- 900 nm).

A região de Três Lagoas, MS apresentou solos de comportamento espectral (Figuras 3.42 a 3.45) semelhantes aos solos das regiões de Andradina, Mirandópolis e Guararapes, SP. A região de Três Lagoas, MS se situa próxima, geograficamente, a estas outras regiões, sendo basicamente separada pelo Rio Paraná. Seus solos possuem como material de origem arenitos de maneira similar as demais regiões citadas. Os Neossolos Quartzarênicos e Latossolos apresentaram semelhança de comportamento espectral. Isto porque o que os diferenciou foram os teores de argila (Tabelas 3.27 a 3.29) menores (Neossolos Quartzarênicos) ou maiores (Latosolos) que  $150 \text{ g kg}^{-1}$  (EMBRAPA, 2006).

A região de Goianésia, GO apresentou solos com albedo intermediário (Figuras 3.46 a 3.49). Embora os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  destes solos possam ser considerados de médios a altos (Tabela 3.33), os solos não apresentaram curvas espectrais com intensidade baixa (abaixo de 0,25). Uma possível explicação seria que estes solos, mesmo contendo altos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , apresentam baixas quantidades de minerais opacos como a magnetita e ilmenita. A grande maioria dos solos apresentou feição da gibbsita (2265 nm), dos óxidos de ferro (concauidade na região dos 850-900 nm) e da caulinita (2200 nm). Não foi verificada a presença de feições da goethita (450 a 480 nm)

e de argilominerais 2:1 (1400, 1900 e 2200 nm), justamente por se tratar de solos mais intemperizados.

A Região de Naviraí, MS apresentou solos de comportamento espectral (Figuras 3.50 a 3.54) de alta reflectância e de aspecto ascendente de inclinação, semelhante ao comportamento espectral dos solos encontrados na região de Três Lagoas, MS. Os elevados teores de areia (Tabelas 3.34 e 3.35) foram a explicação para o alto albedo e inclinação ascendente das curvas. Semelhantemente a região de Três Lagoas, MS, os Latossolos de textura média apresentaram comportamento espectral similar aos Neossolos Quartzarênicos. Os perfis de Argissolos apresentaram comportamento espectral padrão da classe (Figura 3.51). As curvas espectrais apresentaram feições características da caulinita (2200 nm) e óxidos de ferro (850-900 nm).

A região de Matão, SP apresentou solos de comportamento espectral (Figuras 3.55 a 3.58) semelhante aos solos das regiões de São Carlos e Araraquara, SP. As três regiões são próximas geograficamente e apresentam similaridade de material de origem. Os solos com maiores teores de  $Fe_2O_3$  apresentaram menores intensidades de reflectância. De maneira geral os Latossolos apresentaram feição característica da gibbsita enquanto Nitossolos não. Os Argissolos apresentaram comportamento espectral característico. Não foram observadas feições da goethita em 450-480 nm e de argilominerais 2:1 (1400, 1900 e 2200 nm).

Os solos da região de Uberaba, MG foram os que apresentaram curvas espectrais de menor intensidade (Figuras 3.59 a 3.62). A grande maioria com albedo baixíssimo, devido aos elevados teores de  $Fe_2O_3$  e argila (Tabelas 3.40 a 3.43). Estes teores altos de  $Fe_2O_3$  ocasionaram suavização da grande maioria das feições. Diferente do que ocorreu na grande maioria dos solos de outras regiões e com estas características, os horizontes superficiais apresentaram curvas de maior intensidade que as sub-superficiais. Isto ocorre uma vez que a M.O. apresenta valor de albedo maior do que os minerais opacos como a magnetita (MADEIRA-NETTO E BAPTISTA, 2000). Desta forma, os solos da região apresentam tão alta quantidade de minerais opacos que o acréscimo de M.O. nos mesmos promove um aumento do albedo. Esta informação corrobora com resultados encontrados por Fontes e Carvalho Junior (2005). Os elevados teores de  $Fe_2O_3$  levam a um comportamento espectral similar de Latossolos e Nitossolos.

A região de Paraguaçu Paulista, SP, apresentou solos de comportamento espectral característico de Latossolos e Argissolos (Figura 3.63).

A região de Valparaíso, SP apresentou solos e suas características espectrais (Figuras 3.64 a 3.68) semelhantes aos solos das regiões de Andradina, Mirandópolis, Guararapes, SP e Três Lagoas, MS. Este comportamento demonstra que solos provenientes de regiões que possuam os mesmos materiais de origem e clima semelhantes apresentam comportamento espectral similares.

A região de Lagoa da Prata, MG, foi a região que apresentou os solos de maiores albedos (Figuras 3.69 a 3.77), entretanto foi a região que apresentou os solos com maiores teores de argila e menores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabelas 3.48 a 3.53) isto devido aos materiais de origem predominantes serem argilitos e siltitos. A ausência de minerais opacos possibilita os elevados albedos. Embora o albedo seja médio-alto em todos os perfis os que apresentam maiores teores de argila são os que apresentaram menores albedos e os que apresentaram maiores teores de silte os de maior albedo, corroborando com Demattê et al. (2000) e Mathews et al. (1973).

A região de Lagoa da Prata, MG possui horizontes superficiais dos solos com elevados teores de M.O., o que ocasiona um comportamento espectral de menor intensidade de reflectância e suavização da feição côncava dos óxidos de ferro (850-900 nm). O único perfil de Argissolo apresentou comportamento espectral padrão (Figura 3.76).

De maneira geral os Latossolos apresentaram feição da gibbsita (2265 nm) enquanto Nitossolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos não. Esta mesma observação foi constatada por Sans (1973) ao estudar a mineralogia dos solos da região. Todos os solos apresentaram de maneira marcante a feição da goethita (450-480 nm). Também foi possível verificar a presença da feição dos argilominerais 2:1, principalmente nos Gleissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos e da caulinita (2200 nm) na maioria dos solos.

Ficou evidente que na região de Lagoa da Prata, MG a medida que os solos são mais desenvolvidos pedogeneticamente (intemperizados) suas curvas espectrais apresentam menores albedos, ou seja: cambissolos apresentam maior albedo que Nitossolos que apresentam maior albedo que Latossolos.

A região de Rio Brillhante, MS apresentou solos e comportamento espectral (Figuras 3.78 a 3.83), semelhantes aos solos da região de Maracajú, MS, com altos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e argila (Tabelas 3.54 a 3.57).





Figura 3.2 – Curvas Espectrais dos Perfis dos Solos da Região de Piracicaba, SP



Figura 3.3 – Curvas Espectrais dos Perfis dos Solos da Região de Piracicaba, SP

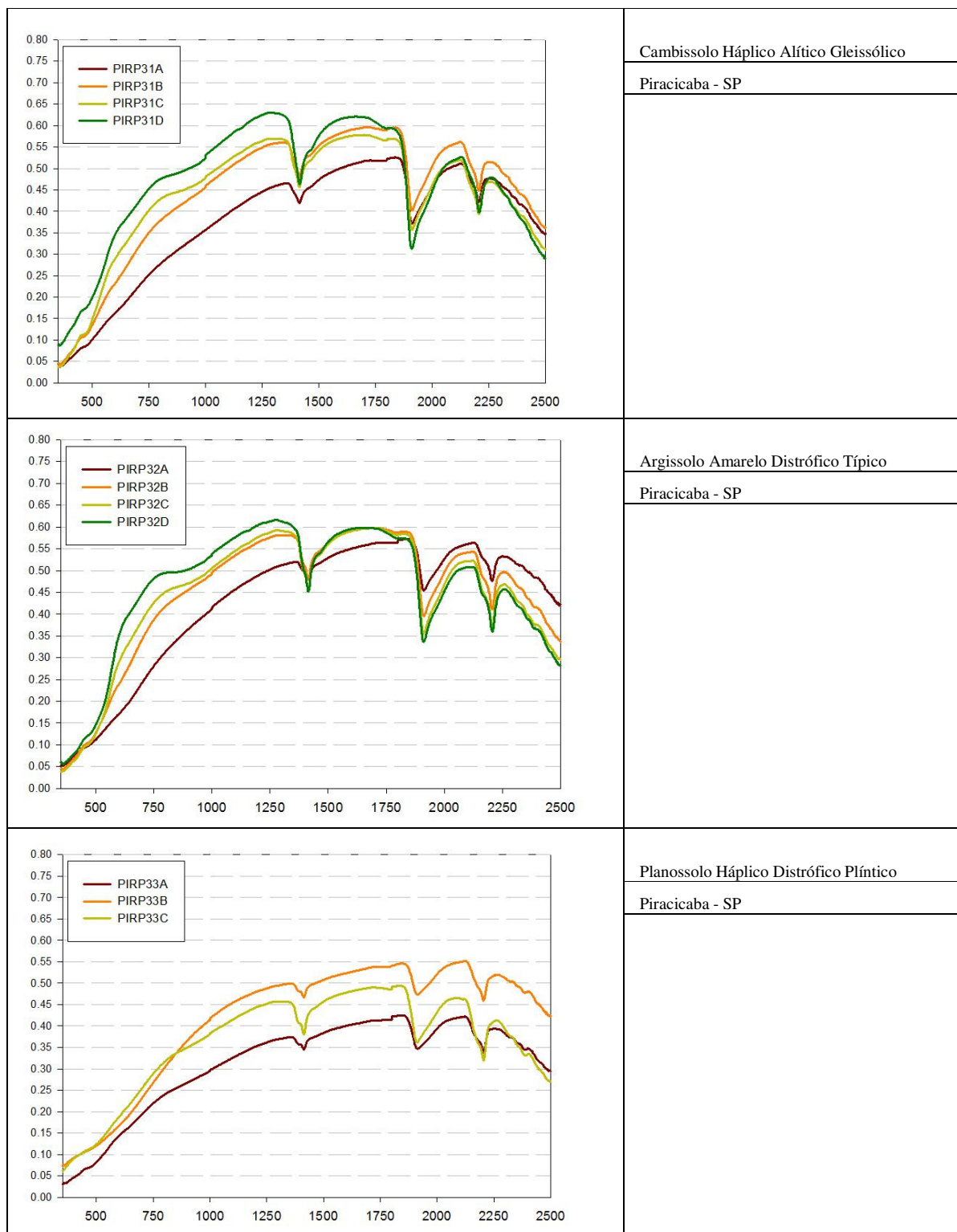


Figura 3.4 – Curvas Espectrais dos Perfis dos Solos da Região de Piracicaba, SP

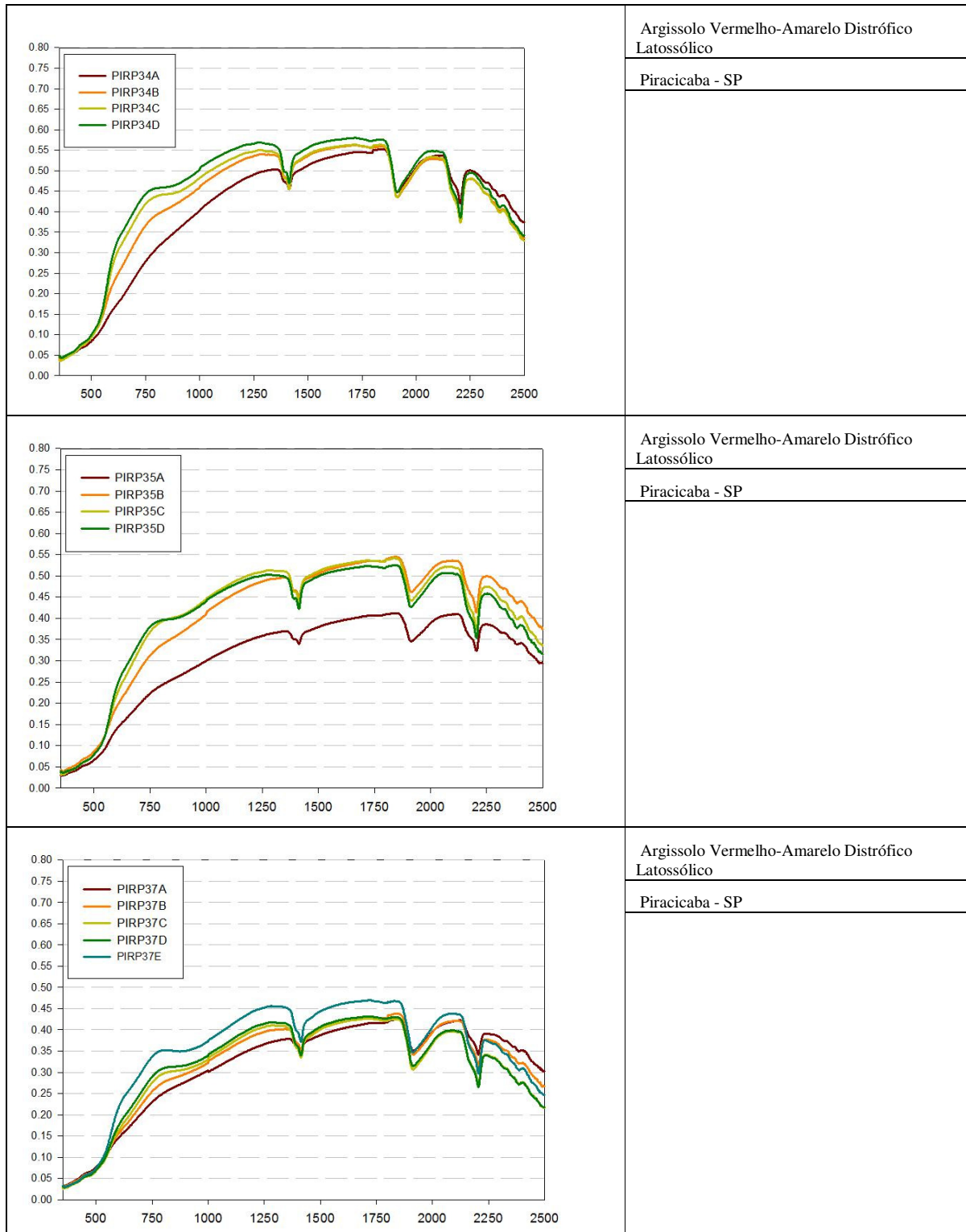


Figura 3.5 – Curvas Espectrais dos Perfis dos Solos da Região de Piracicaba, SP

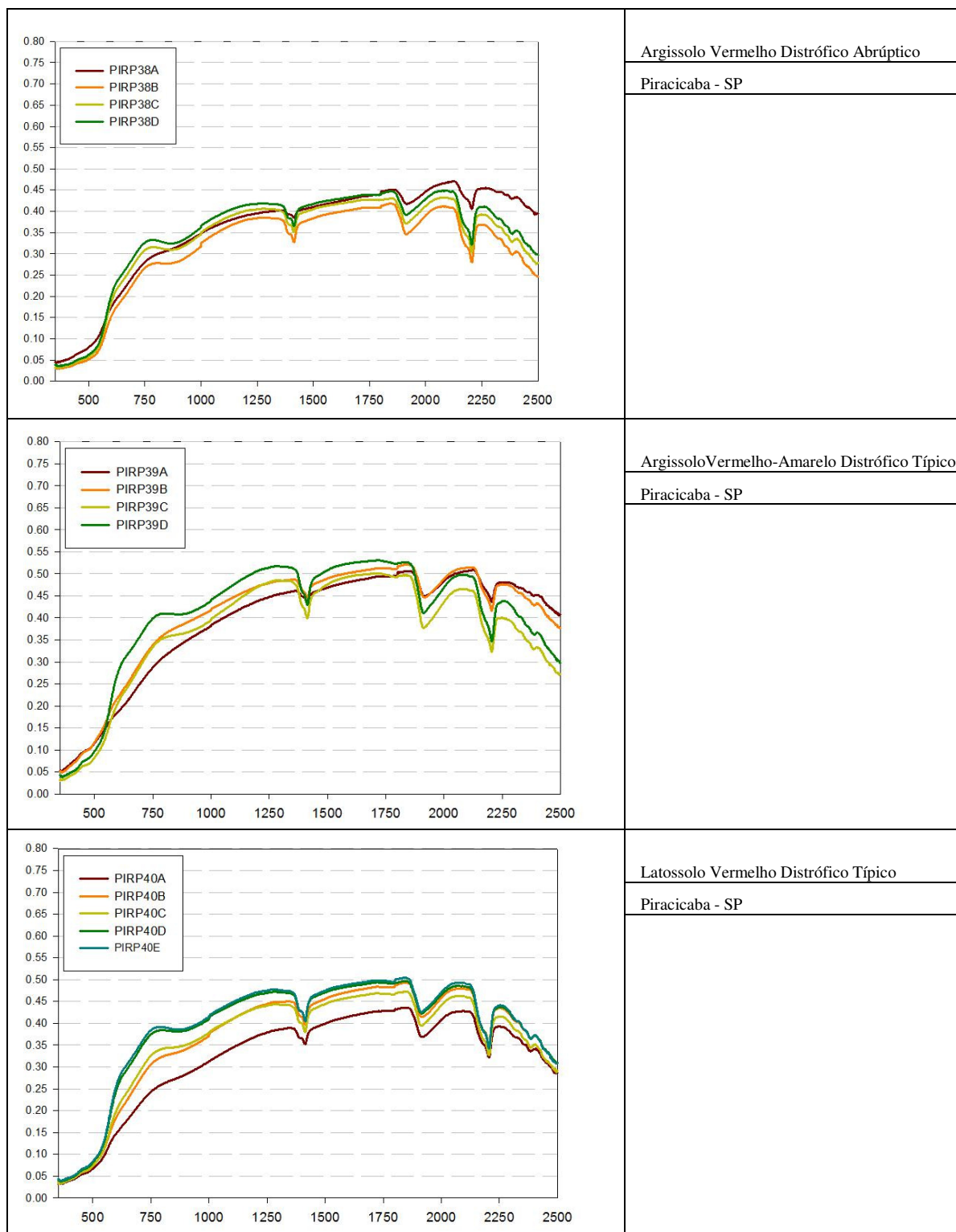


Figura 3.6 – Curvas Espectrais dos Perfis dos Solos da Região de Piracicaba, SP



Figura 3.7 – Curvas Espectrais dos Perfis dos Solos da Região de Piracicaba, SP

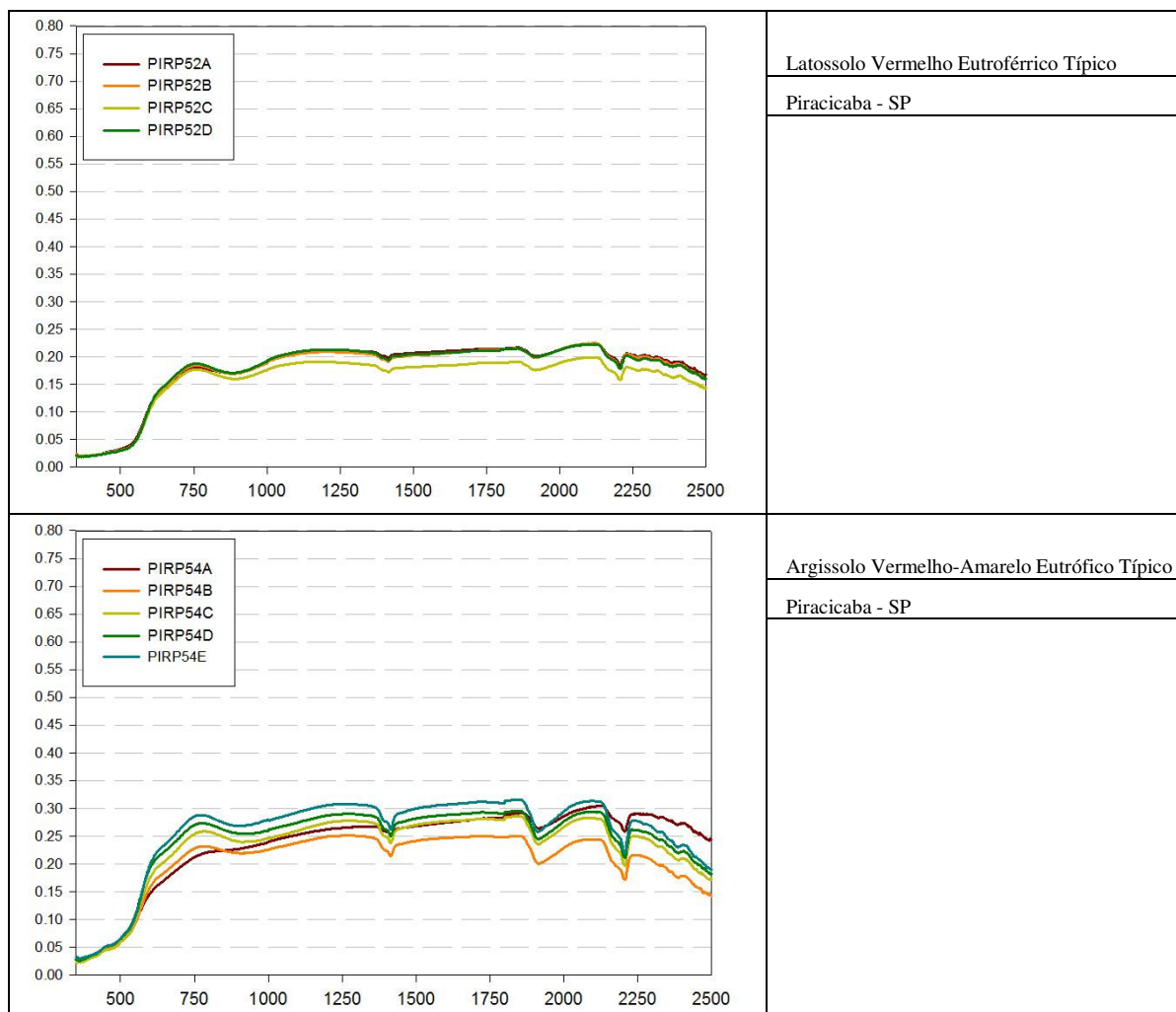


Figura 3.8 – Curvas Espectrais dos Perfis dos Solos da Região de Piracicaba, SP



Tabela 3.1 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Piracicaba, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total																		
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>				mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..									
PIRP06A		120	380	500	160	340	18	11	1,4	31	14	2	30	46,4	76,4	61	4	5,4		7,7YR	4	2,1	
PIRP06B		60	240	300	100	600	13	1	0,5	13	3	32	58	16,5	74,5	22	66	4,6		5,9YR	4,2	3,8	
PIRP06C		60	240	300	100	600	8	1	0,4	7	1	30	52	8,4	60,4	14	78	4,4	3,7	4,9YR	4,3	3,8	
PIRP06D		50	210	260	120	620	8	1	0,4	4	1	44	61	5,4	66,4	8	89	4,4		4,3YR	4,4	3,8	
PIRP06E		20	110	130	130	740	7	1	0,7	1	1	63	77	2,7	79,7	3	96	4,2		6,5YR	4,9	3,2	
PIRP11A		80	240	320	140	540	24	50	30,1	52	18	3	25	100,1	125,1	80	3	6,6		3,2YR	3,5	1,7	
PIRP11B		50	130	180	100	720	14	7	32,1	49	12	0	7	93,1	100,1	93	0	6,3		2,8YR	3,7	2,2	
PIRP12A		270	610	880	60	60	10	10	1,5	8	3	0	3	12,5	15,5	81	0	6		8,3YR	4,1	1,6	
PIRP12B		250	610	860	60	80	7	3	1,5	2	1	0	3	4,5	7,5	60	0	5,4		7,5YR	4,3	2,5	
PIRP12C		190	510	700	60	240	7	1	3,9	8	3	9	20	14,9	34,9	43	38	4,6	3,9	4,3YR	4	3,3	
PIRP15A		30	410	440	160	400	22	4	0,4	30	8	4	31	38,4	69,4	55	9	5,7		4,7YR	3,6	2	
PIRP15B		30	380	410	170	420	8	1	0,1	39	4	5	25	43,1	68,1	63	10	4,7		3,7YR	4,5	3,8	
PIRP15C		30	370	400	160	440	8	1	0,1	10	4	3	19	14,1	33,1	43	18	5,3	4,5	3,7YR	3,8	3,6	
PIRP15D		20	360	380	170	450	15	1	0,1	41	1	3	14	42,1	56,1	75	7	4,7		3,7YR	4,6	4	
PIRP21A		50	730	780	80	140	13	11	1,1	16	10	0	7	27,1	34,1	79	0	6,6		8,3YR	4,1	1,7	
PIRP21B		30	460	490	100	410	11	1	0,6	35	9	4	18	44,6	62,6	71	8	5,2		5,8YR	4,4	3,7	
PIRP21C		30	440	470	80	450	8	1	0,5	10	4	29	41	14,5	55,5	26	67	4,9	3,9	5,9YR	4,4	3,7	
PIRP21D		10	200	210	80	710	8	1	1,5	3	4	51	63	8,5	71,5	12	86	4,5		5,0YR	4,7	3,8	
PIRP29A		70	750	820	80	100	8	2	0,6	8	3	0	2	11,6	13,6	85	0	6,1		6,9YR	3,9	2	
PIRP29B		40	510	550	60	390	9	1	0,4	45	8	1	11	53,4	64,4	83	2	6,1		4,3YR	3,9	2,2	
PIRP29C		40	530	570	60	370	15	1	1	42	11	0	11	54	65	83	0	6,3	5,5	5,7YR	3,7	3,1	
PIRP29D		50	530	580	80	340	7	1	0,2	40	11	0	5	51,2	56,2	91	0	6,7		4,1YR	3,8	2,6	



Tabela 3.2 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Piracicaba, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	finá	total																		
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>				mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..									
PIRP31A		50	750	800	60	140	12	9	0,7	43	19	0	6	62,7	68,7	91	0	6,8		0,1Y	3,7	1,4	
PIRP31B		50	670	720	140	140	12	39	0,4	23	10	8	24	33,4	57,4	58	19	5,3		0,1Y	4,2	2,2	
PIRP31C		60	640	700	100	200	7	1	0,4	2	2	43	54	4,4	58,4	8	91	4,4	3,9	0,1YR	4,6	2,9	
PIRP31D		60	640	700	100	200	7	1	0,5	4	2	80	86	6,5	92,5	7	92	5,3		8,5YR	5,3	2,9	
PIRP32A		80	760	840	60	100	10	3	0,7	14	6	5	16	20,7	36,7	56	19	5		8,9YR	3,8	1,4	
PIRP32B		60	740	800	80	120	10	1	0,4	15	6	19	34	21,4	55,4	39	47	4,9		8,9YR	4	2,5	
PIRP32C		70	710	780	60	160	7	1	0,4	8	3	35	43	11,4	54,4	21	75	4,6	3,9	7,6YR	4,6	3,3	
PIRP32D		60	700	760	40	200	7	1	0,4	2	2	60	65	4,4	69,4	6	93	4,5		5,8YR	4,7	4,1	
PIRP33A		80	580	660	120	220	17	8	0,5	36	12	4	16	48,5	64,5	75	8	5,9		8,9YR	3,7	1,5	
PIRP33B		140	620	760	80	160	10	1	0,2	10	3	6	23	13,2	36,2	36	31	5		7,4YR	3,7	1,1	
PIRP33C		80	440	520	100	380	10	1	0,4	12	3	11	31	15,4	46,4	33	42	5	3,8	7,5YR	4,2	1,6	
PIRP34A		90	730	820	60	120	11	4	0,6	12	5	3	18	17,6	35,6	49	15	5,2		7,0YR	3,7	1,9	
PIRP34B		80	700	780	60	160	8	1	0,2	8	2	17	23	10,2	33,2	31	63	4,5		6,2YR	4,1	3	
PIRP34C		80	700	780	40	180	7	1	0,2	1	1	20	28	2,2	30,2	7	90	4,3	3,8	5,3YR	4,3	3,7	
PIRP34D		80	680	760	60	180	7	1	0,2	3	1	20	22	4,2	26,2	16	83	4,4		4,7YR	4,3	4,1	
PIRP35A		160	640	800	60	140	12	24	0,7	33	11	0	5	44,7	49,7	90	0	6,4		6,6YR	3,6	1,9	
PIRP35B		170	650	820	40	140	10	24	0,3	5	3	8	23	8,3	31,3	27	49	4,6		6,1YR	3,8	2,5	
PIRP35C		150	630	780	40	180	9	1	0,2	4	2	12	26	6,2	32,2	19	66	4,4	3,9	5,3YR	4,1	3,1	
PIRP35D		140	620	760	60	180	7	1	0,2	3	2	14	23	5,2	28,2	18	73	4,3		4,5YR	4,3	3,8	
PIRP37A		80	600	680	100	220	17	6	1,6	28	13	0	17	42,6	59,6	71	0	6,1		8,3YR	3,7	1,7	
PIRP37B		70	590	660	100	240	14	3	0,4	24	8	4	27	32,4	59,4	55	11	5		7,2YR	3,9	2,4	
PIRP37C		60	470	530	100	370	13	1	0,4	15	6	12	34	21,4	55,4	39	36	4,8	3,9	6,5YR	3,8	2,6	
PIRP37D		40	490	530	100	370	11	1	0,5	6	5	18	41	11,5	52,5	22	61	4,6		5,9YR	4	3	

Tabela 3.3 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Piracicaba, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total																		
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>				mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..									
PIRP38A		200	580	780	100	120	10	2	0,2	6	3	1	10	9,2	19,2	48	10	5,6		5,0YR	3,8	2,4	
PIRP38B		140	480	620	100	280	10	1	0,2	22	6	4	20	28,2	48,2	59	12	4,8		3,4YR	3,6	2,8	
PIRP38C		140	480	620	100	280	7	1	0,2	4	1	9	17	5,2	22,2	23	63	4,6	3,9	2,8YR	4	3,4	
PIRP38D		140	460	600	100	300	7	1	0,2	1	1	9	15	2,2	17,2	13	80	4,5		2,5YR	4,1	3,7	
PIRP39A		80	500	580	160	260	15	2	0,6	6	3	6	29	9,6	38,6	25	38	4,9		8,5YR	4	1,8	
PIRP39B		70	490	560	180	260	11	1	0,2	15	4	5	20	19,2	39,2	49	21	5		7,5YR	4,2	2,7	
PIRP39C		50	410	460	160	380	11	1	0,4	10	3	15	37	13,4	50,4	27	53	4,8	3,9	6,0YR	4,1	3	
PIRP39D		40	400	440	200	360	7	1	0,4	3	3	17	26	6,4	32,4	20	73	4,6		4,4YR	4,4	4	
PIRP40A		100	580	680	100	220	10	2	0,6	9	4	9	34	13,6	47,6	29	40	4,9		5,9YR	3,6	2	
PIRP40B		100	580	680	100	220	12	1	0,3	5	1	12	31	6,3	37,3	17	66	4,5		5,4YR	3,9	3	
PIRP40C		100	520	620	120	260	9	1	0,2	6	3	6	20	9,2	29,2	32	39	4,8	4	4,8YR	4,1	3	
PIRP40D		90	550	640	120	240	7	1	0,2	5	2	9	18	7,2	25,2	29	56	4,7		4,2YR	4	3,8	
PIRP40E		90	510	600	140	260	7	1	0,1	2	1	7	16	3,1	19,1	16	69	4,5		3,8YR	4,5	4,1	
PIRP46A		90	380	470	80	450	20	16	0,4	27	11	5	26	38,4	64,4	60	12	5,8		2,0YR	3,5	2,1	
PIRP46B		80	340	420	60	520	12	1	0,2	4	1	9	28	5,2	33,2	16	63	4,5		2,5YR	3,7	2,7	
PIRP46C		90	320	410	60	530	10	1	0,2	10	5	3	25	15,2	40,2	38	16	4,9	4,4	2,3YR	3,5	2,5	
PIRP46D		70	340	410	60	530	10	1	0,1	8	4	2	24	12,1	36,1	34	14	4,7		2,7YR	3,4	2,7	

Tabela 3.4 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Piracicaba, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total																		
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>				mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..									
PIRP50A		60	300	360	160	480	22	4	1,4	25	10	3	47	36,4	83,4	44	8	4,9		3,6YR	3,3	2,2	
PIRP50B		50	240	290	100	610	10	2	0,2	34	7	0	9	41,2	50,2	82	0	5,8		2,2YR	3,5	2,6	
PIRP50C		50	240	290	120	590	7	1	0,2	33	4	0	8	37,2	45,2	82	0	5,8	5,5	2,1YR	3,5	2,7	
PIRP50D		50	250	300	120	580	7	1	0,2	29	4	0	6	33,2	39,2	85	0	5,9		2,1YR	3,5	2,9	
PIRP51A		40	160	200	180	620	23	13	19,7	54	16	2	16	89,7	105,7	85	2	6,6		3,2YR	3,6	2	
PIRP51B		30	100	130	110	760	15	3	4	63	10	3	13	77	90	86	4	6,7		2,9YR	3,6	2,1	
PIRP51C		20	80	100	220	680	9	10	1,3	81	16	0	9	98,3	107,3	92	0	6,3	5,7	2,9YR	3,8	2,5	
PIRP52A		70	210	280	80	640	22	6	2,4	14	4	5	47	20,4	67,4	30	20	4,7		2,0YR	3,4	2,3	
PIRP52B		60	160	220	80	700	16	2	0,5	30	9	6	20	39,5	59,5	66	13	5,8		1,0YR	3,6	2,3	
PIRP52C		60	140	200	90	710	14	2	0,8	27	9	1	22	36,8	58,8	63	3	5,8	4,9	1,1YR	3,3	2,2	
PIRP52D		60	140	200	90	710	13	1	4,2	16	6	7	20	26,2	46,2	57	21	5,2		0,8YR	3,6	2,5	
PIRP54A		170	410	580	140	280	15	3	0,4	27	5	5	90	32,4	122,4	26	13	5,4		5,9YR	3,8	2,1	
PIRP54B		110	240	380	140	480	11	2	0,4	48	7	4	14	55,4	69,4	80	7	5,8		4,9YR	3,9	2,9	
PIRP54C		120	280	400	120	480	7	2	0,4	44	8	0	9	52,4	61,4	85	0	5,5	5	5,6YR	3,8	3,5	
PIRP54D		100	250	380	120	500	9	2	0,3	37	8	2	11	45,3	56,3	80	4	6		5,6YR	3,9	3,6	
PIRP54E		120	270	390	100	510	7	2	0,2	40	11	0	5	51,2	56,2	91	0	6		3,8YR	4,1	3,5	

Tabela 3.5 – Resultados do Ataque sulfúrico para os perfis de Piracicaba, SP

	<b>SIO<sub>2</sub></b>	<b>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>FE<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>TIO<sub>2</sub></b>	<b>MnO</b>	<b>Ki</b>	<b>Kr</b>
	..... g kg <sup>-1</sup> .....						
PIRP06C	84,00	99,90	38,30	5,40	0,10	1,43	1,15
PIRP12C	135,00	158,80	50,40	5,50	0,10	1,45	1,20
PIRP15C	119,00	115,70	52,00	3,50	0,10	1,75	1,36
PIRP21C	162,00	153,50	57,20	4,40	0,20	1,79	1,45
PIRP29C	83,00	102,60	52,00	6,10	0,20	1,38	1,04
PIRP31C	65,00	42,10	15,90	1,80	0,10	2,62	2,12
PIRP32C	52,00	48,40	11,50	1,70	0,10	1,83	1,59
PIRP33C	116,00	103,70	21,60	2,50	0,10	1,90	1,68
PIRP34C	65,00	59,20	10,90	1,60	0,10	1,87	1,67
PIRP35C	59,00	57,10	11,30	1,50	0,10	1,76	1,56
PIRP37C	125,00	115,80	33,60	2,70	0,20	1,84	1,55
PIRP38C	86,00	85,70	28,60	2,80	0,10	1,71	1,41
PIRP39C	123,00	126,40	36,30	3,00	0,10	1,65	1,40
PIRP40C	74,00	85,20	22,00	2,70	0,10	1,48	1,27
PIRP46C	152,00	172,40	91,10	12,50	0,30	1,50	1,12
PIRP50C	119,00	163,00	106,00	6,40	1,30	1,24	0,88
PIRP51C	255,00	201,30	229,50	32,30	1,60	2,15	1,25
PIRP52C	246,00	210,20	230,40	30,90	1,30	1,99	1,17
PIRP54C	172,00	173,50	74,40	4,90	0,20	1,69	1,32

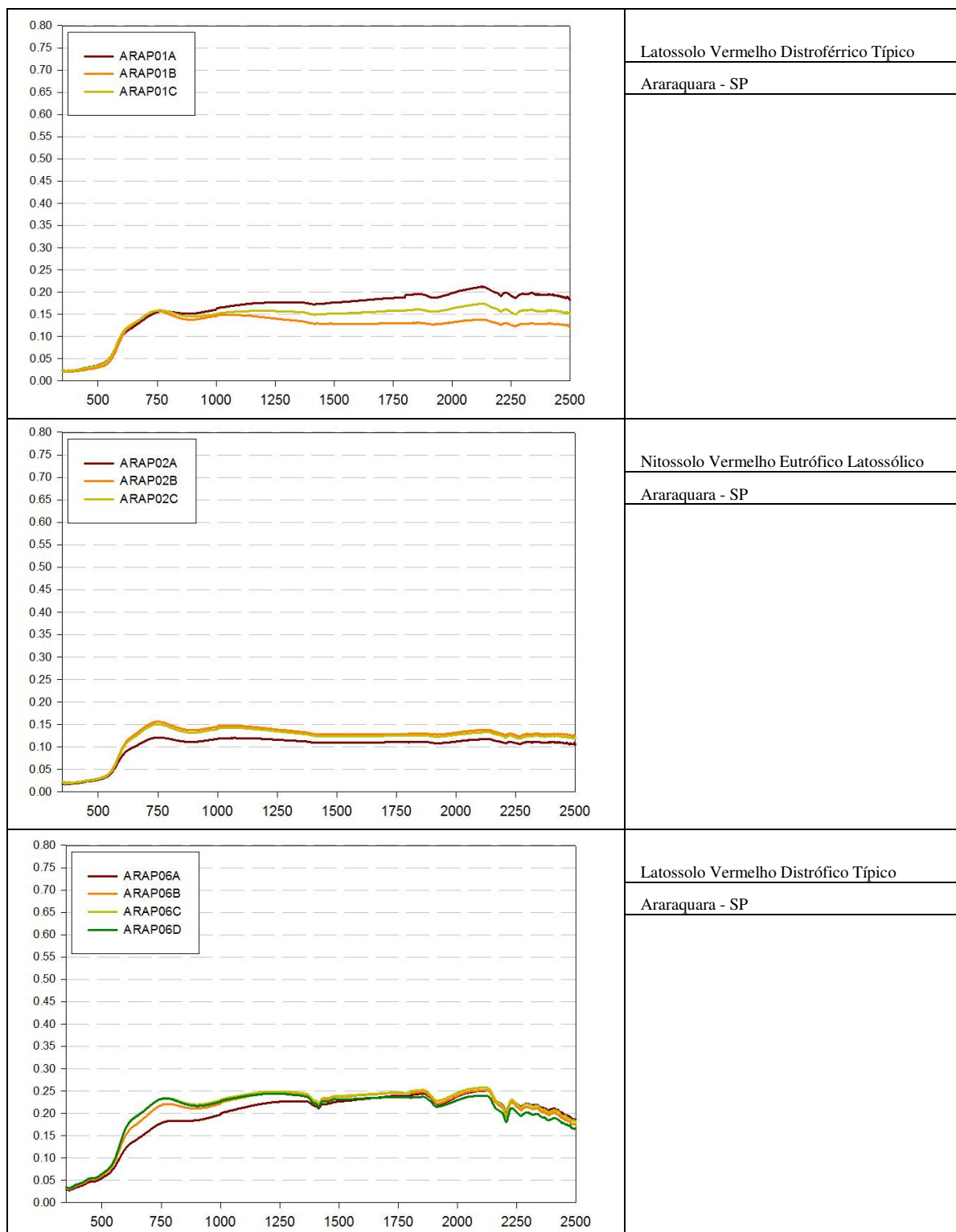


Figura 3.9 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Araraquara, SP

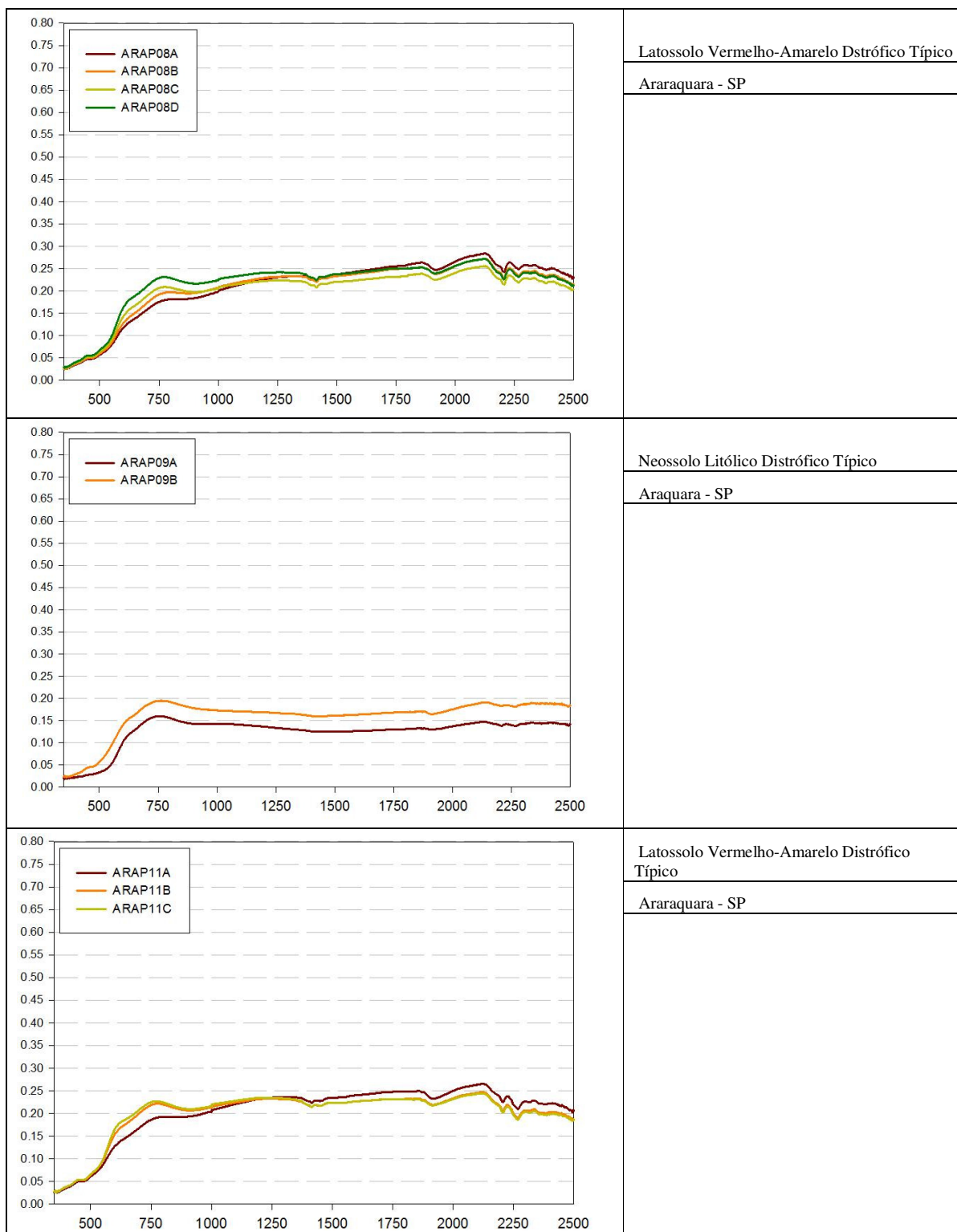


Figura 3.10 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Araraquara, SP

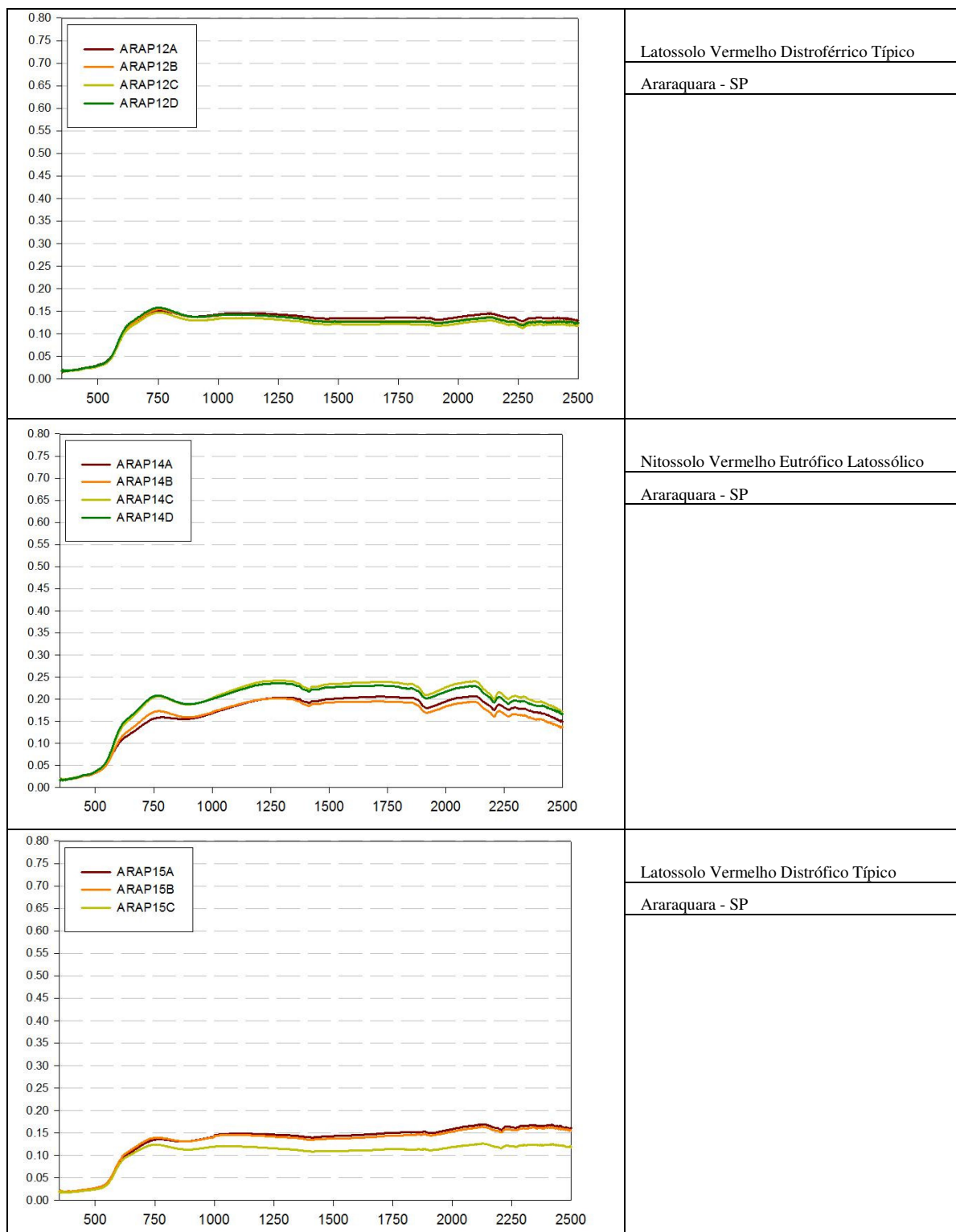


Figura 3.11 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Araraquara, SP

Tabela 3.6 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Araraquara, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total	Silte	Arg																
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>		mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..								
ARAP01A	AP	0-50		440	40	520	26	9	0,5	10	4	4	70	14,5	84,5	17	22	5	4,4				
ARAP01B	BW1	50-125		410	40	550	28	1	0,2	3	1	9	79	4,2	83,2	5	68	4,7	4,2				
ARAP01C	BW2	125		390	40	570	18	1	0,1	4	1	1	43	5,1	48,1	11	16	4,7	4,6				
ARAP02A	AP	0-30		250	80	670	32	48	3,8	24	14	0	29	41,8	70,8	59	0	5,8	5,2				
ARAP02B	BN1	30-90		180	100	720	22	3	0,3	14	8	0	15	22,3	37,3	60	0	6,3	5,9				
ARAP02C	BN2	90		180	100	720	18	1	0,2	9	9	0	15	18,2	33,2	55	0	6,4	6,2				
ARAP06A	AP	0-20		660	40	300	20	6	0,7	24	10	0	18	34,7	52,7	66	0	5,8	5,1				
ARAP06B	AB	20-45		590	40	370	16	9	0,3	14	9	1	19	23,3	42,3	55	4	5	4,5				
ARAP06C	BW1	45-95		610	40	350	14	1	0,2	9	6	3	24	15,2	39,2	39	16	4,7	4,2				
ARAP06D	BW2	95		590	40	370	12	1	0,2	1	1	7	28	2,2	30,2	7	76	4,4	4,2				
ARAP08A	AP	0-20		760	40	200	18	11	0,9	14	6	1	15	20,9	35,9	58	5	5,6	5,2				
ARAP08B	AB	20-45		760	40	200	15	45	1	10	5	0	20	16	36	44	0	5,7	5,1				
ARAP08C	BW1	45-80		700	40	260	14	2	0,7	9	4	0	13	13,7	26,7	51	0	5,6	5,5				
ARAP08D	BW2	80		670	40	290	12	1	0,4	7	5	0	16	12,4	28,4	44	0	6	5,8				



Tabela 3.7 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Araraquara, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total																		
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>			.. % ..											
ARAP09A	AP	0-50		180	60	760	29	3	0,3	10	6	0	28	16,3	44,3	37	0	5,9	5,5				
ARAP09B	C	50-80		340	260	400	13	15	0,7	2	1	6	55	3,7	58,7	6	62	4,9	4,6				
ARAP11A	AP	0-30		660	40	300	23	5	0,3	16	7	0	19	23,3	42,3	55	0	6	5,7				
ARAP11B	BW1	30-105		610	40	350	16	1	0,1	5	1	1	25	6,1	31,1	20	14	4,7	4,5				
ARAP11C	BW2	105		570	60	370	14	1	0,1	3	1	0	21	4,1	25,1	16	0	5,3	5				
ARAP12A	AP	0-20		310	60	630	28	12	0,2	24	8	0	28	32,2	60,2	53	0	6	5,8				
ARAP12B	BW1	20-50		270	80	650	23	2	0,2	11	2	0	22	13,2	35,2	38	0	5,7	5,5				
ARAP12C	BW2	50-125		240	100	660	17	1	0,1	2	2	0	18	4,1	22,1	19	0	5,4	5,3				
ARAP12D	BW3	125		270	100	630	16	1	0,1	2	1	0	13	3,1	16,1	19	0	6,4	5,3				
ARAP14A	AP	0-35		460	60	480	27	9	0,8	25	8	0	43	33,8	76,8	44	0	5,3	5				
ARAP14B	BN	35-60		440	70	490	17	5	0,1	20	4	0	25	24,1	49,1	49	0	5,6	5,4				
ARAP14C	BW1	60-110		440	70	490	14	4	0,1	21	4	0	18	25,1	43,1	58	0	5,9	5,6				
ARAP14D	BW2	110		440	70	490	13	1	0,1	18	5	0	13	23,1	36,1	64	0	6,3	6,2				
ARAP15A	AP	0-25		670	40	290	18	6	0,4	5	2	4	32	7,4	39,4	19	35	4,9	4,1				
ARAP15B	BW1	25-82		630	40	330	15	1	0,1	2	1	5	26	3,1	29,1	11	62	4,3	4,2				
ARAP15C	BW2	82		620	40	340	13	1	0,1	2	1	1	20	3,1	23,1	13	24	4,6	4,5				

Tabela 3.8 – Resultados das análises pelo método do ataque sulfúrico, para os perfis de Araraquara, SP

	<b>SIO<sub>2</sub></b>	<b>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>FE<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>TIO<sub>2</sub></b>	<b>MnO</b>	<b>Ki</b>	<b>Kr</b>
	..... <b>g kg<sup>-1</sup></b> .....						
ARAP01C	74,00	187,90	187,30	18,60	0,40	0,67	0,41
ARAP02C	101,00	246,90	239,50	31,40	1,10	0,70	0,43
ARAP06C	88,00	120,80	53,60	6,30	0,20	1,24	0,97
ARAP08C	38,00	88,60	46,50	6,20	0,10	0,73	0,55
ARAP11C	43,00	147,60	68,30	6,50	0,20	0,50	0,38
ARAP12C	72,00	237,30	223,40	21,90	0,70	0,52	0,32
ARAP14C	42,00	85,90	26,80	6,20	0,10	0,83	0,69
ARAP15C	108,00	158,40	167,10	16,20	0,70	1,16	0,69

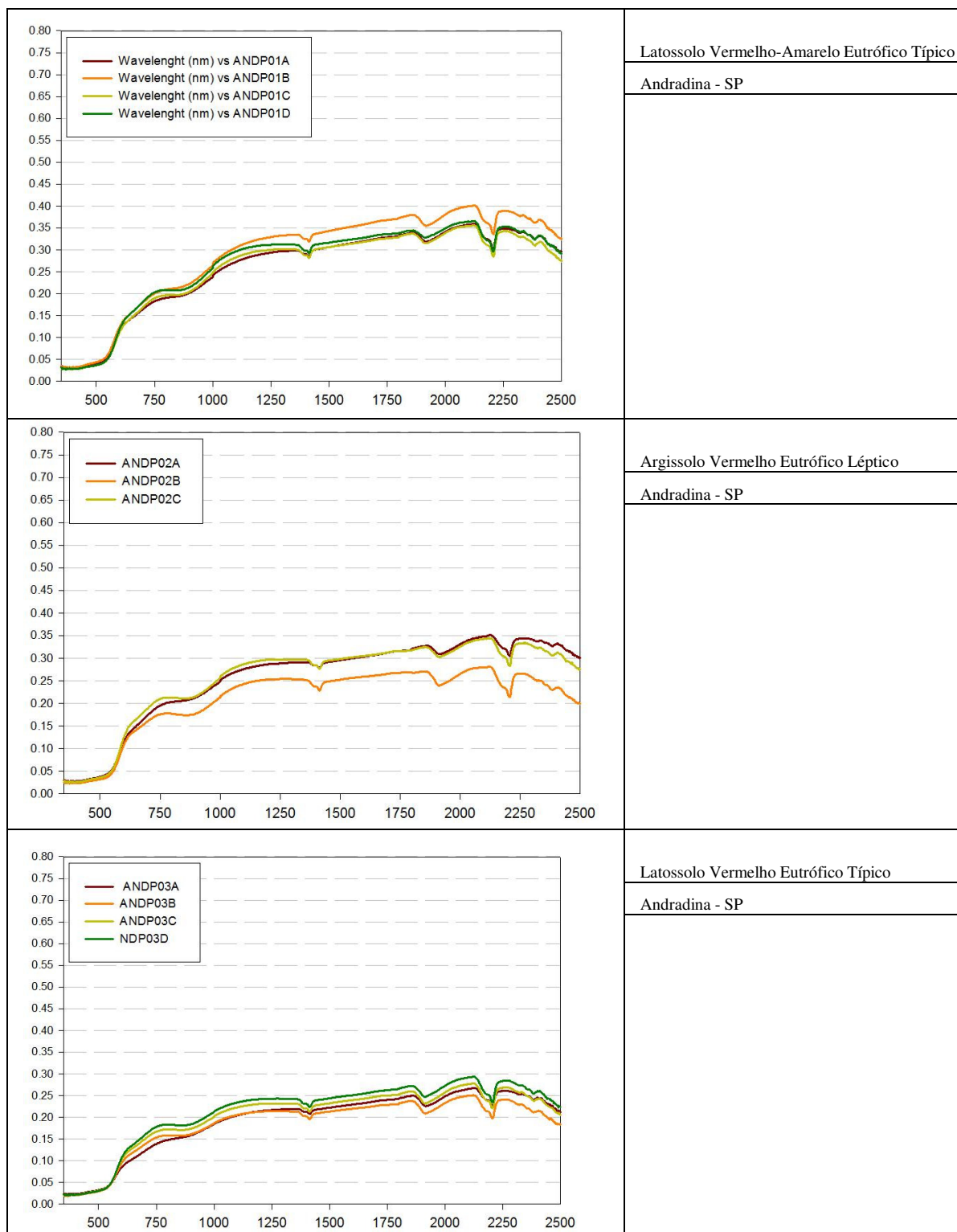


Figura 3.12 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Andradina, SP

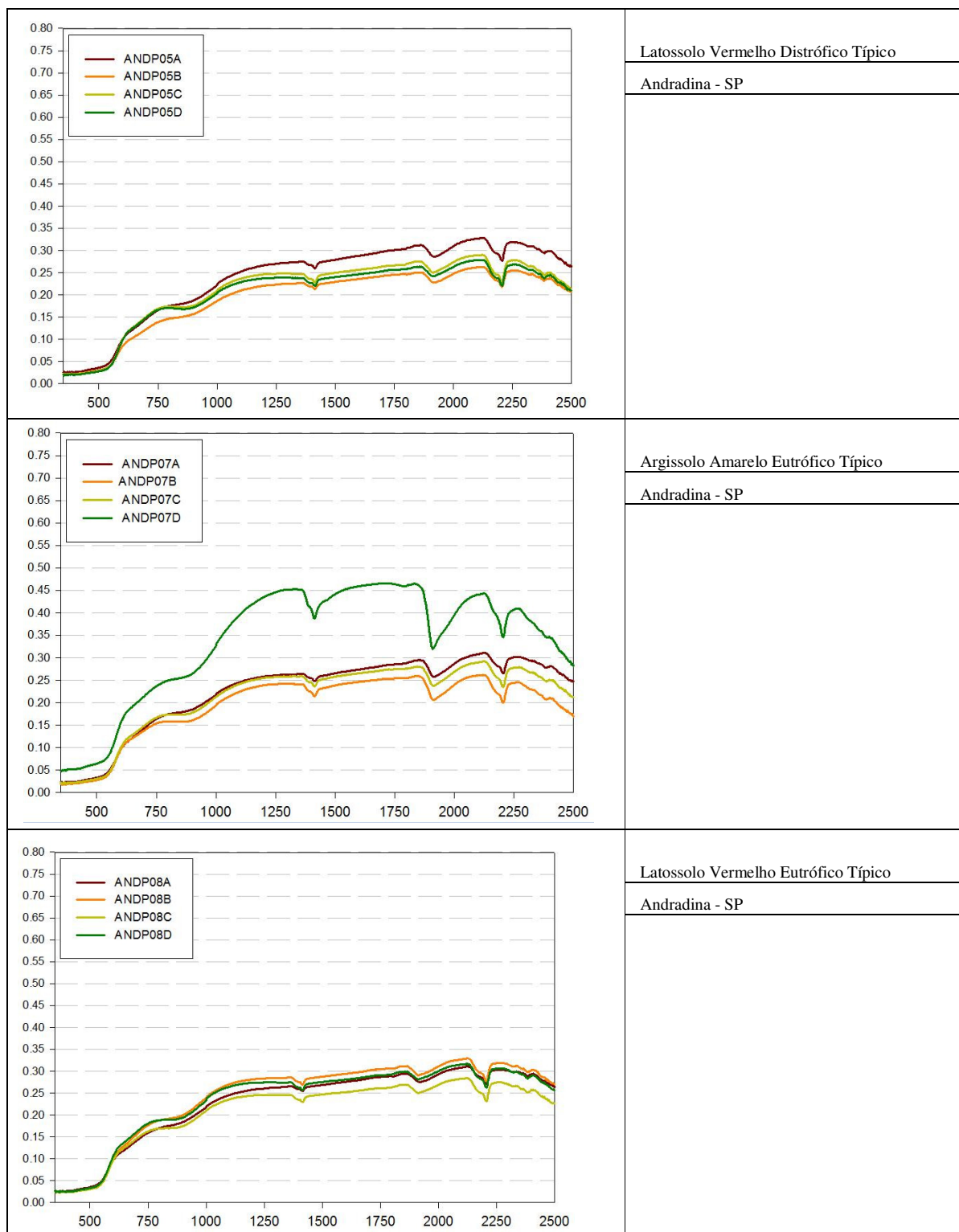


Figura 3.13 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Andradina, SP

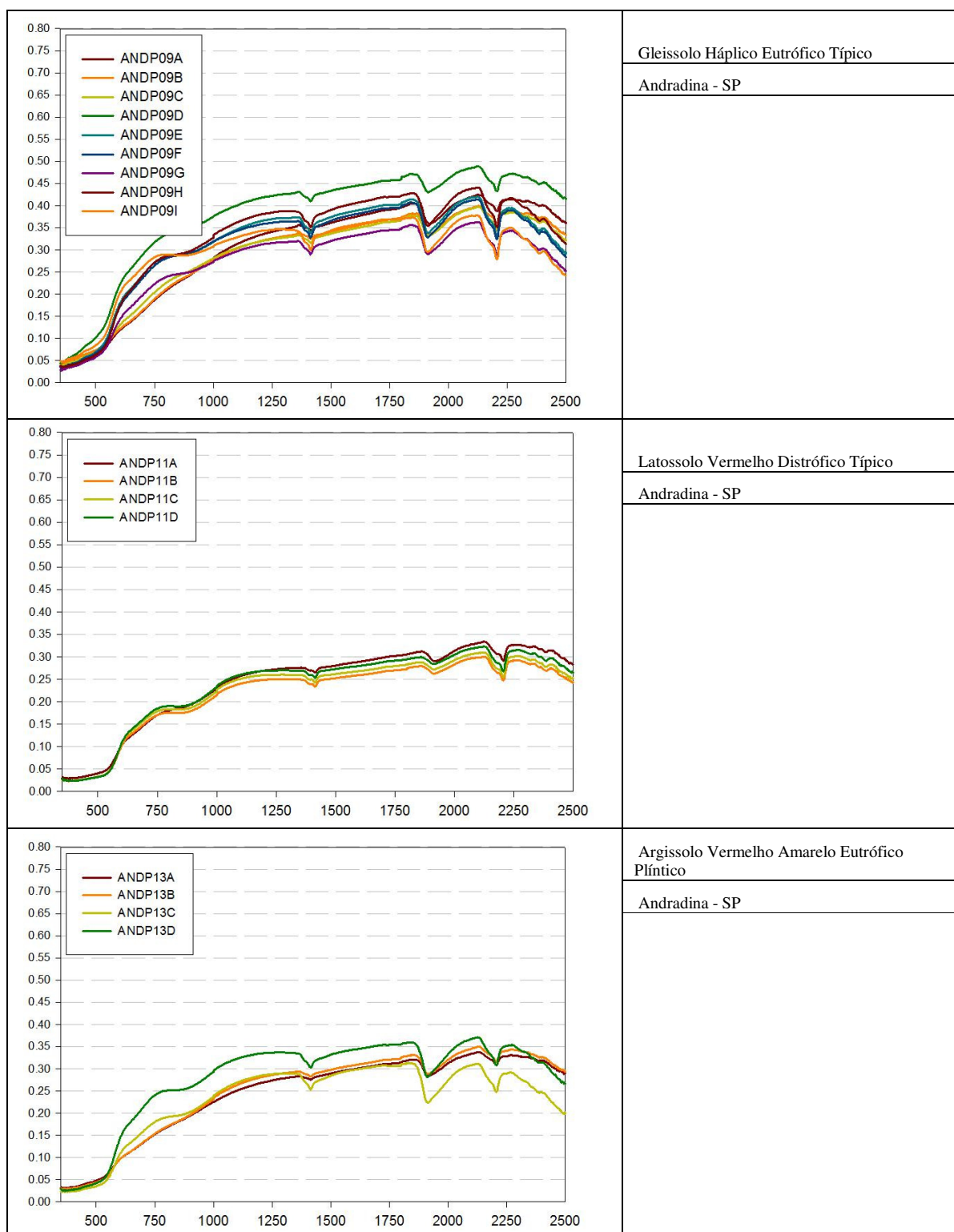


Figura 3.14 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Andradina, SP

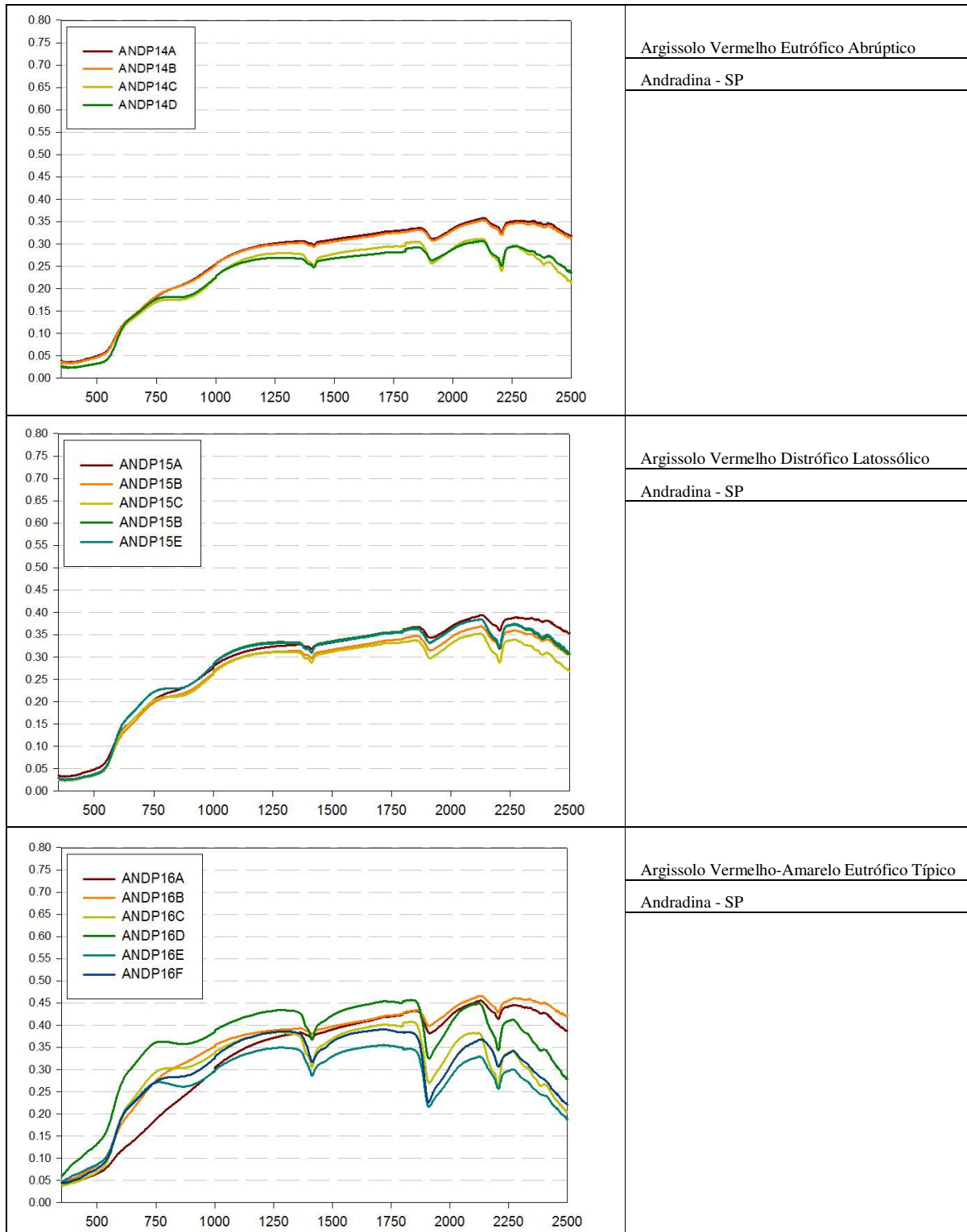


Figura 3.15 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Andradina, SP

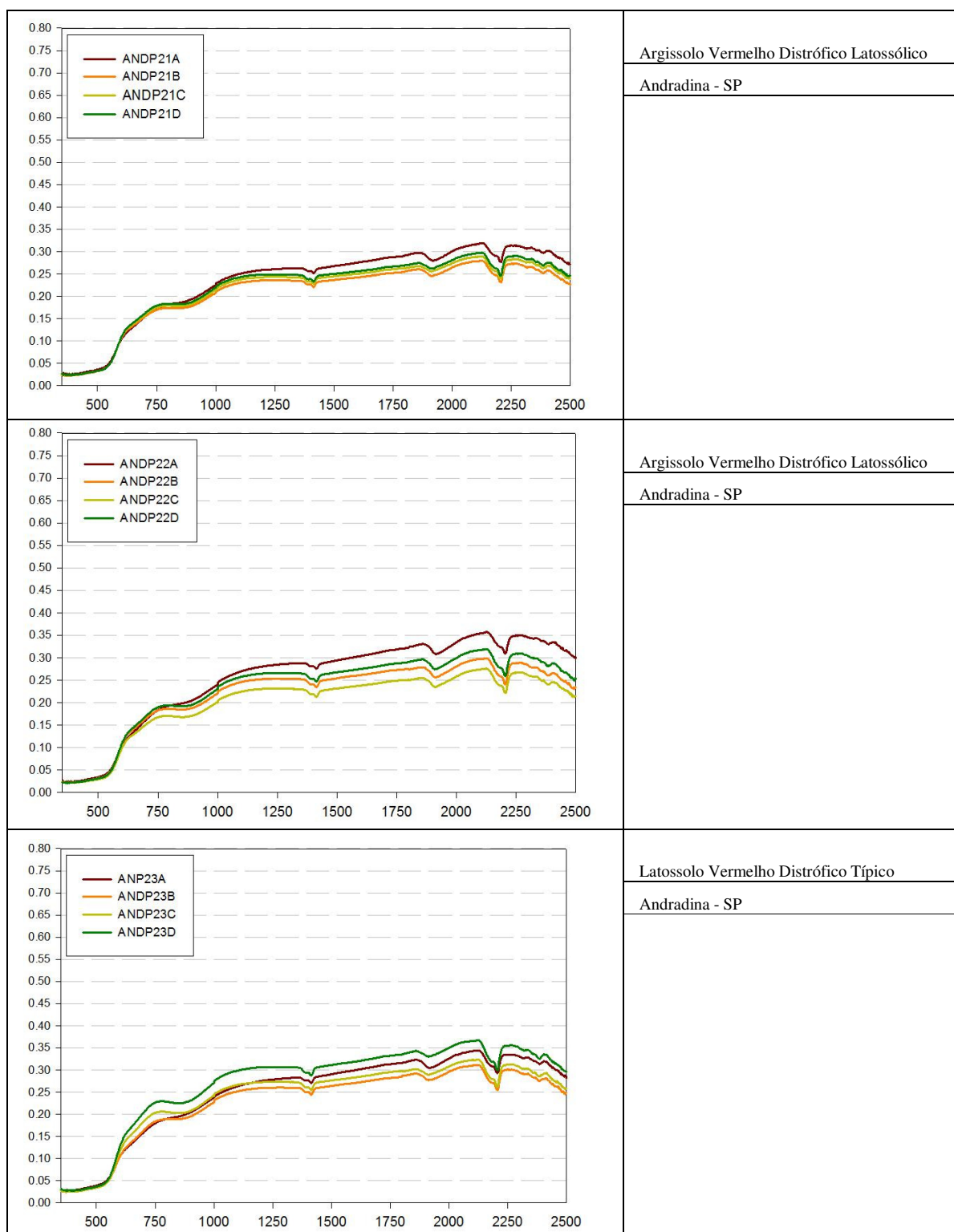


Figura 3.16 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Andradina, SP

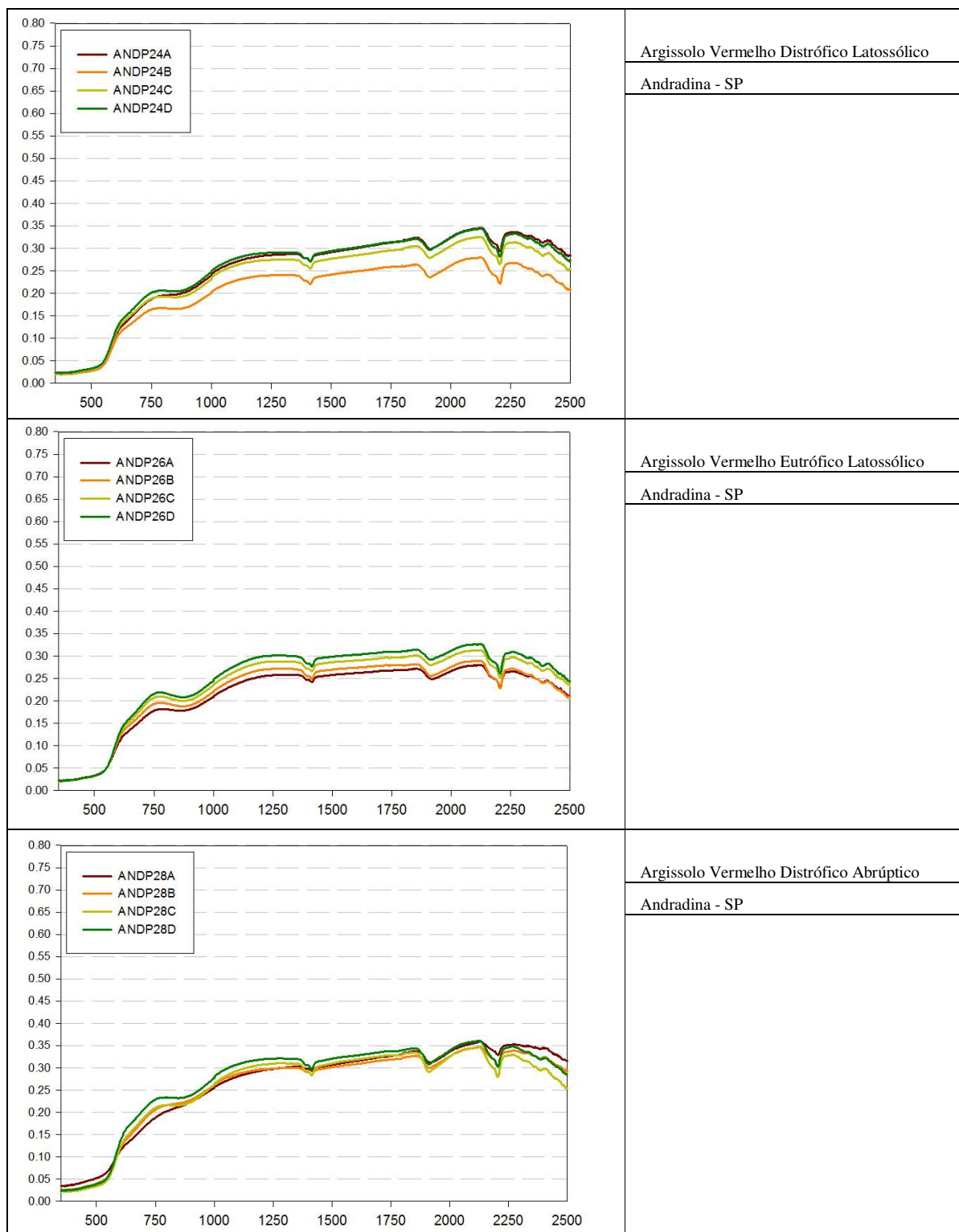


Figura 3.17 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Andradina, SP



Tabela 3.9 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Andradina, SP

Identificação	Horizonte	Prof.	Granulometria														pH		Cor				
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total	Silte	Arg																
			Cm	g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>	mmolc.kg <sup>-1</sup>					. % ..								
ANDP01A	AP	0-17	90	670	760	60	180	15	5	1,4	10	3	0	3	14,4	17,4	83	0	6,1	5,4	2,7YR	3,1	2,1
ANDP01B	AB	17-30	100	660	760	80	160	13	1	0,5	9	1	0	6	10,5	16,5	64	0	5,5	4,9	2,9YR	3,1	2,1
ANDP01C	Bw1	30-140	100	640	740	60	200	10	1	0,1	6	2	0	3	8,1	11,1	73	0	6,1	5,1	2,5YR	3	2,6
ANDP01D	Bw2	140+	90	650	740	60	200	5	1	0,1	5	2	0	1	7,1	8,1	88	0	5,7	5,3	2,0YR	3,1	2,6
ANDP02A	AP	0-12	60	640	700	80	220	10	10	5	6	2	6	15	13	28	46	32	5,6	4,1	2,3YR	3,3	2,3
ANDP02B	Bt1	12-60	40	480	520	100	380	5	1	0,7	10	8	3	9	18,7	27,7	68	14	5,1	4,6	2,4YR	3,2	2,9
ANDP02C	Bt2	60-100	50	630	680	40	280	5	1	1,9	2	2	8	10	5,9	15,9	37	58	5,7	4,2	2,0YR	3,2	2,8
ANDP03A	AP	0-27	240	520	760	40	200	13	1	1,1	6	1	6	24	8,1	32,1	25	43	5,1	4,1	4,2YR	3	2,4
ANDP03B	Bw1	27-50	170	470	640	60	300	8	1	0,1	10	3	1	6	13,1	19,1	69	7	5,8	4,8	3,2YR	3,2	2,9
ANDP03C	Bw2	50-100	180	520	700	60	240	8	1	0,1	6	3	1	3	9,1	12,1	75	10	5,5	4,8	2,8YR	3,3	2,5
ANDP03D	Bw3	100+	170	510	680	80	240	5	1	0,1	4	4	0	2	8,1	10,1	80	0	5,6	5	2,7YR	3,3	3
ANDP05A	AP	0-21	90	610	700	80	220	18	3	0,9	4	1	8	26	5,9	31,9	18	58	4,6	3,8	3,3YR	3,1	2,1
ANDP05B	AB	21-42	90	630	720	80	200	10	1	0,3	6	1	5	17	7,3	24,3	30	41	4,8	3,9	3,5YR	2,9	2,3
ANDP05C	Bt	42-135	70	590	660	80	260	13	1	0,1	12	5	1	1	17,1	18,1	94	6	5,6	4,7	2,3YR	3,1	2,7
ANDP05D	Bw	135+	80	600	680	80	240	8	1	0,1	7	4	0	2	11,1	13,1	85	0	5,4	5,2	2,0YR	3,1	2,9
ANDP07A	AP	0-30	80	660	740	60	200	10	1	0,9	8	3	3	15	11,9	26,9	44	20	5,6	4,4	3,3YR	3,2	2,3
ANDP07B	Bt	30-80	70	500	570	60	370	5	1	1,1	8	5	13	20	14,1	34,1	41	48	4,8	4	3,3YR	3,1	3,2
ANDP07C	Bw1	80-130	70	590	660	60	280	5	1	0,9	2	2	17	20	4,9	24,9	20	78	4,7	3,9	3,0YR	3,2	2,9
ANDP07D	Bw2	130-200	80	610	690	40	270	10	1	1,1	4	4	12	16	9,1	25,1	36	57	4,6	3,9	2,9YR	3,2	2,9
ANDP07E	R	200+	200	560	760	140	100	5	1	1,3	6	4	31	31	11,3	42,3	27	73	4,6	3,8	2,4YR	3,4	1,6

Tabela 3.9 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Andradina, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH		Cor				
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total	Silte	Arg																
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>							.. % ..					
ANDP08A	AP	0-25	50	710	760	60	180	18	3	4,5	8	3	0	6	15,5	21,5	72	0	6,1	5	3,4YR	3,1	2
ANDP08B	Bw1	25-90	40	700	740	60	200	10	4	2,4	6	2	3	10	10,4	20,4	51	22	5,2	4,3	3,0YR	3	2,5
ANDP08C	Bw2	90-170	40	720	760	20	220	5	2	0,1	4	2	6	9	6,1	15,1	40	50	4,6	4,1	2,2YR	3,2	2,5
ANDP08D	Bw3	170+	40	700	740	40	220	8	1	0,1	3	2	4	5	5,1	10,1	50	44	4,8	4,3	2,3YR	3,2	2,8
ANDP09A	AP	0-12	40	740	780	100	120	18	10	3,5	12	7	0	15	22,5	37,5	60	0	5,8	5,2	6,3YR	3,1	1,2
ANDP09B	AB	13119	40	700	740	80	180	23	7	2,1	7	2	5	39	11,1	50,1	22	31	4,8	3,9	6,6YR	3,4	1,2
ANDP09C	Bg1	35-59	40	700	740	80	180	8	4	0,4	4	3	2	18	7,4	25,4	29	21	5	4,2	6,3YR	3,3	1,7
ANDP09D	E	59-63	130	770	900	20	80	8	1	0,1	2	1	2	1	3,1	4,1	76	39	5	4,3	6,0YR	3,7	2,9
ANDP09E	Bg2	63-74	170	570	740	40	220	10	1	1,6	8	6	3	16	15,6	31,6	49	16	5,1	4,4	5,7YR	3,7	2,7
ANDP09F	Bg3	74-100	120	600	720	40	240	8	1	2,9	7	6	0	4	15,9	19,9	80	0	5,7	5	5,6YR	3,7	2,8
ANDP09G	Bg4	100-110	30	500	530	140	330	8	3	4,4	13	13	0	8	30,4	38,4	79	0	5,9	5,1	6,0YR	3,6	2,5
ANDP09H	BC	110-130	80	620	700	60	240	5	2	2,5	6	6	0	6	14,5	20,5	71	0	6,2	5,1	5,4YR	3,6	2,9
ANDP09I	C	130+	90	510	600	140	260	5	1	3,1	5	10	0	5	18,1	23,1	78	0	6,2	5,3	5,5YR	4,2	3
ANDP11A	AP	0-25	50	730	780	40	180	13	3	1	9	2	1	11	12	23	52	8	5,8	4,8	3,4YR	3,1	2
ANDP11B	Bw1	25-95	30	670	700	60	240	5	1	0,1	2	1	8	12	3,1	15,1	21	72	5	4,1	2,3YR	3,1	3
ANDP11C	Bw2	95-150	30	670	700	60	240	8	1	0,1	2	1	7	9	3,1	12,1	26	69	5,1	4,1	2,5YR	3,1	2,8
ANDP11D	Bw3	150+	30	660	690	90	220	8	1	0,1	2	1	7	9	3,1	12,1	26	69	5	4,1	2,3YR	3,2	2,7
ANDP13A	AP	0-30	20	660	680	160	160	15	4	4,8	11	3	1	21	18,8	39,8	47	5	5,4	4,4	5,6YR	2,9	1,4
ANDP13B	AB	30-40	20	600	620	180	200	18	2	3	22	6	0	12	31	43	72	0	6	5	5,7YR	3	1,7
ANDP13C	Bit1	40-100	10	470	480	150	370	13	3	1,2	34	9	0	7	44,2	51,2	86	0	6,3	5,4	4,2YR	3,3	2,9
ANDP13D	Bt2p2	100+	10	560	570	160	270	5	2	1,9	21	9	0	3	31,9	34,9	91	0	6,6	5,4	3,8YR	3,5	3,1

Tabela 3.10 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Andradina, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH		Cor				
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total	Silte	Arg																
ANDP14A	AP	0-12	20	760	780	100	120	10	6	1	14	3	0	10	18	28	64	0	6,3	5,5	3,3YR	3,6	1,3
ANDP14B	E	12024	20	780	800	80	120	13	5	0,4	5	2	2	14	7,4	21,4	35	21	5,7	4,3	3,6YR	3,5	1,7
ANDP14C	Bt1	32-100	20	560	580	80	340	8	1	0,5	14	11	5	16	25,5	41,5	61	16	5,8	4,3	3,0YR	3,1	3
ANDP14D	Bt2	100+	20	660	680	80	240	5	1	0,7	4	3	7	10	7,7	17,7	44	48	5,4	4	2,1YR	3,3	2,5
ANDP15A	AP	0-15	70	750	820	60	120	13	2	1,7	4	1	2	11	6,7	17,7	38	23	5,5	4,2	3,4YR	3,3	1,9
ANDP15B	AB	15-35	70	730	800	60	140	10	1	1,1	5	3	2	6	9,1	15,1	60	18	5,5	4,3	2,3YR	3,4	1,9
ANDP15C	Bt1	35-70	60	640	700	60	240	8	1	2	5	4	2	8	11	19	58	15	5,5	4,5	3,1YR	3,1	3
ANDP15D	Bt2	70-130	60	660	720	60	220	5	1	2,9	1	1	8	9	4,9	13,9	35	62	5,3	4	1,7YR	3,1	3,5
ANDP15E	Bw	130+	60	660	720	80	200	5	1	1,5	1	1	6	6	3,5	9,5	37	63	4,9	4,1	1,9YR	3,4	2,1
ANDP16A	AP	0-30	40	800	840	40	120	8	2	2,9	19	2	0	4	23,9	27,9	86	0	6,3	5,4	6,5YR	3	1,3
ANDP16B	E	30-65	40	780	820	100	80	5	1	1,1	11	1	0	1	13,1	14,1	93	0	6,1	5,3	5,8YR	3,4	2,1
ANDP16C	Bt	65-145	20	530	550	80	370	8	1	8,3	29	19	0	5	56,3	61,3	92	0	6,9	5,7	4,8YR	4,1	3,5
ANDP16D	Bg	145- 165	90	500	590	120	290	5	1	5	14	14	0	3	33	36	92	0	6,6	5,4	5,9YR	4,5	2,6
ANDP16E	Bpl	165- 195	50	450	500	190	310	5	1	3,6	9	9	10	19	21,6	40,6	53	32	5,5	4	3,7YR	4,3	3,2
ANDP16F	B	195+	170	150	320	420	260	5	9	4,9	11	10	15	29	25,9	54,9	47	37	6,2	4	4,2YR	3,5	3
ANDP21A	AP	0-30	140	680	820	40	140	8	3	2,1	3	2	5	14	7,1	21,1	34	41	5,3	4,2	3,1YR	3,2	2,2
ANDP21B	AB	30-80	100	620	720	80	200	8	1	0,4	2	2	4	7	4,4	11,4	39	48	5,3	4,3	2,4YR	3,1	2,7
ANDP21C	Bt	80-140	90	630	720	100	180	5	1	0,1	1	1	7	9	2,1	11,1	19	77	4,8	4,1	2,6YR	3	2,8
ANDP21D	Bw	140+	90	630	720	60	220	5	1	0,1	1	1	7	10	2,1	12,1	17	77	4,7	4,1	2,7YR	3,1	2,9

Tabela 3.11 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Andradina, SP

Identificação	Horizonte	Prof. cm	Granulometria														pH		Cor					
			Areia				Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total	g/kg																		
						mg.kg <sup>-1</sup>				mmolc.kg <sup>-1</sup>	. % ..													
ANDP22A	AP	0-30	70	710	780	40	180	10	7	1,8	5	1	6	21	7,8	28,8	27	43	5,1	4,2	3,3YR	3,1	2,4	
ANDP22B	Bw1	30-92	60	620	680	40	280	8	1	0,4	3	2	8	12	5,4	17,4	31	60	4,9	4,2	2,4YR	3,2	2,7	
ANDP22C	Bw2	92-140	60	600	660	80	260	5	1	0,1	4	3	6	9	7,1	16,1	44	46	4,7	4,2	2,1YR	3,3	2,7	
ANDP22D	Bw3	140+	50	600	650	80	270	5	1	0,2	2	2	9	12	4,2	16,2	26	68	4,4	4,1	2,6YR	3,1	3	
ANDP23A	AP	0-20	30	770	800	40	160	13	3	0,4	10	1	1	9	11,4	20,4	56	8	5,4	4,6	3,1YR	2,9	2,4	
ANDP23B	AB	20-69	20	740	760	60	180	10	1	0,1	3	1	7	12	4,1	16,1	25	63	4,7	4	2,5YR	3	2,6	
ANDP23C	Bw1	69-125	30	690	720	80	200	8	1	0,1	2	1	5	8	3,1	11,1	28	62	4,6	4,1	1,5YR	3,4	2,5	
ANDP23D	Bw2	125+	30	680	710	90	200	5	1	0,1	2	1	6	6	3,1	9,1	34	66	4,7	4,2	1,0YR	3,3	2,4	
ANDP24A	AP	0-15	40	700	740	60	200	5	1	0,6	3	2	9	17	5,6	22,6	25	62	4,8	4	2,7YR	3,3	2,8	
ANDP24B	AB	15-40	30	610	640	120	240	5	1	0,1	4	4	6	11	8,1	19,1	42	43	4,8	4,2	2,1YR	3,3	2,7	
ANDP24C	Bt	40-120	30	690	720	60	220	5	1	0,7	2	2	8	12	4,7	16,7	28	63	4,8	4,1	2,8YR	3,1	3	
ANDP24D	Bw	120+	20	720	740	60	200	10	1	0,6	4	3	8	13	7,6	20,6	37	51	4,6	4,1	2,7YR	3,1	3,1	
ANDP26A	AP	0-10	70	570	640	60	300	15	1	7,3	7	3	2	20	17,3	37,3	46	10	5,8	4,6	3,0YR	3,1	2,7	
ANDP26B	Bt	10-80	60	520	580	60	360	10	1	0,1	14	4	0	3	18,1	21,1	86	0	5,6	5,2	3,0YR	3,2	3,1	
ANDP26C	Bt	80-160	50	530	580	100	320	5	1	0,1	9	8	0	3	17,1	20,1	85	0	6	5,6	2,2YR	3,2	2,9	
ANDP26D	Bw	160+	50	550	600	40	360	5	1	0,1	6	5	3	8	11,1	19,1	58	21	5,2	4,4	2,1YR	3,2	2,9	
ANDP28A	AP	0-10	10	770	780	120	100	10	3	1,1	9	5	1	9	15,1	24,1	63	6	5,8	4,9	4,4YR	3	1,9	
ANDP28B	AB	30-45	10	750	760	100	140	10	4	1,3	4	3	8	18	8,3	26,3	32	49	5,1	4	3,3YR	3,3	2,6	
ANDP28C	Bt1	45-110	10	640	650	130	220	8	1	1,5	3	3	21	28	7,5	35,5	21	74	5,1	3,9	2,6YR	3,4	2,9	
ANDP28D	Bt2	110+	10	730	740	80	180	5	1	0,9	1	1	12	15	2,9	17,9	16	81	5,3	4	2,7YR	3,3	3,2	

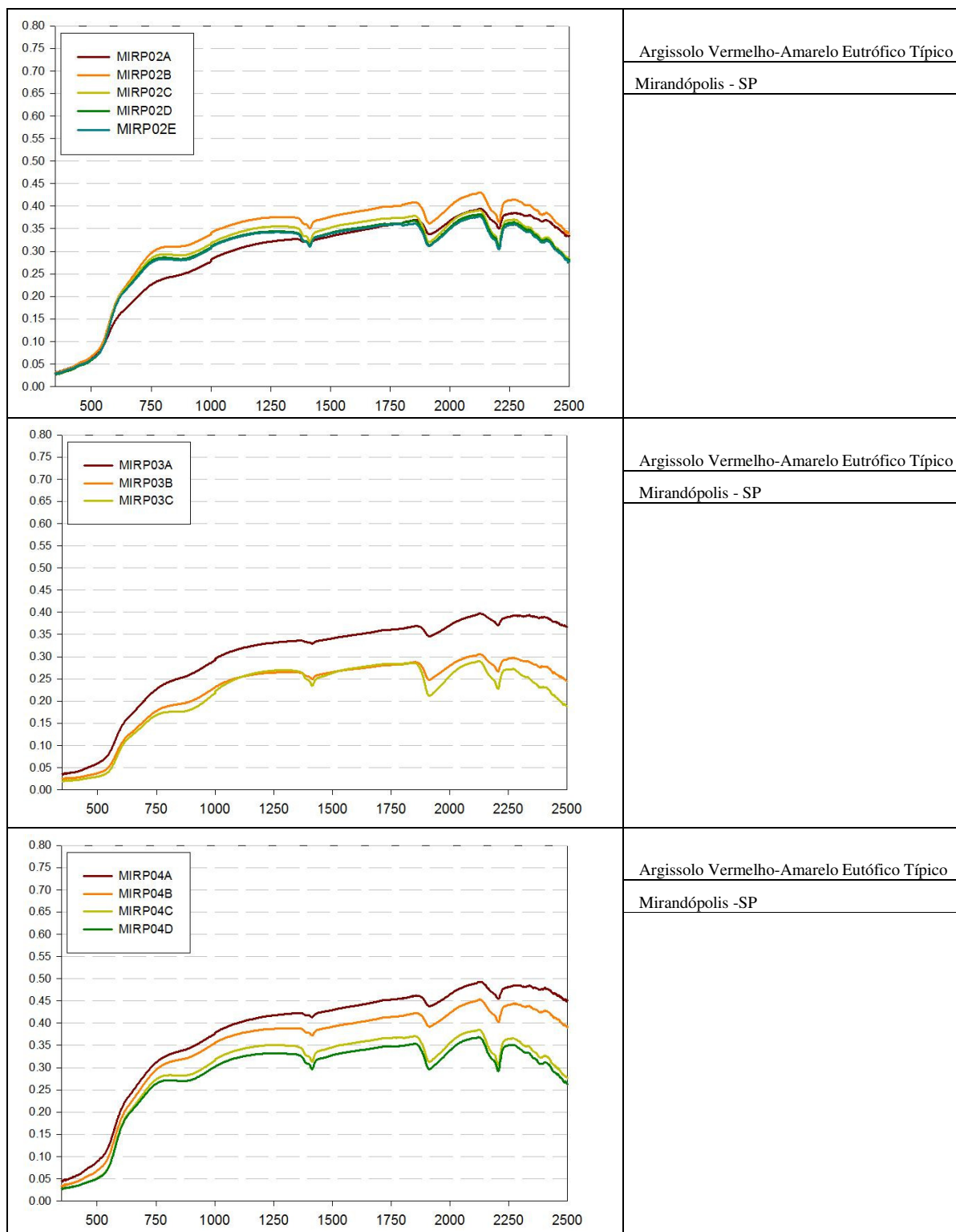


Figura 3.18 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Mirandópolis, SP

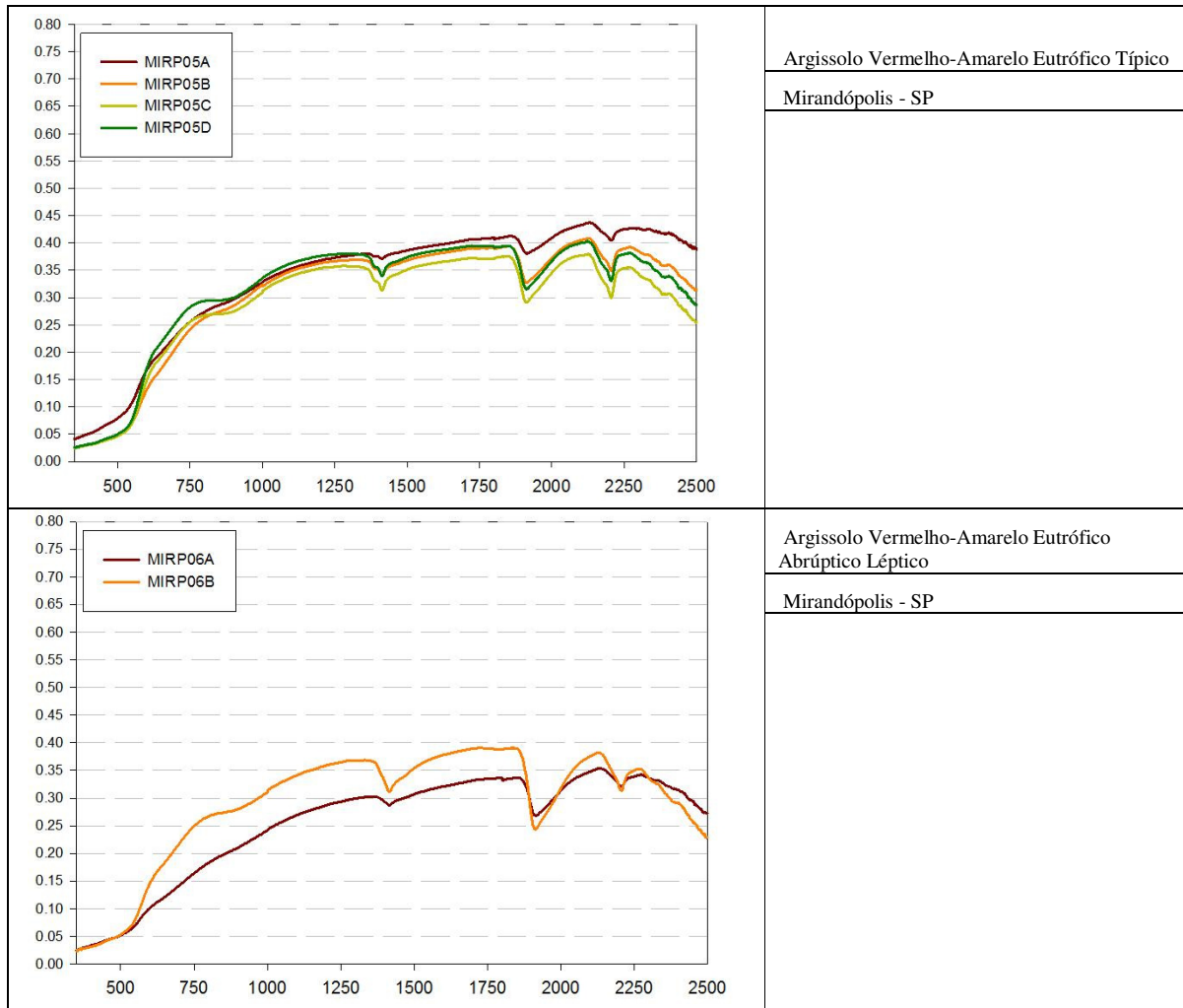


Figura 3.19 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Mirandópolis, SP

Tabela 3.12 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Mirandópolis, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total															
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>				mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..						
MIRP02A		0-30	190	660	850	56	94	4	5	1,8	6	3	5	25	11	36	30	32	4,1	
MIRP02B		30-50	160	640	800	69	131	3	3	2,5	8	6	3	22	17	39	43	15	4,6	
MIRP02C		50-65	140	600	740	70	190	5	5	1,3	14	6	1	20	21	41	52	4	5,3	
MIRP02D		65-130	140	620	760	45	195	2	3	0,5	13	6	0	16	20	36	55	0	5,9	
MIRP02E		130+	160	610	770	38	192	2	3	3,3	4	6	3	20	13	33	40	18	5,1	
MIRP03A		0-30	210	630	840	19	141	4	14	1,3	13	5	0	16	19	35	55	0	5,6	
MIRP03B		30-45	160	600	760	38	202	3	5	0,5	21	9	2	20	31	51	60	6	5,4	
MIRP03C		45-90	120	540	660	124	216	3	4	0,3	24	15	0	18	39	57	69	0	6,3	
MIRP04A		0-35	230	680	910	8	82	3	7	4	6	4	0	13	14	27	52	0	6,1	
MIRP04B		35-70	180	680	860	25	115	2	5	3,3	8	6	1	12	17	29	59	5	5,9	
MIRP04C		70-140	160	600	760	72	168	2	5	3,3	12	3	0	15	18	33	55	0	5,8	
MIRP04D		140+	150	630	780	68	152	2	3	1	14	2	0	13	17	30	57	0	6	
MIRP05A		0-20	240	620	860	56	84	7	14	4,2	14	7	0	15	25	40	63	0	6,3	
MIRP05B		20-60	200	560	760	43	197	3	5	9,5	22	6	0	15	28	43	65	0	6,4	
MIRP05C		60-120	260	610	870	62	68	3	5	4,7	23	5	1	20	33	53	62	3	5,9	
MIRP05D		120+	140	620	760	63	177	2	5	0,5	18	4	7	31	23	54	42	24	4,6	
MIRP06A		0-30	150	550	700	158	142	11	12	3,3	47	11	0	22	61	83	74	0	5,7	
MIRP06B		30-70	100	419	519	132	349	3	8	2,3	52	30	1	28	84	112	75	1	6	
MIRP10A		0-20	130	690	820	76	104	7	7	1,2	12	6	3	31	19	50	38	14	4,8	
MIRP10B		20-60	150	600	750	74	176	3	5	0,3	18	6	3	25	24	49	49	11	5	
MIRP10C		60-110	70	590	660	66	274	3	4	0,1	26	7	0	15	33	48	69	0	6,1	
MIRP10D		110+	110	610	720	109	171	2	5	0,1	6	8	7	22	14	36	39	33	5,2	



Figura 3.20 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Ipaussu, SP



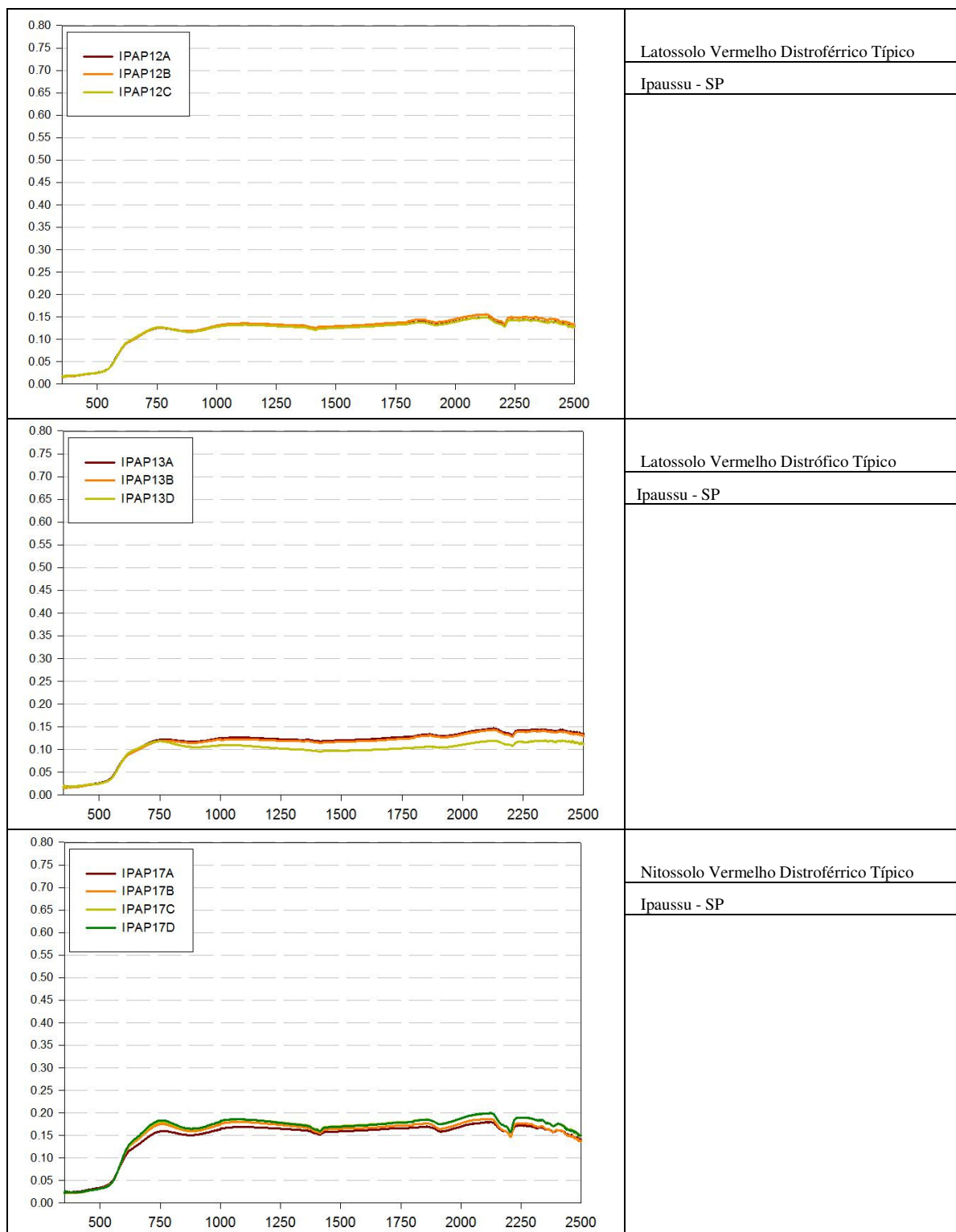


Figura 3.21 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Ipaussu, SP



Figura 3.22 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Ipaussu, SP



Figura 3.23 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Ipaussu, SP

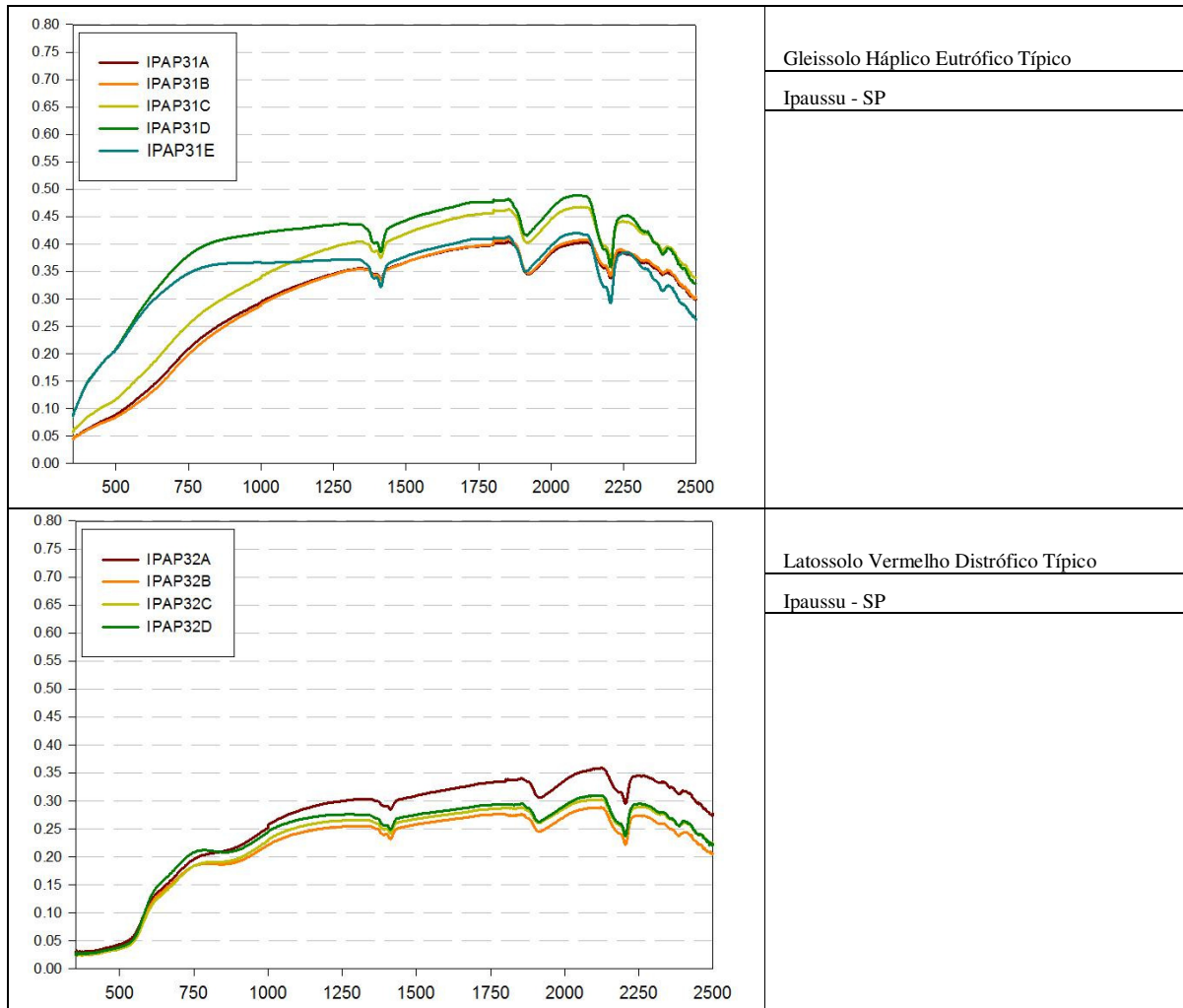


Figura 3.24 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Ipaussu, SP

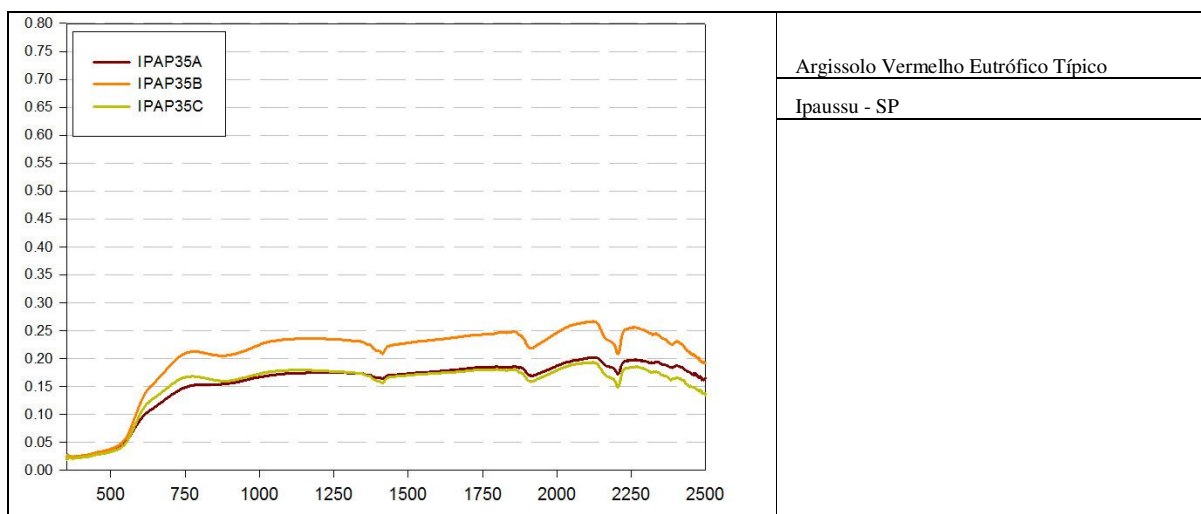


Figura 3.25 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Ipaussu, SP

Tabela 3.13 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Ipaussu, SP

Identificação	Horizonte	Prof. cm	Granulometria														pH			Cor					
			Areia							M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total	Silte	Arg	g/kg																	
IPAP05A	Ap	0-20	20	140	160	130	710	18	98	3,3	33	9	1	46	45,3	91,3	50	2	5,7	4,7	2,7YR	2,8	2,1		
IPAP05B	Bn	20-50	20	110	130	130	740	20	2	1,1	16	8	2	41	25,1	66,1	38	7	5,5	4,7	2,2YR	2,9	2,3		
IPAP05C	Bw1	50-90	20	120	140	80	780	13	1	0,4	10	3	6	44	13,4	57,4	23	31	5,1	4,3	1,6YR	2,9	2,2		
IPAP05D	Bw2	90-170	20	100	120	150	730	5	1	0,3	4	2	10	44	6,3	50,3	13	61	4,6	4,3	0,9YR	3,1	1,9		
IPAP05E	Bw3	170+	20	130	150	140	710	5	1	0,6	4	3	5	38	7,6	45,6	17	40	5	4,4	1,1YR	3,1	2,1		
IPAP10A	Ap	0-10	30	210	240	120	640	38	8	2,3	123	118	0	24	243,3	267,3	91	0	6,6	6,1	3,7YR	2,8	1,8		
IPAP10B	Bn	10-85	20	170	190	60	750	31	2	0,6	30	6	7	69	36,6	105,6	35	16	5	4,2	2,8YR	3	2		
IPAP10C	Bw1	85-145	20	160	180	110	710	33	1	0,4	4	1	25	95	5,4	100,4	5	82	4,8	4	1,9YR	3,2	1,5		
IPAP10D	Bw2	145+	20	150	170	100	730	20	1	0,4	4	1	17	58	5,4	63,4	9	76	4,8	4,1	2,0YR	2,9	2,4		
IPAP11A	Ap	0-15	40	760	800	40	160	13	4	0,9	16	6	0	13	22,9	35,9	64	0	6,3	5,1	2,3YR	3,5	1,9		
IPAP11B	Bt1	15-42	40	760	800	40	160	5	1	0,6	10	3	0	9	13,6	22,6	60	0	6	5,8	2,6YR	3,2	2,7		
IPAP11C	Bt2	42-100	50	730	780	40	180	8	1	0,3	5	1	3	18	6,3	24,3	26	32	5	4,3	2,6YR	3,2	3,1		
IPAP11D	Bt3	100+	40	780	820	20	160	5	15	1,3	6	1	3	16	8,3	24,3	34	27	5	4,5	1,8YR	3,3	2,7		
IPAP12A	Ap	0-32	20	210	230	80	690	23	10	0,6	25	11	1	40	36,6	76,6	48	3	5,8	4,9	2,5YR	3	1,9		
IPAP12B	Bw1	32-105	20	170	190	90	720	23	1	0,3	8	7	9	55	15,3	70,3	22	37	5	4,3	2,6YR	3	1,9		
IPAP12C	Bw2	105+	20	170	190	110	700	18	1	0,8	3	1	10	54	4,8	58,8	8	68	4,8	4,3	2,2YR	3,1	2		
IPAP13A	Ap	0-18	30	180	210	100	690	28	6	1,5	26	10	1	47	37,5	84,5	44	3	5,4	4,7	2,8YR	2,9	1,9		
IPAP13B	Bw1	18-52	30	180	210	80	710	23	2	1,6	22	9	3	50	32,6	82,6	39	8	5,4	4,5	2,4YR	3,2	1,5		
IPAP13D	Bw3	140+	20	190	210	60	730	13	1	0,6	1	1	5	33	2,6	35,6	7	66	4,9	4,5	2,6YR	3	2,4		

Tabela 3.14 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Ipaussu, SP

Identificação	Horizonte	Prof. cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total	Silte	Arg																
			g/kg	g/kg		mg.kg <sup>-1</sup>		mmolc.kg <sup>-1</sup>			.. % ..												
IPAP17A	Ap	0-21	20	270	290	80	630	20	40	2,2	42	16	0	26	60,2	86,2	70	0	6,3	5,3	2,4YR	3,2	2
IPAP17B	Bt1	21-90	30	180	210	80	710	18	1	0,9	20	7	1	27	27,9	54,9	51	3	5,6	4,8	2,2YR	3,2	2,7
IPAP17C	Bt2	90-135	20	220	240	70	690	8	1	1	11	2	3	27	14	41	34	18	5	4,5	1,9YR	3,2	2,8
IPAP17D	Bw	135+	30	260	290	40	670	8	8	1	12	4	1	20	17	37	46	6	5,4	4,7	1,3YR	3,3	2,5
IPAP18A	Ap	0-18	20	200	220	80	700	26	25	4	37	17	3	61	58	119	49	5	5,6	4,5	2,4YR	3,3	1,5
IPAP18B	Bw1	18-60	20	170	190	90	720	31	3	3,1	17	7	15	81	27,1	108,1	25	36	4,8	4	2,9YR	2,9	2
IPAP18C	Bw2	60-112	20	200	220	80	700	23	1	0,4	2	1	29	89	3,4	92,4	4	90	4,7	4	2,0YR	3,1	1,4
IPAP19A	Ap	0-22	20	300	320	60	620	31	9	5,5	29	11	3	53	45,5	98,5	46	6	5,6	4,5	4,4YR	3,3	1,8
IPAP19B	Bt1	22-105	20	270	290	60	650	28	4	0,7	8	3	23	86	11,7	97,7	12	66	4,5	3,9	4,2YR	3,5	1,6
IPAP19C	Bt2	105-165	20	250	270	110	620	18	1	0,6	3	2	23	70	5,6	75,6	7	80	4,1	4	4,6YR	3,3	2
IPAP19D	Bt3	165+	70	230	300	100	600	5	1	0,8	4	2	16	40	6,8	46,8	15	70	4,2	4,1	3,7YR	3,3	2,7
IPAP21A	Ap	0-19	30	230	260	90	650	38	6	4,7	27	10	8	85	41,7	126,7	33	16	5,4	4,3	3,0YR	3,3	1,1
IPAP21B	Bw1	19-120	30	210	240	110	650	31	1	1,4	10	6	20	103	17,4	120,4	14	53	4,9	4,1	2,6YR	2,8	1,5
IPAP21C	Bw2	120+	50	150	200	110	690	13	1	1	4	2	21	69	7	76	9	75	4,6	4,1	2,4YR	3	2
IPAP22A	Ap	0-18	40	260	300	60	640	38	6	2,6	23	13	3	71	38,6	109,6	35	7	5,5	4,5	1,2YR	3	1,5
IPAP22B	Bw1	18-130	40	220	260	60	680	31	1	0,7	5	3	20	89	8,7	97,7	9	70	4,8	4,1	2,9YR	3,1	1,6
IPAP22C	Bw2	130+	40	180	220	80	700	26	1	1,1	7	3	17	75	11,1	86,1	13	60	4,9	4,1	2,4YR	3,1	1,9
IPAP25A	Ap	0-17	50	280	330	70	600	28	18	2,4	36	19	0	48	57,4	105,4	54	0	5,9	4,8	5,3YR	3	1,5
IPAP25B	Bw1	17-75	60	200	260	80	660	10	1	0,9	2	1	17	39	3,9	42,9	9	81	4,8	4,3	3,7YR	3,5	2,7
IPAP25C	Bw2	75+	50	240	290	80	630	18	1	0,8	5	3	16	58	8,8	66,8	13	65	4,9	4,1	4,7YR	3,2	2,2

Tabela 3.15 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Ipaussu, SP

Identificação	Horizonte	Prof. cm	Granulometria														pH		Cor					
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz		V	C
			Grossa	fin	total	Silte	Arg																	
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>		mmolc.kg <sup>-1</sup>					%									
IPAP26A	Ap	0-15	40	190	230	60	710	28	2	1,1	13	7	6	55	21,1	76,1	28	22	5,4	4,3	2,4YR	3,3	1,2	
IPAP26B	Bw1	15-120	40	160	200	60	740	15	1	0,6	5	2	9	47	7,6	54,6	14	54	4,9	4,2	3,0YR	3,1	1,8	
IPAP26C	Bw2	120+	40	130	170	100	730	8	1	1,1	2	1	3	31	4,1	35,1	12	42	5,4	4,5	2,6YR	2,9	2	
IPAP31A	Ap	0-10	530	330	860	20	120	23	9	1,4	22	8	1	31	31,4	62,4	50	3	5,2	4,5	8,4YR	3,1	1	
IPAP31B	AC	10-30	510	350	860	40	100	20	2	1	14	10	3	35	25	60	42	11	5,4	4,3	8,2YR	3,3	1	
IPAP31C	Cg1	30-55	490	370	860	20	120	13	1	0,6	2	1	9	27	3,6	30,6	12	71	4,8	4,1	8,9YR	3,6	1,3	
IPAP31D	Cg2	55-120	460	380	840	20	140	13	1	0,4	3	2	7	20	5,4	25,4	21	56	4,9	4,1	0,1Y	4,6	1,6	
IPAP31E	Cg3	120+	370	430	800	40	160	5	1	0,6	2	1	9	18	3,6	21,6	17	71	4,6	4,1	0,6Y	4,9	1,6	
IPAP32A	Ap	0-13	400	380	780	20	200	15	9	1,6	28	20	0	11	49,6	60,6	82	0	6,4	5,7	3,2YR	3,3	2	
IPAP32B	Bw1	13-71	250	490	740	60	200	8	2	1,2	5	3	11	30	9,2	39,2	23	54	4,9	4	2,7YR	3,1	3,1	
IPAP32C	Bw2	71-160	240	520	760	40	200	5	1	2	3	1	15	35	6	41	15	71	4,8	4	3,1YR	3,1	2,7	
IPAP32D	Bw3	160+	240	500	740	40	220	5	1	0,6	4	2	14	31	6,6	37,6	18	68	4,8	4	2,3YR	3,3	2,8	
IPAP34A	Ap	0-10	30	80	110	130	760	33	9	3,7	49	40	0	34	92,7	126,7	73	0	6,3	5,1	2,2YR	3,2	1,9	
IPAP34B	Bn1	10-90	30	80	110	120	770	26	3	1,3	19	13	2	35	33,3	68,3	49	6	5,8	4,6	2,7YR	3	2	
IPAP34C	Bn2	90-150	30	40	70	110	820	5	1	0,6	9	12	0	18	21,6	39,6	55	0	5,7	5,6	1,6YR	3,3	2,1	
IPAP34D	Bw	150+	20	110	130	90	780	8	3	1,7	4	6	9	33	11,7	44,7	26	43	4,8	4,2	1,4YR	3,4	1,6	
IPAP35A	Ap	0-15	60	640	700	40	260	13	28	1,3	22	8	0	25	31,3	56,3	56	0	6,1	5,2	3,2YR	3,2	2	
IPAP35B	Bt1	15-110	50	540	590	40	370	5	4	0,6	16	1	1	20	17,6	37,6	47	5	5,5	4,7	2,6YR	3,2	2,6	
IPAP35C	Bt2	110+	60	580	640	20	340	8	6	1	12	6	0	17	19	36	53	0	5,4	4,9	2,4YR	3,1	2,4	

Tabela 3.16 – Resultados das análises pelo método do ataque sulfúrico, para os perfis de Ipaussu, SP

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
	..... g kg <sup>-1</sup> .....						
IPAP05C	201,00	246,90	257,00	34,20	1,60	1,38	0,83
IPAP10C	31,00	49,60	30,40	7,10	0,20	1,06	0,76
IPAP11C	185,00	229,60	208,10	41,30	1,30	1,37	0,87
IPAP12C	168,00	230,70	192,00	37,50	1,10	1,24	0,81
IPAP17C	191,00	242,50	134,40	20,10	0,50	1,34	0,99
IPAP18C	209,00	209,10	123,00	24,80	0,50	1,70	1,24
IPAP19C	94,00	84,10	42,90	8,20	0,20	1,90	1,43
IPAP21C	171,00	237,20	128,70	21,30	0,40	1,23	0,91
IPAP22C	225,00	250,10	146,60	29,40	0,70	1,53	1,11
IPAP25C	184,00	237,20	178,40	33,10	0,70	1,32	0,89
IPAP26C	235,00	239,30	128,70	20,30	0,60	1,67	1,24
IPAP31C	51,00	60,40	22,50	5,30	0,10	1,44	1,16
IPAP32C	79,00	75,50	26,80	7,00	0,10	1,78	1,45
IPAP34C	227,00	231,80	239,50	36,00	1,40	1,66	1,00



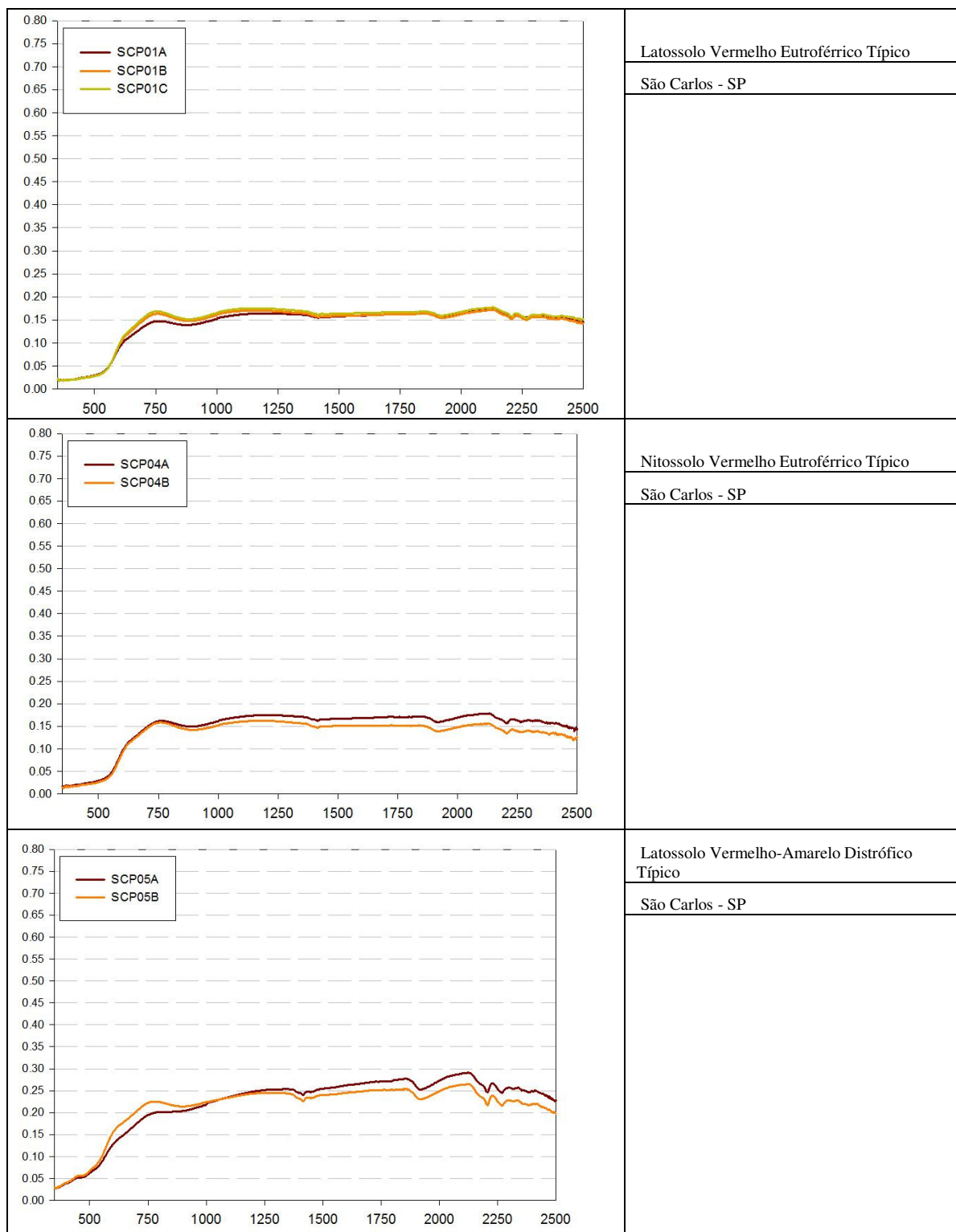


Figura 3.26 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de São Carlos, SP



Figura 3.27 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de São Carlos, SP

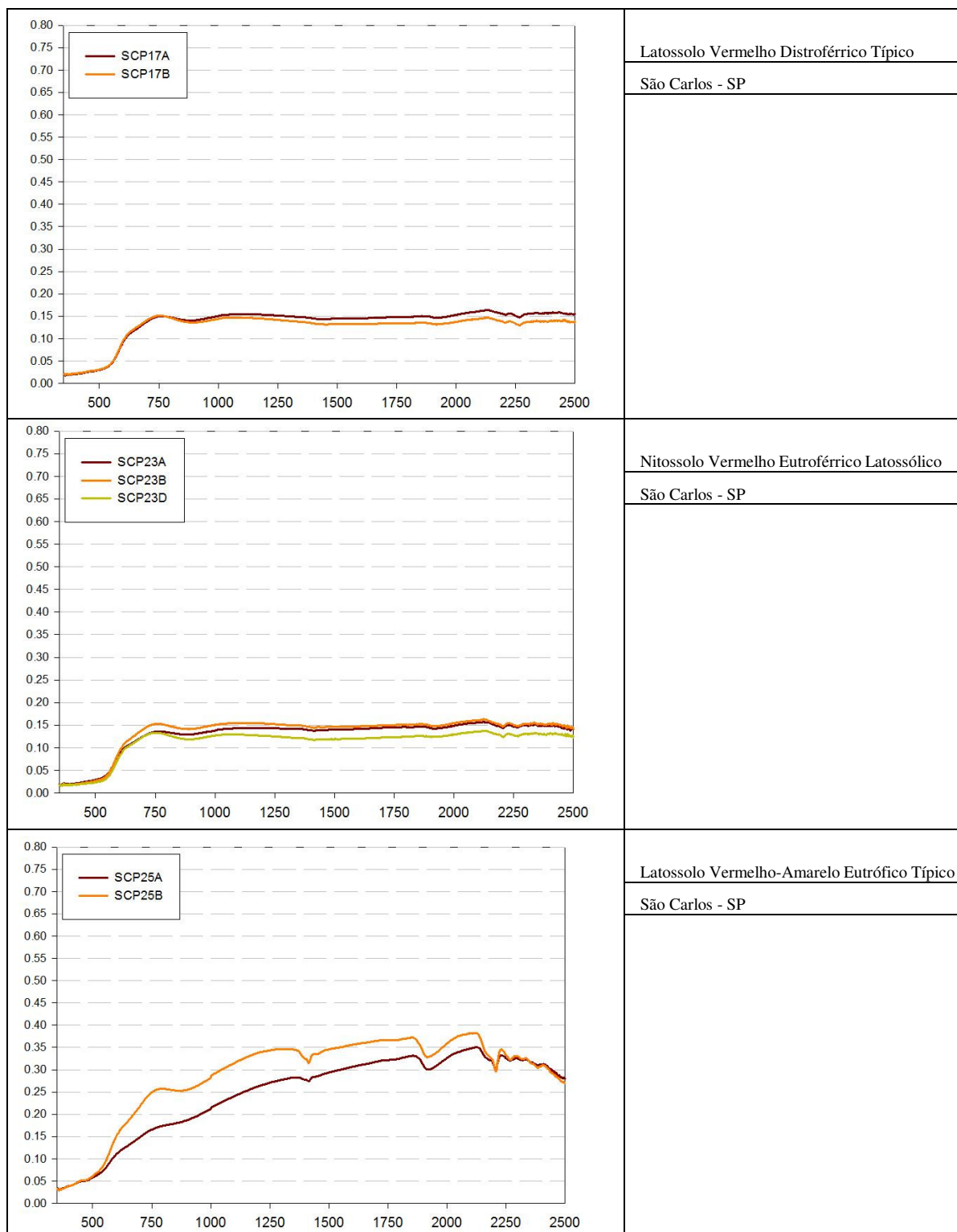


Figura 3.28 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de São Carlos, SP

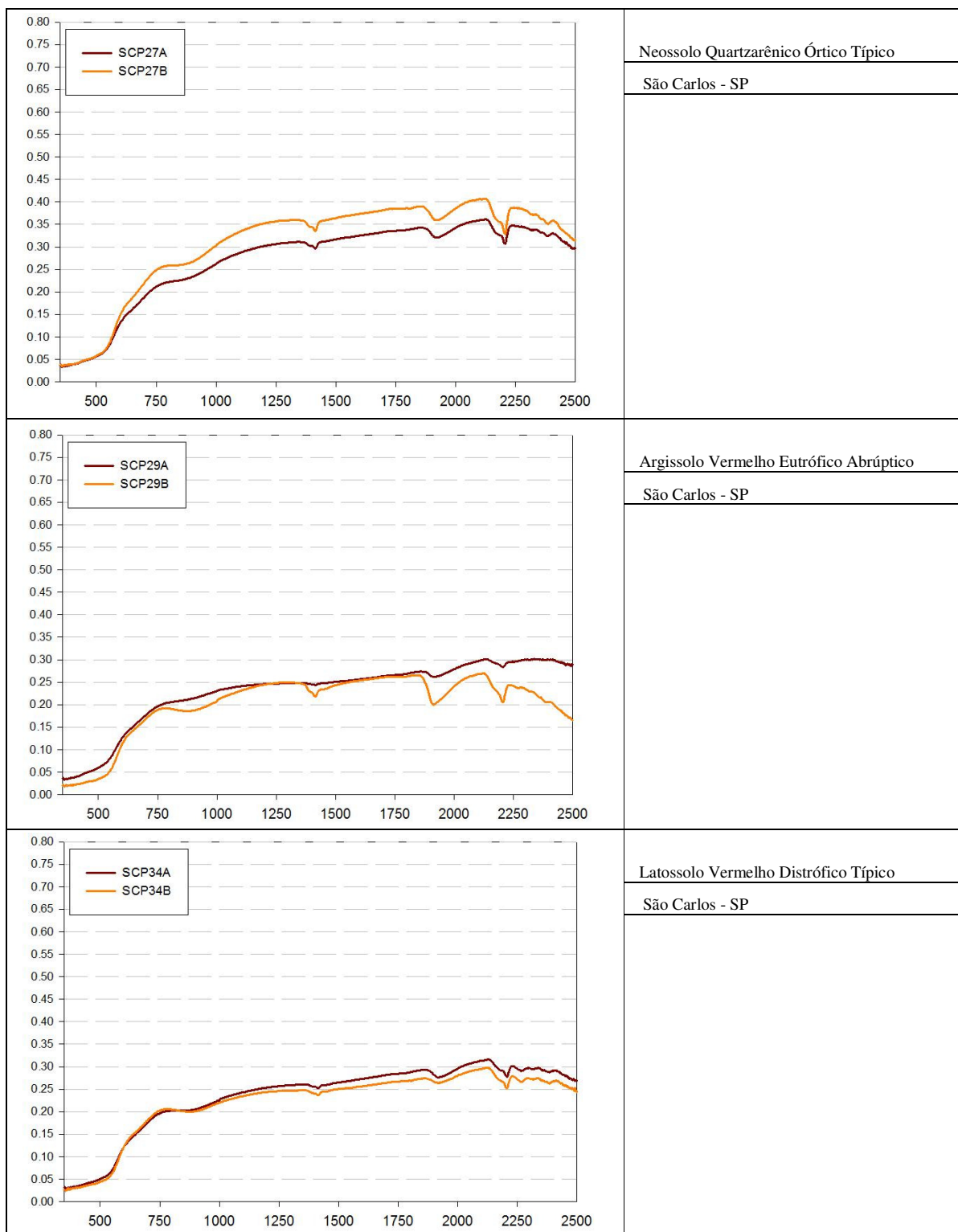


Figura 3.29 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de São Carlos, SP

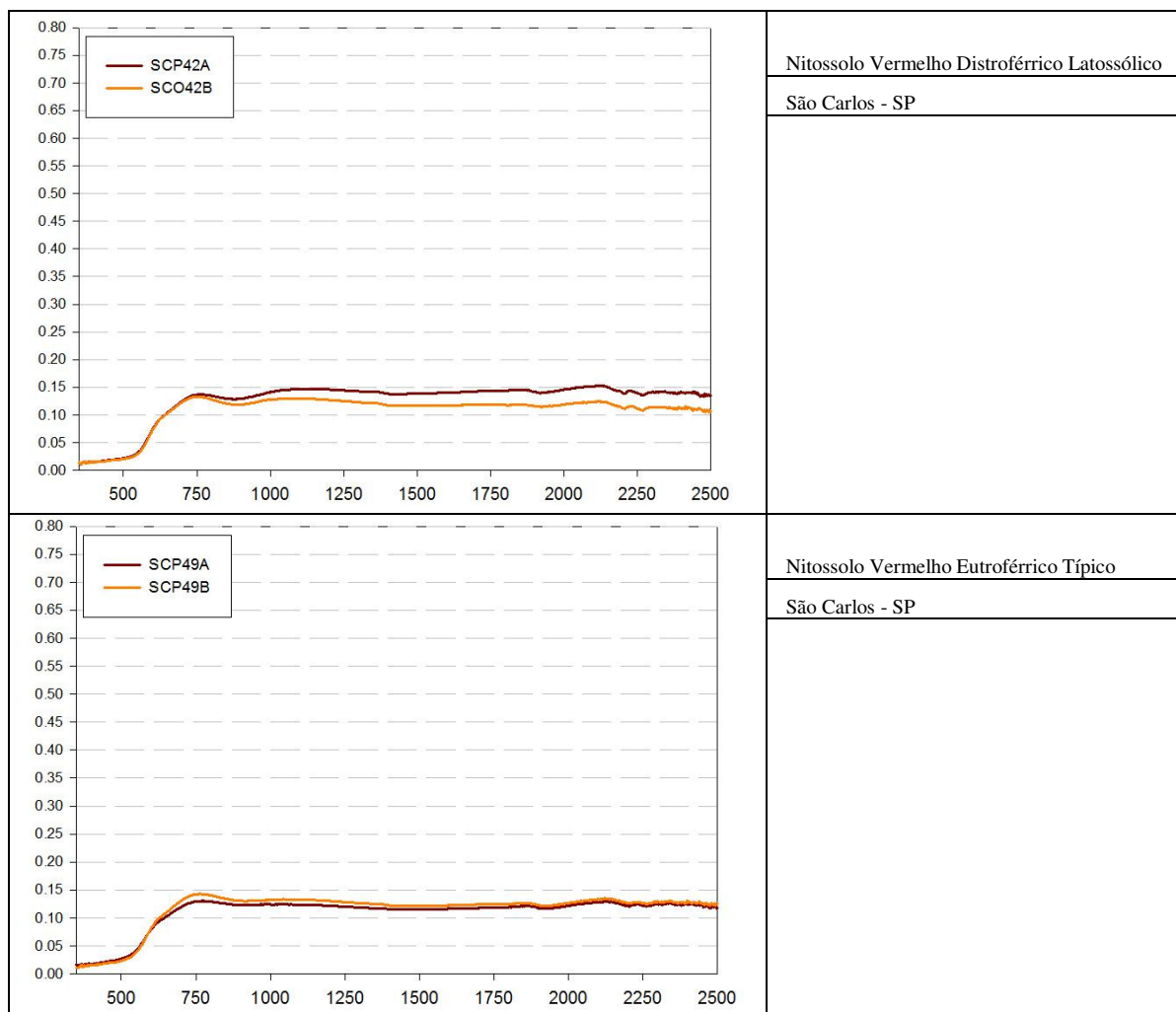


Figura 3.30 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de São Carlos, SP

Tabela 3.17 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de São Carlos, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor				
			Areia						M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total	Silte	Arg	g/kg																
SCP01A	Ap	0-25	50	180	230	339	431	32	10	10,4	35	14	0	34	59	93	64	0	6,1	5,2	2,7YR	3,1	2,2	
SCP01B	Bw1	25-110	50	190	240	294	466	12	4	9	24	6	0	18	39	57	68	0	6,3	6	1,3YR	3,3	1,4	
SCP01C	Bw2	110+	50	200	250	120	630	9	2	0,8	25	4	0	15	30	45	67	0	6,5	6,4	1,8YR	3,6	1,8	
SCP04A	Ap	0-25	40	80	120	304	576	21	5	0,5	44	13	0	31	58	89	65	0	5,9	5,2	3,0YR	3,8	2,2	
SCP04B	Bn	25-140	30	70	100	395	505	13	1	0,1	38	10	0	20	48	68	71	0	6,4	5,9	1,5YR	3,3	1,3	
SCP06A	Ap	0-30	320	300	620	72	308	18	10	0,1	13	7	2	38	20	58	35	9	5,3	4,4	4,7YR	3,5	1,6	
SCP06B	AB	30-65	310	300	610	87	303	14	6	0,1	11	3	3	42	14	56	25	18	5,1	4,3	4,0YR	3,4	1,8	
SCP06D	Bw2	140+	250	290	540	65	395	6	1	0,1	7	1	1	28	8	36	22	11	5	5	3,5YR	3,5	2,2	
SCP08A	Ap	0-25	90	330	420	212	368	25	8	1,8	32	7	1	25	41	66	62	2	6,1	5,3	2,6YR	3,2	1,8	
SCP08B	Bt	25-85						20	2	0,1	21	3	0	18	24	42	57	0	6,4	5,8	2,2YR	3,2	2,1	
SCP13A	Ap	0-28	220	209	429	238	333	29	16	0,8	38	10	0	22	49	71	69	0	6,2	5,8	4,1YR	3,3	1,3	
SCP13B	Bi	28-80	190	170	360	208	432	16	2	0,3	15	2	0	18	17	35	49	0	6,4	6,2	3,4YR	3,4	1,9	
SCP17A	Ap	0-30	220	140	360	283	357	23	4	0,5	29	7	0	25	37	62	59	0	6,2	5,6	2,3YR	3,3	1,7	
SCP17B	Bw1	30-100	209	140	349	252	399	15	1	0,3	8	2	1	31	10	41	25	9	5,4	5	1,8YR	3,4	1,6	
SCP23A	Ap	0-30	370	190	560	119	321	21	51	0,8	26	7	0	22	34	56	61	0	6	5,2	2,2YR	3,3	1,4	
SCP23B	Bn	30-70	200	200	400	165	435	16	3	0,5	15	5	0	28	21	49	42	0	5,6	5	1,6YR	3,4	1,5	
SCP23D	Bw2	170+	330	140	470	85	445	4	1	0,1	14	3	0	16	17	33	52	0	5,8	6	1,2YR	3,3	1,5	
SCP25A	Ap	0-18	570	290	860	11	129	12	55	0,5	23	5	0	12	29	41	70	0	6,8	6,2	5,5YR	3,3	1,1	
SCP25B	Bw1	18-100	532	280	812	9	179	7	6	0,3	13	2	0	13	15	28	54	0	6,2	5	4,2YR	3,8	1,9	

Tabela 3.18 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de São Carlos, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor					
			Areia							M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total	Silte	Arg	..... g/kg .....																	
SCP27A	Ap	0-30	784	120	904	18	78	11	2	0,1	8	2	3	20	10	30	34	23	5,1	4,2	4,2YR	3,4	1,5		
SCP27B	C1	30-130	740	160	900	2	98	6	1	0,1	4	1	5	18	5	23	22	50	4,3	4,1	3,0YR	3,7	1,9		
SCP29A	Ap	0-40	250	620	870	44	86	8	3	4,7	11	4	0	16	20	36	55	0	5,2	4,8	4,6YR	3,5	1,6		
SCP29B	Bt1	40-145	190	419	609	52	339	9	1	0,3	40	7	1	20	47	67	70	2	6	4,9	3,5YR	3,4	2,6		
SCP34A	Ap	0-30	478	300	778	21	201	13	5	0,3	15	2	1	25	17	42	41	5	5,6	4,5	3,6YR	3,6	1,7		
SCP34B	Bw1	30-125	390	370	760	45	195	6	1	0,1	7	1	4	25	8	33	24	33	5	4,2	3,0YR	3,5	2		
SCP42A	Ap	0-15	90	170	260	327	413	32	3	1,2	25	17	0	31	43	74	58	0	6	5,3	10,0R	3,3	1,3		
SCP42B	Bn	15-100	80	130	210	306	474	25	2	0,5	11	8	0	28	20	48	41	0	5,7	5,2	1,2YR	3,3	1,3		
SCP43A	Ap	0-50	680	180	860	39	101	10	1	0,1	4	1	7	34	5	39	13	58	4,5	4	2,0YR	3,4	1,2		
SCP43B	C1	50-80	552	300	852	39	109	8	1	0,1	4	1	6	28	5	33	15	54	4,5	4	2,0YR	3,4	1,9		
SCP49A	Ap	0-20	80	150	230	348	422	41	19	16,8	39	16	0	42	72	114	63	0	5,3	5,1	3,2YR	3,3	1,1		
SCP49B	Bn	20-70	100	110	210	358	432	25	2	0,3	42	6	0	25	48	73	66	0	6	5,8	2,6YR	3,3	1,5		

Tabela 3.19 – Resultados das análises pelo método do ataque sulfúrico, para os perfis de São Carlos, SP

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
	..... g kg <sup>-1</sup> .....						
SCP01B	139,00	216,00	228,80			1,09	0,65

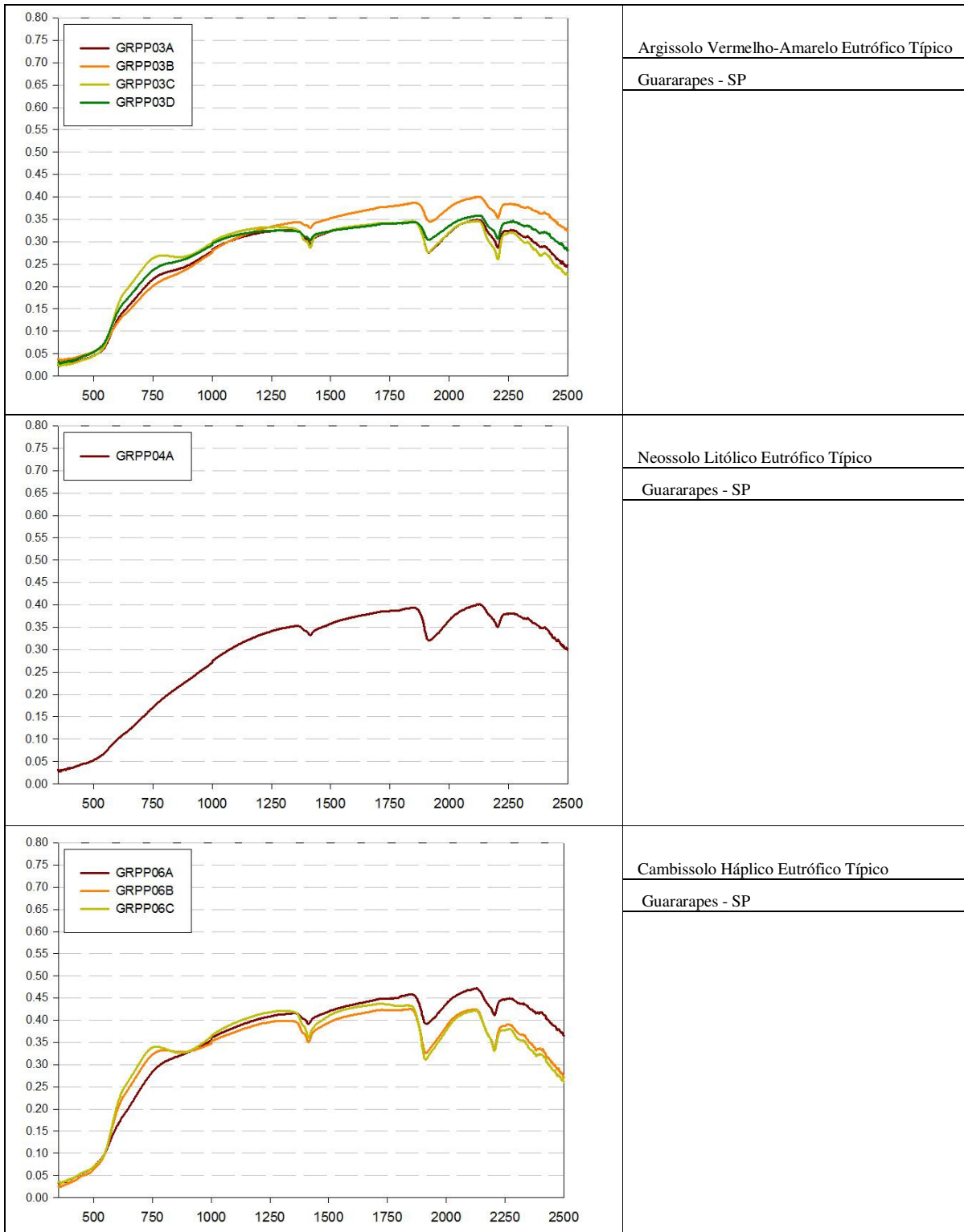


Figura 3.31 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Guararapes, SP



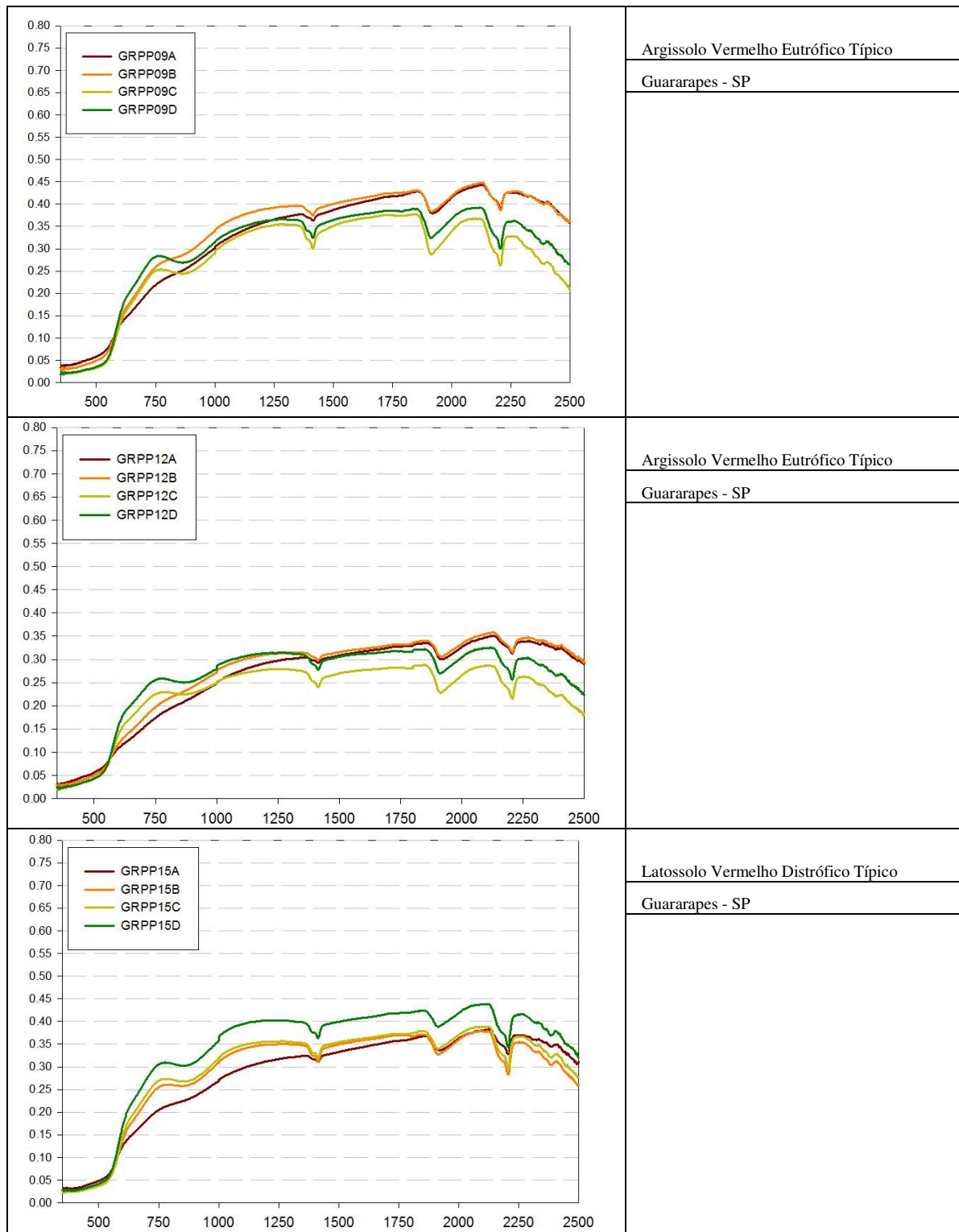


Figura 3.32 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Guararapes, SP

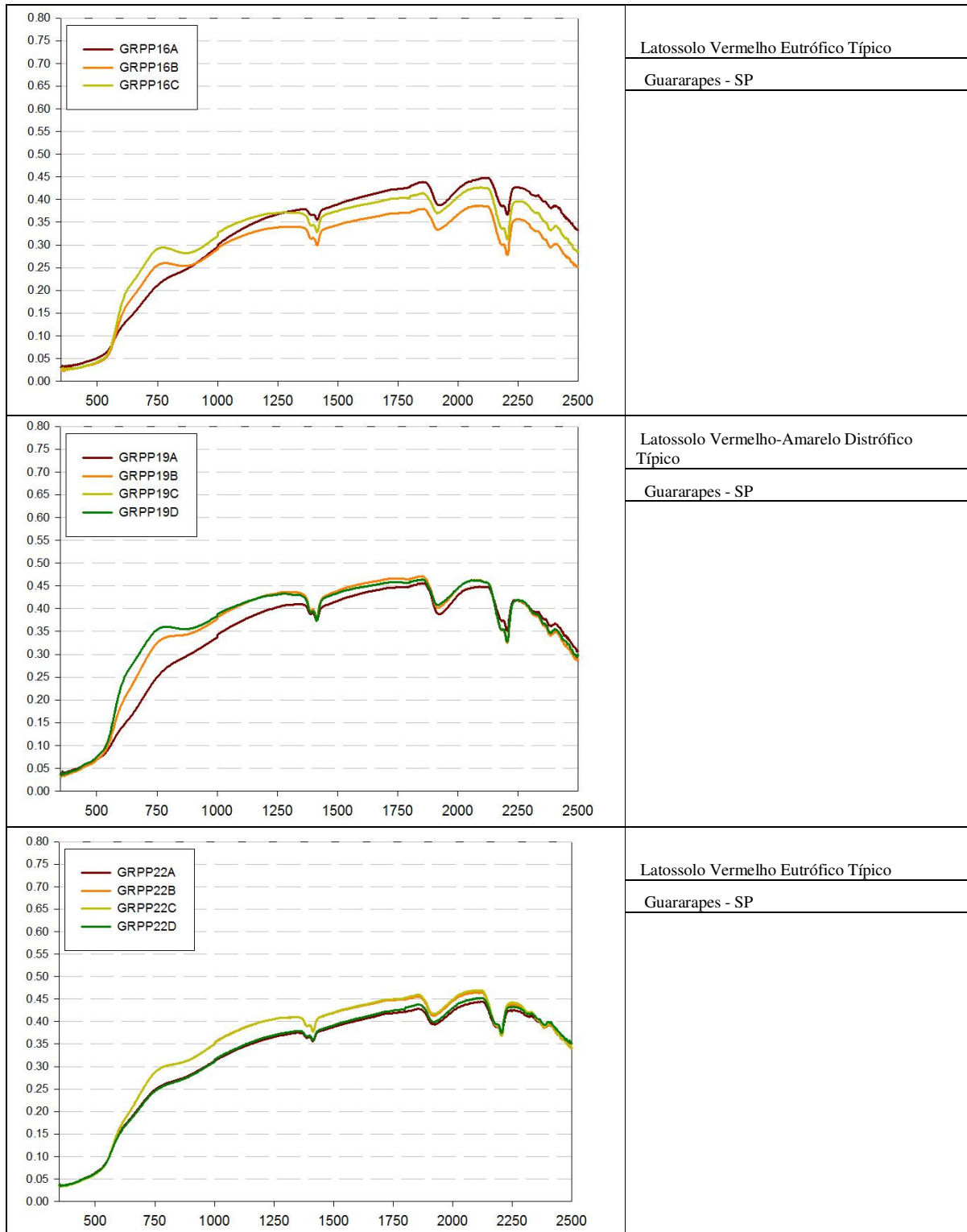


Figura 3.33 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Guararapes, SP

Tabela 3.20 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Guararapes, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria													pH					
			Areia						M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	pH	
			Grossa	fin	total	Silte	Arg													H <sub>2</sub> O	KCl
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>			.. % ..									
GRPP03A	AP	0-25	0	550	550	224	226	10	7	2,3	17	5	1	20	24	44	55	4	5,5		
GRPP03B	Bt1	25-100	30	720	750	111	139	8	4	1,3	34	15	0	16	50	66	76	0	6,8		
GRPP03C	Bt2	100-150	20	660	680	56	264	7	3	1,2	14	28	0	13	43	56	77	0	7,1	5,8	
GRPP03D	Bt3	150+	50	770	820	36	144	3	3	0,6	10	31	1	15	42	57	74	2	6,1	4,8	
GRPP04A	Ap	0-40	120	670	790	63	147	18	6	1	32	6	0	22	39	61	64	0	6		
GRPP06A	Ap	0-35	30	700	730	122	148	13	5	3,5	20	8	0	18	32	50	64	0	6,1		
GRPP06B	Bi	35-90	20	600	620	227	153	7	3	2,3	26	6	0	16	34	50	68	0	6,7		
GRPP06C	C	90-180	30	510	540	235	225	7	3	4,7	13	18	8	25	36	61	59	18	6,2	4,3	
GRPP09A	Ap	0-25	30	700	730	150	120	23	5	1,6	15	5	3	31	22	53	41	12	5,2		
GRPP09B	AB	25-58	70	670	740	109	151	8	3	0,6	21	5	0	13	27	40	67	0	6,4		
GRPP09C	Bt1	58-150	40	530	570	134	296	8	3	1	35	5	0	13	41	54	76	0	6,8	5,7	
GRPP09D	Bt2	150+	30	600	630	134	236	3	3	1,2	21	4	0	12	26	38	69	0	7	6,2	
GRPP12A	Ap	0-35	40	770	810	70	120	19	5	2,3	22	8	0	15	32	47	68	0	6,4		
GRPP12B	AB	35-55	30	720	750	66	184	12	5	1,2	23	5	0	15	29	44	66	0	6,4		
GRPP12C	Bt1	55-135	50	550	600	79	321	7	5	0,6	39	7	0	13	47	60	78	0	7,1	5,7	
GRPP12D	Bt2	135-180	20	580	600	134	266	6	3	0,3	26	13	0	11	39	50	78	0	7,7	6,3	
GRPP15A	AP	0-20	30	730	760	70	170	25	21	3,3	13	5	3	31	21	52	41	12	4,8		
GRPP15B	Bw1	20-70	70	620	690	88	222	9	5	1,5	13	4	2	20	19	39	48	10	5,5		
GRPP15C	Bw2	70-130	30	660	690	68	242	7	3	0,1	13	5	1	15	18	33	55	5	6	5,3	
GRPP15D	Bw3	130+	30	670	700	58	242	4	3	0,1	6	5	3	18	11	29	38	21	5,4	4,3	

Tabela 3.21 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Guararapes, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria													pH				
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total															
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>			.. % ..								
GRPP16A	Ap	0-25	120	660	780	64	156	21	6	0,6	18	3	0	20	22	42	52	0	5,6	
GRPP16B	Bw1	25-110	120	580	700	75	225	9	5	0,3	16	3	0	13	19	32	60	0	6,4	4,2
GRPP16C	Bw2	110+	120	590	710	17	273	4	3	0,1	13	2	0	12	15	27	56	0	6,4	5,4
GRPP19A	AP	0-18	70	680	750	60	190	33	5	0,5	13	2	2	22	16	38	41	11	5,5	
GRPP19B	Bw1	18-40	80	610	690	48	262	11	3	0,3	7	1	3	25	8	33	25	27	5,1	
GRPP19C	Bw2	40-120	70	610	680	74	246	9	3	0,1	6	1	3	25	7	32	22	30	5	4,9
GRPP19D	Bw3	120+	70	600	670	64	266	3	3	0,1	6	1	3	18	7	25	28	30	5,1	4,2
GRPP22A	Ap	0-35	110	710	820	43	137	20	9	3,5	13	6	1	15	23	38	60	4	6	
GRPP22B	AB	35-55	60	710	770	56	174	11	5	4,2	12	4	0	15	20	35	57	0	6,7	
GRPP22C	Bw1	55-130	60	720	780	44	176	7	3	4,4	7	5	0	15	16	31	52	0	6,6	4,9
GRPP22D	Bw2	130+	60	740	800	63	137	5	3	3,3	6	3	1	16	12	28	43	8	5,7	4,5

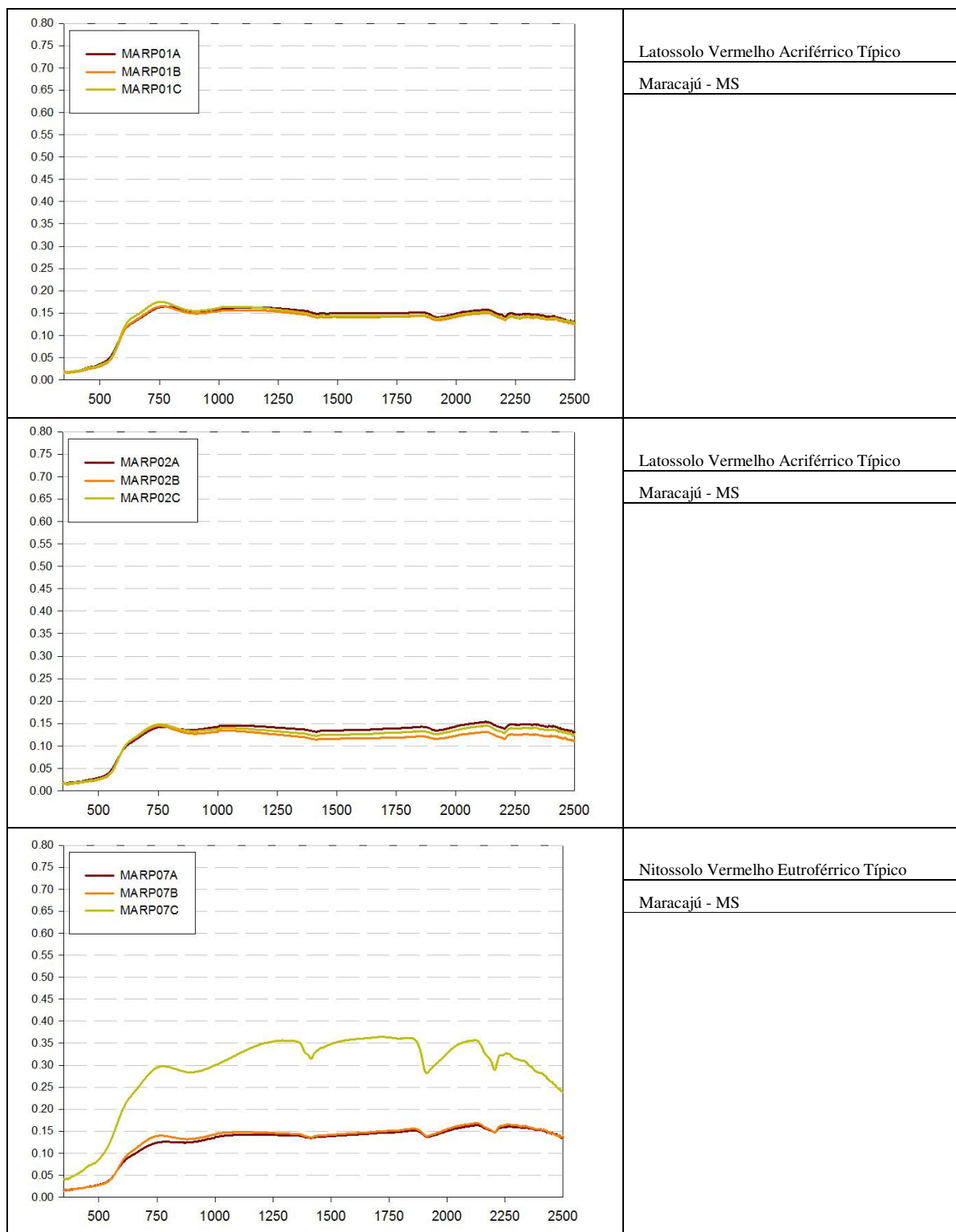


Figura 3.34 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Maracajú, MS

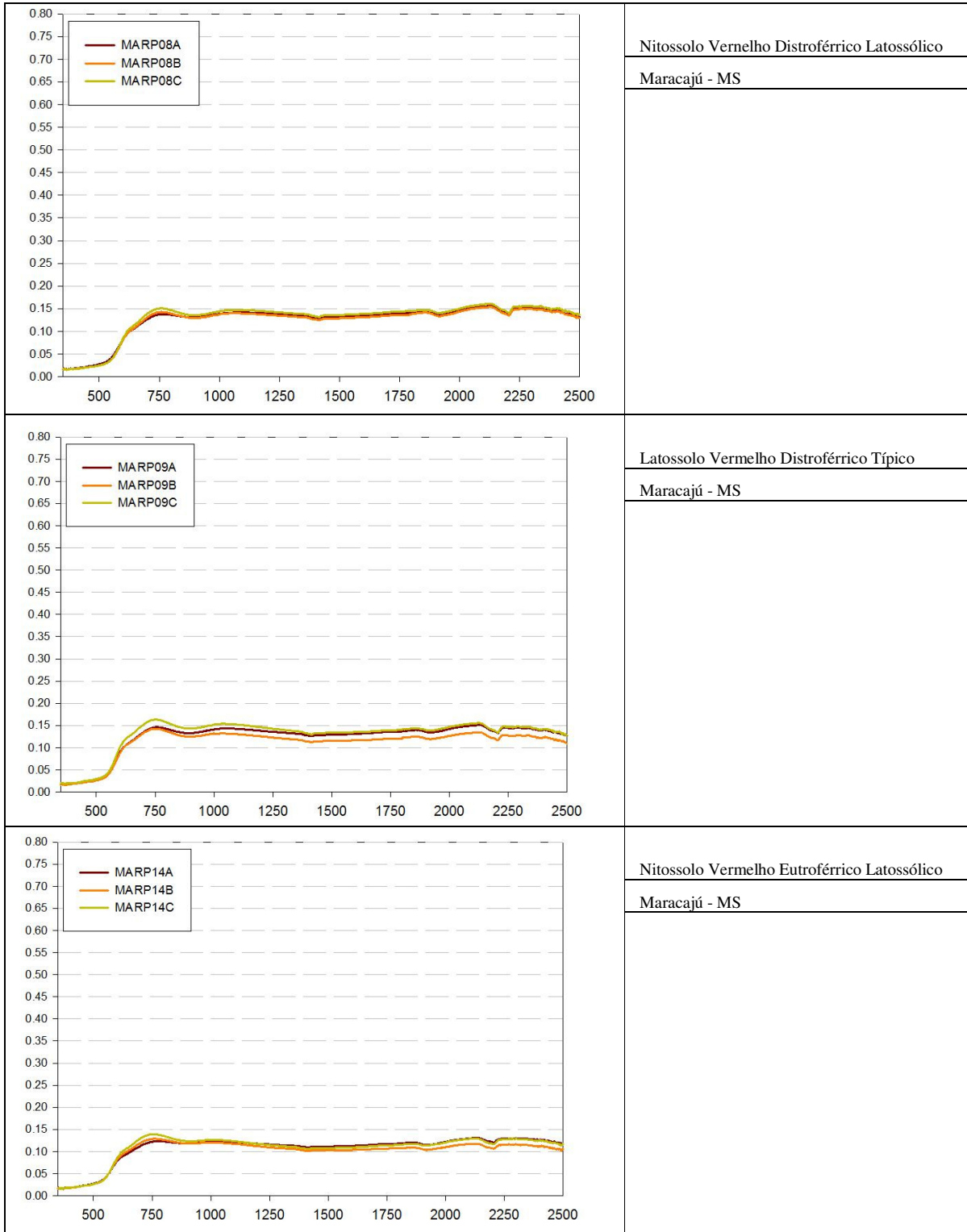


Figura 3.35 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Maracajú, MS

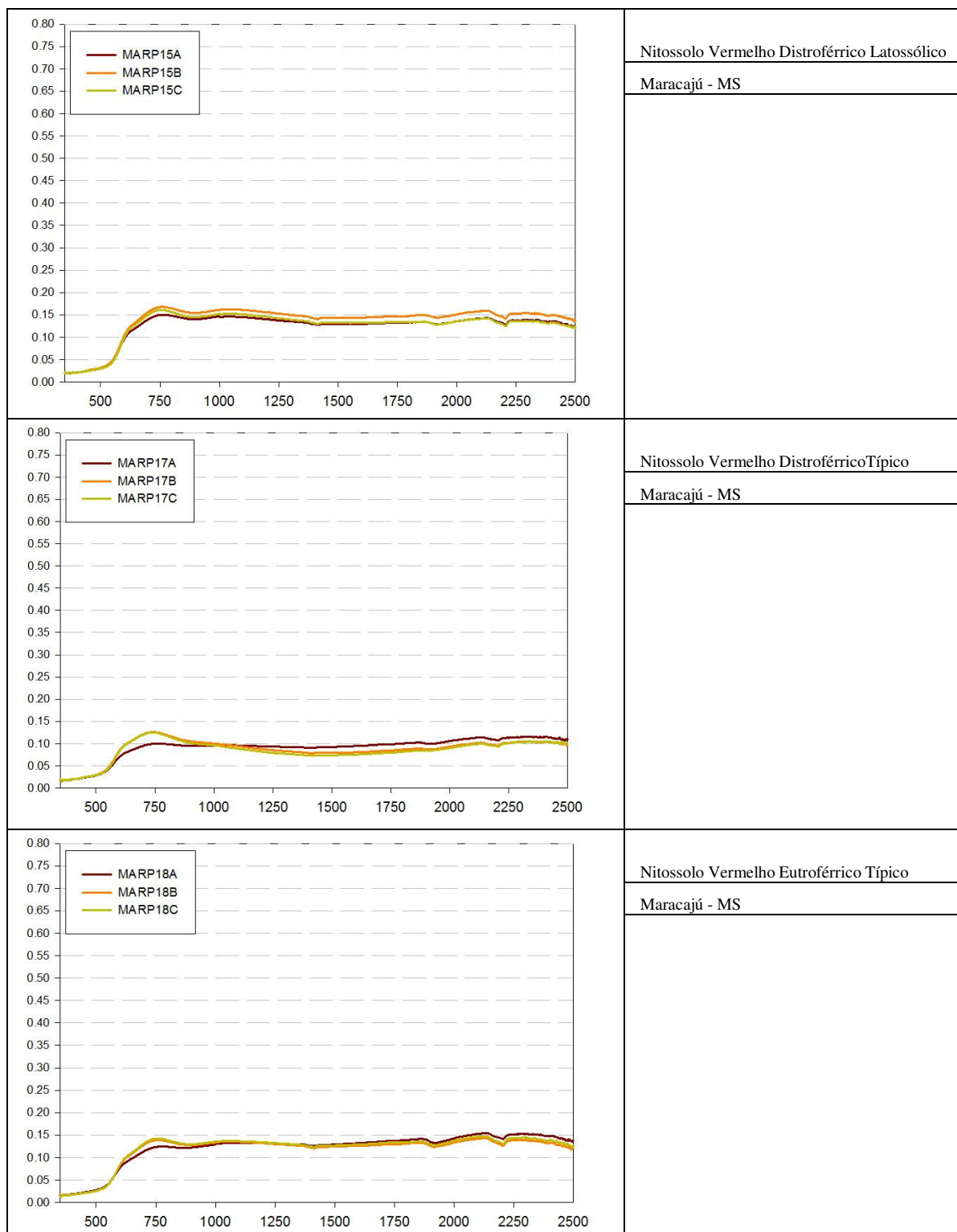


Figura 3.36 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Maracajú, MS

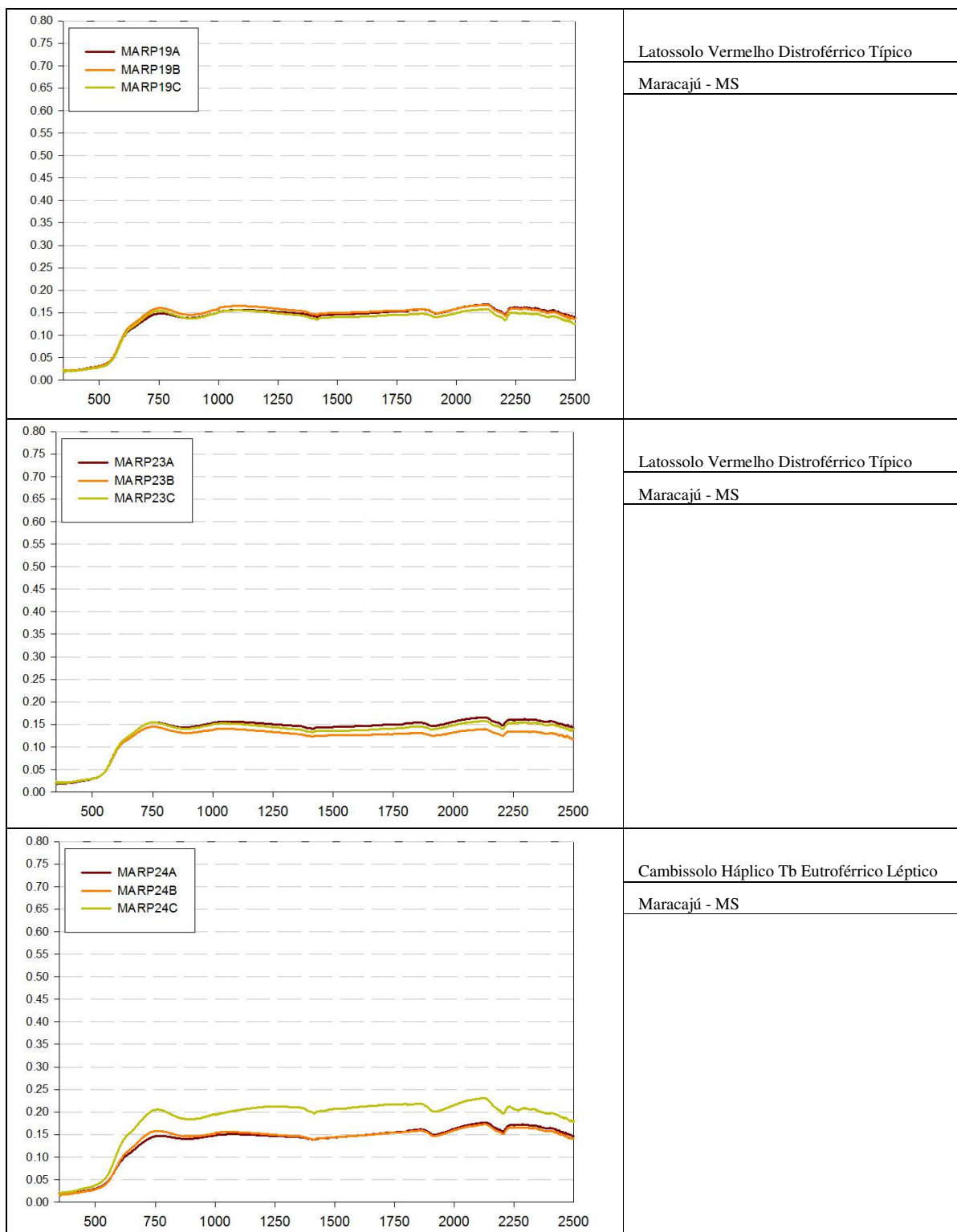


Figura 3.37 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Maracajú, MS





Figura 3.38 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Maracajú, MS



Figura 3.39 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Maracajú, MS



Figura 3.40 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Maracajú, MS

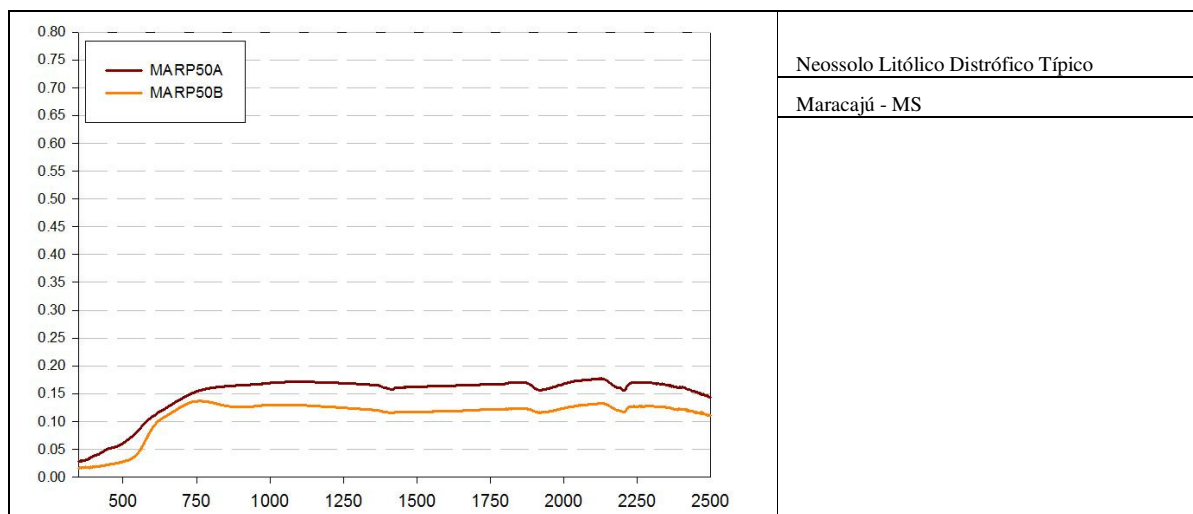


Figura 3.41 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Maracajú, MS

Tabela 3.22 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Maracajú, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fina	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..					
MARP01A				60	190	750	41	4	0,7	21	3	0	42	24,7	66,7	37	0			
MARP01B			40	170	790	24	1	0,4	9	1	0	34	10,4	44,4	23	0				
MARP01C			60	190	750	15	1	0,1	1	1	0	25	2,1	27,1	8	0	4,5	5,6		
MARP02A			80	150	770	46	4	0,8	55	18	0	38	73,8	111,8	66	0				
MARP02B			50	140	810	15	1	0,3	5	1	3	38	6,3	44,3	14	32				
MARP02C			50	150	800	23	1	0,1	6	2	4	46	8,1	54,1	15	33	4,5	4,5		
MARP07A			220	170	610	42	8	6,8	65	20	0	52	91,8	143,8	64	0				
MARP07B			200	160	640	20	2	2,4	39	12	0	37	53,4	90,4	59	0	5,4	5		
MARP07C			530	200	270	10	50	2,3	53	21	0	36	76,3	112,3	68	0	4,8	4,7		
MARP08A			180	150	670	34	4	3,5	40	11	0	47	54,5	101,5	54	0				
MARP08B			180	130	690	18	2	0,4	20	4	0	34	24,4	58,4	42	0				
MARP08C			180	150	670	13	1	0,7	7	2	4	39	9,7	48,7	20	29	4,4	4,4		
MARP09A			240	80	680	31	4	17,9	27	10	0	31	54,9	85,9	64	0				
MARP09B			230	100	670	19	2	13,1	13	6	1	31	32,1	63,1	51	3				
MARP09C			220	80	700	15	1	7,5	6	3	3	34	16,5	50,5	33	15	4,5	4,6		
MARP14A			100	170	730	47	7	1,9	84	20	0	42	105,9	147,9	72	0				
MARP14B			80	140	780	31	4	0,7	53	13	0	38	66,7	104,7	64	0				
MARP14C			50	150	800	20	1	0,7	41	4	0	23	45,7	68,7	67	0	5,1	5,1		
MARP15A			40	170	790	35	8	2	24	4	6	64	30	94	32	17				
MARP15B			20	170	810	26	2	0,4	21	3	5	52	24,4	76,4	32	17				
MARP15C			50	170	780	18	1	0,4	7	1	12	40	8,4	48,4	17	59	4,1	4,1		

Tabela 3.23 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Maracajú, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fina	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..				
MARP17A				220	170	610	38	26	5,9	26	8	2	64	39,9	103,9	38	5			
MARP17B				120	140	740	20	1	5,8	12	4	1	42	21,8	63,8	34	4			
MARP17C				100	170	730	10	2	5,4	8	2	1	26	15,4	41,4	37	6	4,8	4,9	
MARP18A				240	130	630	41	8	5,9	57	17	0	47	79,9	126,9	63	0			
MARP18B				210	150	640	20	1	0,7	42	10	0	28	52,7	80,7	65	0			
MARP18C				180	170	650	13	2	0,9	27	8	0	21	35,9	56,9	63	0	5	5,2	
MARP19A				360	40	600	28	14	3,2	60	5	0	25	68,2	93,2	73	0			
MARP19B				260	100	640	20	1	0,4	23	1	3	42	24,4	66,4	37	11			
MARP19C				240	100	660	10	1	0,2	5	1	10	40	6,2	46,2	13	62	4	4,2	
MARP23A				150	140	710	22	6	0,7	43	15	0	28	58,7	86,7	68	0			
MARP23B				340	120	540	17	1	0,4	7	2	14	64	9,4	73,4	13	60			
MARP23C				160	150	690	15	1	0,2	6	1	15	50	7,2	57,2	13	68	4	4	
MARP24A				200	150	650	36	37	2,3	63	18	0	42	83,3	125,3	66	0			
MARP24B				220	120	660	23	2	0,7	41	12	0	34	53,7	87,7	61	0			
MARP24C				510	160	330	8	1	0,1	11	3	0	28	14,1	42,1	33	0	4,5	5,3	
MARP26A				0	220	780	36	2	0,7	17	10	1	47	27,7	74,7	37	3			
MARP26B				20	120	860	20	1	0,2	2	1	1	38	3,2	41,2	8	24			
MARP26C				50	80	870	10	1	0,2	1	1	1	30	2,2	32,2	7	31	4,6	5,1	
MARP27A				210	230	560	43	6	1,2	86	60	0	31	147,2	178,2	83	0			
MARP27B				170	190	640	23	1	0,6	17	12	2	47	29,6	76,6	39	6			
MARP27C				200	160	640	15	3	0,9	2	3	9	43	5,9	48,9	12	60	4,2	4,3	
MARP27D				220	170	610	13	1	0,6	2	2	12	58	4,6	62,6	7	72			

Tabela 3.24 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Maracajú, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..				
MARP30A				240	120	640	34	18	1,4	38	33	3	52	72,4	124,4	58	4			
MARP30B				180	140	680	21	1	0,4	3	2	15	64	5,4	69,4	8	74			
MARP30C				200	160	640	13	1	0,3	2	1	8	40	3,3	43,3	8	71	4	4,2	
MARP33A				250	110	640	29	4	0,7	41	10	0	38	51,7	89,7	58	0			
MARP33B				190	140	670	23	1	0,4	8	1	9	58	9,4	67,4	14	49			
MARP33C				160	150	690	10	1	0,1	4	1	4	32	5,1	37,1	14	44	4,1	4,4	
MARP35A				270	130	600	31	4	0,8	23	11	2	52	34,8	86,8	40	5			
MARP35B				200	150	650	19	1	0,7	3	2	15	64	5,7	69,7	8	72			
MARP35C				220	120	660	13	1	0,2	1	1	9	36	2,2	38,2	6	80	4,1	4,2	
MARP36A				280	80	640	33	4	1,8	37	15	0	47	53,8	100,8	53	0			
MARP36B				210	100	690	19	2	0,9	7	4	10	58	11,9	69,9	17	46			
MARP36C				200	140	660	13	1	1,1	1	1	20	45	3,1	48,1	6	87	4	4,1	
MARP45A				190	190	620	34	4	1,3	39	10	0	42	50,3	92,3	54	0			
MARP45B				170	160	670	19	1	0,6	8	1	8	52	9,6	61,6	16	45			
MARP45C				120	130	750	18	1	0,1	7	1	5	35	8,1	43,1	19	38	4,4	4,5	

Tabela 3.25 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Maracajú, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total															
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>				mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..						
MARP48A				140	190	670	33	2	0,9	42	9	1	58	51,9	109,9	47	2			
MARP48B				150	180	670	16	1	0,6	10	2	15	80	12,6	92,6	14	54			
MARP48C				130	190	680	13	1	0,3	4	1	23	61	5,3	66,3	8	81	3,9	3,9	
MARP48D				210	170	620	16	1	0,7	5	1	22	98	6,7	104,7	6	77			
MARP48E				310	150	540	13	1	0,7	5	1	21	88	6,7	94,7	7	76			
MARP48F				400	140	460	16	1	0,6	5	2	18	72	7,6	79,6	10	70			
MARP49A				210	150	640	33	5	1,1	60	20	0	25	81,1	106,1	76	0			
MARP49B				180	140	680	20	1	0,4	4	2	4	47	6,4	53,4	12	38			
MARP49C				140	130	730	15	2	0,6	3	1	3	34	4,6	38,6	12	39	3,9	4,5	
MARP50A				200	210	590	35	4	1,5	28	8	3	52	37,5	89,5	42	7			
MARP50B				80	150	770	24	1	0,6	24	5	0	38	29,6	67,6	44	0			



Tabela 3.26 – Resultados das análises pelo método do ataque sulfúrico, para os perfis de Maracajú, MS

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
	..... g kg <sup>-1</sup> .....						
MARP01C	175,00	247,80	272,40	35,60	0,90	1,20	0,71
MARP02C	210,60	234,60	244,90	38,90	0,80	1,53	0,92
MARP07B	178,00	172,90	245,20	41,30	2,20	1,75	0,92
MARP07C	202,00	148,80	202,70	24,80	1,50	2,31	1,24
MARP08C	205,00	207,00	256,70	40,80	1,10	1,68	0,94
MARP09C	184,00	212,60	304,20	41,70	1,40	1,47	0,77
MARP14C	211,00	230,10	254,90	37,00	0,70	1,56	0,91
MARP15C	236,00	237,60	265,30	37,60	1,00	1,69	0,99
MARP17C	221,20	214,70	283,50	44,10	0,90	1,75	0,95
MARP18C	193,00	186,10	264,60	52,20	1,50	1,76	0,92
MARP19C	198,00	199,40	327,10	53,10	1,80	1,69	0,83
MARP23C	176,10	201,50	278,50	47,40	1,20	1,49	0,79
MARP24C	172,00	229,00	274,20	28,50	1,40	1,28	0,72
MARP26C	187,00	254,50	263,50	36,00	1,10	1,25	0,75
MARP27C	206,00	202,40	278,10	42,70	2,00	1,73	0,92
MARP30C	191,00	193,80	332,10	58,80	1,50	1,68	0,80
MARP33C	189,00	215,70	301,70	44,10	2,10	1,49	0,79
MARP35C	198,00	210,10	306,70	44,60	2,00	1,60	0,83
MARP36C	229,00	207,00	263,80	32,80	1,80	1,88	1,04
MARP45C	184,00	215,70	262,50	41,30	1,60	1,45	0,82
MARP48C	223,00	210,10	132,50	46,50	0,90	1,80	1,29
MARP49C	172,00	211,60	278,90	47,00	1,40	1,38	0,75

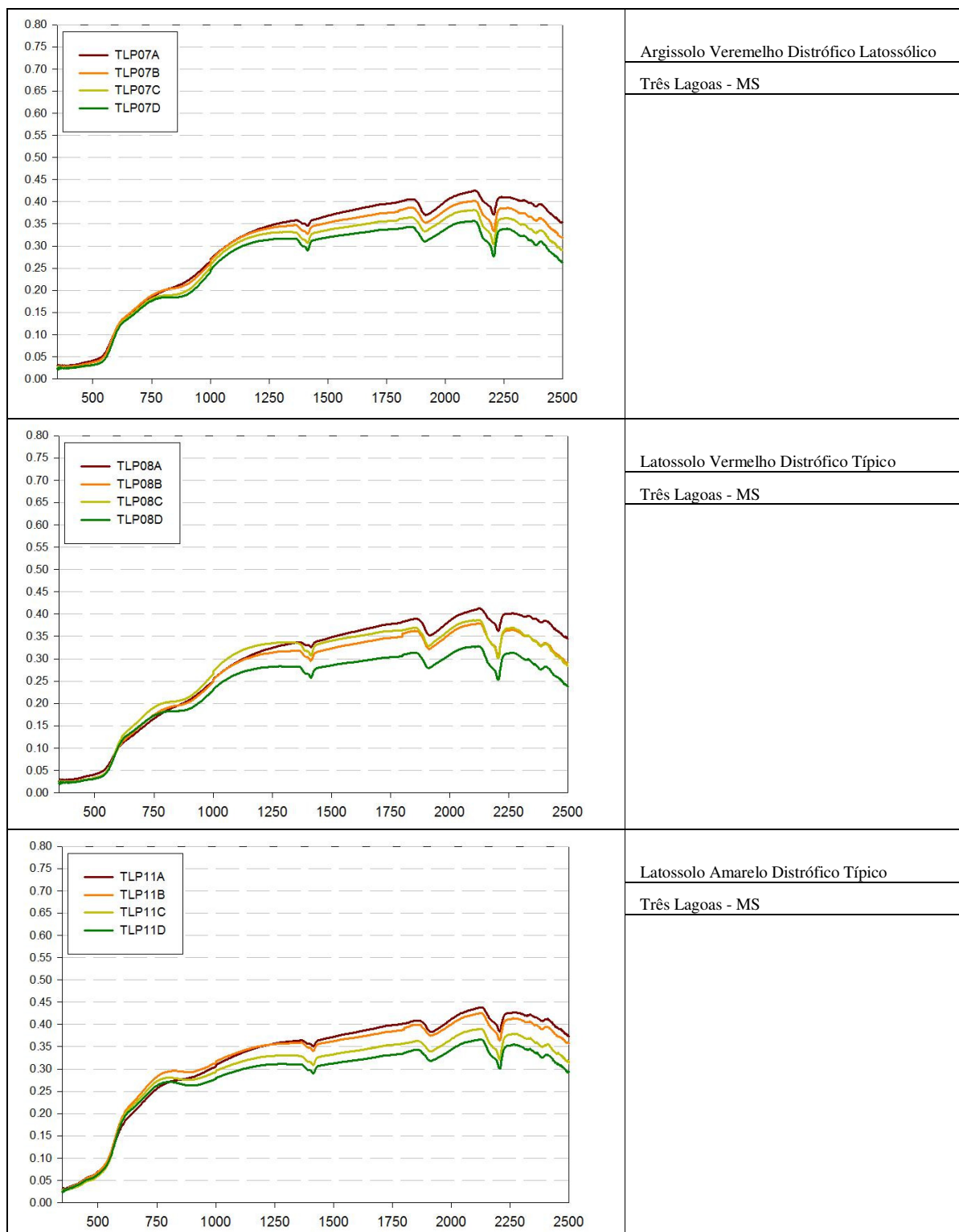


Figura 3.42 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Três Lagoas-MS

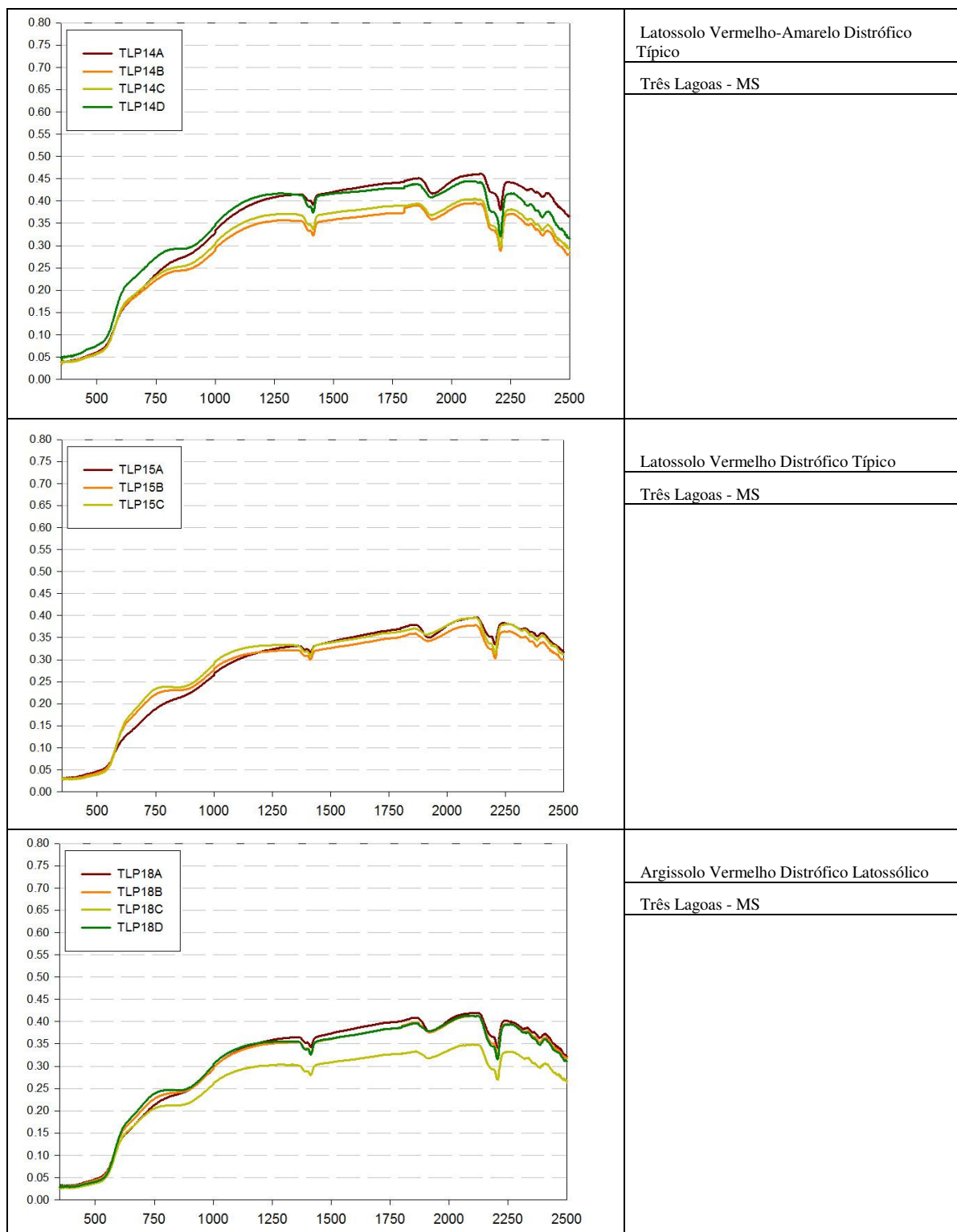


Figura 3.43 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Três Lagoas-MS

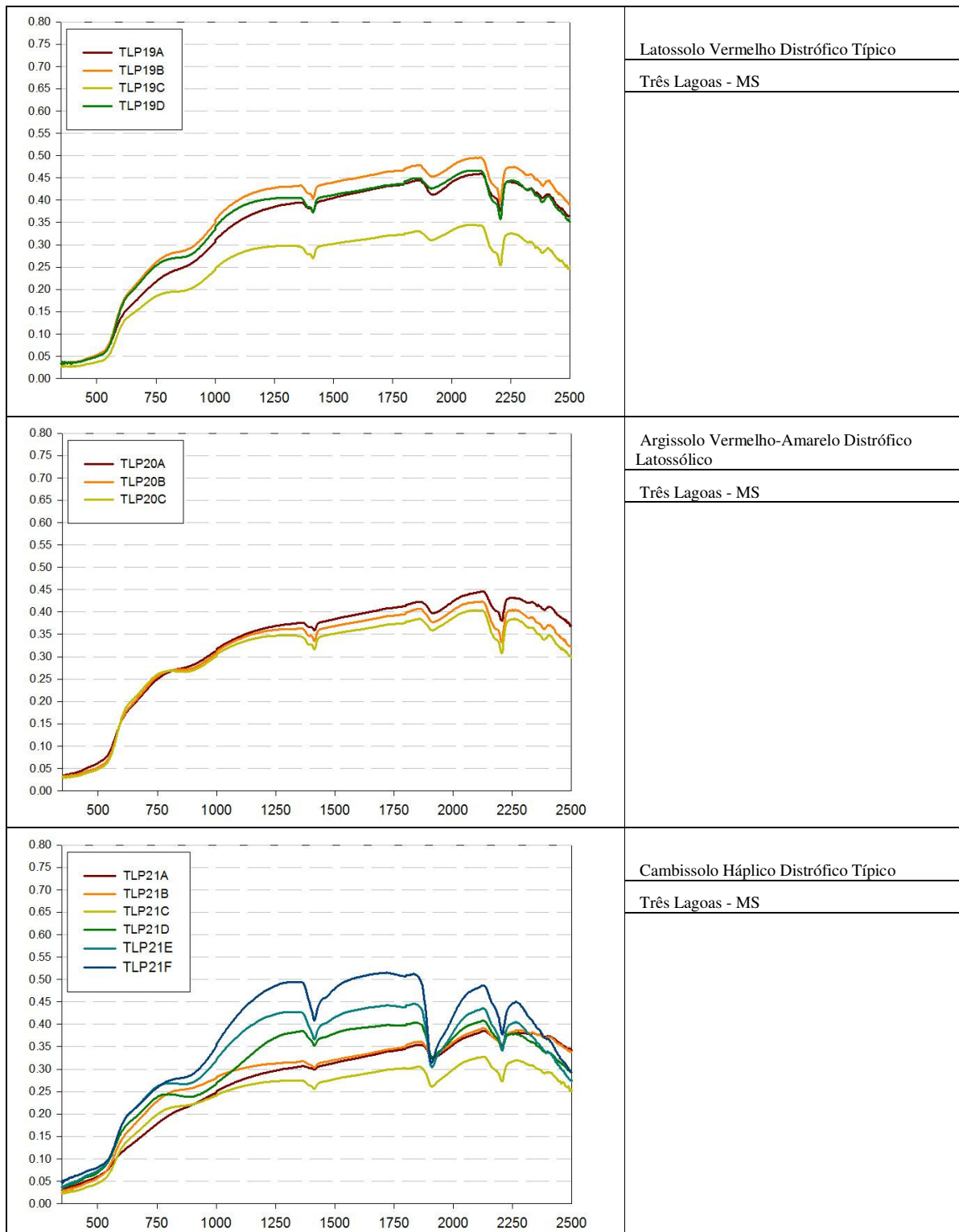


Figura 3.44 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Três Lagoas-MS

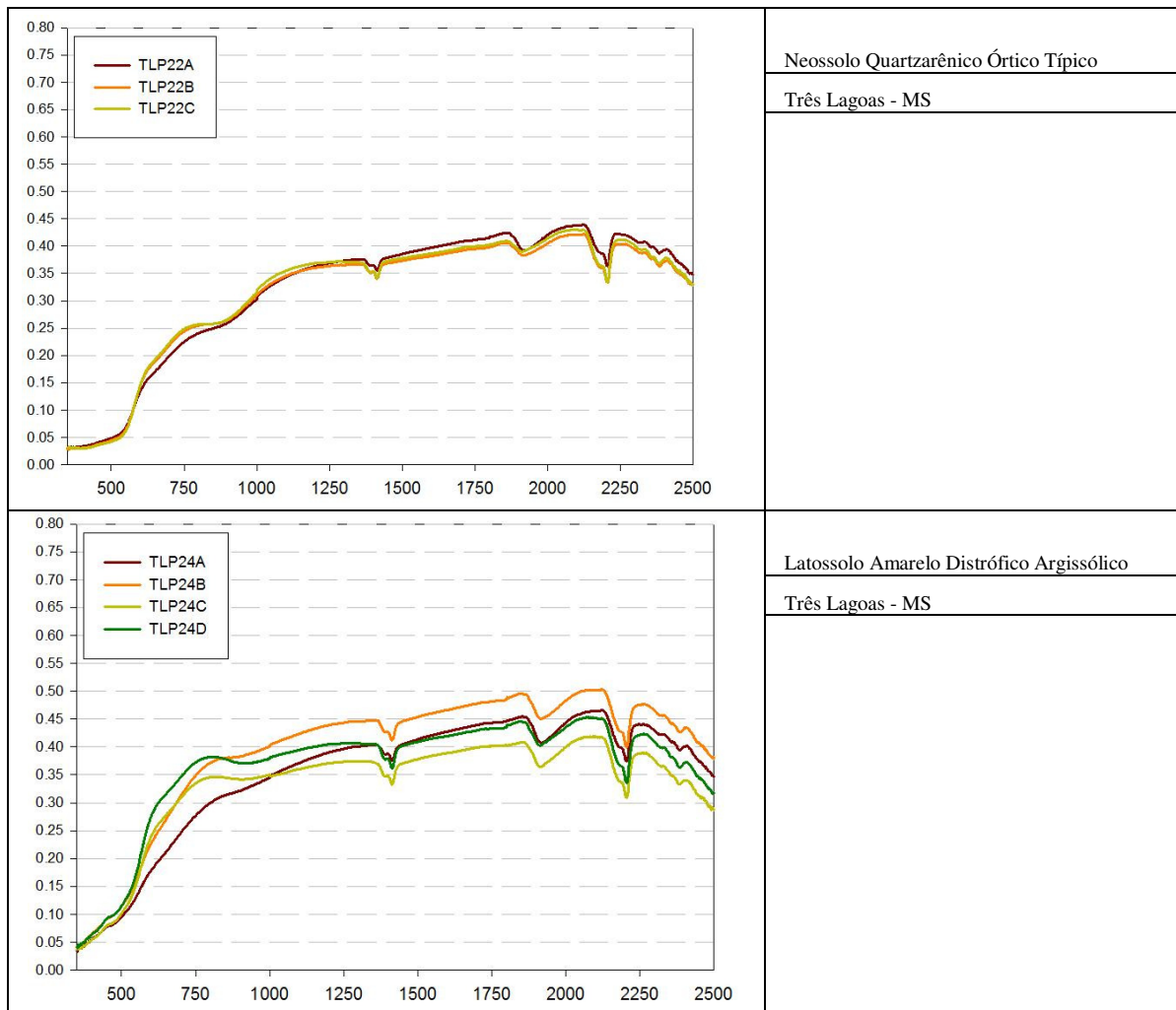


Figura 3.45 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Três Lagoas-MS

Tabela 3.27 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Três Lagoas, MS

Identificação	Horizonte	Prof. cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total																		
			g/kg	g/kg	g/kg																		
TLP07A	Ap	0-19			820	60	120	18	3	2,9	4	5	18	47	11,9	58,9	20	60			3,4YR	3,1	1,7
TLP07B	AB	19-85			760	80	160	11	2	1,5	2	1	19	34	4,5	38,5	12	81			2,4YR	3	2,2
TLP07C	Bt	85-190	110	610	720	80	200	9	2	0,9	1	1	14	28	2,9	30,9	9	83	4,9	4,1	1,4YR	3,2	2,3
TLP07D	Bw	190+			680	100	220	6	1	0,9	1	2	20	25	3,9	28,9	13	84			1,8YR	3,2	2,3
TLP08A	A	0-20			860	20	120	15	9	4,1	7	7	19	34	18,1	52,1	35	51			3,8YR	3	1,5
TLP08B	Bw1	20-110			800	40	160	9	2	0,6	3	2	20	34	5,6	39,6	14	78			2,7YR	3	2,4
TLP08C	Bw2	110-170	250	510	760	80	160	7	1	1	1	1	17	25	3	28	11	85	4,9	4	2,6YR	3,1	2,7
TLP08D	Bw3	170+			740	80	180	5	5	1,2	2	6	18	25	9,2	34,2	27	66			2,1YR	3,1	2,6
TLP11A	Ap	0-25			840	20	140	12	4	1,3	1	1	17	38	3,3	41,3	8	84			5,5YR	3,4	2,5
TLP11B	AB	25-110			780	80	140	7	1	1,5	2	1	15	18	4,5	22,5	20	77			5,7YR	3,5	2,8
TLP11C	BW1	110-180	70	670	740	100	160	7	1	0,7	1	1	10	20	2,7	22,7	12	79	4,3	4,1	4,9YR	3,8	3,1
TLP11D	BW2-PL	180+			720	120	160	6	7	1,3	2	1	17	22	4,3	26,3	16	80			5,4YR	3,7	3
TLP14A	Ap	0-29			840	40	120	15	5	1,3	1	2	13	28	4,3	32,3	13	75			4,1YR	3,3	2,1
TLP14B	Bw1	29-80			780	60	160	10	2	0,6	2	1	15	20	3,6	23,6	15	81			3,6YR	3,2	2,6
TLP14C	Bw2	80-150	180	600	780	60	160	9	2	0,2	1	1	10	15	2,2	17,2	13	82	4,7	4	3,1YR	3,6	2,5
TLP14D	C	170+			760	60	180	6	1	0,5	2	1	13	15	3,5	18,5	19	79			3,6YR	3,6	3
TLP15A	Ap	0-28			840	20	140	19	4	1,6	3	2	15	47	6,6	53,6	12	69			2,9YR	3,2	1,5
TLP15B	Bw1	28-160			780	60	160	9	2	0,6	3	1	16	22	4,6	26,6	17	78			2,0YR	3,1	2,5
TLP15C	Bw2	160+	230	510	740	80	180	7	1	0,8	4	2	7	16	6,8	22,8	30	51	4,7	4,1	1,5YR	3,2	2,5

Tabela 3.28 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Três Lagoas, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH		Cor				
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total																		
			..... g/kg .....	..... mmolc.kg <sup>-1</sup> .....																			
TLP18A	Ap	0-25			860	20	120	14	2	0,9	1	1	16	31	2,9	33,9	9	85			2,6YR	3,2	1,9
TLP18B	Bt	25-95			800	40	160	9	1	0,9	3	1	14	20	4,9	24,9	20	74			2,3YR	3	2,6
TLP18C	Bw1	95-122	240	540	780	60	160	8	1	0,4	1	1	8	15	2,4	17,4	14	77	4,6	4,1	1,6YR	3,3	2,5
TLP18D	Bw2	122+			720	80	200	7	1	0,9	2	1	14	18	3,9	21,9	18	78			1,7YR	3,2	2,6
TLP19A	Ap	0-35			860	20	120	10	3	1,3	4	1	13	25	6,3	31,3	20	67			3,2YR	3	2
TLP19B	Bw1	35-90			840	40	120	7	2	0,3	2	1	12	13	3,3	16,3	20	78			2,4YR	3	2,5
TLP19C	Bw2	90-140	280	500	780	60	160	7	2	0,3	1	1	7	13	2,3	15,3	15	75	5	4,2	2,3YR	3,4	2,3
TLP19D	Bw3	140+			800	40	160	5	1	0,9	2	2	12	15	4,9	19,9	25	71			2,3YR	2,9	3,2
TLP20A	Ap	0-21			880	20	100	11	3	1,5	3	2	13	25	6,5	31,5	21	67			5,0YR	3,2	1,9
TLP20B	Bt	21-75			800	60	140	10	2	1	3	5	14	20	9	29	31	61			3,6YR	3,2	2,7
TLP20C	Bw	75+	380	440	820	60	120	7	1	1	1	1	11	20	3	23	13	79	5,1	4,1	2,6YR	3,7	2,8
TLP21A	A	0-30			840	40	120	14	4	1,1	10	7	7	31	18,1	49,1	37	28			6,0YR	2,9	1,2
TLP21B	AB	30-80			800	60	140	10	2	1,4	7	2	15	28	10,4	38,4	27	59			5,5YR	3,1	2,1
TLP21C	Bi	80-95	230	550	780	60	160	10	3	0,6	6	4	14	25	10,6	35,6	30	57	5	3,9	4,7YR	3,4	2,1
TLP21D	LP	95-115			760	80	160	7	1	1,2	10	7	16	34	18,2	52,2	35	47			5,0YR	3,2	2,3
TLP21E	C	115- 150			730	130	140	7	1	1,6	12	16	20	28	29,6	57,6	51	40			4,1YR	3,6	2,7
TLP21F	R	150+			790	130	80	6	1	2,7	17	14	26	42	33,7	75,7	45	44			3,2YR	3,3	2,3

Tabela 3.29 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Três Lagoas, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH		Cor				
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total																		
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>				mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..									
TLP22A	Ap	0-18		860	40	100	14	4	0,9	2	1	15	31	3,9	34,9	11	79			2,8YR	3	2	
TLP22B	C1	18-110		800	60	140	10	1	0,5	2	1	15	20	3,5	23,5	15	81			1,9YR	3,1	2,4	
TLP22C	C2	100+	250	590	840	20	140	9	2	0,4	1	1	8	16	2,4	18,4	13	77	4,4	4	1,8YR	3,3	2,3
TLP24A	Ap	0-20		820	60	120	9	3	1,3	1	1	17	31	3,3	34,3	10	84			8,4YR	3,6	2	
TLP24B	AB	20-60		780	80	140	10	2	0,6	1	1	18	22	2,6	24,6	11	87			8,1YR	3,8	2,3	
TLP24C	BwHi	60	130	590	720	80	200	9	2	0,4	1	1	14	22	2,4	24,4	10	85	4,7	4	7,3YR	4,3	3,3
TLP24D	BwHi	160		700	120	180	8	4	1,3	3	2	19	22	6,3	28,3	22	75			7,1YR	4,2	3,3	



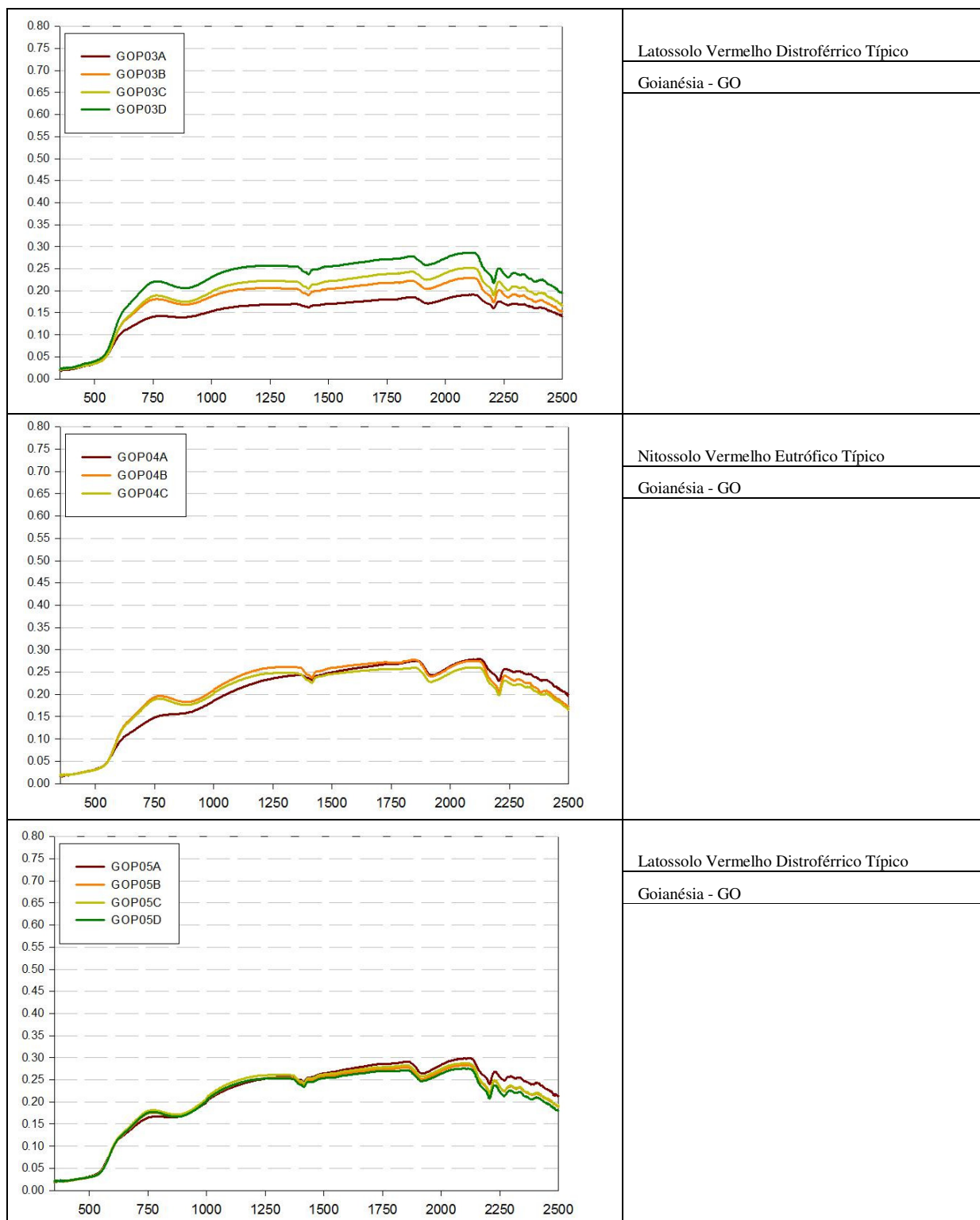


Figura 3.46 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Goianésia-GO

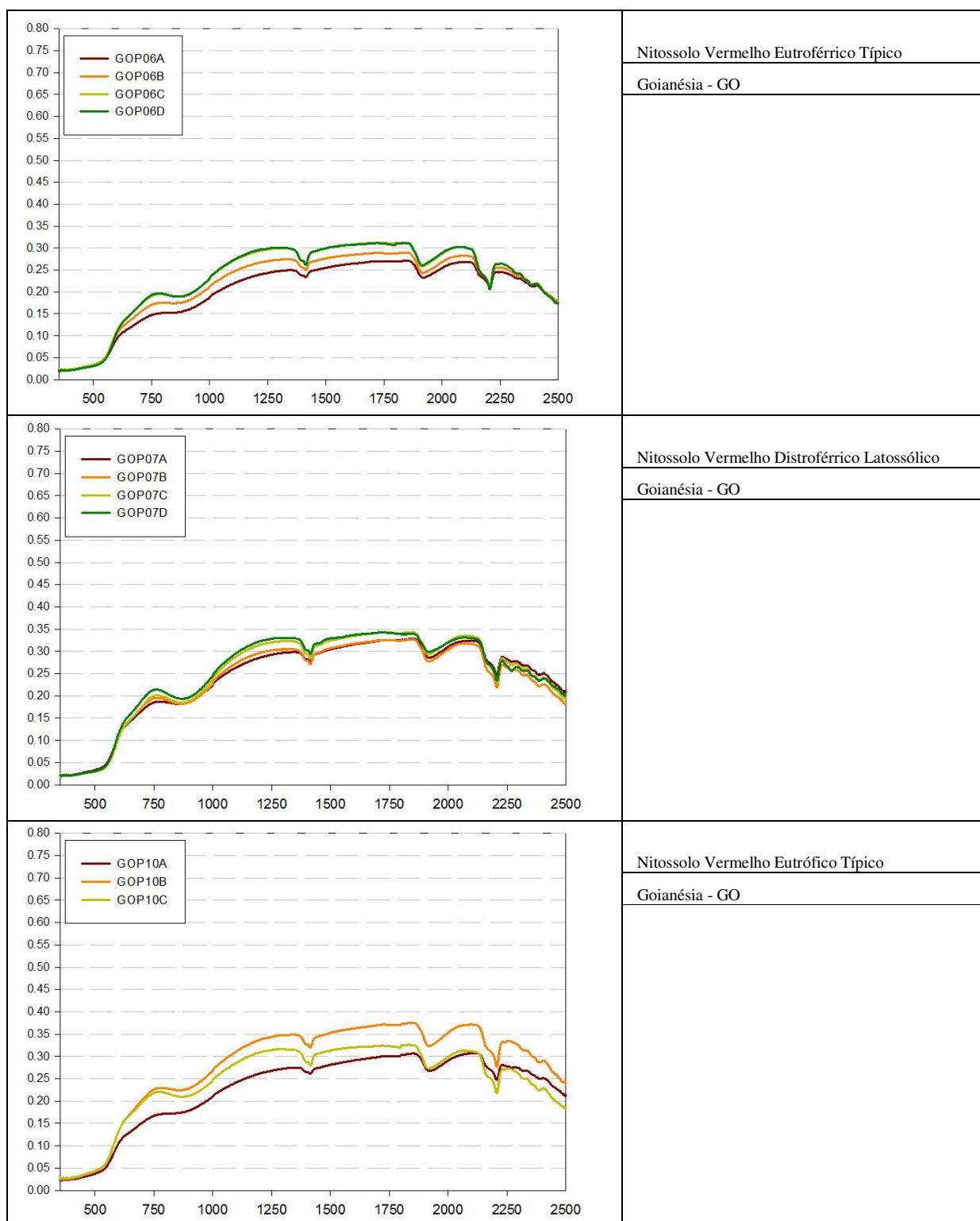


Figura 3.47 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Goianésia-GO

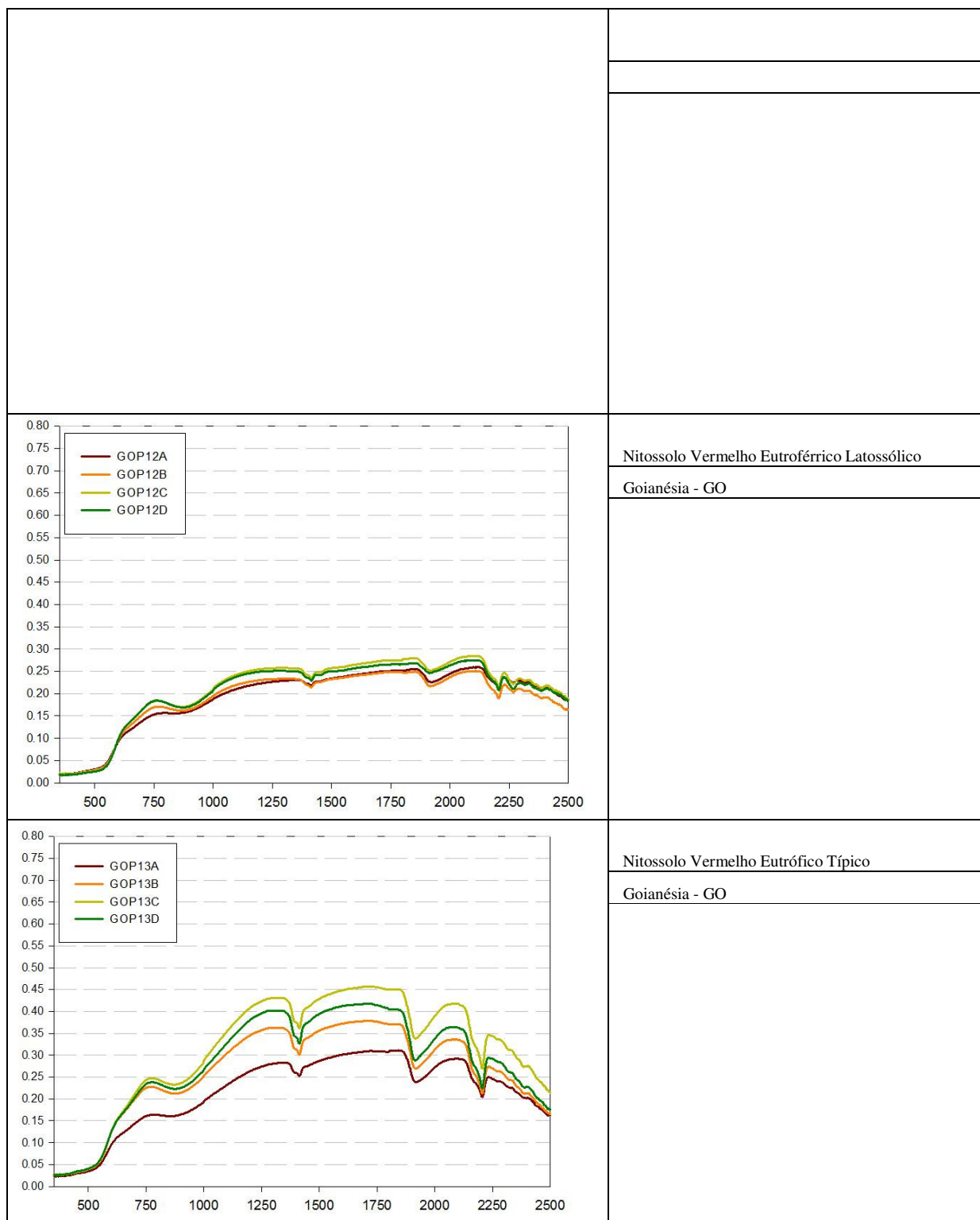


Figura 3.48 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Goianésia-GO



Figura 3.49 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Goianésia-GO

Tabela 3.30 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Goianésia, GO

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total	Silte	Arg																
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>															
GOP03A	Ap	0-15	80	160	240	40	720	39	321	19,7	74	16	0	37	109,7	146,7	75	0	6,5	5,7	3,4YR	3,4	1,3
GOP03B	AB	15-50	70	150	220	90	690	20	13	13,8	19	5	0	32	37,8	69,8	54	0	5,9	5,1	2,2YR	3,4	1,8
GOP03C	Bw1	50-130	50	110	160	90	750	17	1	9,7	10	4	1	36	23,7	59,7	40	4	5,4	4,7	2,6YR	3,1	3,4
GOP03D	Bw2	130+	50	110	160	90	750	11	1	2,5	15	7	0	28	24,5	52,5	47	0	5,3	5	2,3YR	3,4	2,3
GOP04A	Ap	0-25	70	110	180	140	680	41	12	3,2	33	17	0	58	53,2	111,2	48	0	5,8	4,9	3,0YR	3,3	1,5
GOP04B	Bn	25-100	50	220	270	40	690	16	4	0,5	25	6	0	26	31,5	57,5	55	0	6,2	5,7	2,0YR	3,4	2,1
GOP04C	Bw	100+	50	150	200	110	690	11	1	0,2	16	6	0	20	22,2	42,2	53	0	6,2	5,7	2,1YR	3,3	2,2
GOP05A	Ap	0-25	60	140	200	110	690	21	18	2,1	14	10	1	47	26,1	73,1	36	4	5,7	4,7	2,1YR	3,3	1,5
GOP05B	Bw1	25-90	70	180	250	100	650	18	1	0,2	3	2	2	43	5,2	48,2	11	28	4,9	4,6	1,6YR	3,1	2
GOP05C	Bw2	90-130	60	120	180	130	690	15	3	0,1	2	1	1	38	3,1	41,1	8	24	4,9	4,6	1,3YR	3,2	2,1
GOP05D	Bw3	130+	60	190	250	80	670	10	1	0,1	1	1	2	34	2,1	36,1	6	49	4,7	4,6	1,1YR	3,4	1,9
GOP06A	Ap	0-15	70	90	160	180	660	31	47	3,8	45	20	0	40	68,8	108,8	63	0	6,1	5,1	2,6YR	3,2	1,7
GOP06B	AB	15-40	70	150	220	60	720	23	145	0,8	54	13	0	39	67,8	106,8	63	0	6,2	5,1	2,3YR	3,3	1,4
GOP06C	Bn1	40-110	50	110	160	60	780	11	12	0,5	34	8	0	21	42,5	63,5	67	0	6,6	5,6	2,2YR	3,2	2
GOP06D	Bn2	110+	50	80	130	90	780	9	4	0,5	29	7	0	14	36,5	50,5	72	0	6,5	5,8	1,8YR	3,2	2,3
GOP07A	Ap	0-25	50	60	110	130	760	30	4	3,7	8	6	6	56	17,7	73,7	24	25	5,4	4,3	1,9YR	3,2	2,4
GOP07B	Bn1	25-90	40	120	160	90	750	16	1	0,5	16	3	0	22	19,5	41,5	47	0	6,1	5,6	1,4YR	3,2	2,7
GOP07C	Bn2	90-150	40	90	130	90	780	9	1	0,2	10	3	0	15	13,2	28,2	47	0	5,8	5,7	1,6YR	3,1	2,7
GOP07D		150+	130	30	100	150	750	7	1	0,4	1	1	0	21	2,4	23,4	10	0	5,1	5	0,8YR	3,2	2,5

Tabela 3.31 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Goianésia, GO

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total																		
			g/kg																				
GOP10A	Ap	0-30	70	130	200	120	680	42	9	1,8	41	13	0	59	55,8	114,8	49	0	5,8	4,8	3,6YR	3	2,3
GOP10B	Bn1	30-90	50	190	240	60	700	24	2	0,3	44	5	0	25	49,3	74,3	66	0	6,2	5,4	2,8YR	3,3	2,3
GOP10C	Bn2	90+	70	110	180	40	780	12	1	0,1	30	5	0	18	35,1	53,1	66	0	6,4	5,6	1,8YR	3,5	2,1
GOP11B	Bi	45-120	80	60	140	130	730	15	1	0,3	19	2	0	15	21,3	36,3	59	0	6,5	6	2,1YR	3,1	2,9
GOP11C		120-160	100	100	200	90	710	12	1	0,2	16	2	0	13	18,2	31,2	58	0	6,3	6	2,1YR	3,2	2,8
GOP11D		160+	70	70	140	80	780	10	1	0,2	13	2	0	14	15,2	29,2	52	0	6,6	6,3	1,9YR	3,1	2,8
GOP12A	Ap	0-30	70	190	260	80	660	34	16	12,7	28	9	1	62	49,7	111,7	44	2	5,7	4,6	3,1YR	2,9	2,1
GOP12B	Bn1	30-110	50	30	80	130	790	18	2	10,3	19	6	0	27	35,3	62,3	57	0	6,2	5,2	1,5YR	3,2	1,9
GOP12C	Bn2	110-170	80	120	200	110	690	11	1	7,8	14	3	0	14	24,8	38,8	64	0	6,8	6	1,9YR	2,9	2,5
GOP12D	Bw	170+	70	130	200	90	710	7	1	7,9	10	2	0	8	19,9	27,9	71	0	7,2	6,2	1,4YR	3,1	2,2
GOP13A	Ap	0-25	80	170	250	60	690	40	4	12,9	27	6	2	69	45,9	114,9	40	4	5,5	4,5	2,5YR	3,2	2,2
GOP13B	Bn1	25-70	40	70	110	120	770	20	1	1,5	35	6	0	23	42,5	65,5	65	0	6,4	5,6	1,9YR	3,4	2,7
GOP13C	Bn2	70-112	40	90	130	110	760	15	1	1,1	34	10	0	15	45,1	60,1	75	0	6,4	5,9	1,9YR	3,3	3
GOP13D	BC	112+	30	50	80	130	790	11	1	0,9	13	10	0	26	23,9	49,9	48	0	5,4	5,1	1,9YR	3,4	2,9

Tabela 3.32 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Goianésia, GO

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor				
			Areia						M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fina	total	Silte	Arg	Silte																
			g/kg						mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..							
GOP16A	Ap	0-40	40	170	210	100	690	46	8	4,3	49	12	1	40	65,3	105,3	62	2	5,9	4,8	1,6YR	3,2	1,8	
GOP16B	Bn	40-100	30	100	130	130	740	15	2	0,3	29	6	0	25	35,3	60,3	59	0	6,6	5,5	2,3YR	2,9	2,5	
GOP16C	Bw	100+	30	130	160	120	720	11	1	0,2	20	12	0	17	32,2	49,2	65	0	6,4	5,7				
GOP17A	Ap	0-25	70	200	270	130	600	45	11	5	38	8	1	65	51	116	44	2	5,8	4,7	3,2YR	3	1,7	
GOP17B	Bn1	25-80	40	160	200	100	700	40	24	5,8	49	10	1	58	64,8	122,8	53	2	6,4	5,4	2,3YR	3,3	1,9	
GOP17C	Bn2	80-100	40	90	130	110	760	22	4	0,7	48	7	0	24	55,7	79,7	70	0	6,6	5,6	2,0YR	3,2	2,2	
GOP17D	R	100- 115	60	200	260	100	640	11	3	0,5	38	5	0	20	43,5	63,5	69	0	5,9	4,8	3,3YR	3,1	1,2	
GOP21A	Ap	0-30	60	120	180	120	700	32	7	2,2	17	9	2	52	28,2	80,2	35	7	5,6	4,6	2,6YR	3,3	2	
GOP21B	Bn	30-90	50	110	160	110	730	17	1	0,3	6	2	0	32	8,3	40,3	21	0	5,9	4,9	1,3YR	3,5	2	
GOP21C	Bw	90-160	30	90	120	100	780	9	2	0,2	2	2	1	35	4,2	39,2	11	19	5	4,6	1,7YR	3,2	2,4	

Tabela 3.33 – Resultados das análises pelo método do ataque sulfúrico, para os perfis de Goianésia, GO

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
	..... g kg <sup>-1</sup> .....						
GOP03C	192,00	264,10	187,30	22,20	1,70	1,24	0,85
GOP04C	166,10	222,80	196,60	26,60	2,50	1,27	0,81
GOP05C	167,20	258,90	195,20	24,70	2,80	1,10	0,74
GOP06C	232,00	235,90	161,90	20,10	3,10	1,67	1,16
GOP07C	204,30	252,10	193,10	20,50	2,00	1,38	0,93
GOP10C	259,20	231,70	166,20	18,60	2,80	1,90	1,31
GOP11C	160,50	229,60	180,20	19,50	2,10	1,19	0,79
GOP12C	164,30	234,80	153,30	10,10	1,30	1,19	0,84
GOP13C	257,20	287,70	146,90	4,10	2,50	1,52	1,15
GOP16C	181,10	248,40	218,10	20,50	3,60	1,24	0,79
GOP17C	199,40	249,50	161,90	15,80	2,70	1,36	0,96
GOP21C	192,20	254,70	211,60	18,10	3,20	1,28	0,84



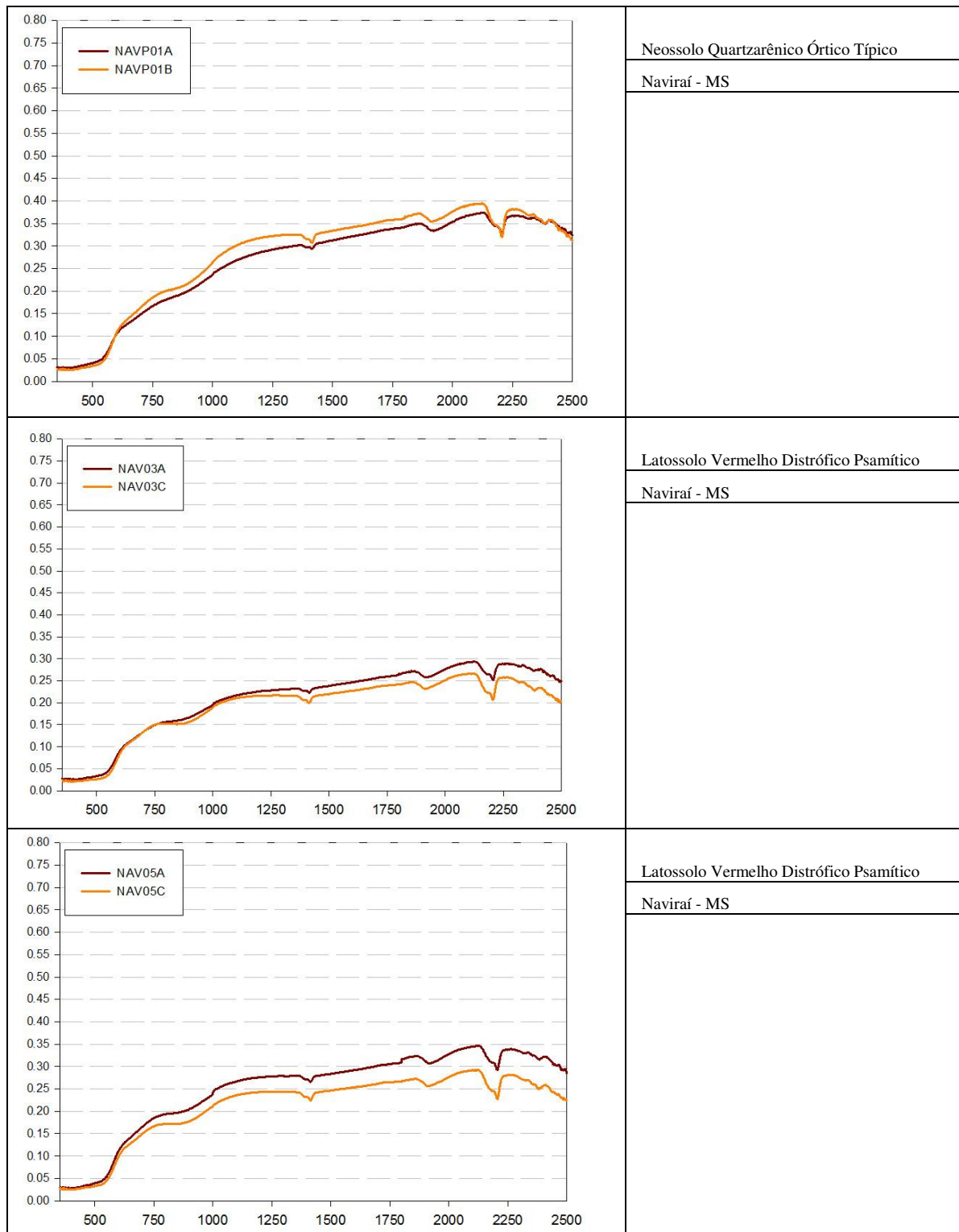


Figura 3.50 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Naviraí-MS

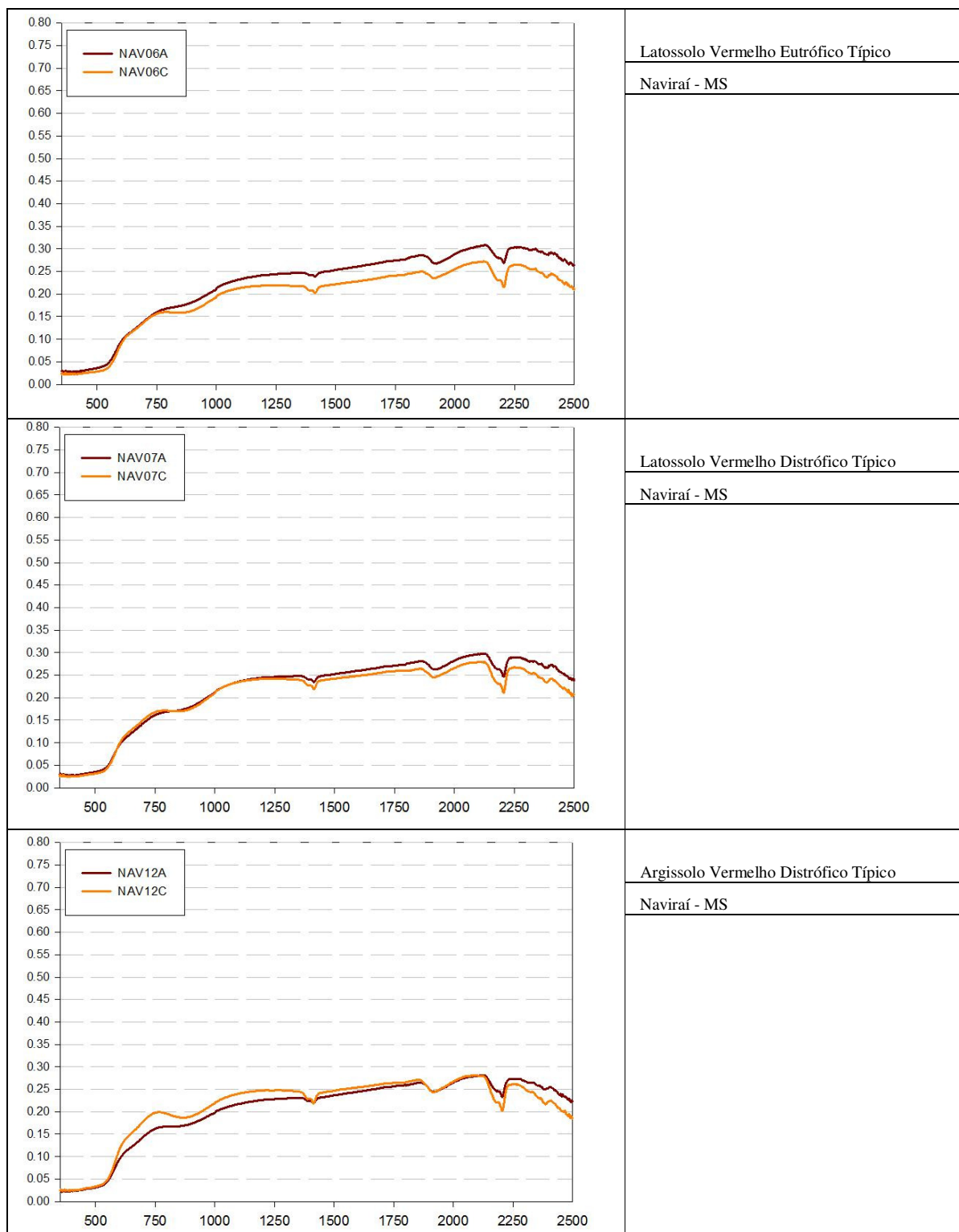


Figura 3.51 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Naviraí-MS

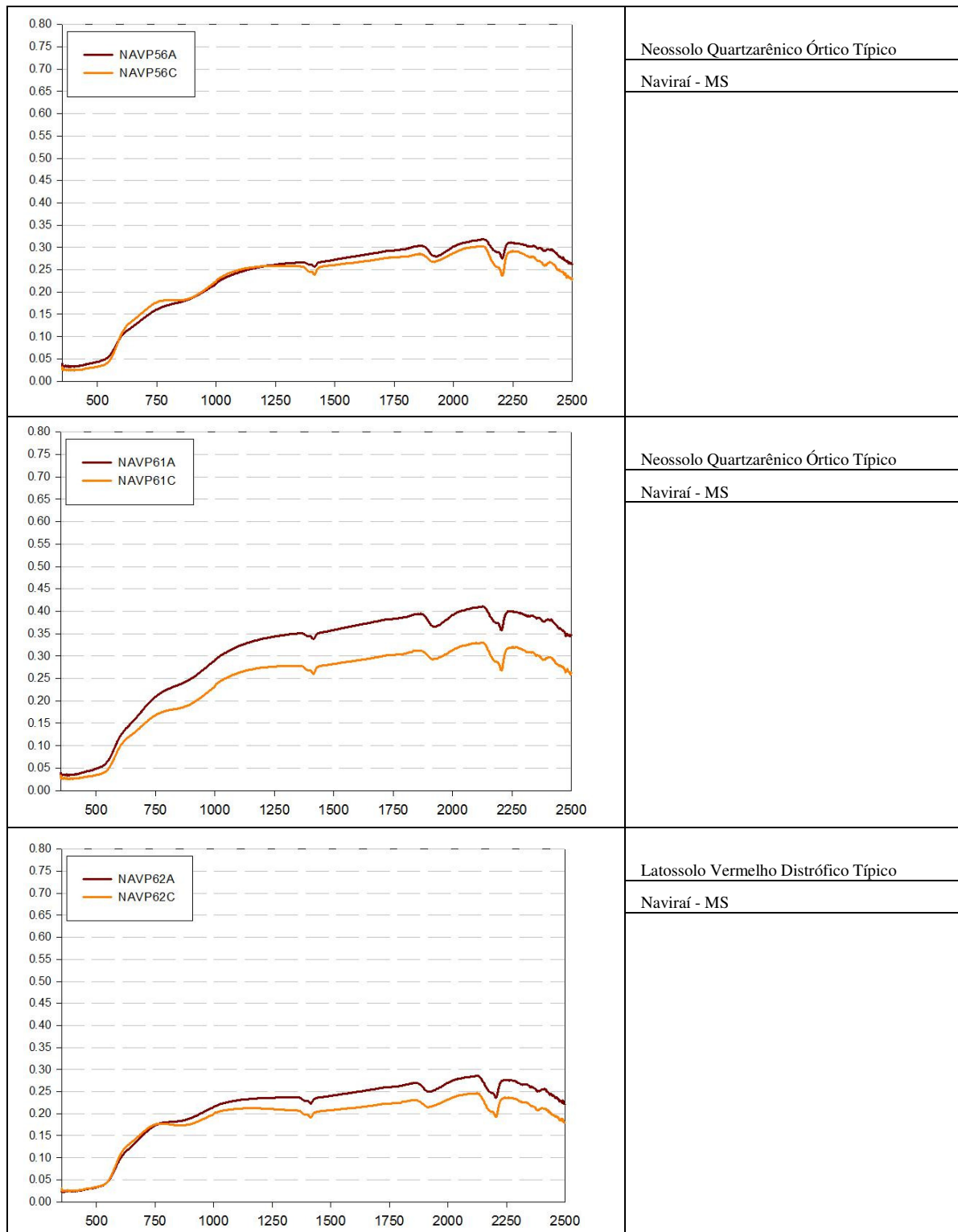


Figura 3.52 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Naviraí-MS

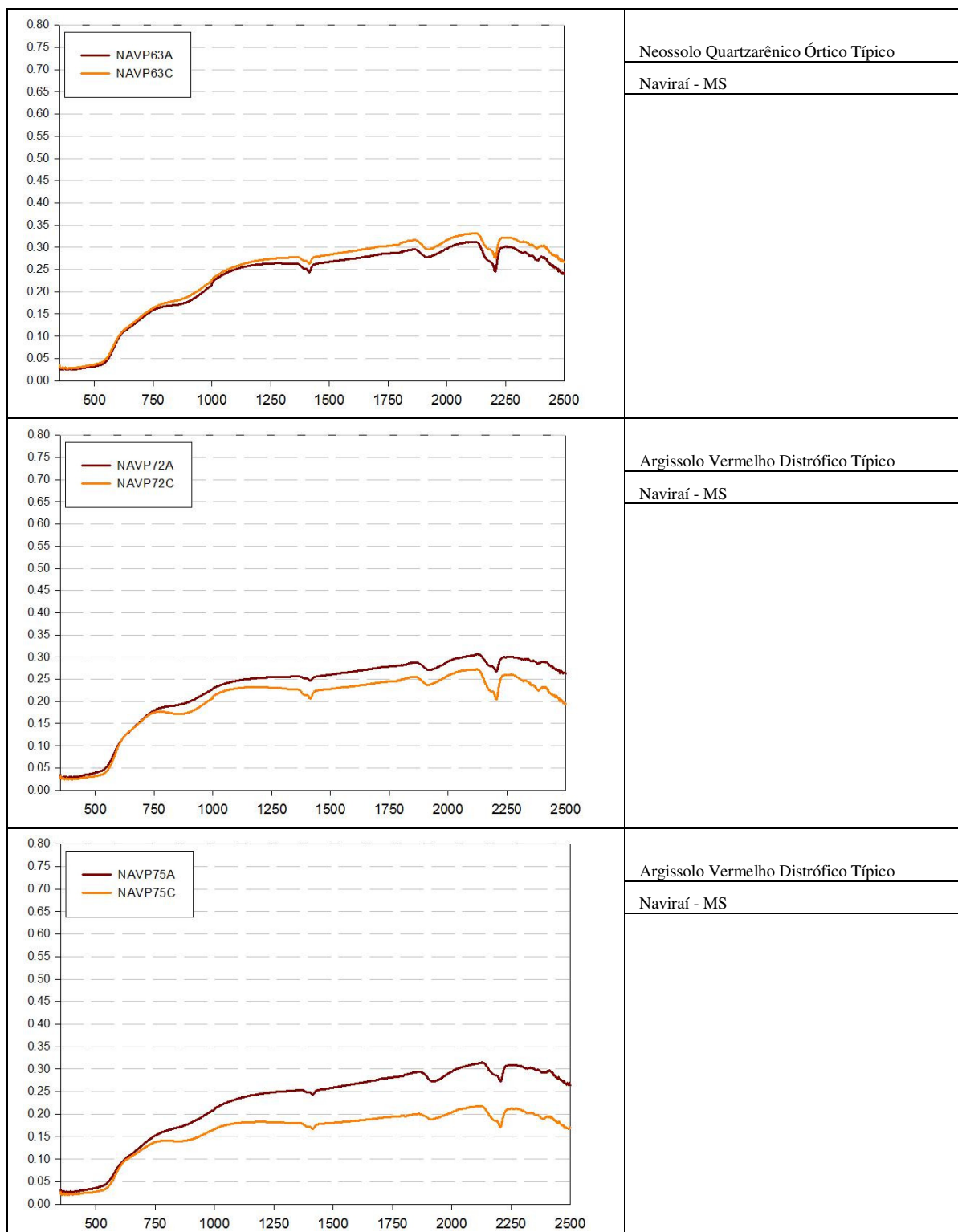


Figura 3.53 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Naviraí-MS

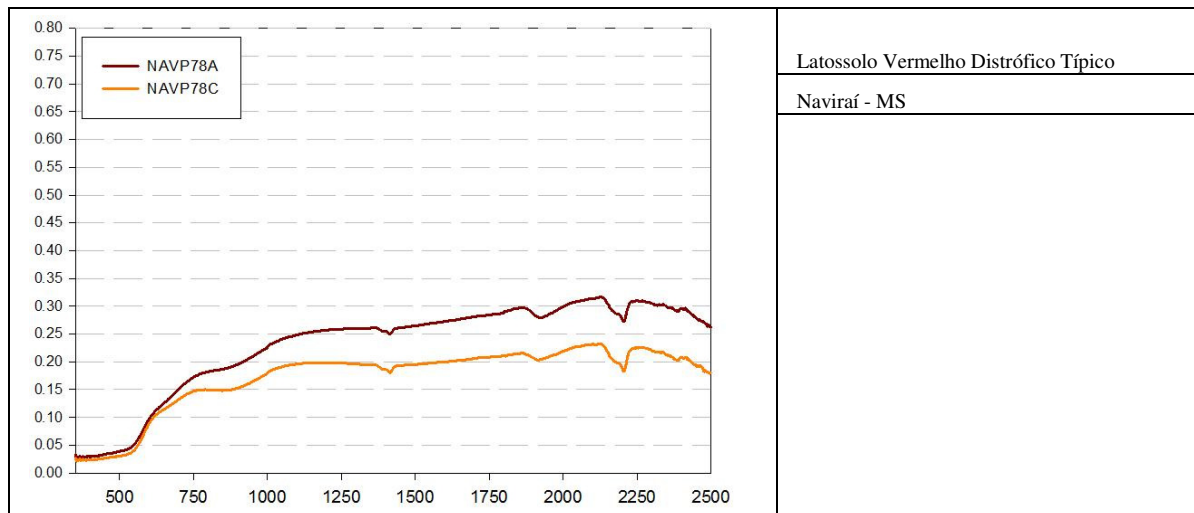


Figura 3.54 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Naviraí-MS

Tabela 3.34 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Naviraí, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH				
			Areia						M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fina	total	Silte	Arg														
			g/kg						mg.kg <sup>-1</sup>	mmolc.kg <sup>-1</sup>						.. % ..					
NAVP01A		510	380	890	7	103	8	17	11	6	1,3	0	13	18	31	58	0	6,8			
NAVP01C		520	340	860	2	138	4	3	5	2	5,1	0	18	12	30	40	0	6	4,7		
NAVP03A		480	380	860	11	129	9	7	10	4	0,3	1	22	14	36	39	7	5,4			
NAVP03C		440	340	780	16	204	3	3	18	2	0,1	0	15	20	35	57	0	6	5,1		
NAVP05A		530	340	870	11	119	7	3	7	2	0,3	2	20	9	29	32	18	4,9			
NAVP05C		469	330	799	11	190	3	3	4	2	0,1	4	20	6	26	23	40	4,7	4		
NAVP06A		520	320	840	6	154	18	5	21	7	0,3	0	18	28	46	61	0	5,8			
NAVP06C		469	330	799	37	164	7	2	12	4	0,3	0	15	16	31	52	0	6,1	4,8		
NAVP07A		450	380	830	12	158	10	3	7	2	0,5	2	25	10	35	28	17	5			
NAVP07C		430	350	780	69	151	4	2	11	2	0,3	0	15	13	28	47	0	5,7	4,6		
NAVP12A		419	300	719	90	191	16	5	22	8	1	0	25	31	56	55	0	5,8			
NAVP12C		340	209	549	72	379	8	3	18	8	0,5	0	18	27	45	60	0	6	4,7		
NAVP56A		600	280	880	11	109	16	5	10	3	0,3	1	22	13	35	38	7	5,4			
NAVP56C		570	270	840	27	133	4	3	8	2	0,5	0	15	11	26	41	0	6,3	4,3		
NAVP61A		600	300	900	8	92	14	4	3	1	0,3	7	47	4	51	8	62	4,5			
NAVP61C		590	270	860	9	131	6	2	3	1	0,1	5	28	4	32	13	55	4,8	4,2		

Tabela 3.35 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Naviraí, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fina	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..				
NAVP62A		419	350	769	7	224	20	5	5	4	0,3	7	52	9	61	15	43	4,9		
NAVP62C		380	290	670	21	309	7	3	3	2	0,1	8	42	5	47	11	61	4,9	4,1	
NAVP63A		523	300	823	15	162	3	2	4	2	0,1	3	20	6	26	23	33	4,7		
NAVP63C		600	290	890	7	103	8	7	6	3	0,1	2	22	9	31	29	18	5,2	4,2	
NAVP72A		760	130	890	10	100	13	5	9	3	0,1	2	25	12	37	33	14	5,3		
NAVP72C		610	140	750	66	184	4	3	12	1	0,1	1	18	13	31	42	7	5,7	4,2	
NAVP75A		670	190	860	12	128	20	5	16	9	0,8	0	16	26	42	62	0	6,4		
NAVP75C		560	209	769	56	175	5	3	5	2	0,3	5	28	7	35	21	41	4,8	4,1	
NAVP78A		682	160	842	16	142	15	5	6	3	0,1	5	38	9	47	19	35	4,9		
NAVP78C		660	140	800	29	171	6	3	7	2	0,1	3	25	9	34	27	25	5,3	4,2	

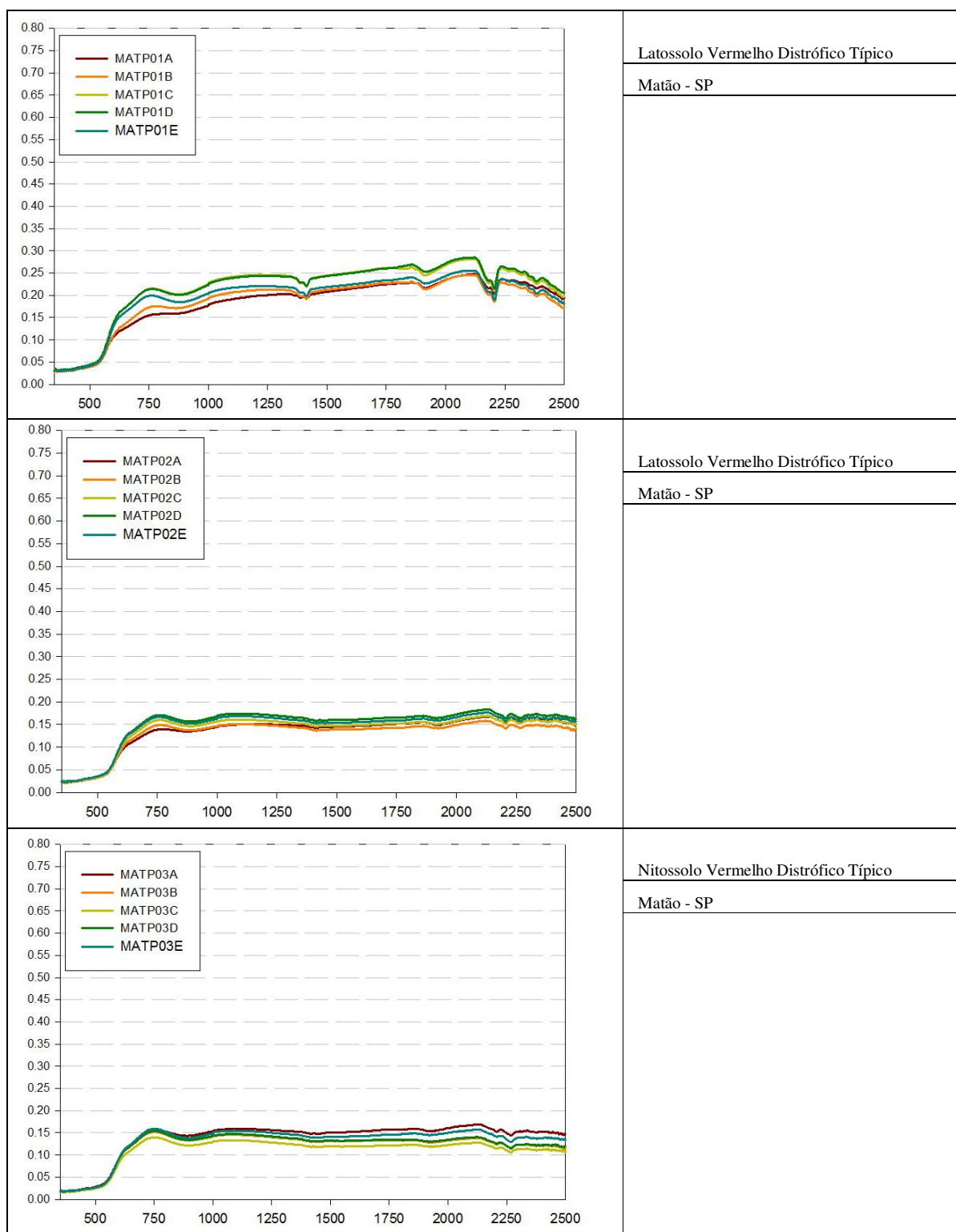


Figura 3.55 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Matão-SP



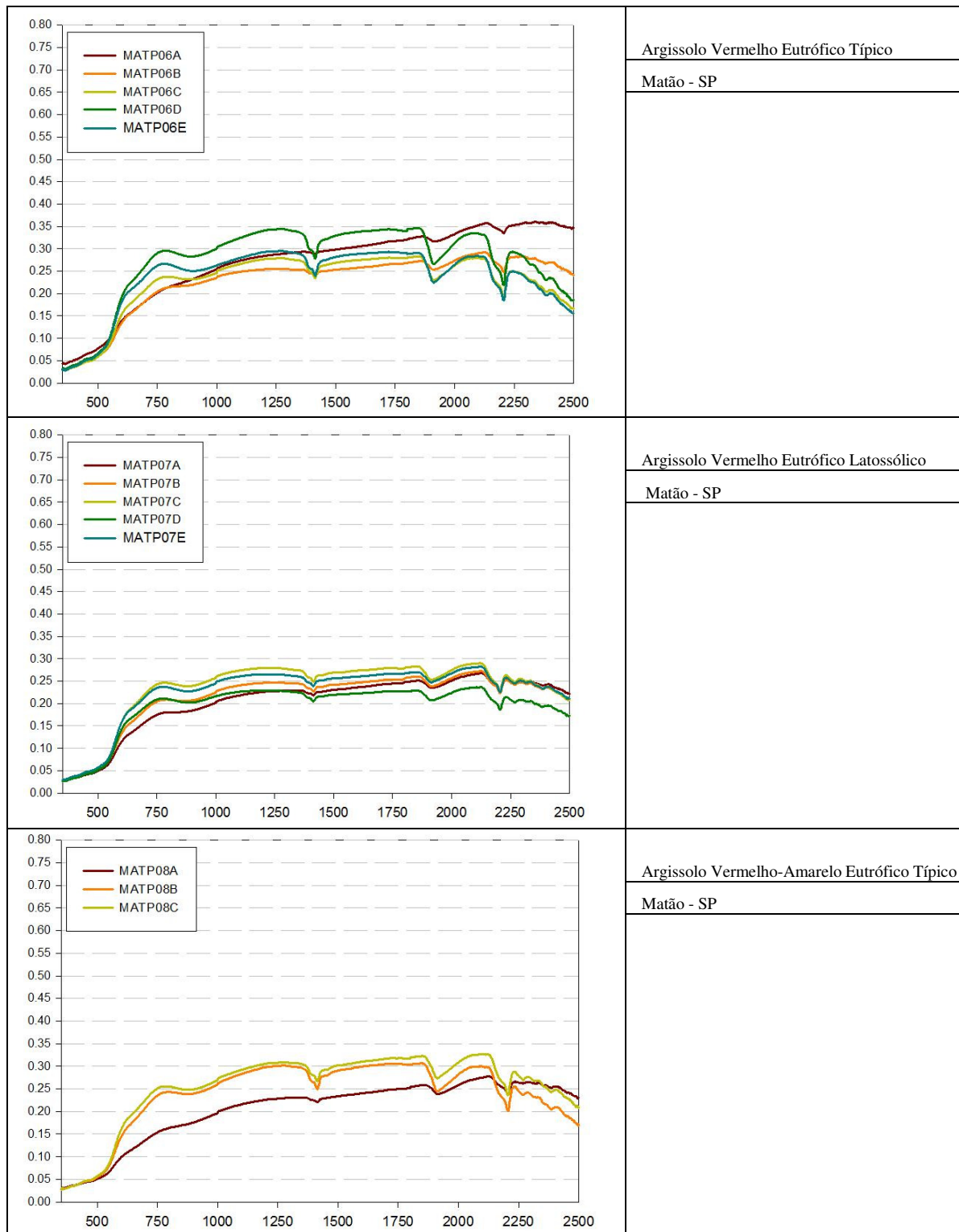


Figura 3.56 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Matão-SP

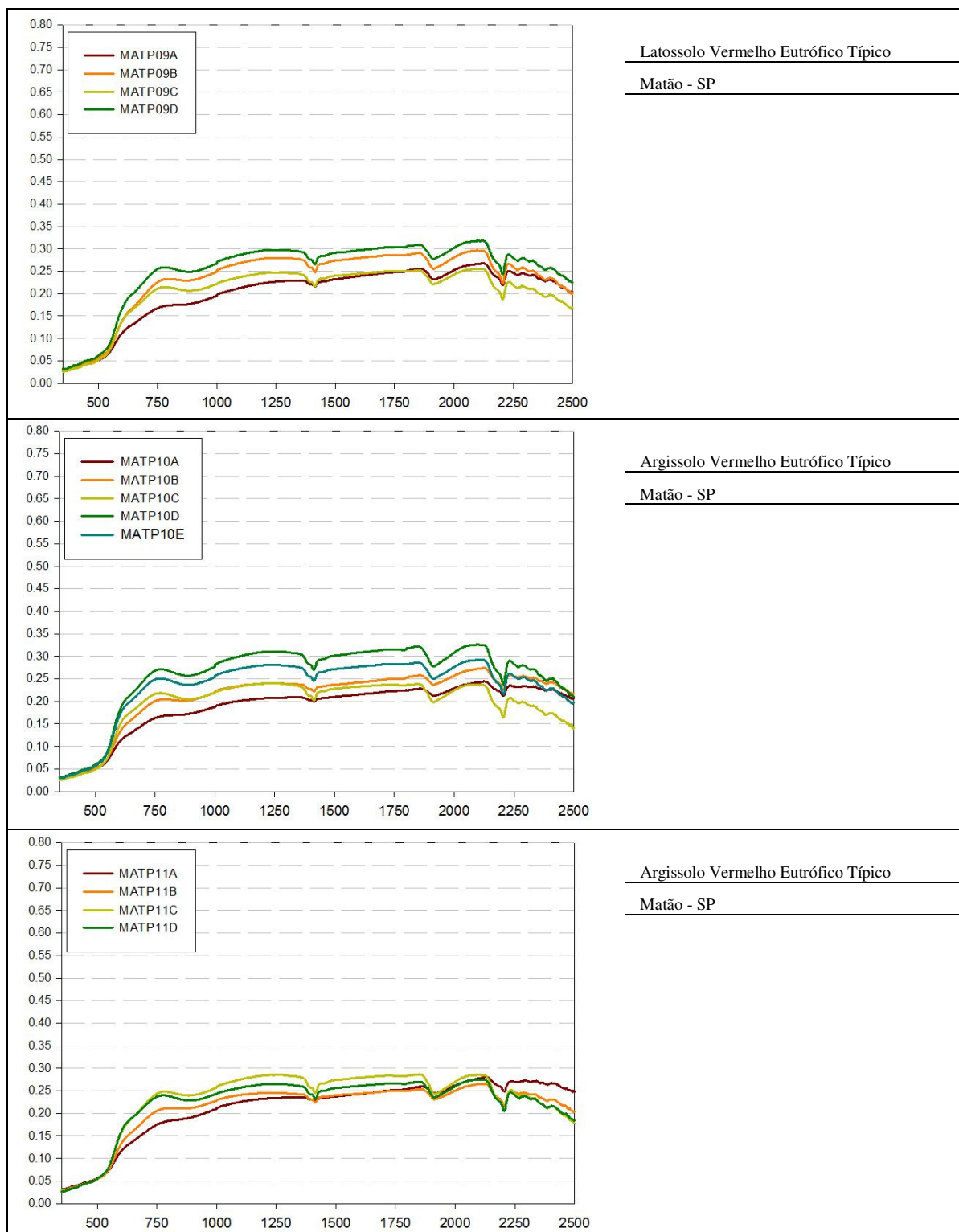


Figura 3.57 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Matão-SP

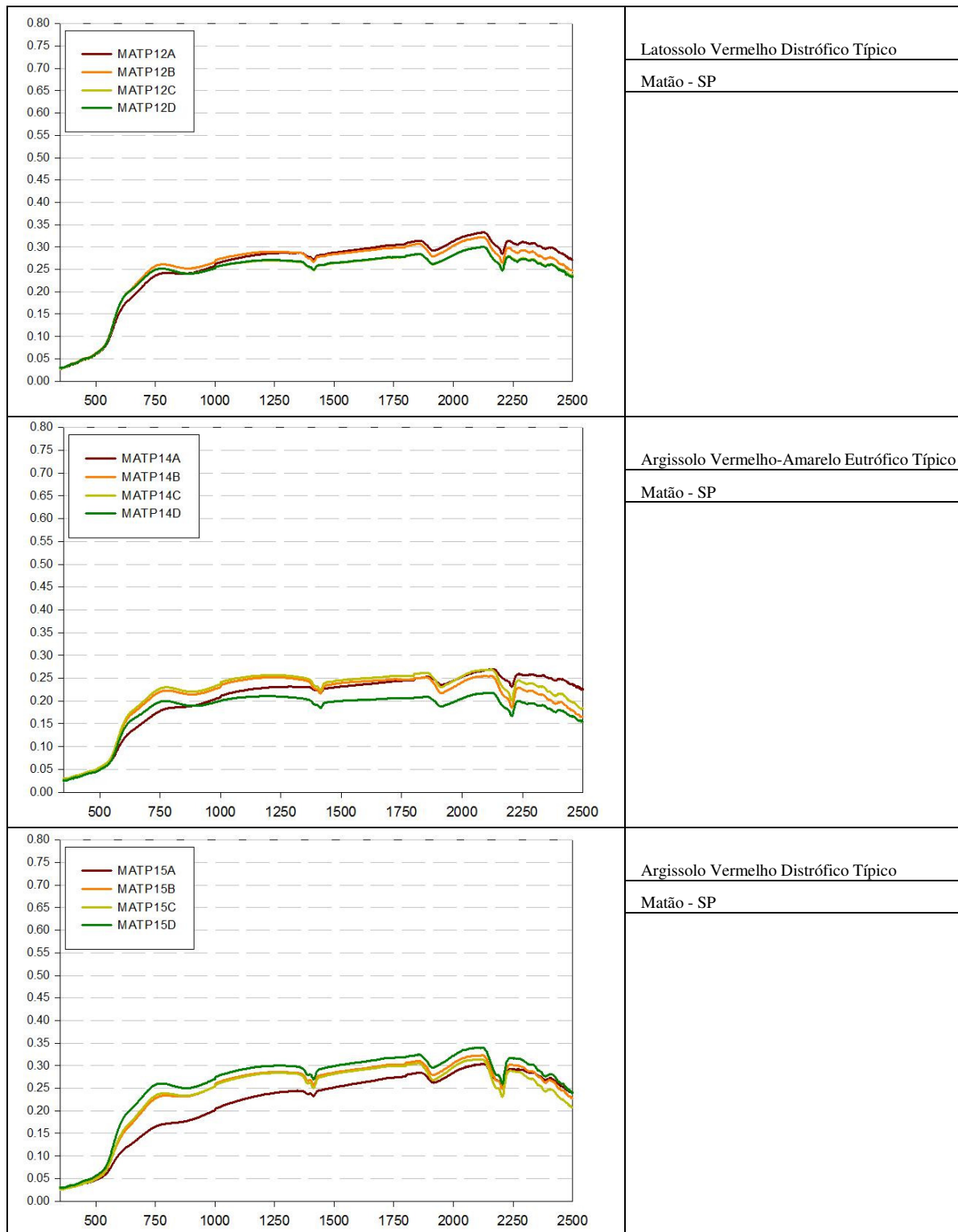


Figura 3.58 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Matão-SP

Tabela 3.36 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Matão, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fina	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>		mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..					
MATP01A	0-20		650	40	310	22	43	5,7	15	7	0	28	27,7	55,7	50	0	5,7	5,2		
MATP01B	20-50		660	40	300	16	44	4,7	6	3	1	29	13,7	42,7	32	7	4,9	4,3		
MATP01C	50-100		620	40	340	12	2	1,7	6	3	1	21	10,7	31,7	34	9	4,6	4,4		
MATP01D	10-153		620	40	340	11	1	0,1	6	2	1	21	8,1	29,1	28	11	4,9	4,5		
MATP01E			600	40	360	11	1	0,1	4	1	1	12	5,1	17,1	30	16	5,3	4,8		
MATP02A	0-15		580	40	380	24	10	2,6	21	9	0	23	32,6	55,6	59	0	5,7	5,1		
MATP02B	15-50		560	40	400	18	2	1,9	9	5	1	28	15,9	43,9	36	6	5,5	4,5		
MATP02C	50-90		480	40	480	17	1	0,4	11	4	1	20	15,4	35,4	44	6	5,1	4,8		
MATP02D	90-150		450	40	510	15	1	0,1	3	1	0	21	4,1	25,1	16	0	5,2	5		
MATP02E	150		460	40	500	13	1	0,2	4	1	0	10	5,2	15,2	34	0	5,6	5,1		
MATP03A	0-25		220	180	600	30	8	2,2	12	6	0	30	20,2	50,2	40	0	5,6	5,2		
MATP03B	25-50		250	140	610	22	1	0,4	7	4	0	25	11,4	36,4	31	0	5,3	5		
MATP03C	50-100		270	100	630	20	1	0,2	1	1	0	24	2,2	26,2	8	0	5,5	5,1		
MATP03D	100-150		270	100	630	16	1	0,2	2	1	0	12	3,2	15,2	21	0	6,4	6		
MATP03E	150		270	100	630	15	1	0,2	3	1	0	9	4,2	13,2	32	0	6,5	6,3		
MATP06A	0-20		880	40	80	10	22	1	8	5	0	9	14	23	61	0	5,9	5,7		
MATP06B	20-40		820	40	140	9	5	5,5	9	5	0	11	19,5	30,5	64	0	6,1	5,4		
MATP06C	40-80		620	40	340	12	1	11,5	15	8	1	18	34,5	52,5	66	3	5,1	4,4		
MATP06D	80-110		580	40	380	11	1	5,6	33	12	1	15	50,6	65,6	77	2	5,6	4,9		
MATP06E	100		580	40	380	9	1	0,8	26	7	0	13	33,8	46,8	72	0	5,4	5,3		

Tabela 3.37 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Matão, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total														g/kg	mg.kg <sup>-1</sup>
MATP07A	0-20			800	40	160	13	6	4,2	11	8	0	11	23,2	34,2	68	0	6,4	5,6	
MATP07B	20-40			740	40	220	12	3	1,7	5	3	7	30	9,7	39,7	24	42	4,4	4	
MATP07C	42-105			660	40	300	11	1	0,4	10	5	3	22	15,4	37,4	41	16	5,3	4,2	
MATP07D	105-140			680	40	280	11	1	0,3	9	4	1	15	13,3	28,3	47	7	4,6	4,5	
MATP07E	140			680	40	280	10	1	0,2	7	2	2	21	9,2	30,2	30	18	4,5	4,3	
MATP08A	0-50			860	40	100	13	3	1,7	8	4	1	16	13,7	29,7	46	7	5,1	4,9	
MATP08B	50-120			580	40	380	12	1	0,8	24	7	1	21	31,8	52,8	60	3	5,1	4,6	
MATP08C	120			680	40	280	11	1	0,3	21	3	0	16	24,3	40,3	60	0	6,1	5,3	
MATP09A	0-30			740	40	220	18	4	5,8	12	7	0	13	24,8	37,8	66	0	6	5,5	
MATP09B	30-60			640	40	320	12	1	0,6	13	5	3	24	18,6	42,6	44	14	5	4,2	
MATP09C	0-112			620	40	340	12	1	0,3	8	3	5	27	11,3	38,3	30	31	4,6	4,2	
MATP09D	112			660	40	300	10	1	0,2	13	4	1	16	17,2	33,2	52	5	4,8	4,4	
MATP10A	0-20			800	40	160	15	3	1,8	10	4	1	23	15,8	38,8	41	6	5,4	4,6	
MATP10B	20-60			740	40	220	11	1	0,5	7	5	4	17	12,5	29,5	42	24	4,9	4,1	
MATP10C	0-110			560	40	400	10	1	0,2	26	6	0	13	32,2	45,2	71	0	5,4	5,2	
MATP10D	110-145			580	40	380	10	1	0,2	19	8	0	15	27,2	42,2	64	0	5,5	5,3	
MATP10E	145			600	40	360	9	1	0,2	11	12	0	13	23,2	36,2	64	0	5,5	5,2	
MATP11A	0-25			820	40	140	14	10	2,3	10	3	1	19	15,3	34,3	45	6	5,9	4,7	
MATP11B	25-45			720	40	240	14	2	1,3	7	4	6	30	12,3	42,3	29	33	4,5	4,1	
MATP11C	45-110			580	40	380	11	1	0,4	2	1	20	38	3,4	41,4	8	85	4,5	3,8	
MATP11D	110			620	40	340	9	1	0,4	9	5	1	13	14,4	27,4	53	6	5,1	4,8	

Tabela 3.38 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Matão, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fina	total															
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>				mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..						
MATP12A	0-45		780	40	180	12	5	2,8	3	2	6	27	7,8	34,8	22	43	4,9	4,1		
MATP12B	45-70		720	40	240	12	1	0,4	6	4	3	22	10,4	32,4	32	22	4,7	4,2		
MATP12C	70-160		700	40	260	11	1	0,2	6	4	1	16	10,2	26,2	39	9	5	4,9		
MATP12D	160		680	40	280	10	1	0,1	2	1	2	16	3,1	19,1	16	39	4,8	4,4		
MATP14A	0-15		740	40	220	16	4	2,8	13	6	1	17	21,8	38,8	56	4	6	4,9		
MATP14B	15-35		580	40	380	12	1	0,3	24	11	0	13	35,3	48,3	73	0	5,5	5,3		
MATP14C	35-110		600	40	360	10	1	0,4	21	5	0	15	26,4	41,4	64	0	5,7	5,1		
MATP14D	110		640	40	320	9	1	0,4	12	11	0	7	23,4	30,4	77	0	5,9	5,8		
MATP15A	0-25		780	40	180	16	3	2,6	8	4	2	31	14,6	45,6	32	12	5,2	4,5		
MATP15B	25-80		700	40	260	11	1	1	7	4	5	24	12	36	33	29	4,3	3,9		
MATP15C	80-110		640	40	320	11	1	0,7	16	6	1	15	22,7	37,7	60	4	5,1	4,8		
MATP15D	110		660	40	300	11	1	0,3	8	4	0	27	12,3	39,3	31	0	5,6	5,4		

Tabela 3.39 – Resultados das análises pelo método do ataque sulfúrico, para os perfis de Matão, SP

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
	..... g kg <sup>-1</sup> .....						
MATP01C	66,00	136,50	129,40	18,10	0,70	0,82	0,51
MATP02C	91,00	111,50	39,50	5,40	0,20	1,39	1,13
MATP03C	76,00	148,70	114,60	14,70	0,60	0,87	0,58
MATP06C	82,00	108,90	39,30	5,80	0,20	1,28	1,04
MATP07C	98,00	111,50	35,90	4,90	0,20	1,49	1,24
MATP08C	97,00	134,90	51,50	7,70	0,30	1,22	0,98
MATP09C	78,00	106,20	34,00	5,30	0,20	1,25	1,04
MATP10C	75,00	114,20	39,00	4,90	0,20	1,12	0,92
MATP11C	109,00	134,40	45,60	5,70	0,20	1,38	1,13
MATP12C	61,00	86,60	41,10	7,70	0,30	1,20	0,92
MATP14C	87,00	122,20	44,70	6,90	0,30	1,21	0,98
MATP15C	83,00	108,90	34,30	4,80	0,10	1,30	1,08

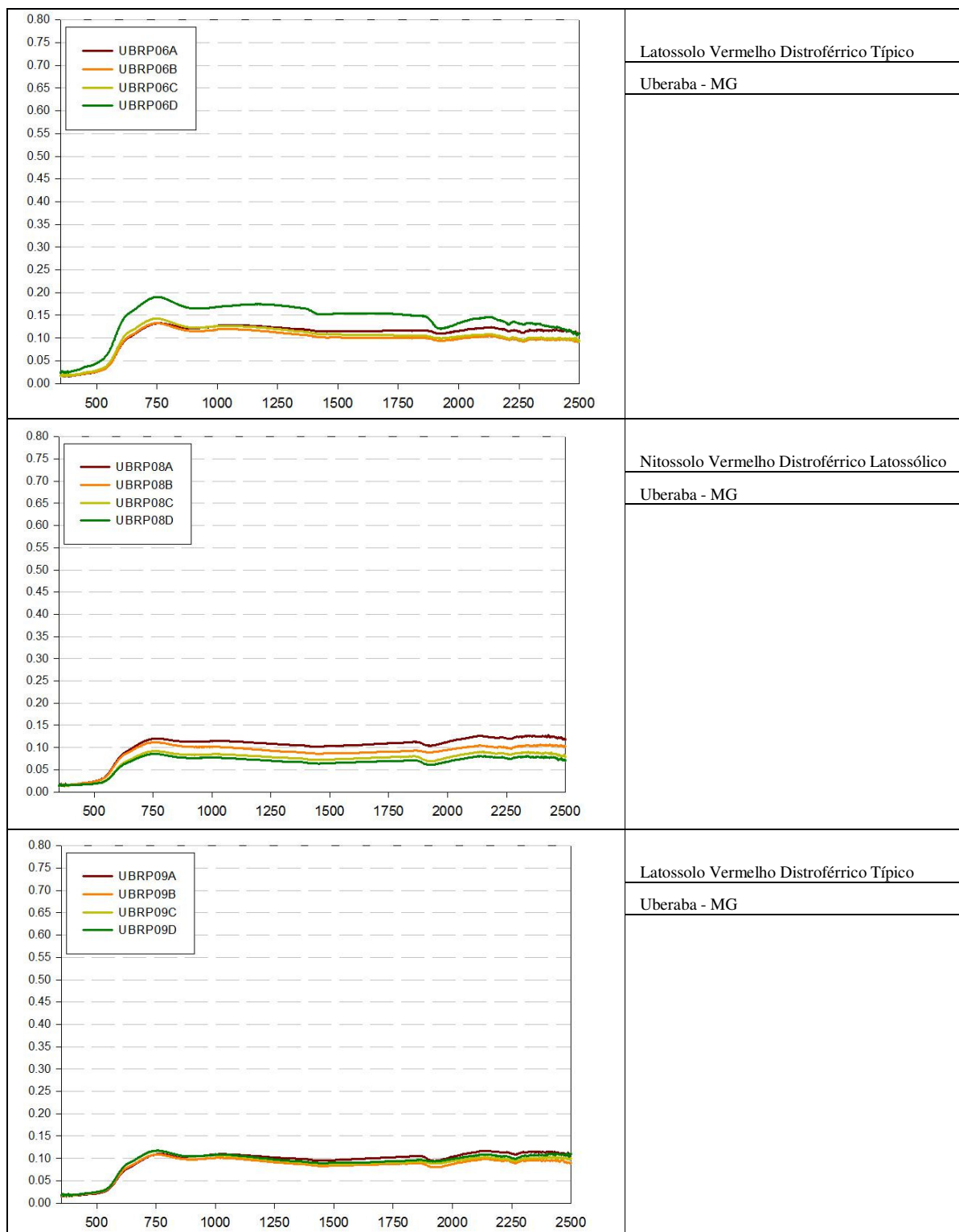


Figura 3.59 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Uberaba-MG



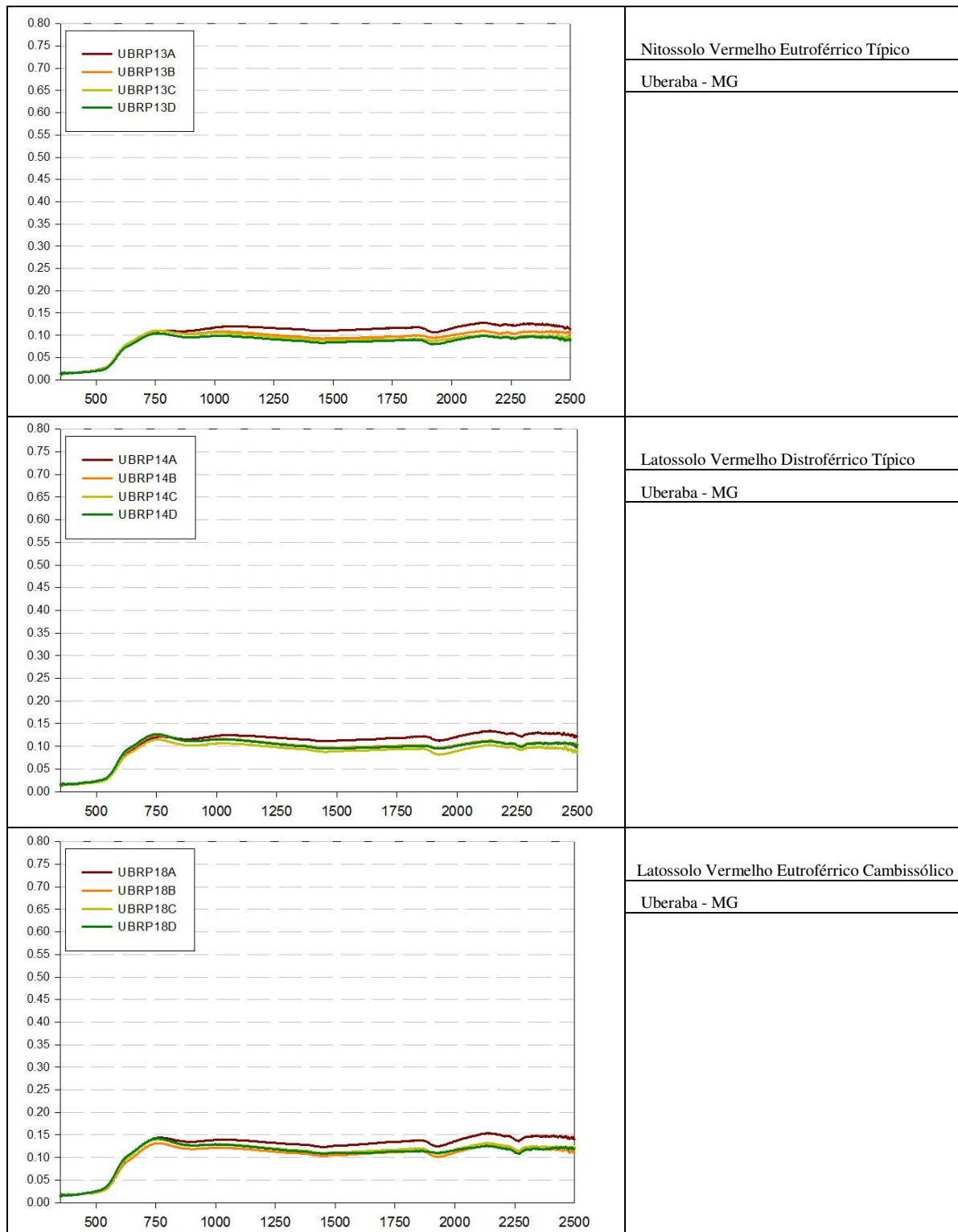


Figura 3.60 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Uberaba-MG

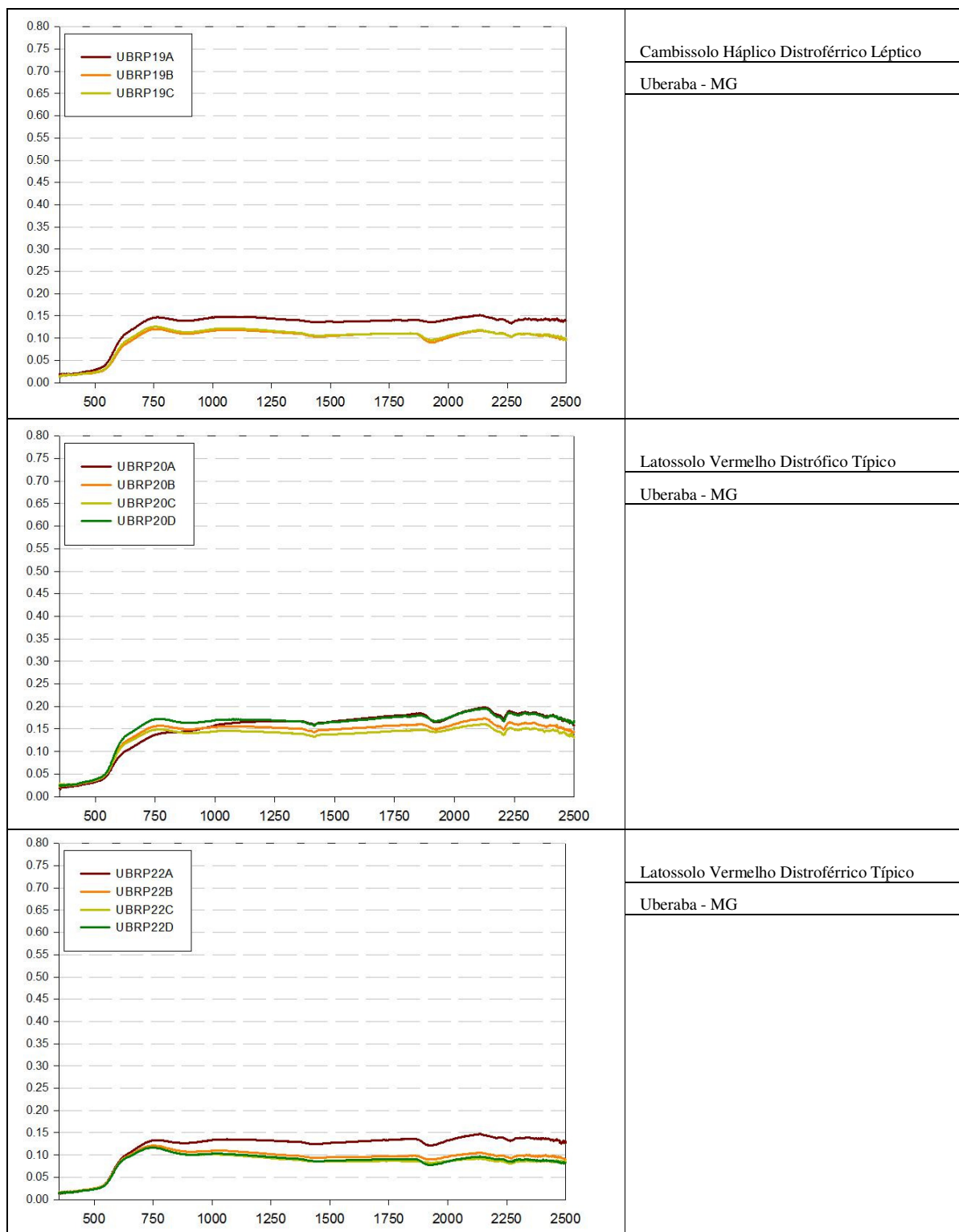


Figura 3.61 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Uberaba-MG



Figura 3.62 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Uberaba-MG

Tabela 3.40 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Uberaba – MG

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria													pH				
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fina	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..				
UBRP06A		50	120	170	461	369	28	9	0,6	33	7	0	22	41	63	65	0	6,2		
UBRP06B		50	120	170	458	372	12	4	0,3	14	4	0	20	18	38	48	0	6,3		
UBRP06C		60	90	150	479	371	6	3	0,8	7	2	0	20	10	30	33	0	5,9	5,7	
UBRP06D		50	100	150	566	284	3	3	0,8	6	3	0	22	10	32	31	0	5,3		
UBRP08A		80	160	240	331	429	33	3	0,8	16	5	0	38	22	60	36	0	5,5		
UBRP08B		80	140	220	368	412	30	3	0,6	20	5	0	28	26	54	48	0	5,9		
UBRP08C		80	200	280	303	417	17	3	0,1	8	4	0	20	12	32	38	0	6,1	5,9	
UBRP08D		100	160	260	384	356	12	5	0,1	4	3	0	18	7	25	28	0	6		
UBRP09A		70	130	200	330	470	27	5	0,3	19	3	0	42	22	64	35	0	5,6		
UBRP09B		80	110	190	331	479	19	5	0,1	11	2	0	34	13	47	28	0	5,6		
UBRP09C		70	120	190	316	494	20	5	0,1	7	2	0	25	9	34	27	0	5,4	5,2	
UBRP09D		80	120	200	314	486	13	3	0,1	7	2	0	22	9	31	29	0	5,3		
UBRP13A		90	100	190	432	378	44	7	2	58	14	0	31	74	105	70	0	6,1		
UBRP13B		90	100	190	429	381	25	9	0,1	43	9	0	31	52	83	63	0	6,2		
UBRP13C		90	130	220	306	474	19	7	0,1	30	5	0	28	35	63	56	0	6,3	5,6	
UBRP13D		60	160	220	362	418	12	6	0,1	23	4	0	22	27	49	55	0	6,4		
UBRP14A		70	110	180	362	458	50	11	0,3	44	9	0	28	53	81	66	0	6,2		
UBRP14B		60	110	170	303	527	18	3	0,1	17	4	0	28	21	49	43	0	6,1		
UBRP14C		80	130	210	234	556	10	5	0,1	12	1	0	20	13	33	40	0	6,5	6,1	
UBRP14D		90	180	270	329	401	11	5	0,1	10	2	0	20	12	32	38	0	6,4		

Tabela 3.41 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Uberaba, MG

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria													pH				
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total															
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>			.. % ..								
UBRP18A		120	170	290	312	398	32	3	0,1	5	1	0	22	6	28	22	0	6,5		
UBRP18B		120	209	329	320	351	23	4	0,3	3	1	0	18	4	22	19	0	6,5		
UBRP18C		160	209	369	258	373	17	7	0,8	21	7	0	16	29	45	64	0	6,8	6,1	
UBRP18D		100	250	350	291	359	21	7	0,1	14	4	0	20	18	38	48	0	6		
UBRP19A		190	120	310	287	403	38	3	0,5	26	5	0	28	32	60	53	0	6,3		
UBRP19B		160	130	290	171	539	28	3	0,5	12	3	0	25	16	41	38	0	5,8		
UBRP19C		150	120	270	245	485	23	3	0,1	4	1	0	22	5	27	19	0	5,3	5,1	
UBRP20A		209	320	529	128	343	23	3	0,8	11	2	3	47	14	61	23	18	5,3		
UBRP20B		190	310	500	143	357	11	3	0,5	11	2	2	34	14	48	28	13	5		
UBRP20C		209	310	519	156	325	13	3	0,1	12	2	2	34	14	48	29	12	4,9	4,4	
UBRP20D		190	330	520	137	343	8	3	0,1	5	1	4	34	6	40	15	40	4,5		
UBRP22A		100	150	250	364	386	32	20	0,6	26	5	0	42	32	74	43	0	5,5		
UBRP22B		90	120	210	231	559	28	3	0,1	15	2	0	38	17	55	31	0	5,4		
UBRP22C		100	120	220	296	484	25	5	0,1	12	3	0	25	15	40	38	0	5,2	5	
UBRP22D		80	150	230	373	397	8	4	0,1	7	1	0	22	8	30	27	0	5,3		
UBRP29A		140	209	349	259	392	39	7	3,7	31	7	1	25	42	67	63	2	6,3		
UBRP29B		130	170	300	296	404	17	3	1,2	7	2	0	28	10	38	27	0	5,3		
UBRP29C		110	190	300	274	426	12	5	0,3	6	2	0	22	8	30	27	0	5,3	5,1	
UBRP29D		120	160	280	225	495	8	5	0,8	4	4	0	20	9	29	31	0	5,6		

Tabela 3.42 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Uberaba, MG

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>				.. % ..					
UBRP30A		50	60	110	353	537	32	11	2,7	8	3	6	72	14	86	16	30	5		
UBRP30B		50	60	110	397	493	36	4	0,5	19	5	2	64	25	89	28	8	5,2		
UBRP30C		50	60	110	414	476	24	3	0,1	11	5	2	58	16	74	22	11	4,5		
UBRP30D		50	70	120	305	575	17	3	0,1	6	3	0	42	9	51	18	0	4,7 4,3		
UBRP30E		50	80	130	413	457	11	2	0,1	4	1	0	38	5	43	12	0	5,3		
UBRP32A		190	230	420	244	336	70	17	3,3	45	11	0	31	59	90	66	0	6		
UBRP32B		120	170	290	290	420	61	6	1,8	11	3	3	42	16	58	27	16	5,6 5		

Tabela 3.43 – Resultados das análises pelo método do ataque sulfúrico, para os perfis de Uberaba-MG

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
	..... g kg <sup>-1</sup> .....						
UBRP06C	109,00	244,00	250,30	X	X	0,76	0,46
UBRP08C	69,00	223,00	278,90	X	X	0,53	0,29
UBRP09C	57,00	222,00	300,30	X	X	0,44	0,23
UBRP13C	117,00	239,00	286,00	X	X	0,83	0,47
UBRP14C	69,00	222,00	264,60	X	X	0,53	0,30
UBRP18C	29,00	220,00	257,40	X	X	0,22	0,13
UBRP19C	65,00	200,00	221,70	X	X	0,55	0,32
UBRP20C	109,00	128,00	100,10	X	X	1,45	0,97
UBRP22C	87,00	237,00	185,90	X	X	0,62	0,42
UBRP29C	65,00	169,00	221,70	X	X	0,65	0,36
UBRP30C	137,00	203,00	236,00	X	X	1,15	0,66
UBRP33C	40,00	240,00	336,10	x	X	0,28	0,15



Figura 3.63 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Paraguaçu Paulista-SP



Tabela 3.44 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Paraguaçu Paulista, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH		Cor				
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total	Silte	Arg																
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>						.. % ..						
PAPP37A		100	170	270	220	510	42	20	4	100	50	0	38	154	192	80	0			5,2YR	3,3	1	
PAPP37B		70	240	310	160	530	15	2	1,1	180	90	0	38	271,1	309,1	88	0			7,0YR	3,5	1,3	
PAPP37C		30	240	270	160	570	11	1	0,5	195	95	0	22	290,5	312,5	93	0			8,1YR	3,2	1,3	
PAPP37D		70	210	280	220	500	6	6	0,3	185	95	0	18	280,3	298,3	94	0			6,5YR	3,5	1,4	
PAPP39A		220	520	740	60	200	15	2	0,2	16	9	0	16	25,2	41,2	61	0			2,4YR	3,4	1,8	
PAPP39B		150	430	580	60	360	7	1	0,1	8	5	0	16	13,1	29,1	45	0			2,1YR	3,4	2,2	
PAPP39C		150	430	580	80	340	8	1	0,8	4	4	0	16	8,8	24,8	35	0			1,8YR	3,5	2	
PAPP41A		250	410	660	80	260	20	2	1,8	21	7	0	22	29,8	51,8	58	0			2,6YR	3,5	1,7	
PAPP41B		210	310	520	80	400	7	2	1,7	15	2	0	15	18,7	33,7	55	0			2,6YR	3,3	2,4	
PAPP41C		230	350	580	60	360	7	2	1,1	15	2	0	13	18,1	31,1	58	0			3,2YR	3,2	2,7	

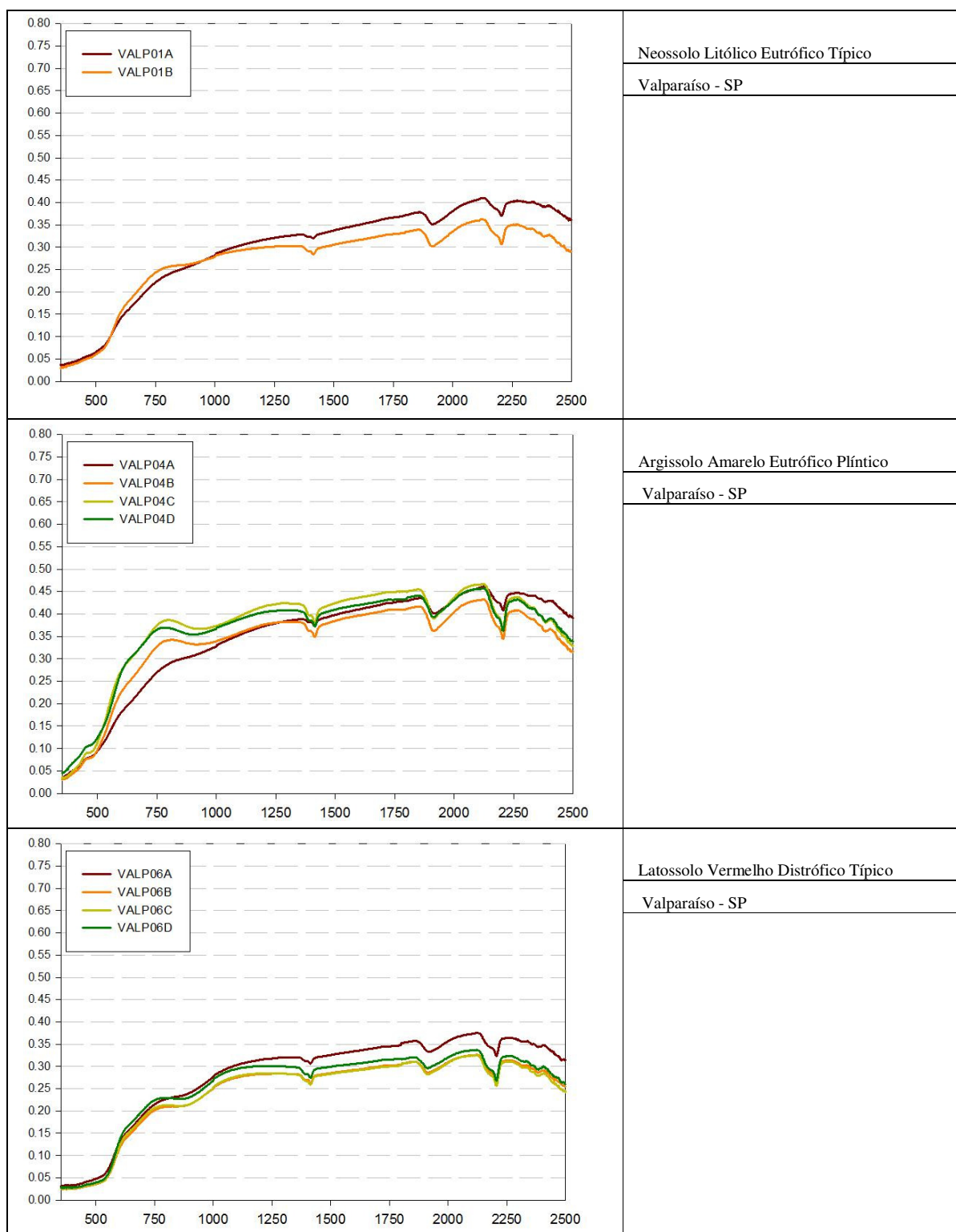


Figura 3.64 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Valparaíso-SP

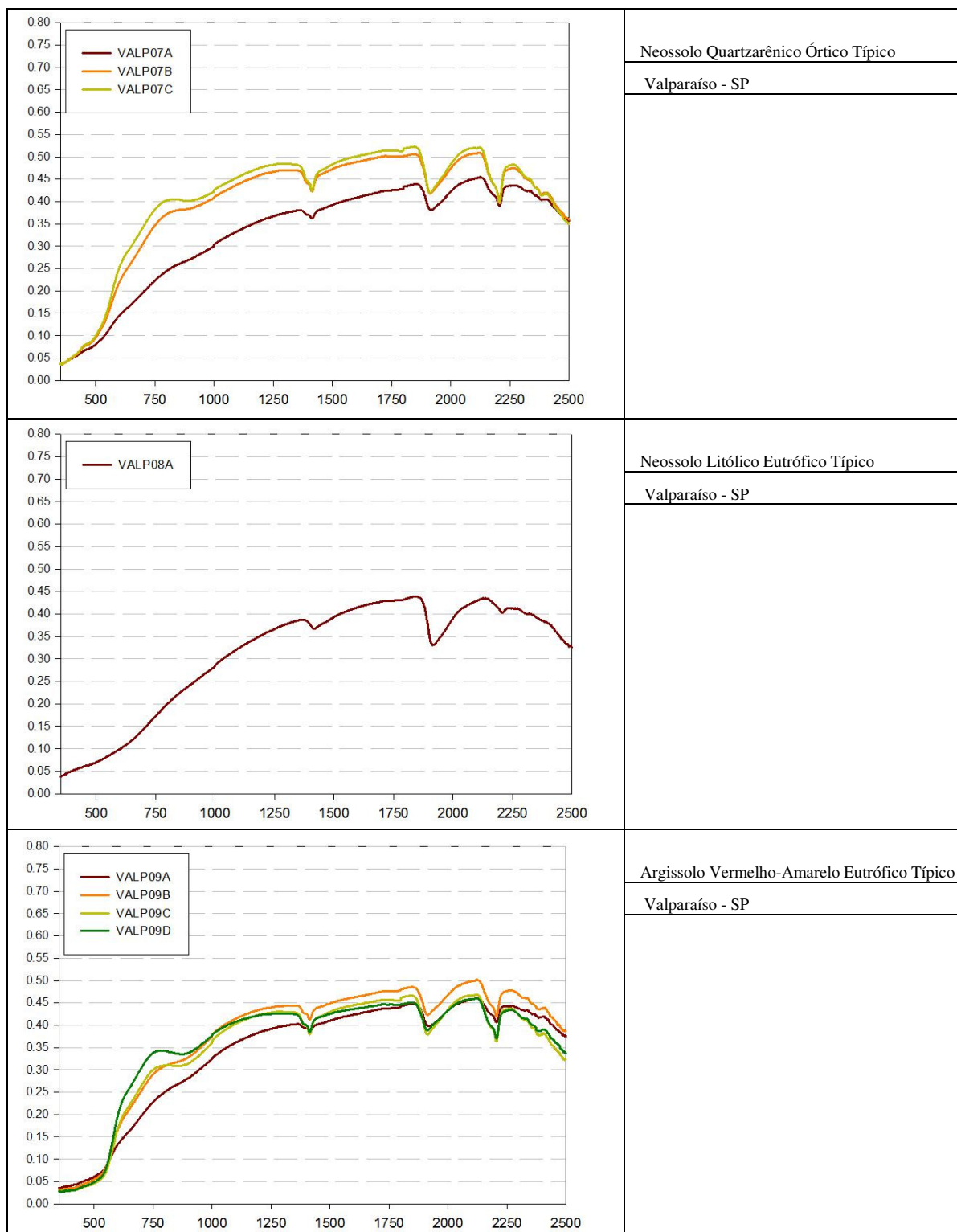


Figura 3.65 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Valparaíso-SP

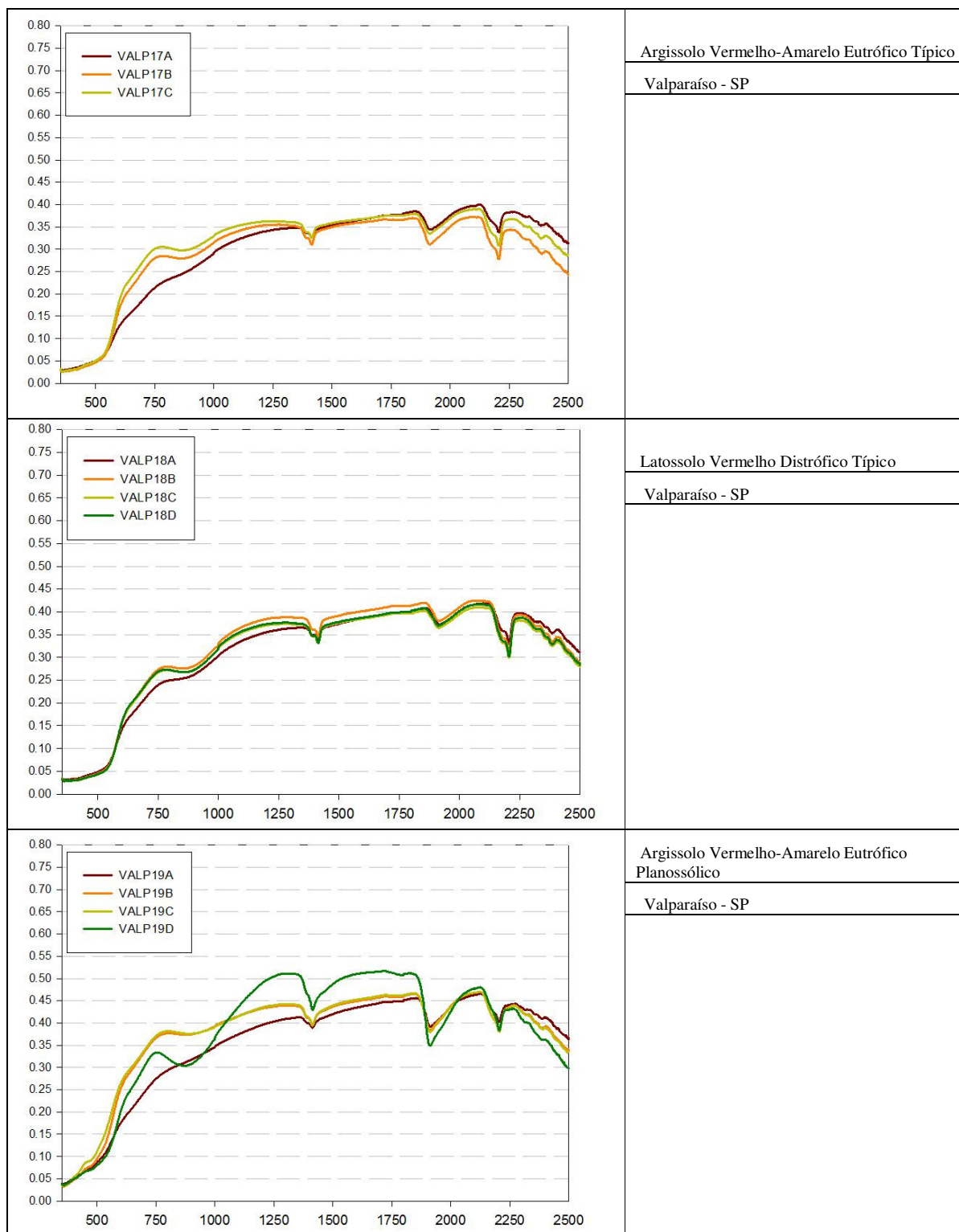


Figura 3.66 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Valparaíso-SP

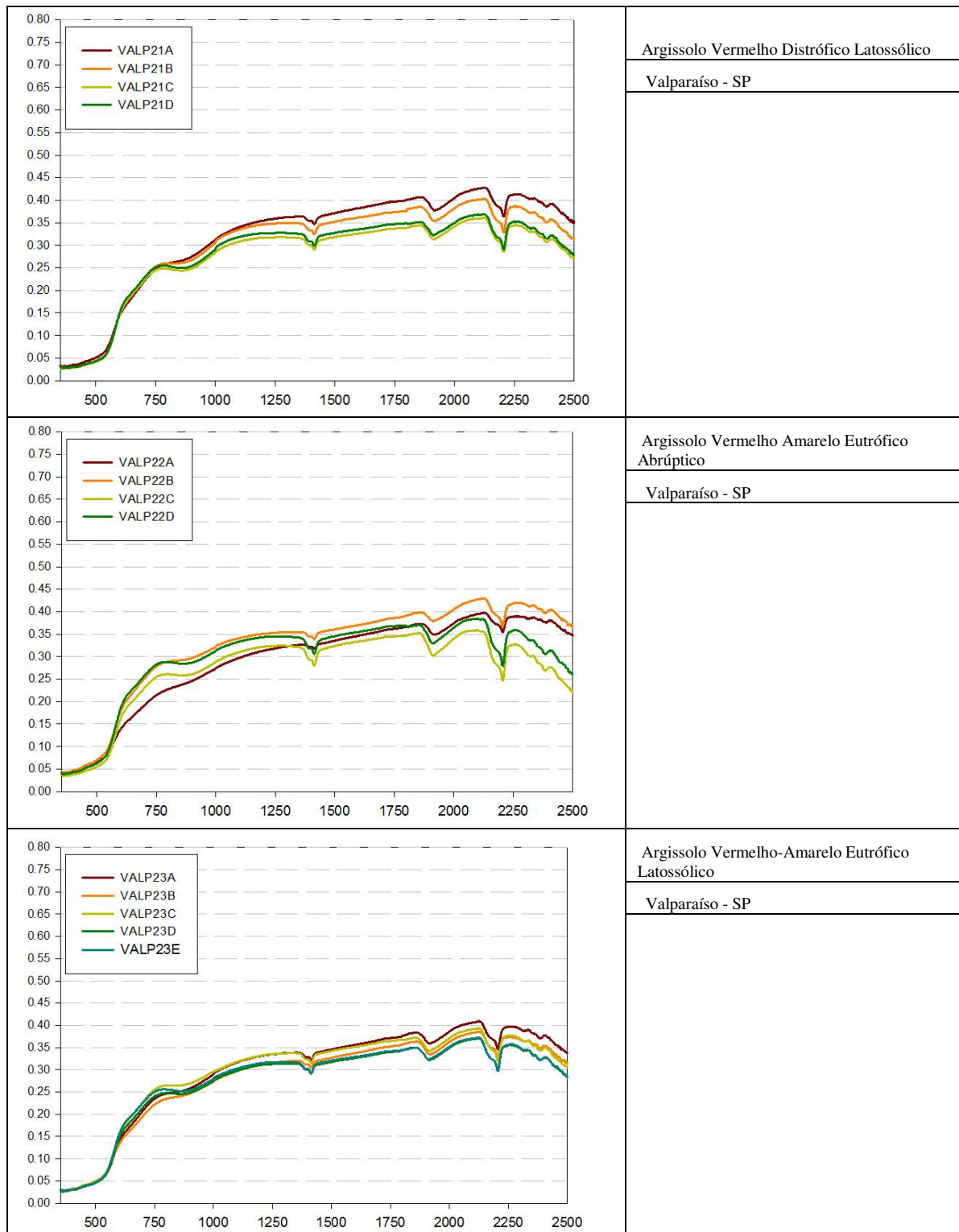


Figura 3.67 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Valparaíso-SP

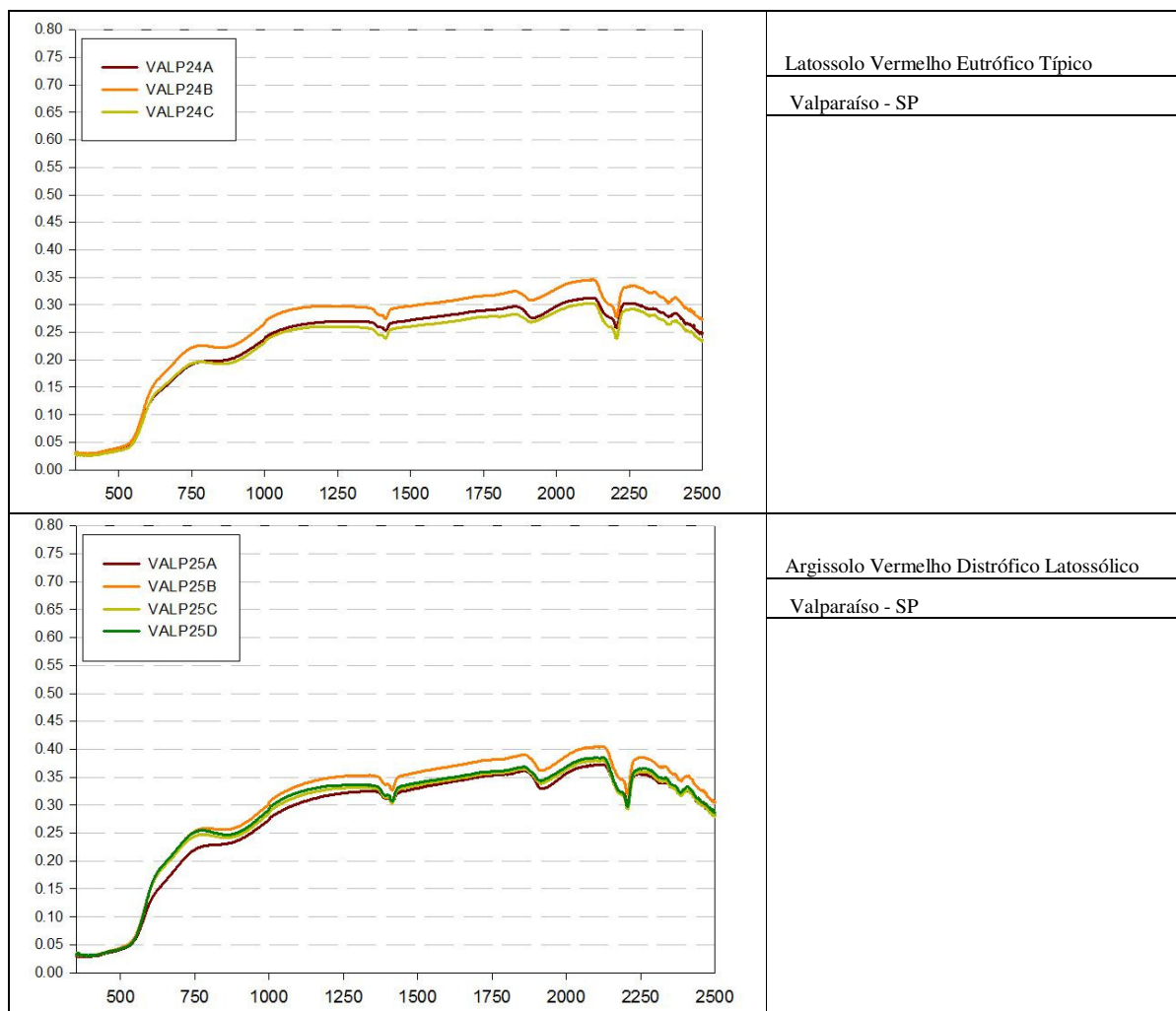


Figura 3.68 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Valparaíso-SP

Tabela 3.45 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Valparaíso, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria													pH			Cor				
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total																		
			g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
VALP01A	Ap	0-15	140	700	840	20	140	5	6	1,5	11	3	0	2	15,5	17,5	89	0	6,2	5,5	6,5YR	3,4	1,8
VALP01B	C	15-60	120	640	760	60	180	10	2	0,6	18	4	0	2	22,6	24,6	92	0	6,2	5,2	5,4YR	3,5	2,5
VALP04A	Ap	0-40	80	700	780	60	160	13	7	1	8	1	2	16	10	26	38	17	5,4	4,3	9,2YR	3,6	1,7
VALP04B	Bt	40-70	80	640	720	60	220	8	1	0,7	11	3	1	7	14,7	21,7	68	6	5,6	4,6	0,1Y	4,1	3
VALP04C	Btp1	70-110	70	590	660	80	260	5	1	0,6	10	3	1	5	13,6	18,6	73	7	5,6	4,8	0,1Y	4,4	3
VALP04D	Bpl	110+	70	610	680	100	220	5	1	3,1	1	1	7	11	5,1	16,1	32	58	4,4	3,9	7,1YR	4,3	3
VALP06A	Ap	00-30	90	670	760	80	160	8	4	2,4	8	3	2	14	13,4	27,4	49	13	6	4,6	3,6YR	3,2	2,2
VALP06B	Bw1	30-69	100	640	740	60	200	5	2	1,1	6	3	2	8	10,1	18,1	56	17	5,6	4,5	3,0YR	3,2	2,8
VALP06C	Bw2	69-123	90	630	720	40	240	20	1	1,8	6	3	2	6	10,8	16,8	64	16	5,7	4,5	2,6YR	3,2	2,9
VALP06D	Bw3	123+	80	620	700	80	220	8	1	1,1	1	1	7	10	3,1	13,1	24	69	5	4	2,3YR	3,2	3,2
VALP07A	Ap	0-15	450	410	860	40	100	8	26	1,4	20	2	0	1	23,4	24,4	96	0	6,6	5,9	7,4YR	3,3	1,5
VALP07B	C1	15-100	460	380	840	40	120	5	4	0,6	9	3	0	1	12,6	13,6	93	0	6,1	5,1	7,0YR	4	2,9
VALP07C	C2	100+	450	370	820	40	140	5	2	0,6	8	2	1	1	10,6	11,6	91	9	6,2	4,7	7,1YR	4,1	2,9
VALP08A	Ap	0-25	90	580	670	130	200	28	94	4,3	70	9	1	36	83,3	119,3	70	1	5,9	4,9	7,3YR	2,8	0,7
VALP09A	Ap	0-30	40	660	700	140	160	23	11	3	16	5	2	25	24	49	49	8	5,5	4,3	4,6YR	3,4	1,4
VALP09B	AB	30-60	30	610	640	160	200	5	4	1,6	13	6	0	7	20,6	27,6	75	0	5,9	4,8	3,6YR	3,5	2,5
VALP09C	Bt1	60-140	30	550	580	140	280	8	2	1,1	22	3	0	7	26,1	33,1	79	0	5,8	4,9	3,3YR	3,3	3,6
VALP09D	Bt2	140+	30	600	630	130	240	5	1	1,5	11	7	0	3	19,5	22,5	87	0	6,3	5,1	2,8YR	3,6	3,7
VALP17A	Ap	0-30	20	700	720	120	160	10	5	1,3	15	2	2	22	18,3	40,3	45	10	5,4	4,3	5,1YR	3,3	2,5
VALP17B	Bt1	30-120	10	590	600	100	300	5	2	0,6	19	4	0	9	23,6	32,6	72	0	5,9	4,9	3,0YR	3,7	3,6
VALP17C	Bt2	120+	10	630	640	100	260	8	1	0,8	12	9	0	3	21,8	24,8	88	0	6	5,1	3,3YR	3,6	3,7

Tabela 3.46 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Valparaíso, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria													pH			Cor				
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total																		
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>						.. % ..								
VALP18A	Ap	0-30	110	670	780	40	180	8	8	1,7	3	2	4	14	6,7	20,7	32	37	5,3	4,2	3,0YR	3,4	2,7
VALP18B	AB	30-47	80	620	700	60	240	8	2	1	1	1	9	16	3	19	16	75	4,6	4	2,3YR	3,3	3,2
VALP18C	Bw1	47-100	90	610	700	60	240	5	1	0,3	4	2	4	8	6,3	14,3	44	39	4,9	4,2	2,5YR	3,2	3,4
VALP18D	Bw2	100+	70	610	680	80	240	8	1	0,5	4	2	3	4	6,5	10,5	62	32	4,4	4,2	2,1YR	3,4	3,9
VALP19A	Ap	0-25	50	710	760	100	140	5	5	4,7	2	1	13	30	7,7	37,7	20	63	4,6	3,6	7,4YR	3,5	2,2
VALP19B	Bt	25-110	40	680	720	100	180	8	2	7,2	11	5	0	2	23,2	25,2	92	0	6	5,2	7,1YR	4,1	3,5
VALP19C	Btg	110-160	40	660	700	120	180	5	1	7,5	18	3	0	1	28,5	29,5	97	0	6,2	5,6	8,5YR	4,2	3,2
VALP19D	R	160+	150	610	760	100	140	8	1	3	8	26	2	7	37	44	84	5	5,2	4,5	3,5YR	3,9	3
VALP21A	Ap	0-31	150	670	820	60	120	8	3	1,3	3	1	9	21	5,3	26,3	20	63	4,5	4	3,8YR	3,2	2,3
VALP21B	Bt	31-80	130	650	780	60	160	5	2	1,7	5	1	6	15	7,7	22,7	34	44	4,8	4,1	3,0YR	3,4	2,8
VALP21C	Bw1	80-140	140	620	760	60	180	5	1	1,6	7	2	1	5	10,6	15,6	68	9	5,2	4,4	2,8YR	3,3	3,3
VALP21D	Bw2	140+	130	610	740	80	180	5	1	1,3	6	3	0	4	10,3	14,3	72	0	5,5	4,8	2,5YR	3,3	3,2
VALP22A	Ap	0-18	150	710	860	40	100	13	25	1,9	11	2	0	12	14,9	26,9	55	0	5,8	4,8	5,3YR	3,2	1,6
VALP22B	Bt1	18-60	140	720	860	40	100	8	2	1,1	2	1	3	7	4,1	11,1	37	42	5,2	4,1	4,6YR	3,5	2,5
VALP22C	Bt2	60-95	130	550	680	40	280	5	1	3,3	12	3	2	12	18,3	30,3	60	10	5,4	4,3	4,4YR	3,8	3,7
VALP22D	Bt3	95+	140	580	720	60	220	5	1	0,9	11	3	0	1	14,9	15,9	94	0	6,1	5,3	4,3YR	3,7	3,6



Tabela 3.47 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Valparaíso, SP

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total																		
			g/kg			mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>			.. % ..											
VALP23A	Ap	0-20	130	710	840	40	120	5	12	1,1	9	2	1	5	12,1	17,1	71	8	6	4,9	3,6YR	3,5	2,4
VALP23B	AB	20-40	120	720	840	40	120	13	5	0,7	9	4	0	7	13,7	20,7	66	0	6,2	5,2	4,9YR	3,2	2,5
VALP23C	Bt1	40-80	100	680	780	60	160	10	2	0,6	6	4	2	9	10,6	19,6	54	16	5,6	4,5	3,9YR	3,4	2,5
VALP23D	Bt2	80-120	90	650	740	60	200	5	1	2,1	3	3	4	11	8,1	19,1	42	33	5,2	4,2	3,9YR	3,4	3
VALP23E	Bw	120+	90	630	720	80	200	5	1	2,1	2	2	2	6	6,1	12,1	50	25	5,4	4,4	3,9YR	3,5	3,1
VALP24A	Ap	0-30	170	630	800	40	160	10	7	1,6	23	4	0	4	28,6	32,6	88	0	6,5	5,7	3,0YR	3,1	2,8
VALP24B	Bw1	30-110	140	600	740	40	220	5	2	0,7	7	4	0	4	11,7	15,7	75	0	5,1	5,2	2,3YR	3,1	2,9
VALP24C	Bw2	110+	130	580	710	110	180	5	1	0,7	3	2	2	5	5,7	10,7	53	26	5,9	4,3	1,9YR	3,3	2,6
VALP25A	Ap	0-15	90	730	820	40	140	8	4	1,6	10	2	2	13	13,6	26,6	51	13	5,9	4,5	2,6YR	3,2	2,6
VALP25B	Bt1	15-50	80	680	760	40	200	10	2	1,4	2	1	6	15	4,4	19,4	23	58	4,8	4,1	2,7YR	3,2	3
VALP25C	Bt2	50-100	80	640	720	60	220	5	1	0,8	3	1	8	14	4,8	18,8	26	63	4,4	3,9	2,5YR	3,4	3,1
VALP25D	Bt3	100+	70	630	700	80	220	5	1	0,1	3	1	3	4	4,1	8,1	51	42	4,6	4,2	2,0YR	3,4	3,5

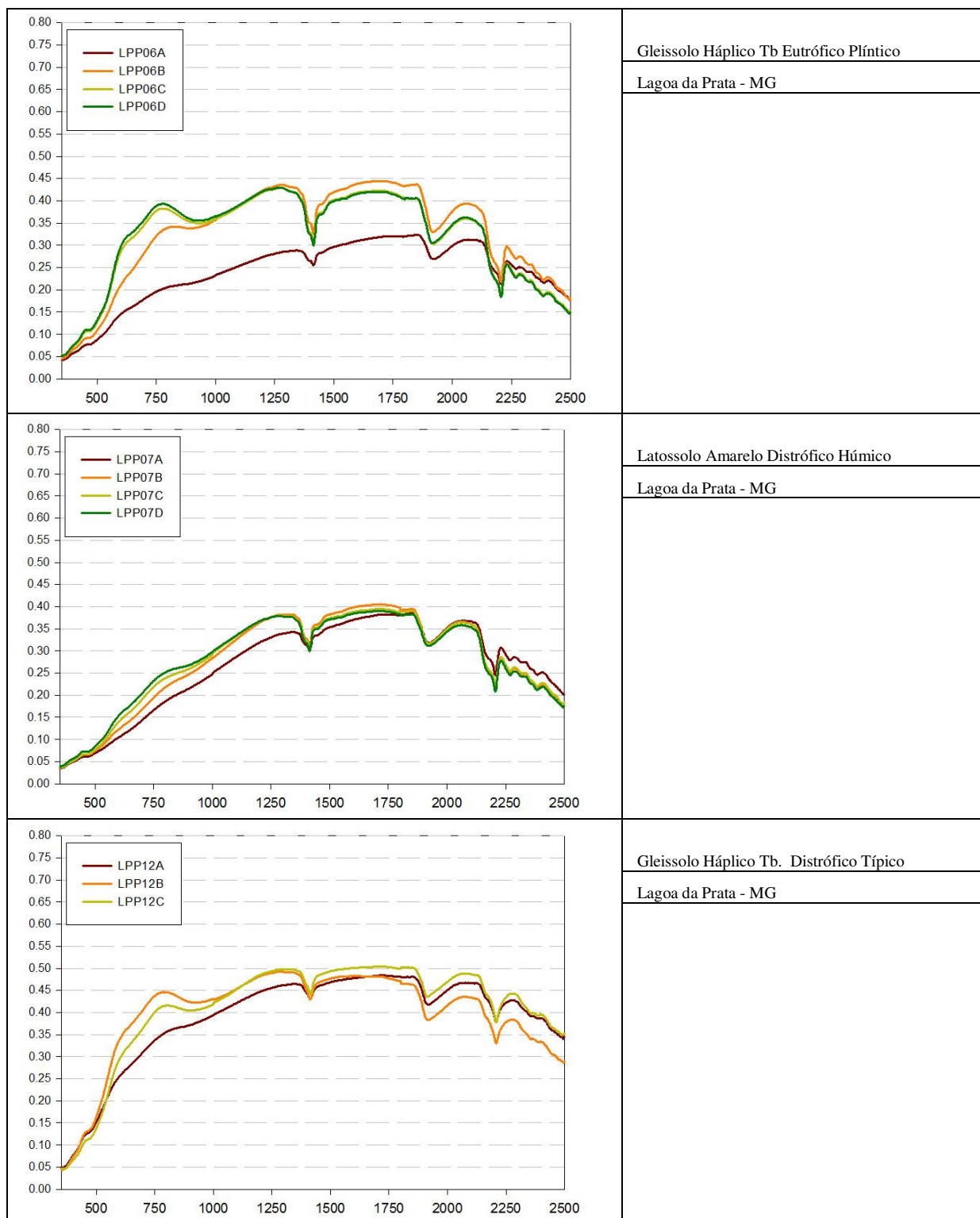


Figura 3.69 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Lagoa da Prata - MG

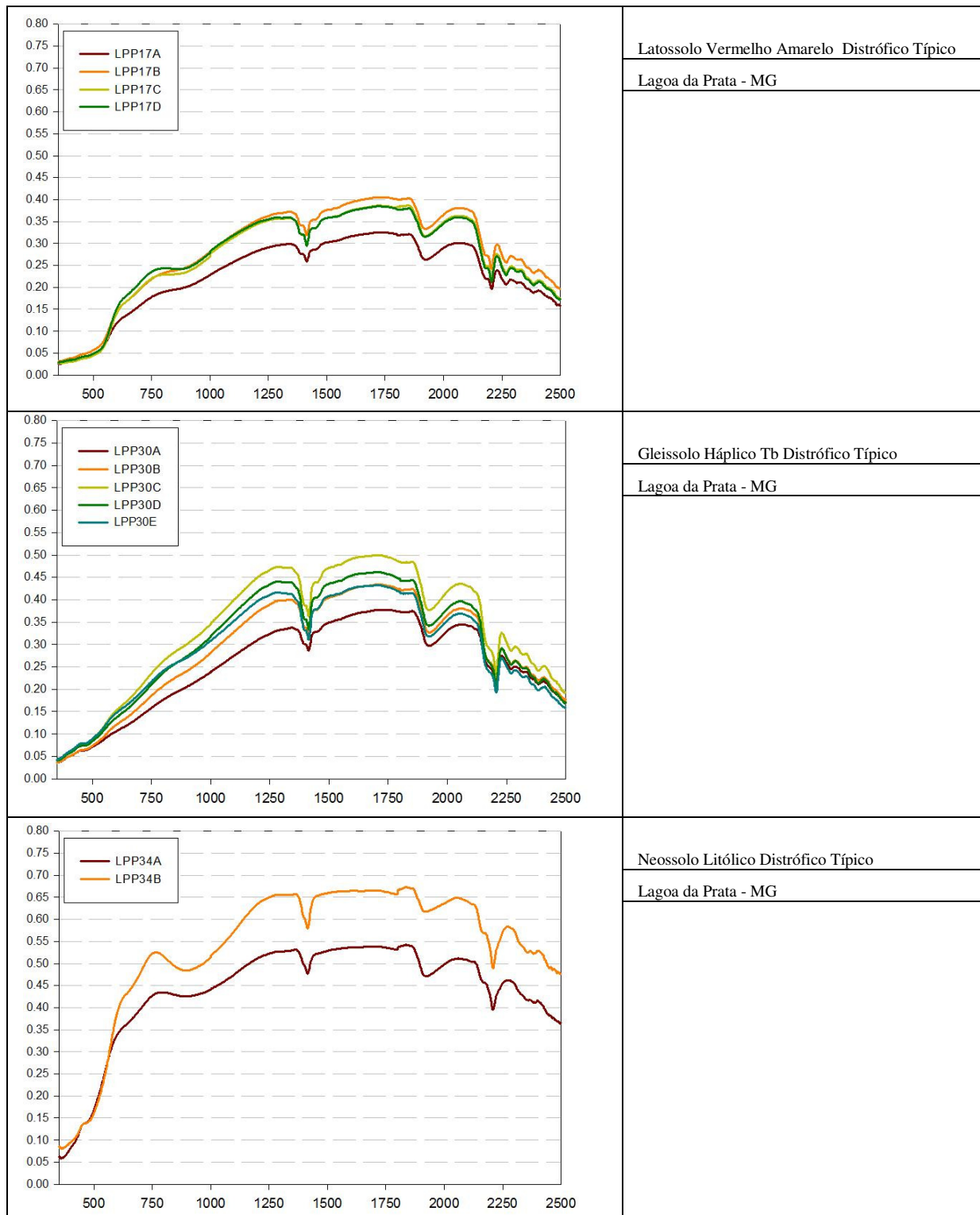


Figura 3.70 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Lagoa da Prata – MG

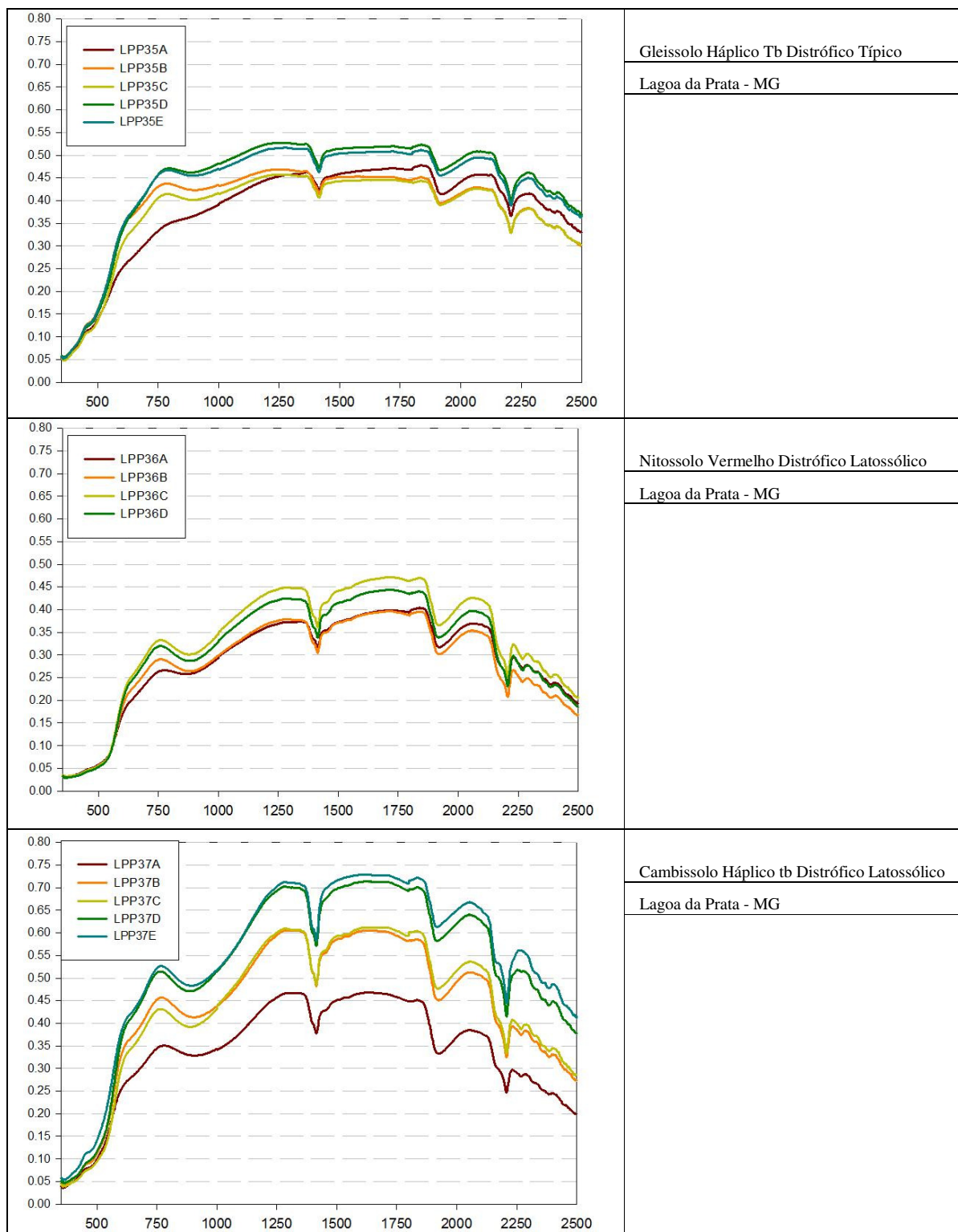


Figura 3.71 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Lagoa da Prata - MG

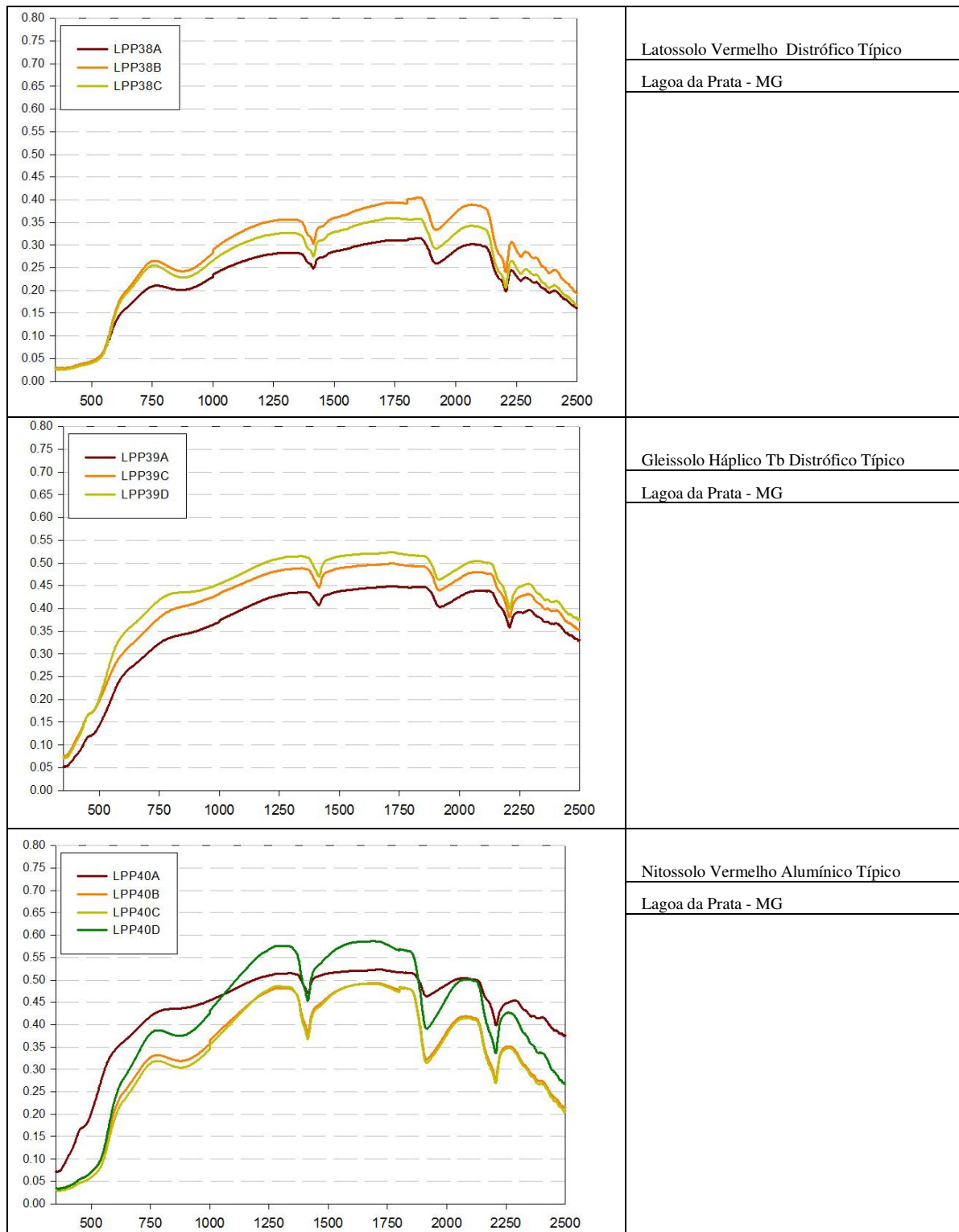


Figura 3.72 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Lagoa da Prata - MG

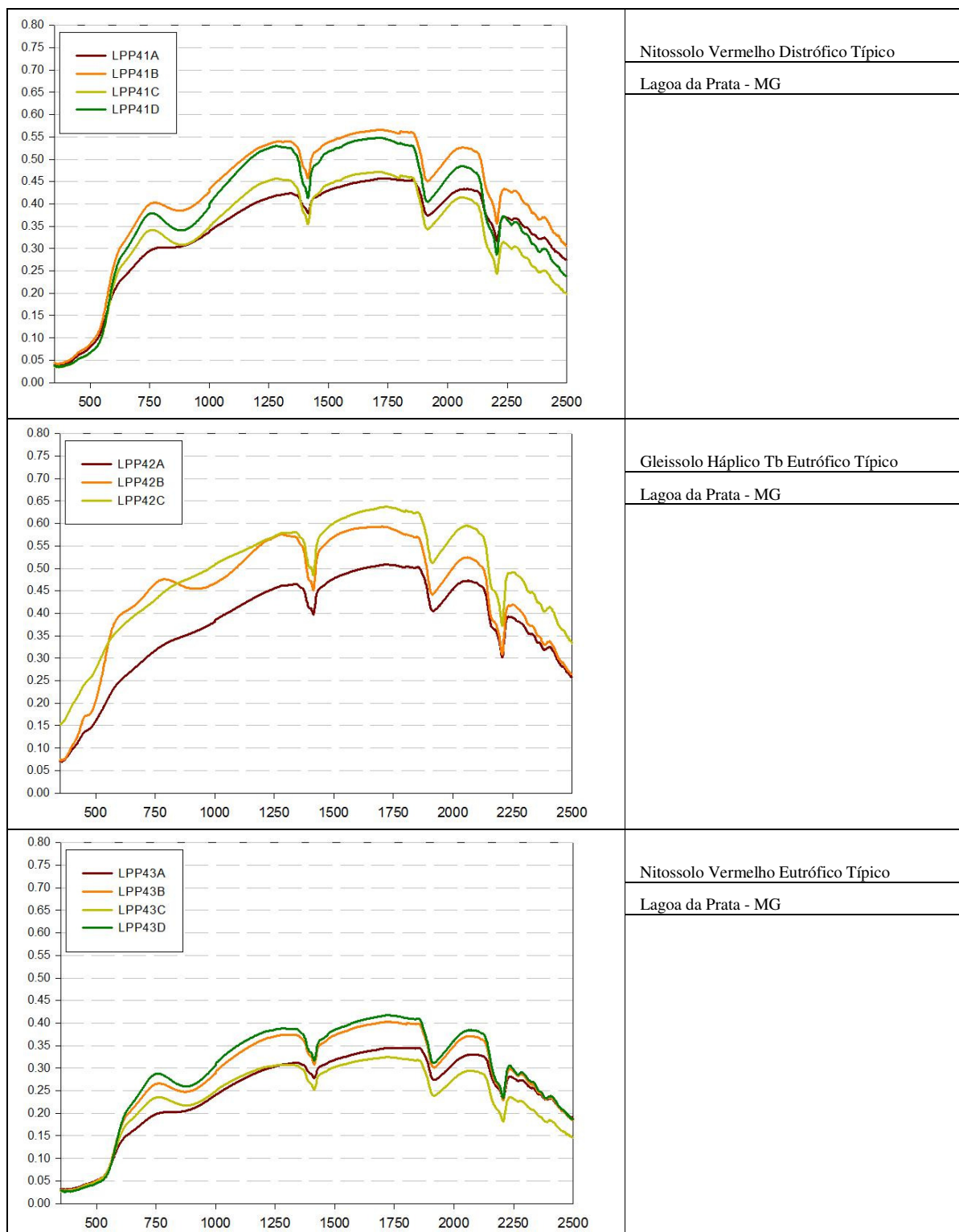


Figura 3.73 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Lagoa da Prata - MG

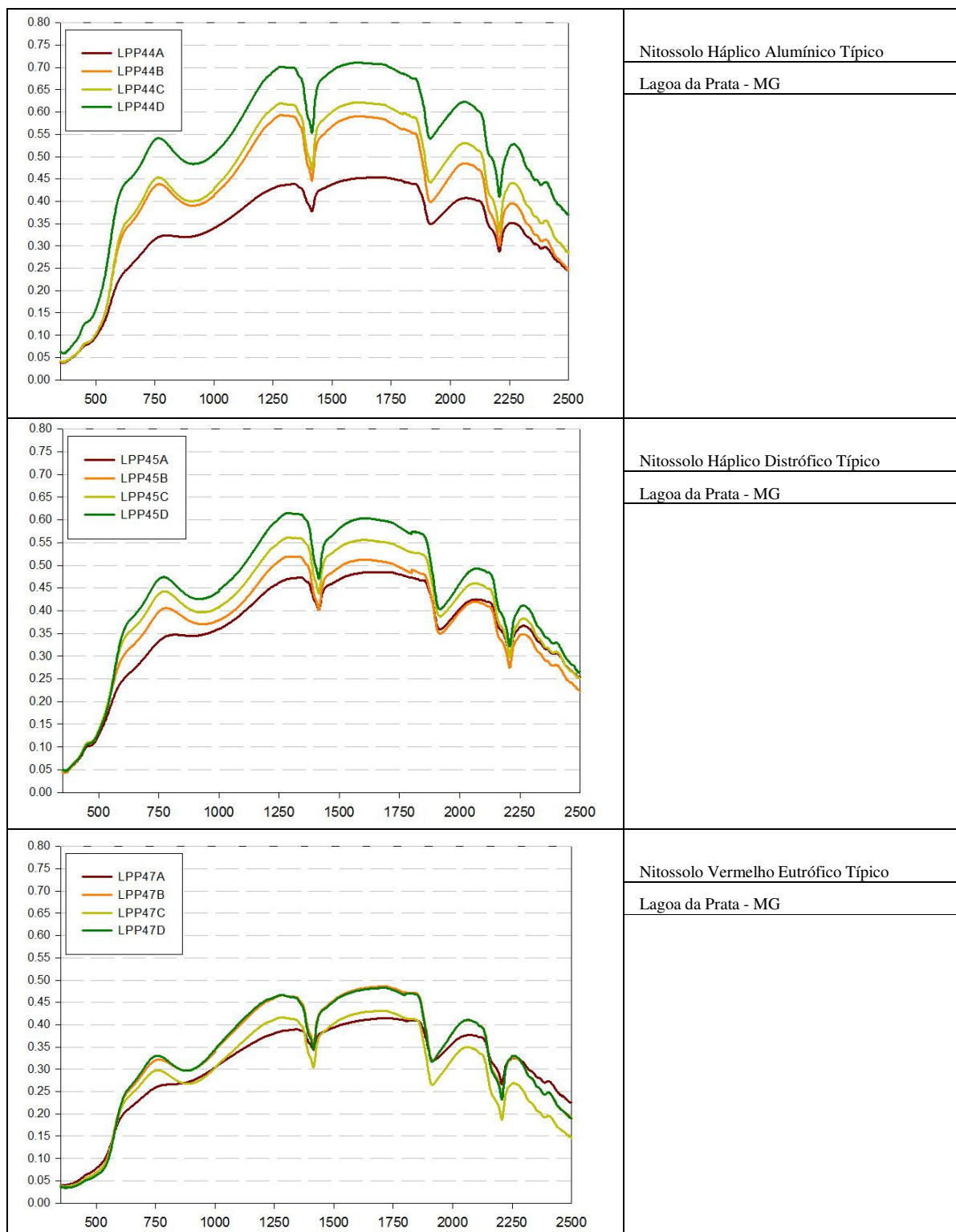


Figura 3.74 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Lagoa da Prata - MG



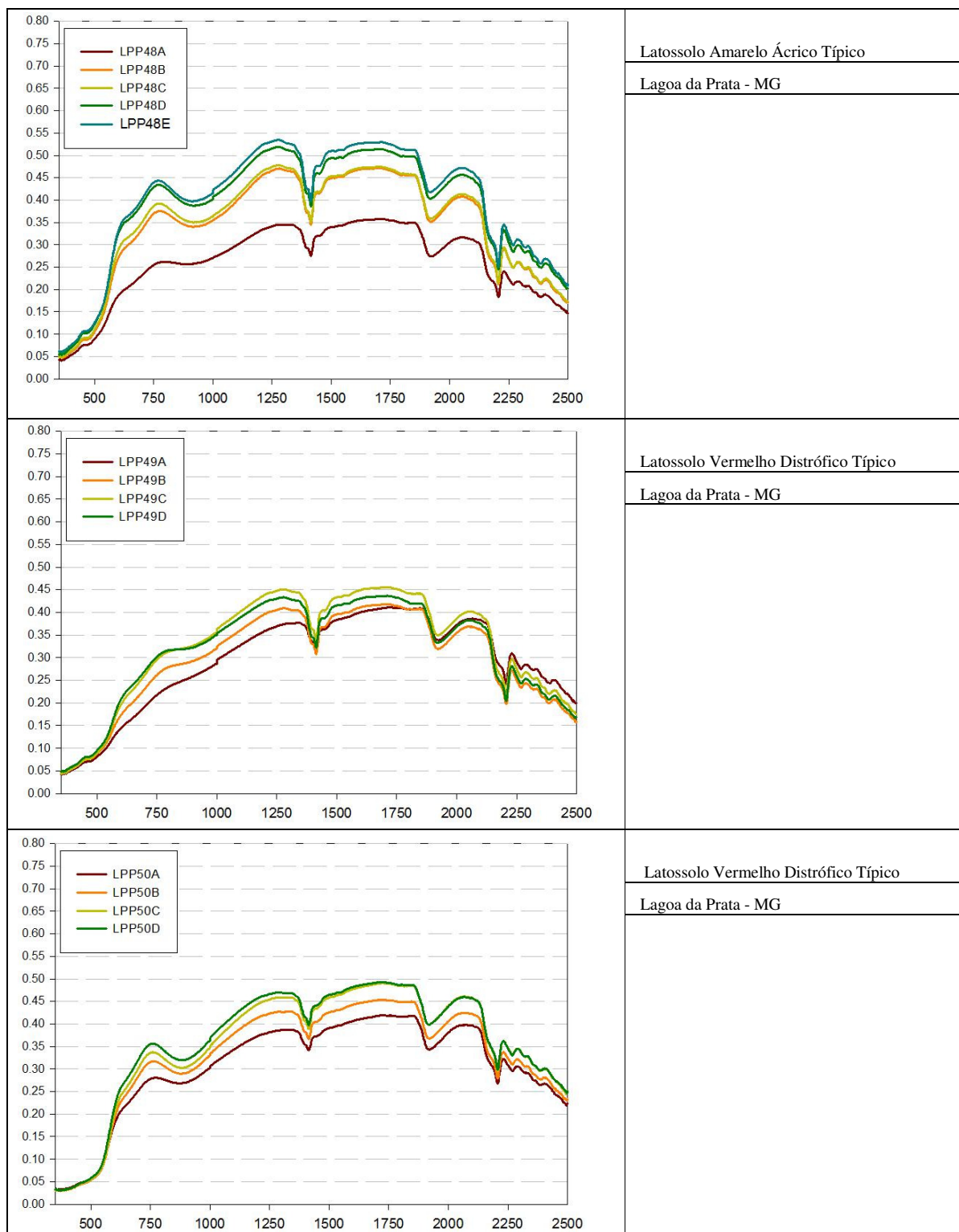


Figura 3.75 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Lagoa da Prata - MG



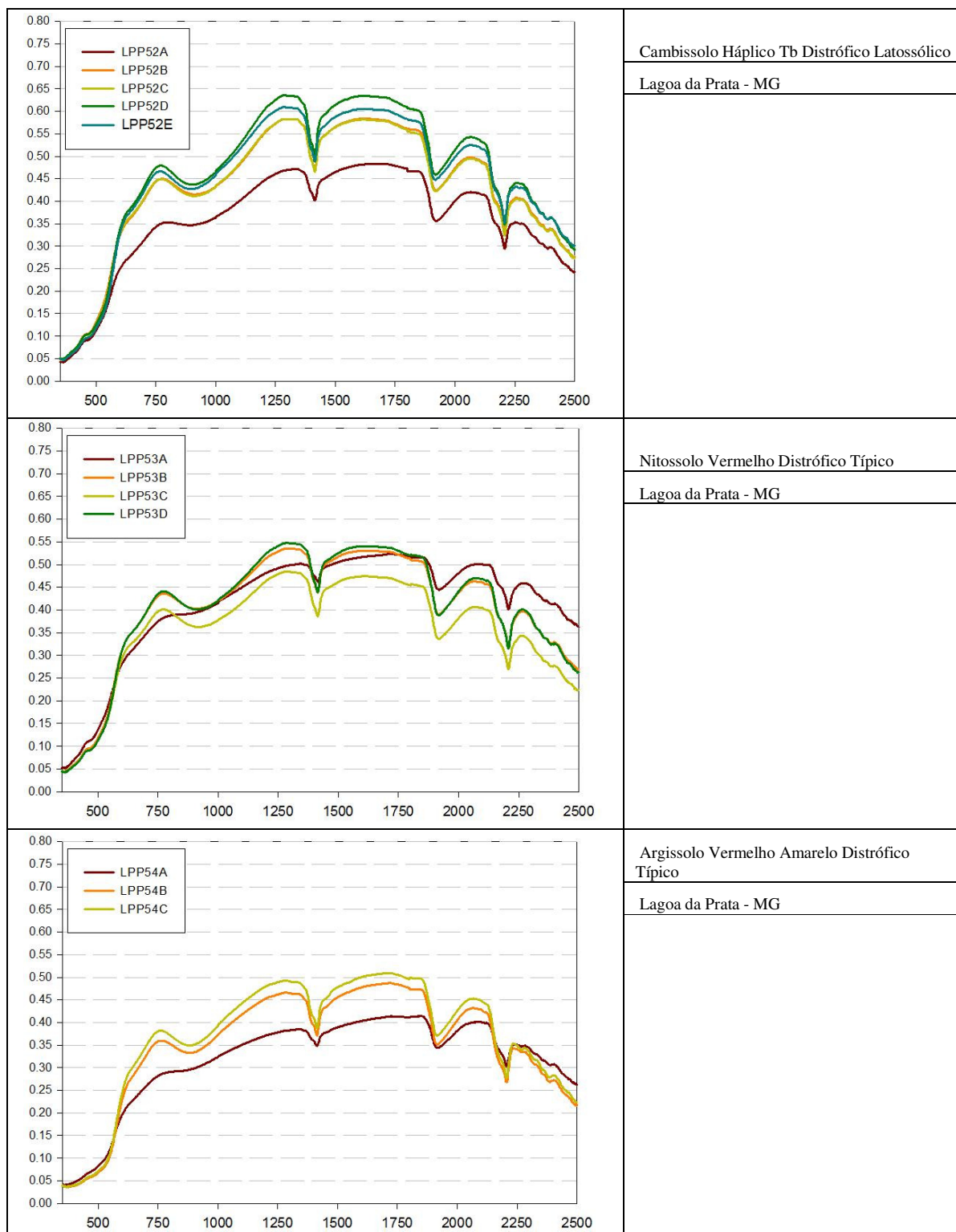


Figura 3.76 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Lagoa da Prata – MG

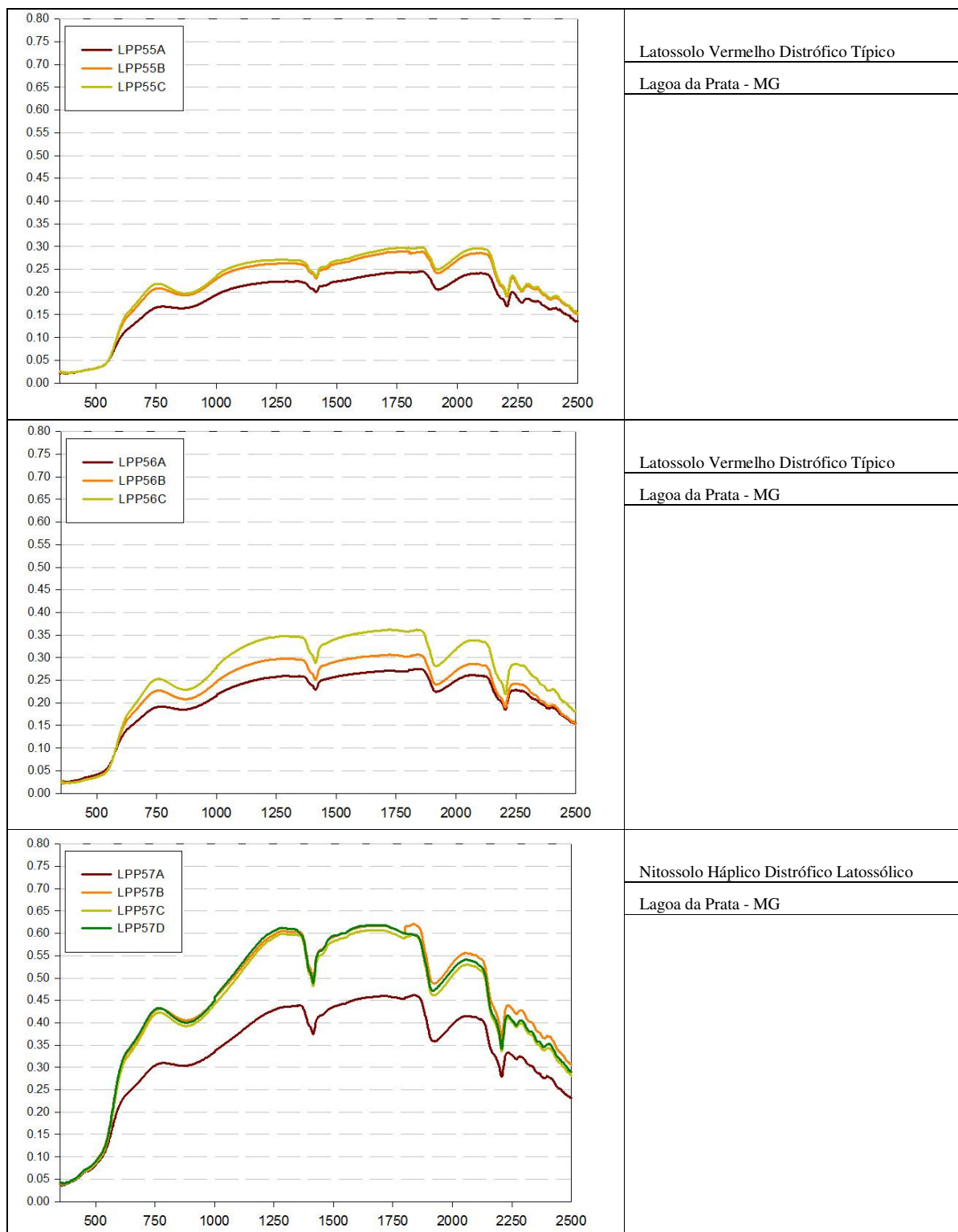


Figura 3.77 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Lagoa da Prata - MG

Tabela 3.48 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Lagoa da Prata, MG

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..				
LPP06A	AP	0-40	450	130	580	60	360	22	105	10,8	41	7	0	26	58,8	84,8	69	0	6	
LPP06B	AB	40-80	90	450	540	40	420	11	1	4,8	18	3	0	15	25,8	40,8	63	0	5,6	
LPP06C	Btg	80050	280	170	450	40	510	7	1	3	8	1	0	13	12	25	48	0	5,3	5
LPP06D	BTpl	150+	110	340	450	40	510	7	1	2	9	1	0	10	12	22	55	0	5,1	
LPP07A	AP	0-35	440	140	580	60	360	22	6	3,3	32	7	0	31	42,3	73,3	58	0	5,9	
LPP07B	Bw1	35-95	360	160	520	40	440	17	1	1,6	7	2	8	48	10,6	58,6	18	43	4,8	
LPP07C	Bw2	95050	370	170	540	60	400	12	1	1,9	4	1	7	48	6,9	54,9	13	50	4,7	4
LPP07D	Bw3	150+	350	150	500	60	440	11	1	1,7	5	2	5	32	8,7	40,7	21	36	4,7	
LPP12A	A	0-30	10	10	20	120	870	27	34	6,7	51	12	1	51	69,7	120,7	58	1	5	
LPP12B	C	30010	10	40	50	250	700	10	3	0,6	6	2	25	49	8,6	57,6	15	74	4,8	
LPP12C	C	110090	160	0	160	330	510	7	1	0,6	3	3	22	38	6,6	44,6	15	77	4,9	3,8
LPP17A	Ap	0-20	60	60	120	80	800	35	10	1	16	5	9	90	22	112	20	29	4,9	
LPP17B	AB	20-50	60	10	70	60	870	27	2	0,4	15	5	6	74	20,4	94,4	22	23	5,1	
LPP17C	Bw1	50010	50	40	90	40	870	20	1	0,2	4	2	8	55	6,2	61,2	10	56	4,9	4,1
LPP17D	Bw2	110+	50	10	60	60	880	18	1	0,2	4	1	8	54	5,2	59,2	9	61	4,9	
LPP30A		0-30	300	150	450	60	490	25	14	1,1	24	5	4	70	30,1	100,1	30	12	5,4	
LPP30B		30-65	280	170	450	40	510	22	2	0,7	11	3	11	56	14,7	70,7	21	43	4,6	
LPP30C		6500	60	350	410	40	550	18	1	0,4	7	2	9	59	9,4	68,4	14	49	4,6	4,1
LPP30D		100050	290	140	430	40	530	18	1	0,2	5	1	12	57	6,2	63,2	10	66	4,7	
LPP30E		150+	250	130	380	60	560	15	1	0,2	5	1	9	51	6,2	57,2	11	59	5	

Tabela 3.49 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Lagoa da Prata, MG

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria													pH				
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	pH	
			Grossa	fin	total	Silte	Arg												H <sub>2</sub> O	KCl
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..				
LPP34A	0-40	20	10	30	360	630	23	4	1,3	27	6	1	22	34,3	56,3	61	3	5,7	4,6	
LPP34B	40-210	20	40	60	480	460	9	1	0,6	4	1	8	19	5,6	24,6	23	59	5,1	4,2	
LPP35A	0-30	10	10	20	270	710	28	7	1,6	47	8	0	30	56,6	86,6	65	0	5,9	5	
LPP35B	30-60	0	10	10	240	750	12	1	0,8	32	2	0	10	34,8	44,8	78	0	5,9	5,2	
LPP35C	60-100	0	40	40	260	780	9	1	0,7	22	2	2	18	24,7	42,7	58	7	5,6	4,8	
LPP35D	100-15	0	40	40	290	750	9	1	0,9	6	1	14	35	7,9	42,9	18	64	5	3,9	
LPP35E	150+	0	100	100	230	670	9	1	0,6	4	1	18	40	5,6	45,6	12	76	5	3,9	
LPP36A	0-50	40	30	70	100	830	28	121	1,4	32	9	2	38	42,4	80,4	53	5	5,1	4,3	
LPP36B	50-110	30	10	40	80	880	18	5	0,3	4	1	12	35	5,3	40,3	13	69	4,7	4	
LPP36C	100-14	30	0	30	80	890	14	1	0,2	3	1	4	31	4,2	35,2	12	49	4,8	4,2	
LPP36D	140+	30	10	40	80	880	11	1	0,2	2	1	2	29	3,2	32,2	10	38	4,8	4,4	
LPP37A	0-40	10	30	40	250	710	33	5	1,6	10	3	15	55	14,6	69,6	21	51	4,5	3,9	
LPP37B	40-75	10	70	80	220	700	18	1	0,9	1	1	11	39	2,9	41,9	7	79	4,5	4,1	
LPP37C	75-150	10	30	40	210	750	11	1	0,6	1	1	11	30	2,6	32,6	8	81	4,8	4,1	
LPP37D	150-20	0	90	90	180	730	7	1	0,3	2	1	25	30	3,3	33,3	10	88	5	3,9	
LPP37E	200+	10	60	70	200	730	7	1	0,3	1	1	32	42	2,3	44,3	5	93	5	4	
LPP38A	0-25	10	10	20	120	860	31	16	3,1	19	6	3	52	28,1	80,1	35	10	4,9	4,2	
LPP38B	25-90	10	0	10	80	930	20	2	0,3	7	2	8	46	9,3	55,3	17	46	4,7	4	
LPP38C	90+	10	10	20	60	920	16	1	0,2	2	1	4	38	3,2	41,2	8	56	4,8	4,2	
LPP39A	0-40	0	10	10	320	690	28	70	1	24	6	2	49	31	80	39	6	5,3	4,4	
LPP39C	70-130	10	30	40	350	610	15	13	0,6	13	1	4	29	14,6	43,6	33	22	5,3	4,2	
LPP39D	130+	0	20	20	330	650	14	13	0,6	15	1	2	19	16,6	35,6	47	11	5,3	4,3	

Tabela 3.50 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Lagoa da Prata, MG

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>					.. % ..				
LPP40A	0-40	20	70	90	300	610	23	6	2,2	21	7	9	49	30,2	79,2	38	23	5	3,9	
LPP40B	40-65	10	10	20	160	820	17	1	1,1	20	8	17	58	29,1	87,1	33	37	4,9	3,9	
LPP40C	65-140	0	10	10	100	910	14	1	0,9	5	4	46	73	9,9	82,9	12	82	4,6	3,7	
LPP40D		10	10	20	150	830	9	1	1	2	2	41	65	5	70	7	89	4,7	3,7	
LPP41A	35-60	20	60	80	270	650	25	8	1	63	17	0	19	81	100	81	0	6,2	5,1	
LPP41B	60-140	20	20	40	180	780	16	1	0,7	23	8	4	33	31,7	64,7	49	11	5,2	4,1	
LPP41C	140+	0	0	0	100	900	11	1	0,6	8	7	7	34	15,6	49,6	31	31	5,1	4,1	
LPP41D		0	0	0	80	920	11	1	1	2	5	14	41	8	49	16	64	5,2	3,9	
LPP42A	50-150	0	20	20	230	750	33	14	1,6	49	15	1	35	65,6	100,6	65	2	5,2	4,5	
LPP42B	150+	0	20	20	200	780	12	1	0,4	30	2	1	11	32,4	43,4	75	3	5,7	4,9	
LPP42C		50	210	260	260	480	12	1	0,5	22	2	1	17	24,5	41,5	59	4	5,8	4,5	
LPP43A	0-35	90	80	170	100	730	33	6	4,3	49	10	1	38	63,3	101,3	62	2	5,3	4,7	
LPP43B	35-90	50	40	90	60	850	17	1	0,5	55	9	0	18	64,5	82,5	78	0	6,2	5,5	
LPP43C	0-155	70	70	140	40	820	17	1	0,4	45	7	0	14	52,4	66,4	79	0	6,3	5,4	
LPP43D	155+	50	40	90	40	870	13	1	0,3	37	7	0	12	44,3	56,3	79	0	6,3	5,6	
LPP44A	0-30	30	10	40	230	750	25	7	12,5	26	14	3	46	52,5	98,5	53	5	5,1	4,2	
LPP44B	30-110	20	0	20	120	860	14	1	1,6	6	1	20	49	8,6	57,6	15	70	4,6	3,9	
LPP44C	110-17	20	10	30	160	810	11	1	0,7	4	1	36	56	5,7	61,7	9	86	4,4	3,8	
LPP44D	170+	20	20	40	280	680	9	1	0,6	3	1	40	54	4,6	58,6	8	90	4,3	3,8	

Tabela 3.51 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Lagoa da Prata, MG

Identificação	Horizonte	Prof. cm	Granulometria														pH			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl
			Grossa	fin	total	Silte	Arg													
			g/kg					mg.kg <sup>-1</sup>			mmolc.kg <sup>-1</sup>					%				
LPP45A	0-35	20	20	10	30	240	750	28	4	4,8	31	12	4	41	47,8	88,8	54	8	5,1	4,1
LPP45B	35-50	10	10	70	80	220	840	20	2	0,8	9	2	23	48	11,8	59,8	20	66	4,6	3,8
LPP45C	50-145	0	0	0	180	820	14	1	0,6	4	1	26	43	5,6	48,6	12	82	4,7	3,8	
LPP45D	145+	10	10	30	40	140	880	12	1	0,7	2	1	27	51	3,7	54,7	7	88	4,6	3,8
LPP47A	0-40	20	20	30	50	220	730	33	21	4,3	75	15	1	28	94,3	122,3	77	1	5,7	4,9
LPP47B	40-90	10	10	-20	-10	120	890	14	3	1,1	74	10	0	7	85,1	92,1	92	0	6,7	5,2
LPP47C	90-150	10	10	-30	-20	120	900	12	5	1,1	67	9	0	6	77,1	83,1	93	0	6,6	5,5
LPP47D	150+	10	10	30	40	140	820	9	5	1	59	10	0	10	70	80	88	0	6,7	5,6
LPP48A	0-30	200	200	150	350	20	630	26	35	3,2	23	7	0	25	33,2	58,2	57	0	6,1	5,2
LPP48B	30-60	120	120	110	230	20	750	17	2	2	15	5	0	14	22	36	61	0	6,1	5,6
LPP48C	60-110	190	190	80	270	80	670	14	1	0,8	16	4	0	10	20,8	30,8	68	0	6,5	5,9
LPP48D	110-15	140	140	100	240	20	740	13	1	0,1	7	1	0	11	8,1	19,1	42	0	6	5,8
LPP48E	150+	260	260	90	350	20	630	9	1	0,1	5	1	0	8	6,1	14,1	43	0	5,7	5,5
LPP49A	0-40	250	250	100	350	20	630	28	10	3,3	22	5	1	39	30,3	69,3	44	3	5,1	4,5
LPP49B	40-115	220	220	80	300	20	680	20	1	0,8	6	2	4	41	8,8	49,8	18	31	4,8	4,2
LPP49C	115-16	230	230	90	320	20	660	18	1	0,2	3	1	5	41	4,2	45,2	9	54	4,6	4,2
LPP49D	160+	200	200	100	300	20	680	14	1	0,2	3	1	4	30	4,2	34,2	12	49	4,7	4,2
LPP50A	0-30	10	10	0	10	140	850	32	19	3,5	31	9	1	30	43,5	73,5	59	2	5,2	4,6
LPP50B	30-85	10	10	30	40	140	880	27	2	0,3	6	2	7	37	8,3	45,3	18	46	5	4,1
LPP50C	85-130	0	0	0	120	880	17	1	0,3	4	1	3	29	5,3	34,3	15	36	4,5	4,3	
LPP50D	130+	10	10	20	30	120	890	14	1	0,3	2	1	3	28	3,3	31,3	11	48	4,8	4,4

Tabela 3.52 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Lagoa da Prata, MG

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria													pH					
			Areia						M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	pH	
			Grossa	fin	total	Silte	Arg													H <sub>2</sub> O	KCl
			g/kg						mg.kg <sup>-1</sup>	mmolc.kg <sup>-1</sup>						.. % ..					
LPP52A	0-20	10	30	40	250	710	35	4	2,3	36	22	2	36	60,3	96,3	63	3	5,2	4,4		
LPP52B	20-60	10	20	30	240	770	18	1	0,6	2	1	16	43	3,6	46,6	8	82	4,7	3,9		
LPP52C	60-100	10	0	10	200	790	15	1	0,5	2	1	10	29	3,5	32,5	11	74	4,8	4,1		
LPP52D	100-15	10	10	20	180	800	12	1	0,5	1	1	6	23	2,5	25,5	10	71	4,8	4,1		
LPP52E	150+	20	30	50	190	760	11	1	0,5	1	1	5	27	2,5	29,5	8	67	5,2	4,2		
LPP53A	0-50	20	20	40	330	630	28	11	4,8	27	7	2	18	38,8	56,8	68	5	4,7	4,1		
LPP53B	0-110	10	20	30	180	830	16	1	0,9	5	2	17	46	7,9	53,9	15	68	4,7	3,9		
LPP53C	110-15	10	20	30	140	870	14	1	1,3	2	1	21	46	4,3	50,3	9	83	4,5	3,8		
LPP53D	150+	10	20	30	120	850	11	1	2,4	2	1	20	39	5,4	44,4	12	79	4,7	3,9		
LPP54A	0-35	130	70	200	250	550	23	16	2,2	41	11	1	15	54,2	69,2	78	2	5,5	4,9		
LPP54B	5-120	40	0	40	120	840	13	1	0,5	7	4	5	32	11,5	43,5	26	30	5	4,1		
LPP54C	120+	50	20	70	100	830	9	1	0,5	2	5	9	28	7,5	35,5	21	55	4,8	4		
LPP55A	0-42	10	30	40	60	900	38	4	0,6	13	6	11	77	19,6	96,6	20	36	4,7	4		
LPP55B	2-115	10	40	50	40	910	23	1	0,3	4	1	13	52	5,3	57,3	9	71	4,8	4		
LPP55C	115+	10	40	50	40	910	16	1	0,2	2	1	9	41	3,2	44,2	7	74	4,5	4,1		
LPP56A	0-35	0	0	0	110	890	31	48	12	13	4	20	67	29	96	30	41	4,3	3,8		
LPP56B	5-120	20	40	60	100	920	18	2	0,7	5	1	21	54	6,7	60,7	11	76	4,4	3,9		
LPP56C	120+	10	20	30	80	930	14	1	0,5	2	1	28	48	3,5	51,5	7	89	4,3	3,9		
LPP57A	0-40	0	50	50	220	730	25	11	2,4	45	18	0	19	65,4	84,4	77	0	6,1	5,1		
LPP57B	40-95	0	10	10	220	770	17	1	0,4	6	1	6	39	7,4	46,4	16	45	4,7	4,1		
LPP57C	95-12	0	230	230	120	650	11	1	0,3	3	1	2	20	4,3	24,3	18	32	5	4,5		
LPP57D	125+	0	160	160	280	560	9	1	0,3	2	1	5	21	3,3	24,3	14	60	4,7	4,2		

Tabela 3.53 – Resultados das análises pelo método do ataque sulfúrico, para os perfis de Lagoa da Prata, MG

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
	..... g kg <sup>-1</sup> .....						
LPP35C	24,80	20,93	13,03	0,16	0,09	2,01	1,44
LPP36C	23,90	25,81	13,64	0,18	0,02	1,57	1,18
LPP37C	21,10	24,86	14,03	0,19	0,02	1,44	1,06
LPP38C	24,80	29,74	15,32	0,20	0,02	1,42	1,07
LPP39C	20,40	18,06	9,35	0,16	0,03	1,92	1,44
LPP40C	26,10	24,22	13,73	0,18	0,03	1,83	1,35
LPP41C	23,60	25,50	13,89	0,22	0,03	1,57	1,17
LPP42C	21,40	21,35	6,49	0,20	0,01	1,70	1,43
LPP43C	23,70	24,80	14,26	0,21	0,02	1,62	1,19
LPP44C	28,90	23,37	14,21	0,20	0,03	2,10	1,52
LPP45C	21,90	21,03	13,19	0,18	0,02	1,77	1,26
LPP47C	29,10	25,07	13,65	0,18	0,02	1,97	1,46
LPP48C	17,40	24,86	10,81	0,19	0,01	1,19	0,93
LPP49C	16,50	26,29	9,11	0,18	0,01	1,07	0,87
LPP50C	23,40	28,04	15,49	0,20	0,02	1,42	1,05
LPP52C	22,40	23,16	13,87	0,20	0,03	1,64	1,19
LPP53C	25,80	22,63	13,30	0,19	0,04	1,94	1,41
LPP54C	25,90	25,22	12,87	0,21	0,02	1,75	1,32
LPP55C	22,80	32,93	15,99	0,20	0,02	1,18	0,90
LPP56C	29,20	26,03	15,52	0,19	0,03	1,91	1,38
LPP57C	21,90	22,95	13,49	0,18	0,03	1,62	1,18



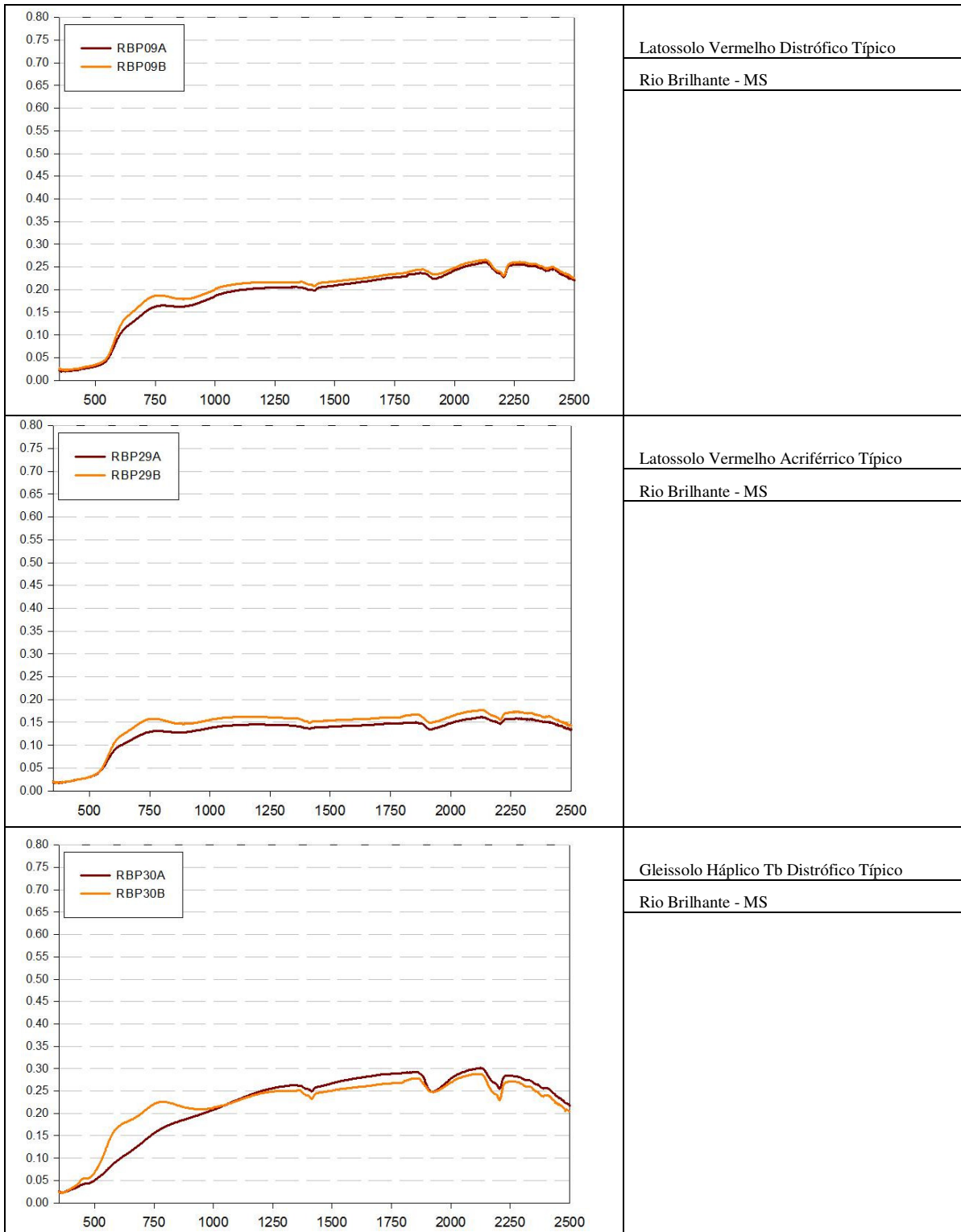


Figura 3.78 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Rio Brilhante – MS

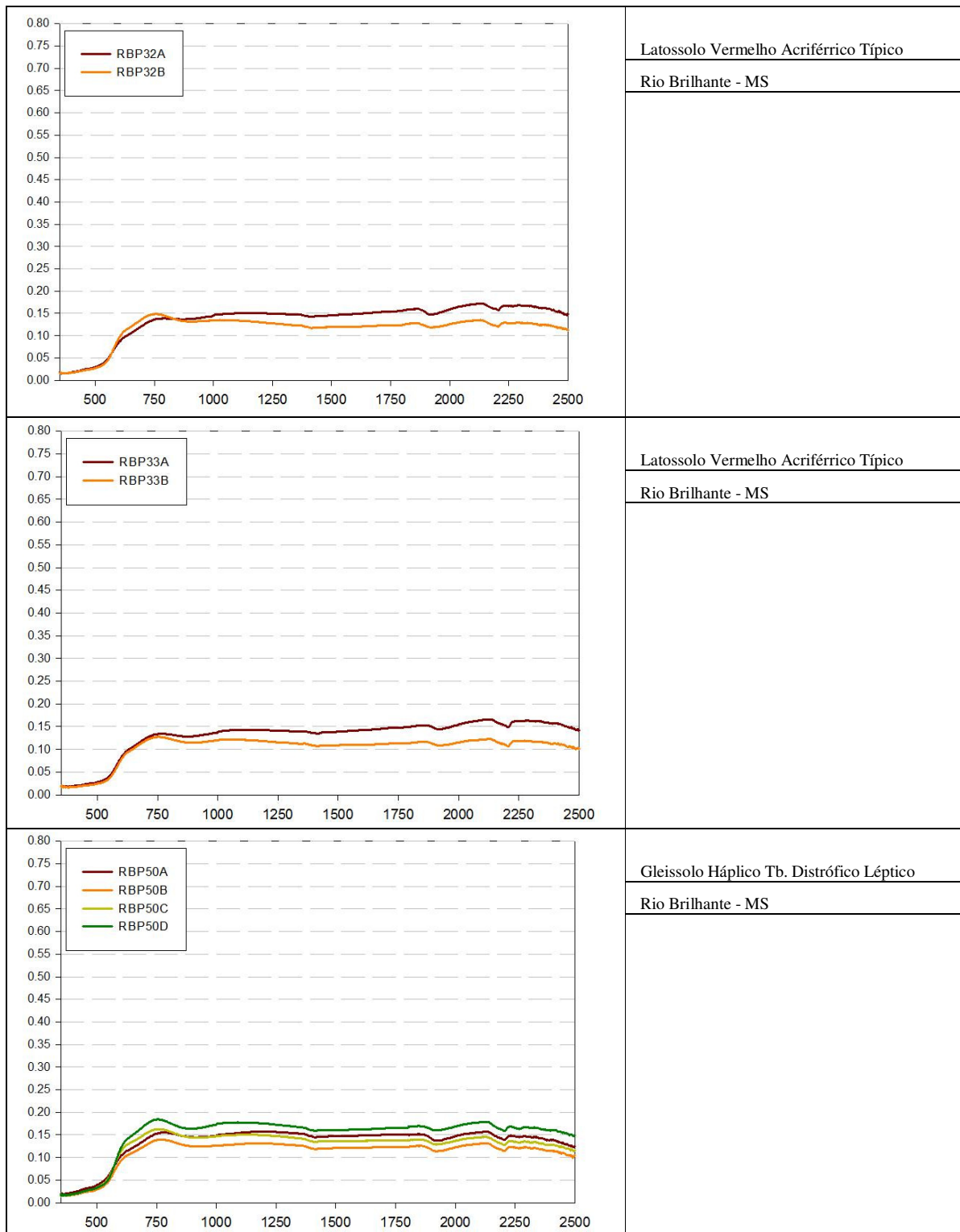


Figura 3.79 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Rio Brilhante - MS

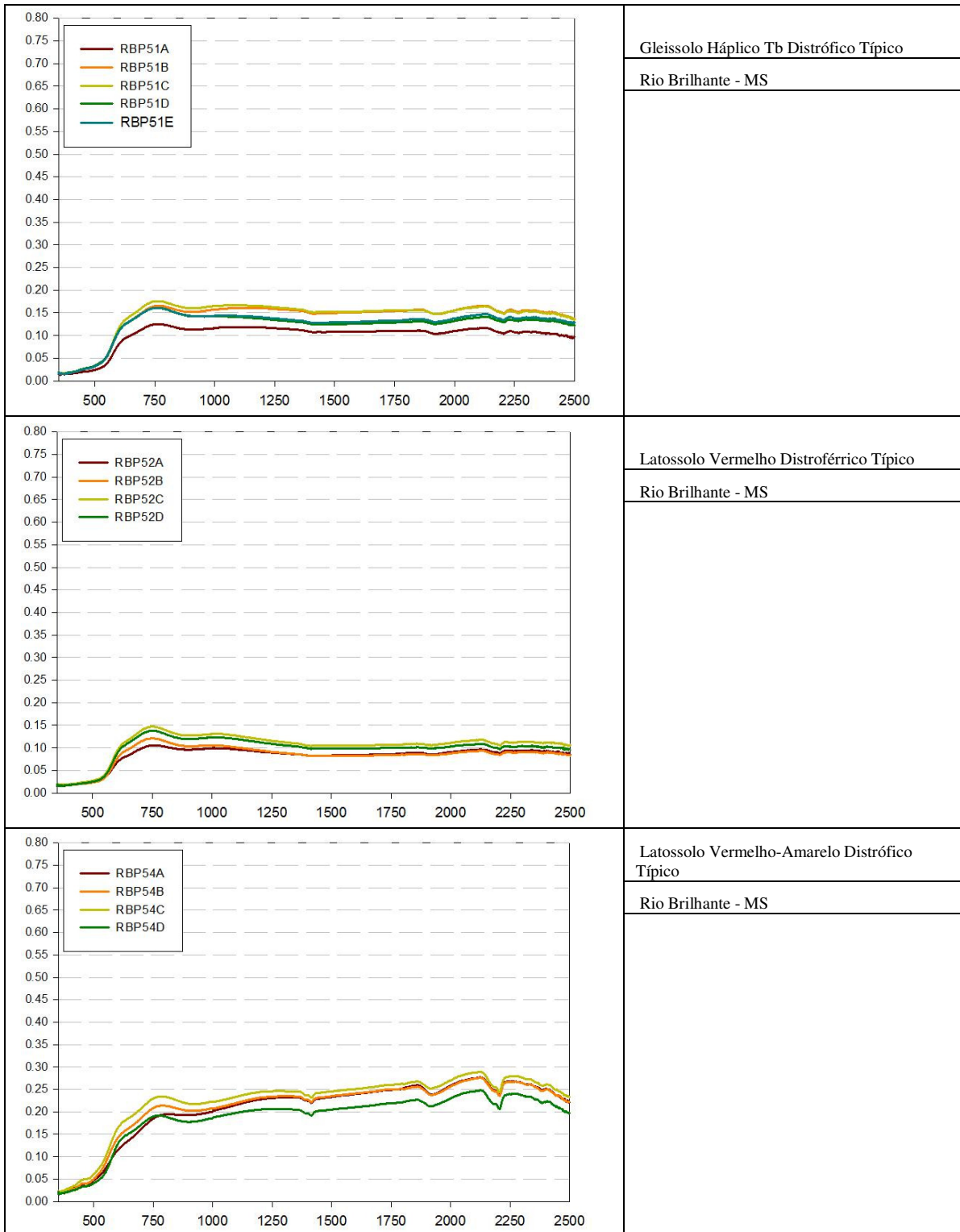


Figura 3.80 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Rio Brilhante - MS

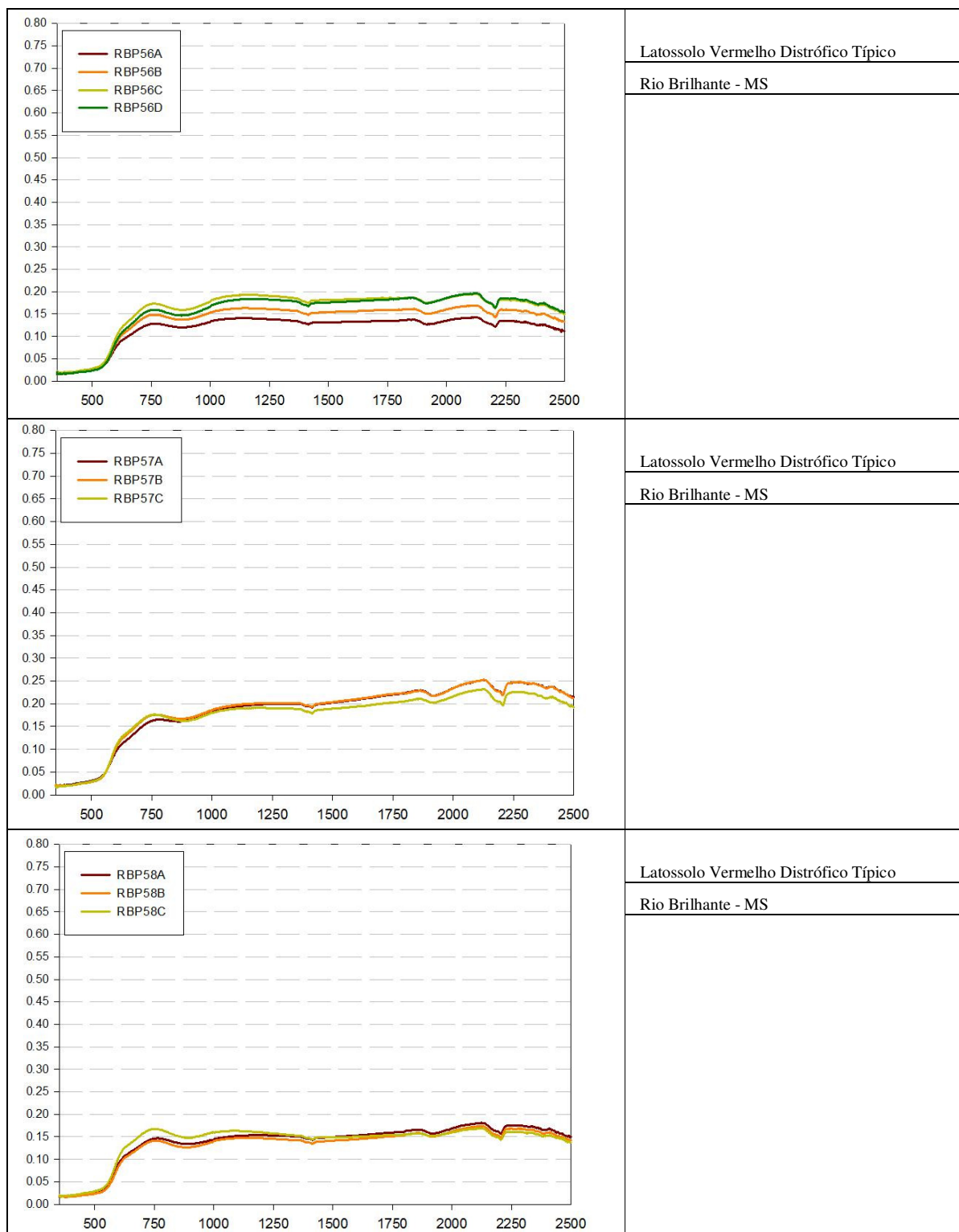


Figura 3.81 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Rio Brilhante - MS

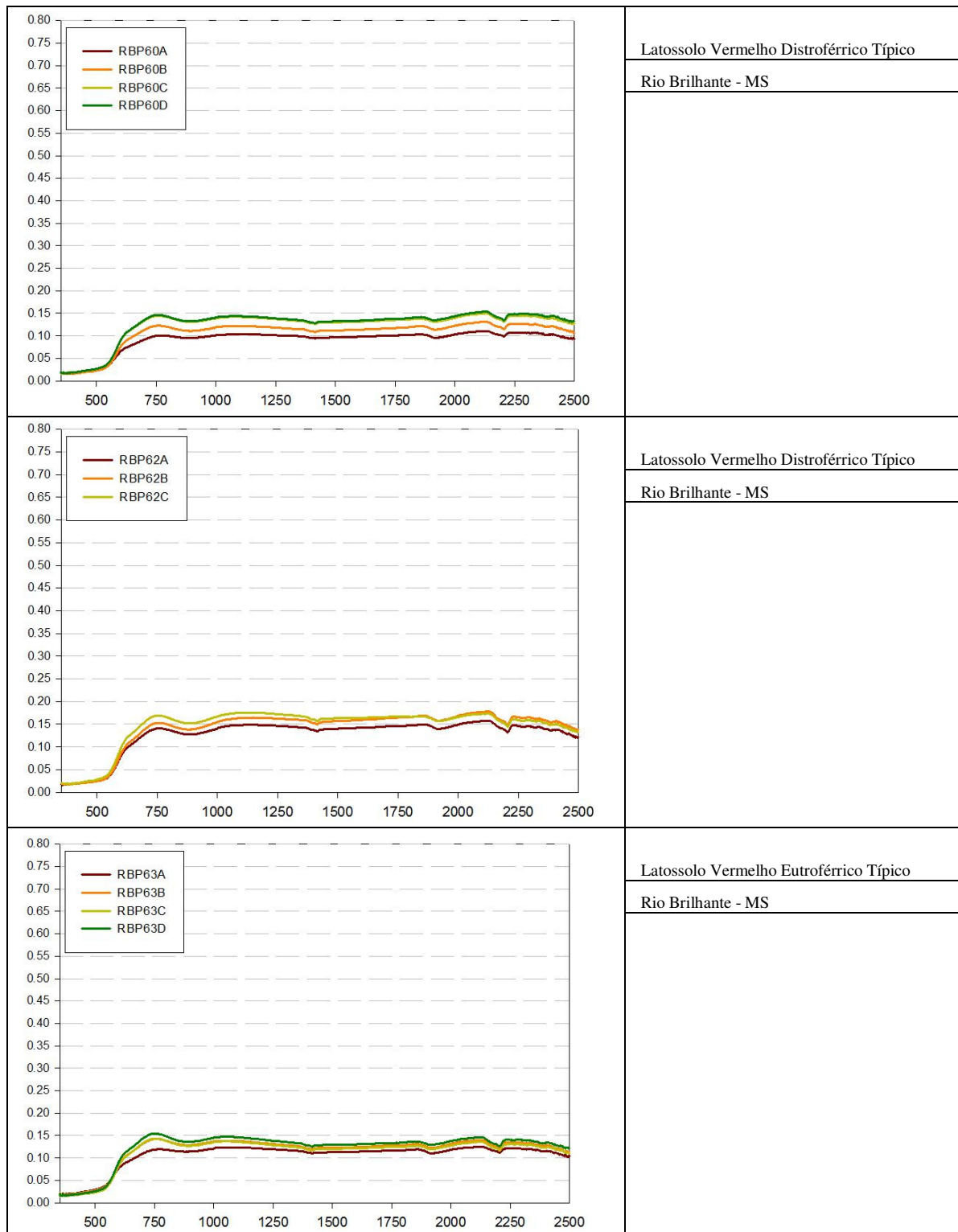


Figura 3.82 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Rio Brilhante - MS

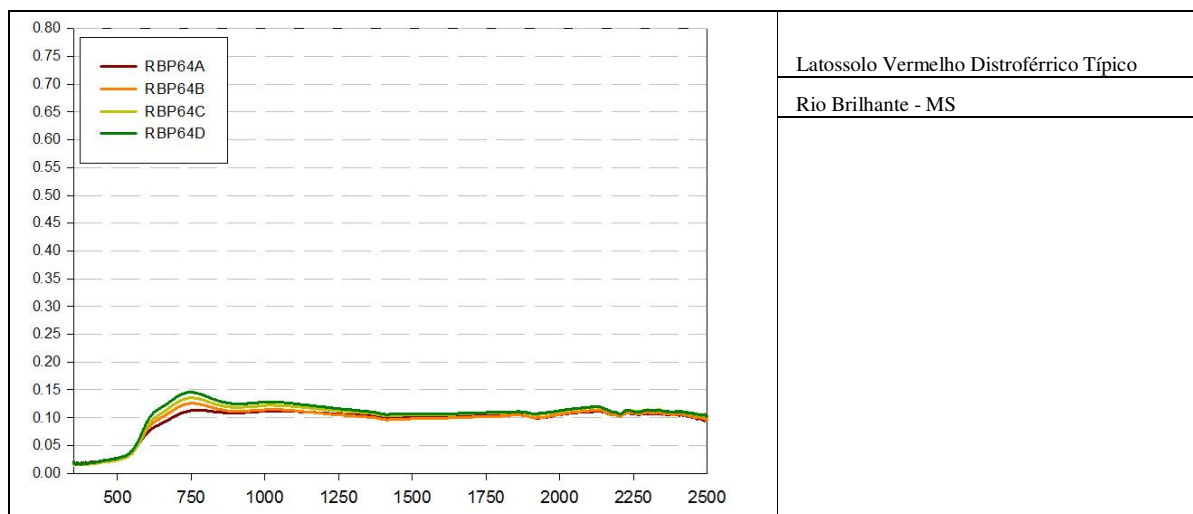


Figura 3.83 – Curvas espectrais dos perfis de solos da região de Rio Brilhante - MS

Tabela 3.54 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Rio Brillhante, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria													pH			Cor				
			Areia			Silte	Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	finá	total																		
			g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
RBP09A					760	40	200	20	2	0,6	35	20	0	22	55,6	77,6	72	0					
RBP09B					700	40	260	13	1	0,4	2	6	9	31	8,4	39,4	21	52					
RBP29A					310	130	560	33	4	4,5	50	21	0	42	75,5	117,5	64	0					
RBP29B					220	130	650	19	1	0,4	25	16	0	38	41,4	79,4	52	0					
RBP30A					670	60	270	33	2	0,6	19	12	5	64	31,6	95,6	33	14					
RBP30B					590	70	340	14	1	0,1	2	1	5	34	3,1	37,1	8	62					
RBP32A					170	210	620	42	2	0,6	42	12	0	47	54,6	101,6	54	0					
RBP32B					110	150	740	22	1	0,4	14	3	0	34	17,4	51,4	34	0					
RBP33A					310	130	560	28	4	2,7	34	19	0	47	55,7	102,7	54	0					
RBP33B					260	110	630	21	1	0,4	9	4	16	72	13,4	85,4	16	54					
RBP50A	AP	0-20	40	150	190	170	640	33	2	2,6	30	6	0	47	38,6	85,6	45	0			4,7YR	3,2	1,3
RBP50B	AB	20-45	40	70	110	160	730	17	2	1,3	5	1	1	34	7,3	41,3	18	12			4,6YR	3	1,8
RBP50C	BG1	45-80	60	50	110	180	710	15	1	0,7	4	1	0	26	5,7	31,7	18	0	5	5,4	3,1YR	3,4	1,6
RBP50D	BG2C	80+	60	120	180	160	660	11	2	1,1	4	2	0	22	7,1	29,1	24	0			2,7YR	3,4	1,9
RBP51A	AP	0-20	40	210	250	150	600	22	2	2,6	43	7	0	31	52,6	83,6	63	0			3,7YR	2,9	1,8
RBP51B	AB	20-40	50	190	240	140	620	22	1	2,6	12	4	2	42	18,6	60,6	31	10			3,1YR	3,2	1,3
RBP51C	BG1	40-70	60	160	220	110	670	15	1	3,3	10	3	0	34	16,3	50,3	32	0	5,1	5,3	3,3YR	3,1	1,8
RBP51D	BG2	70-110	60	180	240	140	620	19	1	5,1	9	5	0	31	19,1	50,1	38	0			4,6YR	3,2	1,3
RBP51E	BG3		60	180	240	120	640	20	1	5,3	8	4	0	31	17,3	48,3	36	0			3,7YR	3,4	1,3

Tabela 3.55 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Rio Brilhante, MS

Identi- ficação	Hori- zonte	Prof.  cm	Granulometria														pH			Cor			
			Areia					M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total	Silte	Arg																
			g/kg																				
RBP52A	AP	0-25	40	90	130	110	760	33	11	1,5	105	23	0	20	129,5	149,5	87	0			3,4YR	3	2
RBP52B	AB	25-82	20	70	90	110	800	15	2	2	12	4	3	34	18	52	35	14			2,5YR	3	2,2
RBP52C	BW1	82-180	30	20	50	130	820	8	1	0,5	5	1	2	27	6,5	33,5	19	24	5	4,7	2,5YR	3,2	2,6
RBP52D	BW2	180+	20	40	60	140	800	8	1	0,9	5	2	1	28	7,9	35,9	22	11			1,8YR	3,3	1,7
RBP54A	AP	0-30	30	750	780	60	160	15	2	0,9	8	3	1	22	11,9	33,9	35	8			7,3YR	3,3	1,6
RBP54B	BW1	30-70	150	610	760	20	220	12	1	1,5	4	2	3	22	7,5	29,5	25	29			6,8YR	3,6	2,1
RBP54C	BW2	70-100	140	580	720	40	240	10	1	0,9	2	1	1	17	3,9	20,9	19	20	4,7	4,9	6,5YR	3,5	2,7
RBP54D	BW3	100+	130	570	700	60	240	14	2	2,8	4	2	0	16	8,8	24,8	35	0			4,2YR	3,5	2,4
RBP56A	AP	0-22	30	210	240	80	680	23	2	0,9	25	11	0	31	36,9	67,9	54	0			3,0YR	2,8	2,3
RBP56B	BW1	22-60	30	130	160	100	740	15	5	1,6	12	6	2	34	19,6	53,6	37	9			1,8YR	3	2,5
RBP56C	BW2	60-105	40	150	190	60	750	8	1	0,4	6	2	6	33	8,4	41,4	20	42	5,3	4,4	2,2YR	3,2	2,7
RBP56D	BW3	105+	40	100	140	130	730	8	1	1,1	6	5	5	34	12,1	46,1	26	29			1,4YR	3,2	2,5
RBP57A	AP	0-18	80	660	740	40	220	18	3	1,1	26	15	0	16	42,1	58,1	72	0			2,8YR	3	2
RBP57B	BW1	18-80	120	580	700	20	280	12	1	0,8	4	2	7	28	6,8	34,8	20	51			2,4YR	2,9	2,7
RBP57C	BW2	80+	90	530	620	40	340	5	1	0,4	2	1	3	19	3,4	22,4	15	47	4,9	4,5	2,1YR	3,1	2,7
RBP58A	AP	0-18	60	450	510	40	450	19	1	0,9	2	1	4	38	3,9	41,9	9	51			2,6YR	3,2	1,6
RBP58B	BW1	18-80	100	330	430	40	530	12	2	1,5	5	2	2	28	8,5	36,5	23	19			2,1YR	3,2	2,2
RBP58C	BW2	80+	110	310	420	20	560	8	21	1	6	1	2	23	8	31	26	20	5,4	4,7	1,8YR	3,1	2,4
RBP60A	AP	0-25	70	130	200	150	650	36	6	1,7	69	18	0	34	88,7	122,7	72	0			3,6YR	2,9	2
RBP60B	BW1	25-55	30	100	130	110	760	17	1	0,8	12	3	2	34	15,8	49,8	32	11			3,3YR	2,8	2,3
RBP60C	BW2	55-90	30	70	100	100	800	13	1	0,9	11	1	4	37	12,9	49,9	26	24	5,2	4,5	2,3YR	3,3	1,9
RBP60D	BW3	90+	30	80	110	110	780	13	1	1,5	14	6	3	34	21,5	55,5	39	12			2,4YR	3,3	2,2



Tabela 3.56 – Resultados da análise de rotina dos horizontes dos perfis de solo da região de Rio Brillhante, MS

Identificação	Horizonte	Prof. cm	Granulometria														pH			Cor				
			Areia					Arg	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	m	H <sub>2</sub> O	KCl	matiz	V	C
			Grossa	fin	total	Silte	g/kg																	
RBP62A	AP	0-30	60	190	250	80	670	18	1	1,1	4	1	10	52	6,1	58,1	10	62			1,7YR	3,2	1,8	
RBP62B	BW1	30-85	30	130	160	60	780	17	4	1	5	2	11	47	8	55	15	58			2,2YR	2,9	2,4	
RBP62C	BW2	85+	50	130	180	60	760	13	1	0,4	1	1	10	39	2,4	41,4	6	81	5,4	4,2	1,0YR	3,3	1,8	
RBP63A	AP	0-15	90	130	220	140	640	40	8	1,6	73	32	0	31	106,6	137,6	77	0			3,9YR	3	2,1	
RBP63B	BW1	15-41	70	90	160	100	740	23	3	1,3	27	12	0	38	40,3	78,3	51	0			2,2YR	3,3	1,8	
RBP63C	BW2	41-100	60	90	150	80	770	10	1	0,4	15	4	2	14	19,4	33,4	58	9	5,5	4,6	1,8YR	3,3	1,9	
RBP63D	BW3	100+	60	60	120	130	750	10	2	1,7	10	5	2	31	16,7	47,7	35	11			1,3YR	3,5	2,1	
RBP64A	AP	0-19	70	150	220	120	660	42	8	1,3	37	11	1	52	49,3	101,3	49	2			3,0YR	3,2	1,5	
RBP64B	BW1	19-45	60	120	180	80	740	29	5	1,9	26	6	2	42	33,9	75,9	45	6			2,4YR	3,3	1,3	
RBP64C	BW2	45-150	50	80	130	110	760	13	1	0,7	15	1	0	42	16,7	58,7	28	0	5,6	5,1	1,4YR	3,2	1,4	
RBP64D	BW3	150-190	60	80	140	110	750	13	1	0,9	4	1	1	28	5,9	33,9	17	14			1,7YR	3,2	1,8	

Tabela 3.57 – Resultados das análises pelo método do ataque sulfúrico, para os perfis de Rio Brillhante, MS

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ki	Kr
	..... g kg <sup>-1</sup> .....						
RBP50C	170,00	239,40	236,00	27,60	1,00	1,21	0,74
RBP51C	149,00	236,20	256,00	32,30	1,20	1,07	0,63
RBP52C	197,20	241,60	277,80	29,80	1,40	1,39	0,80
RBP54C	54,20	63,40	46,50	7,70	0,10	1,45	0,99
RBP56C	194,00	204,00	203,10	24,70	1,40	1,62	0,99
RBP57C	82,00	95,60	80,80	10,50	0,20	1,46	0,95
RBP58C	134,00	166,40	158,60	19,10	0,60	1,37	0,85
RBP60C	177,10	202,90	231,70	25,70	1,30	1,48	0,86
RBP62C	186,00	225,40	203,40	21,00	0,90	1,40	0,89
RBP63C	196,00	222,20	258,80	30,90	1,40	1,50	0,86
RBP64C	162,00	231,90	266,00	33,20	1,30	1,19	0,69

### 3.3.2 Componentes principais dos dados espectrais dos solos das diferentes regiões

As duas primeiras componentes (PC1 e PC2) foram capazes de explicar mais de 95% da variabilidade espectral dos solos. A PC1 (eixo das coordenadas) (Figuras 3.84 e 3.85) demonstrou correlação com o albedo das amostras, corroborando com o indicado por Galvão et al. (2001). Devido ao tratamento dos dados espectrais para a PCA (transformação em absorvância), maiores valores de *score* da PC1 indicou menores albedo da amostra. Quando não há a transformação em absorvância, a PC1 é diretamente proporcional aos valores de albedo.

A correlação da PC1 com o albedo das amostras é facilmente observada. Os dados provenientes da região de Uberaba, MG apresentaram os menores albedos e os maiores valores de *score* da PC1, já os dados da região de Lagoa da Prata, MG os maiores albedos e menores valores de *score* da PC1.

Outro fato observado foi a correlação da PC2 com a inclinação das curvas espectrais entre a região do visível e a do infravermelho, corroborando com o observado por Galvão et al. (1997). Foi possível através dos resultados das PC's agrupar as regiões e visualizar a variabilidade de solos em cada região.

Conforme relatado na caracterização das curvas espectrais dos perfis as regiões de Andradina, Valparaíso, Guararapes, Mirandópolis, SP e Três Lagoas, MS apresentaram

semelhanças nas classes de solos e seu comportamento espectral, estas mesmas regiões se sobrepuseram na mesma região do gráfico entre CP1 e CP2 (Figuras 3.84 e 3.85).

As regiões com solos de maiores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  também se sobrepuseram nos gráficos, uma vez que, de maneira geral, estes solos apresentam material de origem rochas vulcânicas. Isto foi verificado exceto para a região de Goianésia, GO, que assim como relatado em sua caracterização espectral, apresentou solos com altos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mas posição distinta no gráfico PC1 x PC2. A região de goianésia se situa em altitude diferenciada as demais regiões com solos de alta quantidade de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

A região de Lagoa da Prata, MG que apresentou caracterização espectral mais distintas das demais também foi agrupada em posição diferente das demais regiões. A região se caracteriza por apresentar solos formados a partir de argilitos e siltitos com baixa quantidade de ferro.

A região de Piracicaba, SP apresenta alta variabilidade de solos de distintos comportamentos espectrais, isto se deve a região se situara na transição da depressão periférica paulista com o planalto ocidental paulista. Este fato leva a grande variabilidade de materiais de origens dos solos como basaltos, diabásios, folhelhos, siltitos, argilitos e arenitos. Esta grande variabilidade de solos pode ser visualizada a partir da análise das componentes principais (Figura 3.84). Henderson et al., (1992) e Demattê e Garcia (1999) já indicavam que dados espectrais devem ser avaliados por região, concordando com o presente trabalho.

Ficou evidente que a regionalização através da análise de componentes principais demonstrou, agrupamentos por semelhança de solos formados a partir de materiais de origens semelhantes. Verificou-se ainda diferenciação de regiões com geologia semelhante mas distintas altitudes.

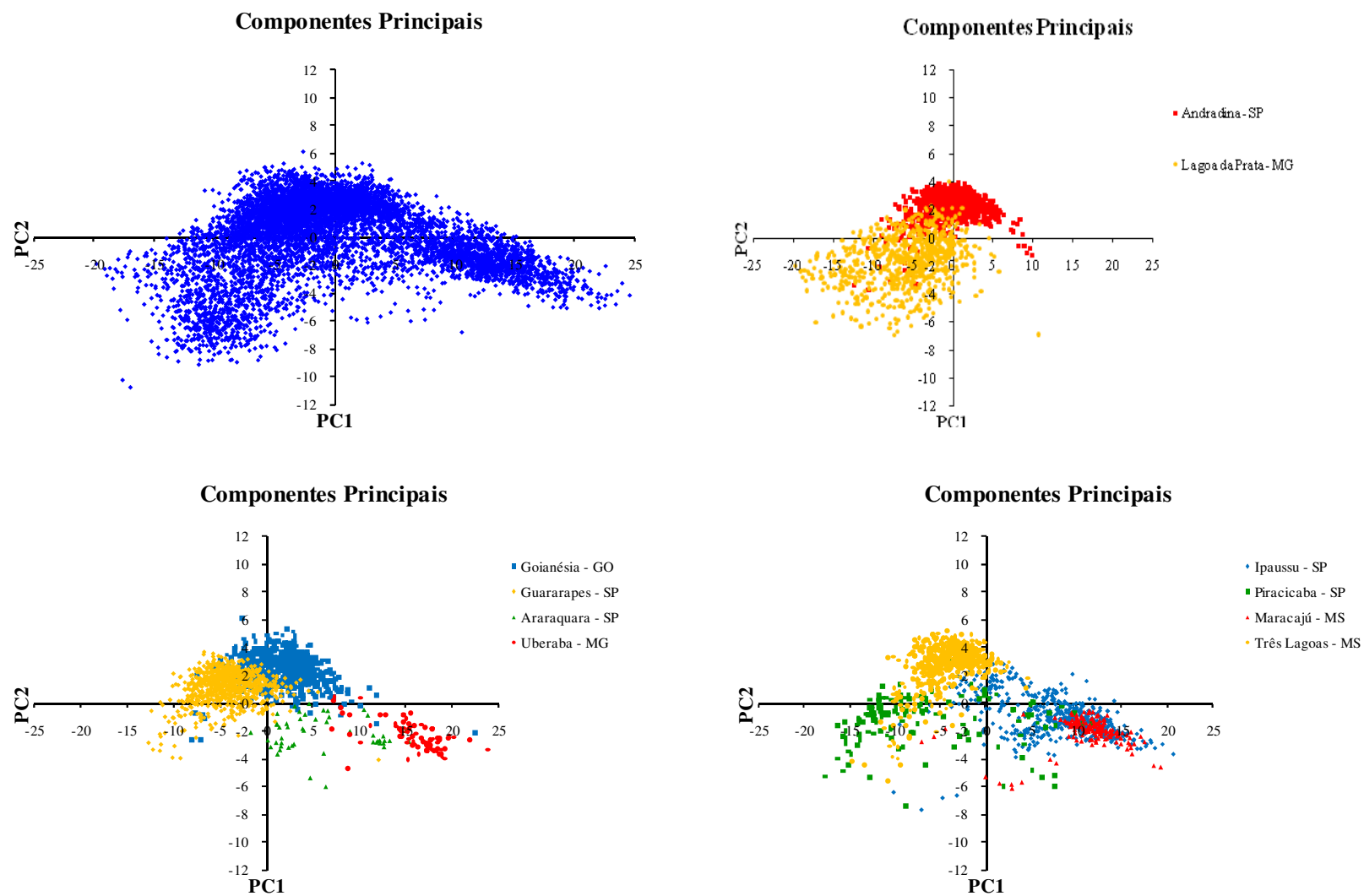


Figura 3.84 – Componentes principais (PC1 e PC2) dos dados espectrais das diferentes regiões estudadas

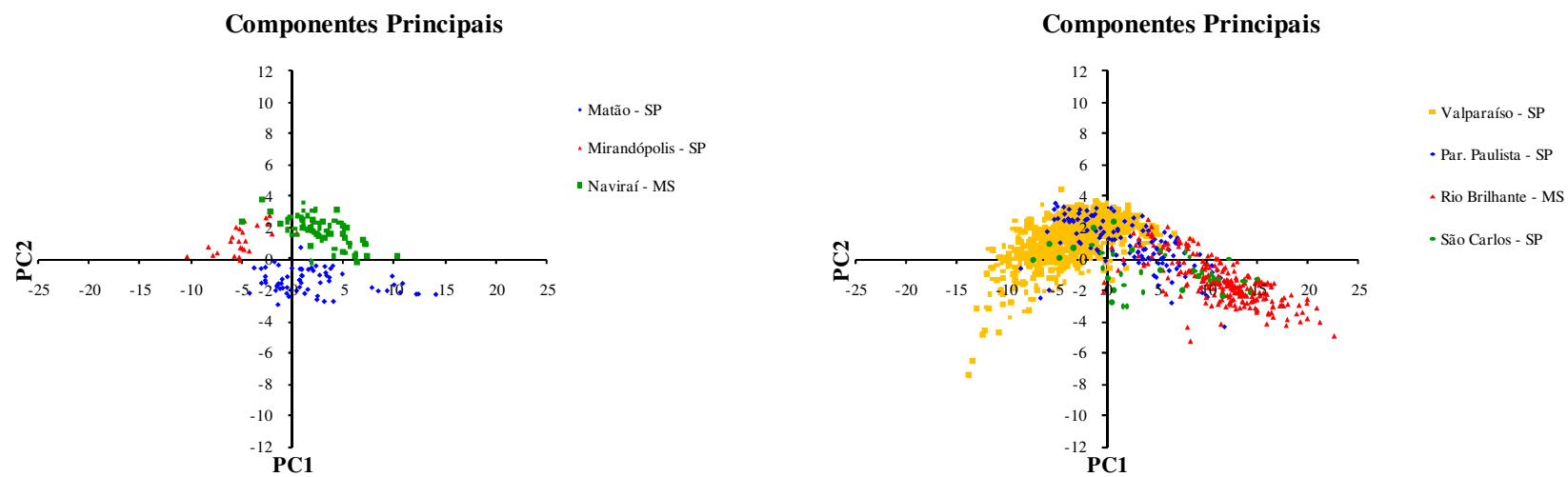


Figura 3.85 – Componentes principais (PC1 e PC2) dos dados espectrais das diferentes regiões estudadas

### 3.3.3 Classificação de perfis via comparação descritiva simplificada (CDS) do seu comportamento espectral com a Biblioteca Espectral

A simples comparação descritiva das curvas espectrais de um perfil de solo com os gráficos da Biblioteca Espectral demonstrou que a mesma serve de importante ferramenta no auxílio da classificação do mesmo. A tabela 3.58 demonstra que ao comparar as curvas de um perfil de classificação desconhecida com a Biblioteca Espectral a mesma não apontou mais do que 3 possibilidades de classes. Para um dos perfis a Biblioteca apontou uma única classe, enquanto que para 4 e 8 perfis a Biblioteca Espectral apontou 2 e 3 possibilidades de classes. É evidente que a comparação descritiva não é capaz de apontar uma classificação exata, mas é uma ferramenta com a capacidade de diminuir possibilidades, fazendo com em levantamentos pedológicos haja ganho de tempo. Por ser uma técnica rápida, de baixo custo e não destrutiva pode-se aumentar o número de amostras coletadas em uma área melhorando a qualidade dos mapas de solos, através da delimitação mais precisa de unidades de mapeamento. Não se optando pelo aumento do número de amostras a técnica pode contribuir para a diminuição de custos uma vez que nem todas as amostras necessitariam ser enviadas para análises laboratoriais.

Tabela 3.58 – Índice de confusão da Comparação Descritiva Simplificada (CDS) de 13 perfis com a Biblioteca Espectral

Número de perfis avaliados	Número de possíveis classes de solo apontadas				
	1	2	3	4	5
13	1	4	8	0	0

### 3.4 Conclusões

A Biblioteca Espectral foi capaz de auxiliar na indicação de possíveis classes de solo.

O albedo dos solos é influenciado principalmente pelos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , areia, argila, silte, matéria orgânica e presença de minerais opacos.

A matéria orgânica promove a diminuição do albedo e suavização de feições, principalmente na faixa espectral dos 350 a 1350 nm.

O aumento dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em solos promove queda da reflectância.

Solos com altíssimos teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e minerais opacos a matéria orgânica promove aumento do albedo.

Solos com alto teor de areia apresentam curvas espectrais de maior albedo e de inclinação ascendente.

Solos desenvolvidos a partir de siltitos e argilitos de baixos teores de ferro apresentam elevados albedos mesmo apresentando altos teores de argila. Nestes solos o aumento do teor de silte promove aumento da reflectância.

Horizontes de menor grau de desenvolvimento pedogenético (B incipiente e C) apresentam curvas espectrais de maior albedo.

Os Argissolos apresentaram um padrão característico de comportamento espectral entre as curvas espectrais de seus horizontes. As camadas superficiais apresentam maior albedo do que as demais nos comprimentos de onda superiores a 2200 nm.

A comparação interna das curvas espectrais dos horizontes de perfis de Latossolos, Nitossolos e Neossolos Quartzarênicos mostra que, nestas classes de solo, o comportamento das mesmas é similar.

De maneira geral a presença ou ausência da feição da Gibbsita nos 2265 nm auxilia na diferenciação entre Latossolos e Nitossolos.

A análise de componentes principais agrupou solos formados a partir de materiais de origem semelhantes, havendo diferenciação devido a influência da altitude.

## Referências

BOUL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J.; Southard, R.J. Soil genesis and Classification. 4<sup>th</sup> ed. AMES: Iowa State University, Press, 1997. 527p.

BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflectance of radiant energy from soils. **Soil Science**, Baltimore, v.100, n.2, p.130-138, 1964-1965.

- BROWN, S.D. "Chemical systems under indirect observation: Latent properties and chemometrics". **Applied Spectroscopy**, Frederick, v.12, p.14-31, 1995
- BROWN, D.J.; SHEPHERD, K. D.; WALSH, M.G.; MAYS, M.D.; REINSCH., T.G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 132, p.273-290, 2006.
- CAMARGO, M.N.; KLANT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n.1, p. 11-13, jan/abr. 1987.
- CLARK, R.N. Remote sensing for the earth sciences In: RENCZ, A.N. (Ed.). **Manual of remote sensing**. New York: John Wiley, 1999. v.3 chap1: Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy: p. 3-58.
- CLEMENTE, C.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; MAFRA, A.L.; BENTIVENHA, S.R.P. Reflectância espectral e mineralogia de materiais formados sobre diabásio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.159-168, 2000.
- DALMOLIM, R.S.D. Matéria Orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes. 2002. 151p. Tese (Doutor em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- DEMATTÊ, J.A.M.; GARCIA, G.J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 63, n. 2, p.327-342, Mar./Apr. 1999.
- DEMATTÊ, J.A.M.; CAMPOS, R.C.; ALVES, M.C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma topossequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba-SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** Brasília, v. 35, n.12, p.2447-2460, 2000
- DEMATTÊ, J.A.M.; FIORIO, P.R.; CLEMENTE, C.; NANNI, M.R. Sensoriamento remoto na avaliação da evolução intempérica de solos desenvolvidos sobre granodiorito e gnaisse porfirítico. **Magistra**, Cruz das Almas, v.15, n.1, p.33-43 jan.-jun. 2003
- DEMATTÊ, J.A.M.; CAMPOS, R.C.; ALVES, M.C. ; FIORIO, P.R. ; NANNI, M.R. Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 121, n. 2004, p. 95-112, 2004.
- DUNN, B. W.; BEECHER, H. G.; BATTEN, G. D.; CIAVARELLA, S. The potencial of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.42, p.607-614, 2002.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.



- EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M.; OLIVEIRA, J.B. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992. 131p.
- FERREIRA, M.M.C. "Multivariate QSAR". **Journal of Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v.6, p.742-753, 2002
- GALVÃO, L.S.; VITORELLO, I.; FORMAGGIO, A. R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing Environment**., New York, v.61, p.24-33, 1997.
- GALVÃO, L.S.; PIZARRO, M.A.;EPIPHANIO, J.C.N. Variations in reflectance of tropical soils: spectral-chemical compositions relationships from AVIRIS data. **Remote Sensing Environment**, New York, v.75, p.245-255, 2001.
- GOETZ, A.F.H.; CURTISS, B.; SHILEY, D.A. Rapid gangue mineral concentration measurement over conveyors by NIR reflectance spectroscopy. **Minerals Engineering**, Oxford, v.22, p.490-499, 2009.
- GROVE, C.I.; HOOK, S.J.; TAYLOR, E.D. **Laboratory reflectance of 160 minerals, 0.4 to 2.5 micrometers**. Pasadena : National Aeronautics and Space Administration, 1992. 355p.
- HATCHELL, D.C.(Ed.). **Analytical spectral devices, Inc. Technical Guide** 3<sup>rd</sup> ed. Boulder: Analytical Spectral Devices, 1999. 140p.
- HENDERSON, T.L.; BAUMGARDNER, M.F.; FRANZMEIER, D.P.; STOTT, D.E.; COSTER, D.C. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p. 865-872, 1992.
- JANIK, L.J., MERRY, R.H., SKJEMSTAD, J.O.Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 38, p.681-696, 1998.
- LE MOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.
- MADEIRA NETTO, J. S. Spectral reflectance properties of soils. **Photo Interpretation**, Paris, v. 34, p.59-70, 1996.
- MADEIRA NETTO, J. da S.; BAPTISTA, G. M. de M. Reflectância espectral de solos. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2000. 55p.
- MALEKI, M.R. ; MOUAZEN, A.M. ; RAMON, H. ; BAERDEMAEKER, J. DE. Optimisation of soil VIS–NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus. **Soil E Tillage Research**, Amsterdam, n.94, p.239-250, 2007.

- MATHEWS, H.L.; CUNNINGHAM, R.L.; PETERSEN, G.W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.37, p.421-424, 1973.
- MOUAZEN, A.M. ; MALEKI, M.R. ; BAERDEMAEKER, J. DE ; RAMON, H. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS–NIR sensor. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.93, p.13-27, 2007.
- NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M. Spectral reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.70, p.393-407, 2006.
- RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.
- REEVES, J.B.; McCARTY, G.W.; MEISINGER, J.J. Near infrared reflectance spectroscopy for the analysis of agricultural soils. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, New York, v. 9, n.1, p.25-34, 1999.
- SABIN, G. P. ; FERRÃO, M. F. ; ALCAYAGA, E. A. L. ; COSTA, A. B. ; KIRST, A. .  
Aplicação de métodos quimiométricos no estudo da qualidade da água de poços artesianos da região dos vales do rio pardo e rio taquari, RS, Brasil. **Revista Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 7, n. especial, p.77-88, 2002
- SANS, L.M.A. **Classificação e mineralogia de solos da região de Sete lagoas - MG**. 1973. 151p. Dissertação ( Mestre em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1973.
- SCHEINOST, A.C.; CHAVERNAS, A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Use and limitations of second-derivative diffuse reflectance spectroscopy in the visible to near-infrared range to identify and quantify Fe oxides in soils. **Clays and Clay Minerals**, Lawrence, v.46, p.528-536, 1998.
- SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.66, May-June, p.988-998, 2002.
- STARK, E.; LUCHTER, K.; MARGOSHES, M. Near-infrared analysis (NIRA): a technology for quantitative and qualitative analyses. **Applied Spectroscopy Reviews**, Philadelphia, v.22, n.4, p.335-399, 1986
- STONER, E.R., BAUMGARDNER, M.F. ; BIEHL, L.L. ; ROBINSON, B.F. **Atlas of soil reflectance properties**. West Lafayette : Purdue University, 1980. 75p. 1980.
- THOMASSON, J. A.; SUI, R.; COX, M. S.; Al-RAJEHY. Soil reflectance sensing for determining soil properties in precision agriculture. **Transactons of ASAE**, St. Joseph, n. 44, p.1445-1453, 2001.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; WALWORT, D.J.J.; McBRATNEY, A.B.; JANIK, L.J.; SKJESMSTAD, J.O. Visible near infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v.131, p.59-75. 2006a.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; McGLYNN, R.N.; McBRATNEY, A.B. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy, **Geoderma**, Amsterdam, n.137, p. 70-82, 2006b.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; JEON, Y.S.; ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B. Using a legacy soil sample to develop a mid-IR spectral library. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v. 46, p. 1-16, 2008

VISCARRA ROSSEL R.A.; McBRATNEY A.B. Diffuse reflectance spectroscopy as a tool for digital soil mapping. In: HARTEMINK A.E.; McBRATNEY A.B.; MENDONÇA-SANTOS L. (Ed.). **Digital soil mapping with limited data. Developments in Soil Science series**. Amsterdam:Elsevier Science,. 2008. P.165-172.

WHITE, K; WALDEN, J.; DRAKE, N.; ECKARDT, F.; SETTLE, J. Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper Data. **Remote Sensing Environment**, New York, v. 62, p.30-39, 1997.

ZHAO WU, Y.Z.; CHEN, J.; FENG, J.; TIAN, Q.J.; MIN WU, X. Feasibility of reflectance spectroscopy for the assessment of soil mercury contamination. **Environmental Science & Technology**, Iowa City, v.39, p. 873-878, 2005.

#### **4 REGIONALIZAÇÃO ESPECTRAL NA ESTIMATIVA DE ATRIBUTOS DE SOLO**

##### **Resumo**

Um planejamento agrícola adequado se baseia em informações básicas como um mapa de solos da propriedade agrícola e no conhecimento das necessidades de correções da fertilidade do solo. A análise de rotina é a metodologia mais utilizada para se obter essas informações, entretanto, produz um número elevado de resíduos e consome muito tempo. Técnicas de espectroscopia, utilizando dados espectrais na região do VIS-NIR, vem demonstrando ser uma boa alternativa para estimativa de atributos do solo de maneira mais rápida e menos poluente. A qualidade dos modelos de predição passa pela montagem de um banco de dados, ou biblioteca espectral, adequado. Entretanto, ainda há uma lacuna em se saber qual o tamanho adequado de uma biblioteca espectral. O objetivo deste trabalho foi a construção de distintas bibliotecas espectrais com a finalidade de se avaliar as que apresentaram melhores modelos de predição. Para tanto, foram coletadas 7185 amostras de terra e determinadas suas leituras espectrais. A partir destes dados foram geradas bibliotecas espectrais gerais, regionais e locais. A biblioteca espectral geral contendo a gama total dos dados, as bibliotecas regionais contendo dados de municípios próximos geograficamente e as bibliotecas locais contendo dados de solos de um único município. Os resultados demonstram que atributos físicos como areia, argila e matéria orgânica apresentaram boas predições. Bibliotecas espectralis compostas por alta variabilidade de solos formados a partir de diferentes materiais de origem apresentaram piores resultados na estimativa de atributos químicos e melhores resultados na estimativa de atributos físicos. Um fator limitante na geração de modelos de predição de boa qualidade foi a baixa amplitude de teores de um dado atributo.

Palavra – Chave: Espectrorradiometria; Análise do solo; Atributos do solo

#### 4 SPECTRAL REGIONALIZATION IN SOIL ATTRIBUTES ESTIMATION

##### **Abstracts**

A proper agricultural planning is based on basic information such as soil maps and the knowledge of soil fertility requirements to the crop. The laboratory routine analysis are the most used method to obtain this information, although it produces a large amount of chemical residues and is time consuming. Spectroscopy, using VIS-NIR proved to be a good alternative to estimate soil attributes in a rapid and less polluting way. Good prediction models require the assembly of a database or appropriate spectral libraries. However, there is a lack in the knowledge of optimal spectral library sizes. This work aims to construct different spectral libraries in order to evaluate their accuracy. Thus, 7185 soil samples were collected and the spectra was scanned. From these data were generated local, regional and nacional spectral libraries. The nacional library contain all data, in other hand, regional libraries contain data from nearby cities and local libraries contain data from soils the study area. The results show that physical attributes such as sand, clay and organic matter present good predictions. Spectral libraries composed by high variability of soils, formed from different pattern materials had the worst results in the chemical attributes estimation and better results in the physical attributes estimation. We can conclude that a limiting factor in the prediction models construction were the low range on attribute levels.

Keywords: Spectroradiometry; Soil Analysis; Soil attributes

#### 4.1 Introdução

Quando se pensa em um planejamento agrícola adequado, algumas informações básicas são necessárias, como um mapa de solos da propriedade agrícola e também o conhecimento das necessidades de correções da fertilidade do solo. A análise de rotina é o método mais utilizado para avaliar a fertilidade, a granulometria do solo, e determinar as necessidades de nutrientes para as plantas. Esses métodos utilizados em laboratório, já consagrados, levaram bastante tempo para atingir os graus de confiabilidade que possuem. Tratan-se de métodos em que as amostras de terra coletadas no campo, passam por uma série de processos visando a determinação dos seus atributos químicos e granulométricos. No Brasil podem ser citadas as metodologias adotadas por Camargo; Moniz; Valadares (1986), Raij et al. (2001) e Embrapa (1997). Os resultados das análises de solo são utilizados para uma série de atividades, entre elas, a classificação de solos e a recomendação para aplicação de adubos e fertilizantes, ambas de importância no manejo.

Sabendo-se tratar de um país agrícola não é difícil prever a importância deste tipo de análise. Estima-se que no Brasil o número de análises químicas de terra tenha atingido 1 milhão de amostras no ano de 2001 (RAIJ et al., 2001). Porém, estes métodos são complexos, consomem muito tempo e são de alto custo financeiro (CHANG et al., 2001). O número de laboratórios que prestam este tipo de serviço também aumentou. Somente nos laboratórios credenciados por 4 programas de qualidade, foram encaminhadas para análise de solo (análises básicas: MO, pH, P, Ca, Mg, K, H+Al, SB, Al) no ano de 2003, aproximadamente 1 milhão de amostras, no laboratório de fertilidade da ESALQ (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”) foram realizadas 95.940 análises de fertilidade nos anos de 2001, 2002 e 2003. O resultado disso é uma grande quantidade de reagentes gastos e resíduos produzidos além da destinação inadequada deste material. No caso da determinação da matéria orgânica do solo para 1 milhão de amostras, foram gastos aproximadamente 10 mil litros de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) e 20 mil litros de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), sendo o elemento cromo, considerado um metal pesado e altamente tóxico (considerando que todas as amostras continham menos de  $55\text{ g dm}^{-3}$  de matéria orgânica, caso contrário, as quantidade de reagentes utilizadas seriam ainda maiores).

Considerando o fato que os dados apurados são apenas de análises químicas (não computadas as granulométricas e mineralógicas) todas em conjunto necessárias em muitas atividades de planejamento e manejo. Esse tipo de trabalho em áreas tão vastas esbarra numa

série de dificuldades, entre elas as de logística, alto custo e falta de pessoal. Neste aspecto alguns pontos devem ser “atacados” com a difusão de novas tecnologias, como é o caso do sensoriamento remoto (SR) ou espectroscopia.

Partindo desta premissa, torna-se necessário o desenvolvimento de novas técnicas de análise de atributos do solo que possam ser tão eficazes - ou ainda mais - que os métodos convencionais (CHANG, et al., 2001). É neste contexto que destaca-se a espectroscopia de reflectância como um método alternativo à estimativa de ampla quantidade de atributos do solo (McCARTY et al., 2002; REEVES et al., 2002; STEVENS et al., 2006; VISCARRA-ROSSEL et al., 2006b; LAGACHERIE et al., 2008).

A espectroscopia de reflectância é uma técnica de análise não destrutiva que estuda as interações entre a luz incidente e a superfície de um “corpo” (STARK; LUCHTER; MARGOSHES, 1986). Esta técnica tem sido utilizada devido a sua simplicidade, rapidez e pelo fato de ter pequeno ou nenhum gasto de tempo na preparação da amostra (CHANG et al., 2001).

A técnica começou a ser desenvolvida na década de 60 quando buscou-se novas maneiras de se analisar rapidamente umidade de grãos (BEN-GERA E NORRIS, 1968). Hoje os métodos são aplicados em áreas farmacêuticas, petroquímicas e diversas de âmbito industrial (WORKMAN JUNIOR, 1996).

Basicamente os métodos de predição espectral de atributos baseiam-se em métodos quimiométricos que uma forte base estatística. Modelos de predição são constantemente calibrados em função da região de estudo e da porção do espectro eletromagnético que se tem em mãos (FIORIO, 2002).

Segundo Viscarra Rossel et al. (2006) a avaliação dos atributos do solo por meio da sua resposta espectral pode resultar em dados mais precisos que as técnicas convencionais as quais alteram o equilíbrio entre as fases do solo e de fato, podem dificultar a interpretação dos resultados. A natureza das análises de reflectância espectral sugere que esta pode ser usada como suporte de decisões, em agricultura de precisão, em avaliação de grandes áreas utilizando uma maior densidade amostral (VISCARRA ROSSEL E MCBRATNEY, 1998; JANIK et al., 1998; THOMASSON et al., 2001; ODLARE et al., 2005). Odeh e MacBratney (2000) comprovaram que a utilização de dados espectrais de sensoriamento próximo (sensoriamento remoto a nível de laboratório) processado por meio de técnicas estatísticas, foram as mais eficientes e menos onerosas, na avaliação de solos. Portanto, a estimativa de atributos de solo por espectroscopia de

reflectância apresenta-se como técnica promissora em atender as necessidades atuais. No entanto, o uso adequado da técnica se baseia na construção de um banco de dados espectrais ou Biblioteca Espectral (BE) com representatividade adequada (VISCARRA-ROSSEL et al., 2008).

Neste contexto a grande questão indagada no meio científico é qual seria o tamanho (abrangência e número de dados) adequado de uma biblioteca espectral? O que proporcionaria melhores resultados uma única biblioteca espectral única para o Brasil seria melhor ou várias bibliotecas espectrais regionais ou locais? Nesse sentido o presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade de modelos de predição de atributos de solo gerados a partir de bibliotecas espectrais (obtidas em laboratório na região do VIS-NIR) com diferentes abrangências e quantidade de dados. Sabe-se que os solos são formados pela interação dos fatores de formação como clima, organismos, material de origem relevo e tempo. Portanto, espera-se que bibliotecas espectrais regionais (dentro de mesma faixa geológica e climática) apresentem melhores modelos de predição do que uma única biblioteca geral.

## **4.2 Material e Métodos**

### **4.2.1 Área de estudo**

Foram utilizadas amostras de terra coletadas em áreas agrícolas dos municípios de Matão, Paraguaçu Paulista, Andradina, Ipaçu, Igarapava, Luis Antonio, Mirandópolis, Piracicaba, São Carlos, Araraquara, Guararapes, Valparaíso (SP); Aparecida do Taboado, Naviraí, Maracajú, Rio Brillhante, Três Lagoas (MS); Goianésia (GO); Uberaba, Lagoa da Prata (MG) e Porto Velho (AP) (Figura 4.1). No total foram coletadas 7185 amostras de terra sendo essas provenientes de horizontes de perfis de solos descritos morfologicamente ou ainda coletadas através de tradagem a 0-20; 40-60 ou 80-100 cm (EMBRAPA, 1995).

### **4.2.2 Análises laboratoriais**

#### **4.2.2.1 Análises químicas**

Para todas as amostras foram determinados matéria orgânica (M.O.), P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, e calculados a Soma de Bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) além da determinação das frações Areia total, Silte e



Argila. Ainda para grande parte das amostras foram determinados pH (em H<sub>2</sub>O, KCl e CaCl<sub>2</sub>). Para aproximadamente 250 amostras os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO, Si<sub>2</sub>O<sub>4</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> resultantes do ataque sulfúrico. Além disso para amostras representativas de horizontes superficiais foram calculados: relação silte/argila, atividade da fração argila e ΔpH.

A metodologia utilizada para análise dos teores de areia (grossa e fina), silte e argila foram as de Camargo; Moniz; Valadares (1986), química a de Raij et al. (2001). A partir desses dados, obteve-se o valor da SB, CTC, V% em%. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO, Si<sub>2</sub>O<sub>4</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foram determinados pelo ataque sulfúrico (CAMARGO; MONIZ; VALADARES, 1986).

#### **4.2.2.2 Obtenção de dados espectrais**

Os dados espectrais foram obtidos em laboratório com o espectroradiômetro FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo.) (HATCHELL, 1999). Trata-se de um sensor cuja resolução espectral é de 1 nm nos comprimentos de onda de 350 a 1100 nm e de 2 nm nos comprimentos que vão de 1100 a 2500 nm. Para a coleta dos dados de reflectância, as amostras secas em estufa à 45°C durante 24 horas (HENDERSON et. al., 1992), em seguida moídas e peneiradas (malha de 2 mm). Cada amostra corresponde à aproximadamente um volume de 15 cm<sup>3</sup> de solo. Essa foi alocada em placa de petri para leitura no sensor. A reflectância de cada amostra foi dada pela média de 100 leituras realizadas pelo sensor. A ponta de captação luminosa do equipamento (entrada do cabo de fibra ótica) foi colocada em posição vertical a 8 cm de distância da amostra, onde foi medida a luz refletida numa área aproximada de 2 cm<sup>2</sup> no centro da amostra. A fonte de iluminação utilizada foi uma lâmpada halógena de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado, sendo posicionada a 35 cm da amostra e com um ângulo zenital de 30°. Utilizou-se como padrão de referência, uma placa branca de sulfato de bário, considerada como padrão de 100% de reflectância. A partir dos dados obtidos foram criadas representações gráficas (curvas de reflectância espectral).

#### 4.2.2.3 Construção das Bibliotecas Espectrais

A partir da totalidade dos dados espectrais coletados foram construídas distintas bases de dados ou Bibliotecas Espectrais (BE), tendo-se: BE Geral, contendo todos os dados espectrais coletados; BE Regional 01, contendo dados espectrais dos municípios de Guararapes, SP, Valparaíso, SP, Mirandópolis, SP, Andradina, SP, Três Lagoas, MS e Aparecida do Taboado, MS. BE Regional 02, contendo dados espectrais dos municípios de São Carlos, SP, Piracicaba, SP, Matão, SP, Araraquara, SP e Luis Antonio, SP. BE Local de Guararapes, SP, contendo dados do município; BE Local de Porto Velho, AP, contendo dados do município; BE Local de Goianésia, GO, contendo dados do município; BE Local de Luis Antonio, SP, contendo dados do município. BE de sub-superfície, contendo dados espectrais de todas as regiões porém somente de horizontes diagnósticos sub-superficiais. BE I, contendo 250 dados espectrais de horizontes diagnósticos analisados pela metodologia do ataque sulfúrico (CAMARGO; MONIZ; VALADARES, 1986). A Tabela 4.1 apresenta um resumo das diferentes BE's e a Figura 4.1 ilustra sua construção.

Tabela 4.1 – Caracterização das Bibliotecas Espectrais

Biblioteca Espectral (BE)	Número de Dados Espectrais	Região	Número de amostras para calibração	Número de Amostras para validação	Atributos Preditos
<b>Geral</b>	7185	Todas as regiões	3000	1000	Areia Total, Argila, Silte, M.O., Corg, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V%, pH CaCl <sub>2</sub> , m%.
<b>Regional 01</b>	3093	Guararapes-SP, Valparaíso-SP, Mirandópolis-SP, Andradina-SP, Três Lagoas-MS e Aparecida do Taboado-MS	2063	1030	Areia Total, Argila, Silte, M.O., Corg, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V%, m%.
<b>Regional 02</b>	903	São Carlos – SP, Piracicaba – SP, Matão – SP, Araraquara-SP e Luis Antonio – SP	603	300	Areia Total, Argila, Silte, M.O., Corg, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V%, m%.
<b>Local de Guararapes-SP</b>	843	Guararapes-SP	562	281	Areia Total, Argila, Silte, M.O., Corg, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V%, pH CaCl <sub>2</sub> , m%.
<b>Local de Luis Antonio-SP</b>	563	Luis Antonio - SP	375	188	Areia Total, Argila, Silte, M.O., Corg, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V%, pH CaCl <sub>2</sub> , m%.
<b>Local de Porto Velho - AP</b>	621	Porto Velho - AP	414	207	Areia Total, Argila, Silte, M.O., Corg, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V%, m%.
<b>Local de Goianésia-GO</b>	541	Goianésia-GO	361	180	Areia Total, Argila, Silte, M.O., Corg, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC, V%, m%.
<b>Sub-superfície</b>	2361	Todas as regiões	1574	787	Al, Atividade Argila, Delta pH, m%, pH H <sub>2</sub> O, pH KCl, relação silte/argila, V%.
<b>I</b>	250	São Carlos-SP, Piracicaba-SP, Matão-SP, Ipaussu-SP, Araraquara-SP, Uberaba-MG, Lagoa da Prata-MG, Maracajú-MS, Goianésia-GO	167	83	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , MnO, TiO <sub>2</sub> , Ki, Kr

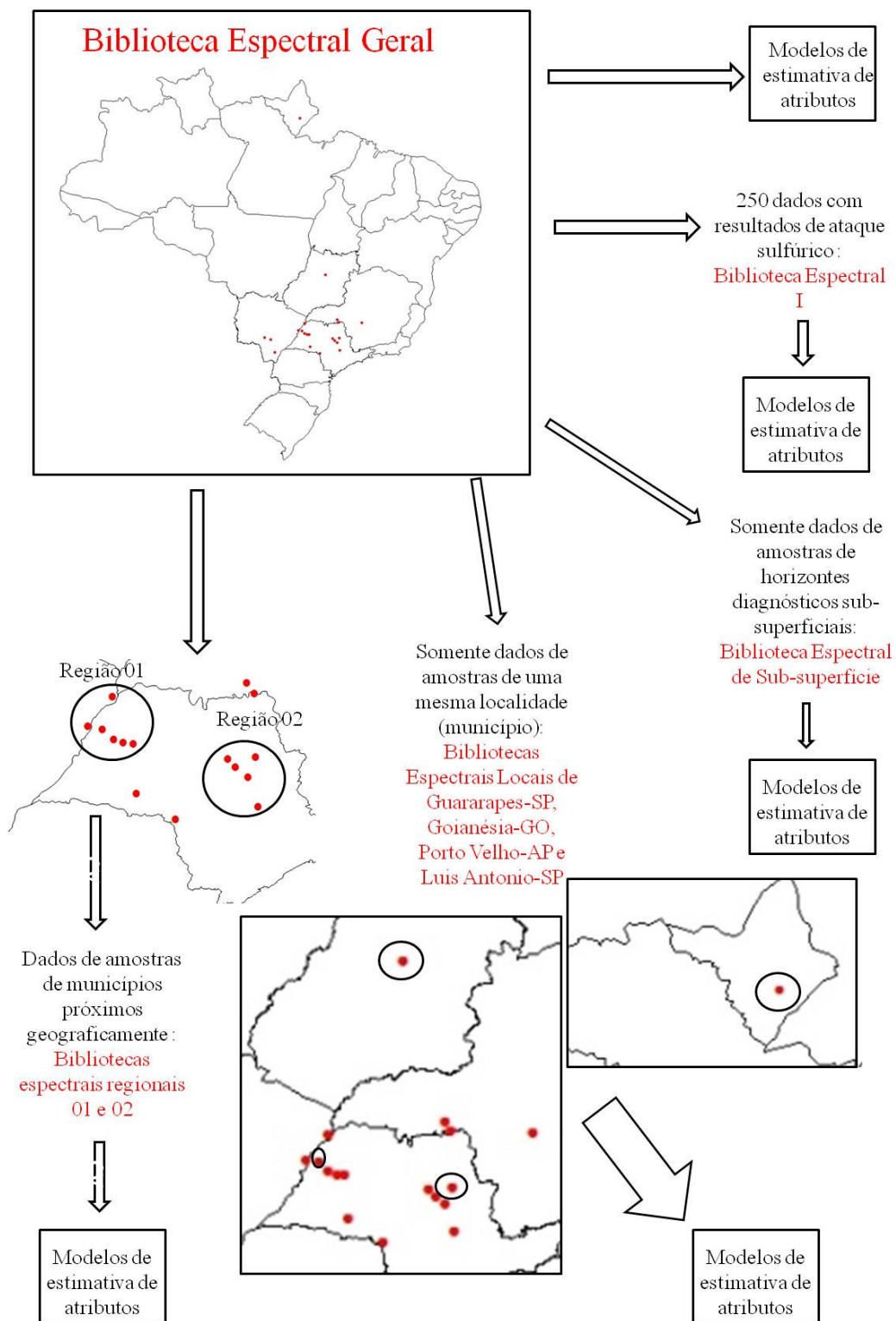


Figura 4.1 - Construção das Bibliotecas Espectrais

#### 4.2.2.4 Tratamento dos dados espectrais

Todos os dados de reflectância foram pré-processados para remover possíveis erros e melhorar a estabilidade da regressão. Foi utilizada a técnica de transformação de aplicação de log (1/R) (absorbância) e a centralização dos valores em torno da média.

#### 4.2.3 Análises estatísticas

##### 4.2.3.1 Análise estatística dos dados de referência dos atributos

Para cada BE foi realizada a análise estatística dos dados laboratoriais de referência. Foi calculado a média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo de cada atributo. Foi considerado como *outlier* valores com distância euclidiana maior que 3. Para análise estatística foi utilizado o programa Statistical Package for the Social Sciences 11.0.

##### 4.2.3.2 Análise de componentes principais (PCA) e identificação de *outliers* dos dados espectrais

Através do programa *The Unscrambler 9.7*. Foi realizada a análise de componentes principais (PCA) dos dados espectrais. Segundo Sabin et al., (2002), a análise de componentes principais (PCA) é um dos métodos mais comuns empregados na análise de informações (BROWN, 1995), sendo principalmente utilizada pela sua capacidade de compressão dos dados em função da existência de correlação entre diversas variáveis medidas. Quando aplicamos um algoritmo de PCA num conjunto de variáveis, como por exemplo, curvas espectrais de solos, o conjunto original destas variáveis é substituído por um novo conjunto de variáveis (ou *scores*) denominado de componentes principais (CPs). A principal característica deste novo conjunto é a ortogonalidade, porém o mesmo é facilmente reconstruído a partir da combinação linear das variáveis originais (curvas espectrais). Como vantagem, o novo conjunto de variáveis (CPs), geralmente concentra a maior parte da informação (variância) em poucas variáveis (*scores*), diminuindo assim a dimensionalidade dos dados, sem perda significativa da informação química. A maioria dos aplicativos disponíveis utilizam a técnica de decomposição do valor singular (SDV) para obter as CPs, sendo neste caso a primeira componente principal (CP1) definida na direção (eixo) de maior variância do conjunto de variáveis originais. De forma decrescente em

termos de variação são definidas as demais componentes principais, porém estas serão sempre ortogonais a CP1 e entre si. Por exemplo, um sistema que seja reduzido a 3 CPs (CP1, CP2 e CP3) se assemelha ao sistema de coordenadas cartesiano onde todos os eixos são linearmente independentes, isto é, ortogonais entre si. Para os casos de conjuntos de espectros consideramos inicialmente uma matriz de dados  $\mathbf{X}$  ( $i \times j$ ), sendo que  $i$  corresponde ao número de amostras (curvas espectrais) e  $j$  o número de variáveis (comprimento de onda), que pode ser decomposta em três outras matrizes,  $\mathbf{U}$ ,  $\mathbf{S}$  e  $\mathbf{V}$  (FERREIRA, 2002), conforme expressão 1:

$$\mathbf{X} = \mathbf{U}\mathbf{S}\mathbf{V}^t \quad (1)$$

As colunas de  $\mathbf{U}$  e  $\mathbf{V}$  são ortogonais. A matriz  $\mathbf{V}$  é a matriz dos pesos, onde a primeira coluna contém os pesos de PC1 e assim por diante. O produto  $\mathbf{U} \times \mathbf{S}$  corresponde à matriz  $\mathbf{T}$  dos *scores*. Por fim,  $\mathbf{S}$  é uma matriz diagonal cujos elementos (valores singulares) contém informações sobre a quantidade de variância que cada componente principal descreve. A matriz  $\mathbf{S}$  é importante na determinação da dimensionalidade intrínseca da matriz de dados, podendo os analistas definir quantas CPs ou fatores devem ser utilizados para análises posteriores. Os autovalores que forem pequenos serão excluídos, e as informações relevantes podem de alguma maneira ser separadas, eliminando-se assim os ruídos experimentais. A partir dos CP's foram identificados os *outliers* dos dados espectrais.

A análise de componentes principais serve como indicativo da variabilidade de solos de cada biblioteca espectral. A CP01 está diretamente correlacionada ao albedo de cada amostra. Já a CP2 relacionada com a inclinação que ocorre entre a região do infravermelho e do visível (GALVÃO et al. 1997; GALVÃO et al., 2001).

#### 4.2.3.3 Seleção de amostras

Devido ao elevado número de dados espectrais que a BE Geral possuía (7185) foi necessária a realização de uma amostragem representativa dos dados para as etapas de elaboração dos modelos de predição. Para tanto foi utilizado o programa computacional Conditioned Latin Hypercube Sampling (cLHs) (MINASMY E MCBRATNEY, 2006), que através dos scores provenientes da PCA seleciona dados espectrais representativos de um determinado conjunto.

#### 4.2.3.4 Calibração e validação de modelos espectrais de quantificação de atributos

A partir dos dados de cada BE, foram criados para as mesma, um grupo de dados utilizada para a calibração dos modelos (criação dos modelos de predição) e um grupo para posterior validação (amostras testes)(Tabela 4.1).

Através do programa quimiométrico *The Unscrambler 9.7*, foram gerados os modelos de estimativa ou predição (fase de calibração). Para tal, foi utilizada a técnica de regressão pelo método de mínimos quadrados parciais ou projeção sobre estruturas latentes (*projection to latent structures*) (PLS ou PLSR) inserida neste programa.

Este método de regressão é desenvolvido de forma básica nas seguintes etapas:

São calculados os *loadings* dos vetores de ponderação

$$w_1 = c \cdot X_0 \cdot y_0 \quad (2)$$

onde  $w_1$  são os pesos de cada uma das regiões do espectro,  $X_0$  é a matriz dos dados espectrais e  $y_0$  é a matriz do atributo que se deseja modelar,  $c$  é o fator escalar que é calculado por

$$c = (y_0^T \cdot X_0 \cdot X_0^T \cdot y_0)^{-0.5} \quad (3)$$

os *scores* e os *loadings* são calculados por

$$\hat{t}_1 = X_0 \cdot \hat{w}_1 \quad (4)$$

onde  $\hat{t}_1$  é uma matriz de uma coluna (*Scores* da reflectância)

$$p_1 = \frac{(X_0^T \cdot \hat{t}_1)}{\hat{t}_1^T \cdot \hat{t}_1} \quad (5)$$

onde  $p_1$  é uma matriz de uma coluna (*Loadings* da reflectância)

$$q_1 = \frac{y_0^T \cdot \hat{t}_1}{\hat{t}_1^T \cdot \hat{t}_1} \quad (6)$$

e onde  $q_1$  é uma matriz de uma coluna e uma fila (um único valor) (*Loadings* do atributo).

Desta forma os coeficientes de regressão (" $b$ ") podem ser calculados por

$$b = W(P^T \cdot W)^{-1}q \quad (7)$$

e é calculado também o fator de correção

$$b_0 = y - X^T b \quad (8)$$

assim a estimação do atributo pode ser feita por

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n (R_i \cdot b_i) \quad (9)$$

onde  $Y$  é o valor do atributo modelado,  $b_0$  é o fator de correção,  $b_i$  são os coeficientes de regressão para cada região do espectro e  $R_i$  é a reflectância em cada região do espectro. Uma das características deste método de regressão é que esta pode ser melhorada através das matrizes de resíduos da regressão inicial. Assim, se realiza uma nova regressão minimizando estes resíduos e obtendo novos coeficientes  $b$ . Estas matrizes são calculadas por:

$$X_1 = X_0 - t_1 \cdot p_1^T \quad (10)$$

$$y_1 = y_0 - t_1 \cdot q_1^T \quad (11)$$

Onde  $X_l$  e  $y_l$  são as novas matrizes a partir das quais é realizada a nova regressão. Este procedimento pode ser repetido varias vezes minimizando cada vez mais os resíduos ou o erro e melhorando assim ate certo ponto as regressões, se o procedimento é realizado  $n$  vezes se diz que se tem usado um número  $n$  de fatores PLS. As regressões PLS têm sido amplamente utilizadas apresentado bom desempenho na estimativa de atributos baseada no comportamento espectral do solo (MCBRATNEY et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2008; VASQUES et al., 2008; ZORNOSA et al., 2008; PIERNA E DARDENNE, 2008).

Na calibração de modelos de cada um dos atributos, o número de fatores PLS foram escolhidos usando como critério os resultados da validação dos modelos (fase de validação). Durante a fase de validação ou validação cruzada (comparação entre os valores de referência obtidos das análises químicas convencionais versus os valores preditos pelo modelo) os modelos foram avaliados através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Eq. 12), raiz do erro médio quadrático (RMSE) (Eq. 13), erro médio (ME ou Bias) (Eq.15), desvio padrão do erro (SDE ou SEP) (Eq. 16), a razão de porcentagem de desvio (RPD) (WILLIANS, 1987) e a inclinação (*slope*) da linha de tendência.

Onde:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (12)$$



$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (13)$$

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i) \quad (14)$$

$$SDE = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i - ME)^2}{1 - N} \quad (15)$$

$\hat{y}_i$  indica os valores estimados pelo modelo,  $y_i$  indica os valores observados e  $N$  é o número observações da variável a modelar. A diferença entre o valor observado (de referência) e o predito é denominada de resíduo.

O RPD é a razão entre o desvio padrão dos dados de referência sobre o RMSE da validação do modelo. A inclinação da linha de tendência da validação indica a qualidade do modelo. Em uma validação que os valores preditos são exatamente iguais aos observados (referência), a relação é 1:1 e a inclinação da linha de tendência é igual a 1. O ME é a média dos resíduos, e indica se um modelo superestima ou subestima os valores do atributo. O SDE é o desvio padrão dos resíduos, altos valores de SDE indicam que o modelo apresenta boa predição para uma parte das amostras teste e predição ruim para outras.

Determinar quais os valores dos parâmetros  $R^2$  e RMSE que constituem um modelo adequado é subjetivo, da mesma forma que há dificuldades em se comparar resultados de diferentes calibrações (DUNN et al., 2002). No entanto, Saeys et al. (2005) estabeleceram que valores de  $R^2$  entre 0,50 e 0,65 indicam a possibilidade de discriminação das altas e baixas concentrações no modelo, enquanto que, valores de  $R^2$  de aproximadamente 0,66 a 0,81, de 0,82 a 0,90 e acima de 0,90 indicam modelos quantitativos de predição de atributos químicos do solo aceitáveis, bons e excelentes respectivamente. Dunn et al. (2002) e Chang et al. (2001) sugerem que valores de RPD menores que 1,6 sejam considerados insuficientes para a maioria das aplicações, enquanto que modelos com valores maiores que 2,0 sejam considerados excelentes. Já

modelos com valores de RDP entre 1,5 e 2,0 são julgados úteis em relação à acurácia das predições. Com base nos trabalhos de Says et al (2005), Chang et al. (2001) e Dunn et al. (2002) foram analisados os resultados obtidos neste trabalho.

Ainda na etapa de calibração, há uma validação interna (teste interno). Onde o modelo é testado com os mesmos dados que o geraram, resultando em valores de  $R^2$  e RMSE. Esta validação interna serve apenas como indicativo se os modelos gerados apresentaram bons ou maus resultados.

### 4.3 Resultados e discussão

#### 4.3.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

A BE apresentou grande variabilidade de solos (Figura 4.2). Isto se deve aos dados serem provenientes de diferentes regiões e que possuem diferentes materiais de origens. A PC1 está correlacionada com o albedo das amostras (GALVÃO et al., 2001). Solos de maior albedo apresentaram menores valores de *score* da PC1 (Capítulo 03). A diferença no albedo é em função dos teores de  $Fe_2O_3$ , areia, argila, matéria orgânica e presença de minerais opacos (Capítulo 03). A quantidade desses atributos em uma amostra está relacionada sua classe de solo e respectivo material de origem. Portanto, BE's que apresentam alta variação nos valores dos *scores* da PC1 apresentam alta variabilidade de solos formados a partir de diferentes materiais de origem. Uma BE que contenha baixa variabilidade de solos formados de mesmo material de origem irá apresentar um maior agrupamento dos pontos no gráfico da PC1 x PC2.

Quanto as BE's Regionais, a BE Regional 01 apresentou menor variabilidade de solos do que a BE Regional 02, dados pela menor variação dos *scores* da PC1. Os dados que compõem a BE Regional 01, são dados de regiões que se situam próximas geograficamente e basicamente tem como material de origem arenitos. No entanto, a BE Regional 02 possui dados provenientes de regiões próximas geograficamente, porém, de maior variabilidade de materiais de origens, materiais esses variando de rochas vulcânicas, siltitos, argilitos e até mesmo arenitos.

Dentre as BE's Locais a BE Local de Luis Antonio, SP e BE Local de Porto Velho, AP apresentaram maior variabilidade de solos que as BE Locais de Goianésia, GO e Guararapes, SP. Principalmente na região de Luis Antonio, SP ocorre maior variabilidade de solos, com maior

variação nos teores de argila e areia. (Tabela 4.2) a mesma apresentou alta variação de valores de *score* da PC1.

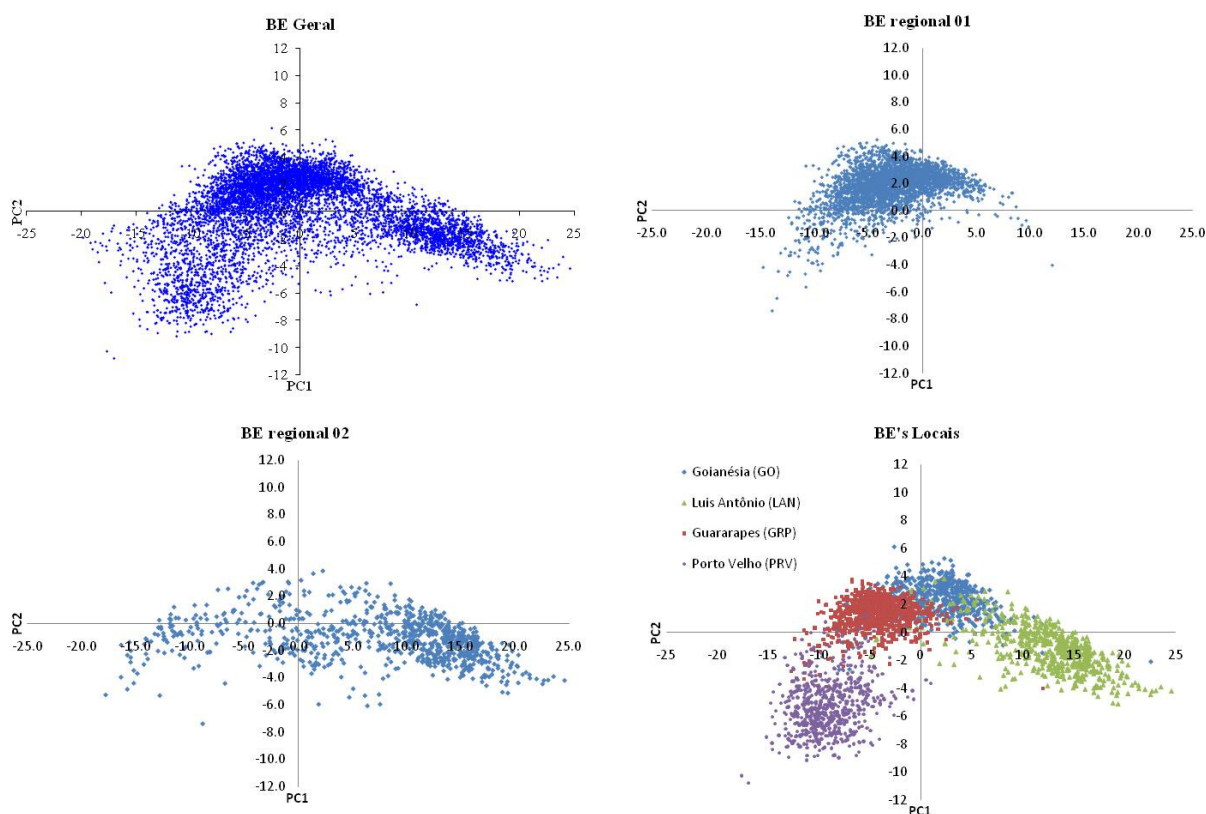


Figura 4.2 – Análise de Componentes Principais das BE's geral, regionais e locais

### 4.3.2 Análise estatística dos dados de referência

As BE's locais de Goianésia, GO e Guararapes, SP e a BE Regional 01 foram as que apresentaram menor amplitude e variação dos teores de argila e areia (Tabela 4.2), confirmando os resultados da PCA (Figura 4.2) apresentados anteriormente. Quanto à amplitude dos teores de M.O., todas as BE's apresentaram variação alta (Tabela 4.2) sendo a BE Local de Guararapes, SP a que apresentou menor variabilidade.

Para os teores dos atributos químicos a amplitude variou conforme o atributo. De maneira geral a BE Local de Porto Velho, AP apresentou menor variabilidade dos teores, seguida pelas BE local de Luis Antonio, SP e pela BE Regional 01(Tabela 4.2). As BE's de sub-superfície e I apresentaram amplitude de valores média a alta nos teores dos atributos de referência (Tabela 4.3 e 4.4).

Tabela 4. 2 – Análise estatística dos atributos de referência das BE's Geral, regionais e locais

	Atributo do solo															
	Areia	Silte	Arg.	M.O.	C	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	V	m	pH CaCl2
	..... g kg <sup>-1</sup> .....		.... mg kg <sup>-1</sup> .....					..... mmol kg <sup>-1</sup> .....					... % ...			
<b>Dados estatísticos da análise de rotina dos dados da Biblioteca Espectral Geral</b>																
<b>Média</b>	523,3	83,5	392,3	13,66	7,87	4,39	1,29	13,09	4,9	3,5	26,07	20,9	46,9	41,0	21,7	4,69
<b>Desv. Padrão</b>	273,6	53,6	251,9	7,94	4,51	6,10	1,45	11,97	4,23	4,74	15,65	19,63	25,1	22,5	25,6	0,58
<b>min</b>	0,0	2,0	68,0	2,0	1,16	1,0	0,1	1,0	0,1	0,0	1,0	2,1	8,1	4,0	0,0	3,3
<b>max</b>	910,0	360,0	960,0	39,0	22,09	54,0	9,8	65,0	28,0	32,0	105,0	134,1	162,1	95,0	96,0	6,3
<b>Dados estatísticos da análise de rotina dos dados da Biblioteca Espectral Regional - Região 01</b>																
<b>Média</b>	746,5	70,1	182,0	10,4	6,0	3,5	1,5	1,5	4,12	3,37	17,66	16,35	34,46	46,0	23,4	4,6
<b>Desv. Padrão</b>	70,5	31,1	55,2	4,8	2,8	3,4	1,24	1,24	2,70	3,83	7,45	10,60	11,94	21,6	27,4	0,58
<b>min</b>	540,0	0,0	40,0	1,0	0,5	1,0	0,1	0,1	1,00	0,00	1,00	2,1	7,50	5,0	0,0	3,3
<b>max</b>	920,0	185,0	350,0	26,0	15,1	23,0	23,0	6,7	14,00	16,00	42,00	53,3	75,90	98,0	87,0	6,4
<b>Dados estatísticos da análise de rotina dos dados da Biblioteca Espectral Regional - Região 02</b>																
<b>Média</b>	487,7	78,4	433,4	15,43	8,97	5,71	0,88	11,54	3,79	2,67	29,11	16,26	45,96	33,3	20,35	x
<b>Desv. Padrão</b>	250,7	49,5	215,2	7,35	4,28	8,60	1,18	9,87	2,84	2,98	12,04	12,89	19,70	18,2	23,7	x
<b>min</b>	0,0	2,0	78,0	2,0	1,16	1,0	0,1	1,0	1,0	0,0	5,0	2,1	14,4	4,0	0,0	x
<b>max</b>	904,0	230,0	860,0	37,0	21,51	51,0	8,2	56,00	56,00	23,00	66,0	66,9	109,8	95,0	92,0	x
<b>Dados estatísticos da análise de rotina dos dados da Biblioteca Espectral Local - Porto Velho - AP</b>																
<b>Média</b>	491,4	40,1	467,6	13,5	7,81	1,83	0,54	2,04	1,25	4,4	25,88	3,91	29,96	14,36	46,98	4,56
<b>Desv. Padrão</b>	151,9	16,2	151,7	7,0	4,09	0,94	0,61	1,28	0,52	3,6	11,87	1,97	12,29	7,56	21,43	0,39
<b>min</b>	130,0	20,0	80,0	2,0	0,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	7,0	2,10	9,1	3,0	1,0	3,6
<b>max</b>	880,0	80,0	810,0	33,0	19,19	5,0	2,3	7,0	4,0	15,0	63,0	11,20	65,1	39,0	88,0	5,6
<b>Dados estatísticos da análise de rotina dos dados da Biblioteca Espectral Local - Guararapes - SP</b>																
<b>Média</b>	744,0	66,0	187,0	8,0	4,65	4,24	1,34	12,9	4,68	1,21	17,9	19,2	37,4	50,6	7,55	5,1
<b>Desv. Padrão</b>	68,0	33,0	51,0	3,86	2,25	4,32	1,48	5,58	2,34	1,44	5,0	7,75	9,3	12,6	9,76	0,61
<b>min</b>	540,0	3,0	69,0	3,0	1,74	1,0	0,1	2,0	1,0	0,0	10,0	3,0	20,0	14,0	0,0	3,8
<b>max</b>	890,0	188,0	306,0	20,0	11,63	30,0	7,8	33,0	14,0	6,0	34,0	47,0	72,0	80,0	44,0	6,6
<b>Dados estatísticos da análise de rotina dos dados da Biblioteca Espectral Local - Goianésia - GO</b>																
<b>Média</b>	229,0	109,0	660,0	18,21	10,8	16,38	1,9	22,2	7,76	0,68	30,75	31,65	63,78	47,5	4,6	x
<b>Desv. Padrão</b>	80,3	51,4	99,8	9,79	5,78	9,54	3,4	16,4	6,28	1,16	13,73	22,0	28,58	22,0	9,1	x
<b>min</b>	50,0	20,0	390,0	4,0	2,30	1,0	0,1	1,0	1,0	0,0	3,0	2,1	17,3	6,0	0,0	x
<b>max</b>	470,0	300,0	890,0	46,0	26,7	88,0	22,1	93,0	32,0	6,0	72,0	108,8	28,58	99,0	46,0	x
<b>Dados estatísticos da análise de rotina dos dados da Biblioteca Espectral Local - Luis Antonio - SP</b>																
<b>Média</b>	403,0	92,5	509,4	17,59	10,22	5,71	0,79	12,15	3,53	2,21	30,18	16,9	47,83	32,74	16,88	4,95
<b>Desv. Padrão</b>	263,0	56,6	221,4	8,44	4,90	6,83	0,93	10,62	2,64	2,29	11,29	14,2	21,96	16,7	21,61	0,50
<b>min</b>	10,0	20,0	100,0	4,0	2,32	1,0	0,1	1,0	1,0	0,0	5,0	2,1	17,4	6,0	0,0	4,0
<b>max</b>	860,0	230,0	860,0	39,0	22,67	35,0	5,3	51,0	13,0	10,0	61,6	112,2	112,2	78,0	80,0	6,1

Tabela 4.3 – Análise estatística dos atributos de referência da BE de sub-superfície

	Atributo do solo							V
	Al	Ativ. Arg.	Delta pH	m	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Silte/Arg.	
	.... mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ....			%				%
<b>Dados estatísticos da análise de rotina dos dados da Biblioteca Espectral</b>								
<b>Média</b>	4,35	112,88	-0,64	29,26	5,22	4,55	0,26	34,84
<b>Desv. Padrão</b>	6,52	60,02	0,38	28,46	0,61	0,54	0,18	22,82
<b>min</b>	0,0	19,84	-2,1	0,0	3,9	3,5	0,01	4,0
<b>max</b>	102,0	416,0	0,5	96,0	7,0	6,2	1,08	95,0

Tabela 4.4 – Análise estatística dos atributos de referência da BE I

	Atributo do solo						
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	Ki	Kr
	..... % .....						
<b>Dados estatísticos da análise de rotina dos dados da Biblioteca Espectral</b>							
<b>Média</b>	17,48	15,92	13,41	0,10	1,92	1,34	0,9
<b>Desv. Padrão</b>	7,36	9,69	6,78	0,09	1,53	0,38	0,32
<b>min</b>	1,81	0,91	1,65	0,0	4,91	0,53	0,29
<b>max</b>	28,77	32,13	25,72	0,35	0,02	2,15	1,67

#### 4.3.3 Calibração e validação dos modelos de estimativa gerados pelas bibliotecas espectrais: geral, regionais e locais

Concordando com resultados encontrados por outros autores como Shepherd e Walsh (2002), Viscarra Rossel et al. (2006a), Viscarra Rossel et al. (2008) e Alves (2008) os modelos de estimativa para os atributos físicos argila, areia, carbono orgânico e matéria orgânica apresentaram melhor precisão do que os para atributos químicos, para todas as BE's (Tabelas 4.5 a 4.7).

Dos modelos de predição gerados a partir da BE geral, apenas areia total e argila apresentaram excelentes resultados (RPD superior a 2,0), com R<sup>2</sup> maior que 0,85 e RPD superior a 2,0 (Tabela 4.6). Enquanto matéria orgânica, carbono orgânico e CTC apresentaram boa precisão (RPD superior a 1,6 e inferior a 2,0) com valores de R<sup>2</sup> maiores que 0,6 e RPD superior a 1,6. Os demais atributos apresentaram resultados considerados insatisfatórios com RPD inferior a 1,6. Os atributos que apresentaram pior predição foram P, K, Al<sup>+3</sup> e pH CaCl<sub>2</sub> (Tabela 4.6).

Houve diferença na precisão dos modelos de estimativa das diferentes BE's regionais (Tabela 4.6). A BE regional 01 apresentou boas predições para argila, areia, Corg., M.O.,  $Al^{+3}$ , SB, CTC, V% e m%. Já a BE regional 02 apresentou excelentes predições de argila e areia e boas predições de Corg. e M.O..

A BE regional 01, em relação a BE regional 02, apresentou melhores predições de P, K, Mg, Al, SB, CTC, V% e m% e piores predições de Areia, Argila, Corg, M.O. e Ca. Em síntese a estimativa dos atributos físicos foi melhor na BE regional 02 enquanto a BE regional apresentou melhores predições dos atributos físicos. As duas BE's se distinguem no fato da BE regional 02 apresentar maior variabilidade de solos do que a BE regional 01. Enquanto a região 02 se localiza na transição entre a depressão periférica e o planalto ocidental paulista, onde existem materiais de origens distintos como arenitos, siltitos e rochas vulcânicas, a região 01 se encontra sobre o planalto ocidental paulista, o material de origem é basicamente o arenito.

Tabela 4.5 – Validação interna dos modelos de calibração gerados pelas Bibliotecas Espectrais Geral, Regionais e Locais

	Areia	Silte	Arg.	M.O.	C	P	K	Ca	Mg	Al	H <sup>+</sup> Al	SB	CTC	V	pH CaCl <sub>2</sub>	m
<b>Calibração dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Geral</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,89	0,56	0,88	0,66	0,65	0,26	0,30	0,49	0,40	0,39	0,60	0,52	0,73	0,49	0,42	0,50
<b>RMSE</b>	93,93	37,03	90,3	4,69	2,69	5,08	0,87	8,77	3,57	4,05	10,92	11,84	14,16	16,4	0,43	13,4
<b>Inclinação</b>	0,89	0,56	0,89	0,67	0,65	0,27	0,31	0,50	0,41	0,40	0,61	0,52	0,73	0,50	0,43	0,51
<b>F. PLS</b>	21	22	20	22	22	22	20	23	18	24	24	25	25	25	24	25
<b>Calibração dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Regional 01</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,68	0,43	0,71	0,62	0,62	0,40	0,50	0,69	0,56	0,66	0,57	0,71	0,71	0,66	x	0,71
<b>RMSE</b>	39,4	24,79	28,44	2,87	1,67	2,42	0,87	4,16	1,76	2,31	5,04	5,58	6,49	12,75	x	15,1
<b>Inclinação</b>	0,69	0,43	0,71	0,62	0,62	0,40	0,51	0,69	0,56	0,66	0,58	0,71	0,71	0,66	x	0,71
<b>F. PLS</b>	22	25	22	20	20	24	25	25	22	25	25	25	23	25	x	24
<b>Calibração dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Regional 02</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,84	0,63	0,84	0,66	0,66	0,31	0,18	0,37	0,36	0,41	0,46	0,38	0,46	0,24	x	0,40
<b>RMSE</b>	102,1	34,35	85,1	4,17	2,43	6,91	1,40	9,29	2,61	2,62	8,25	12,17	14,60	18,77	x	18,93
<b>Inclinação</b>	0,84	0,64	0,85	0,67	0,67	0,33	0,20	0,39	0,37	0,44	0,48	0,40	0,48	0,26	x	0,42
<b>F. PLS</b>	19	18	20	17	17	16	10	10	10	18	19	11	11	9	x	16
<b>Calibração dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Local de Porto Velho - AP</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,85	0,32	0,89	0,62	0,62	0,25	0,64	0,45	0,14	0,61	0,61	0,49	0,61	0,45	x	0,52
<b>RMSE</b>	62,6	12,65	53,5	4,48	2,60	0,81	0,36	1,02	0,62	2,18	7,38	1,45	7,75	5,65	x	15,21
<b>Inclinação</b>	0,86	0,35	0,89	0,64	0,64	0,27	0,66	0,48	0,16	0,63	0,63	0,51	0,63	0,47	x	0,54
<b>F. PLS</b>	19	16	19	16	16	14	17	15	9	16	15	15	16	14	x	14
<b>Calibração dos Modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Local de Guararapes - SP</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,76	0,28	0,76	0,76	0,76	0,49	0,62	0,77	0,64	0,52	0,62	0,77	0,77	0,70	0,69	0,50
<b>RMSE</b>	33,07	30,45	24,7	1,87	1,09	3,00	0,80	3,05	1,47	1,04	3,02	4,24	4,95	7,87	0,35	7,24
<b>Inclinação</b>	0,77	0,30	0,77	0,77	0,77	0,51	0,64	0,78	0,66	0,54	0,64	0,78	0,76	0,71	0,71	0,53
<b>F. PLS</b>	14	11	17	16	16	20	25	21	24	25	20	19	14	24	21	21
<b>Calibração dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Local de Goianésia - GO</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,51	0,21	0,55	0,90	0,90	0,19	0,19	0,60	0,43	0,36	0,61	0,58	0,78	0,53	x	0,43
<b>RMSE</b>	64,84	31,89	65,98	3,35	1,95	13,15	3,65	10,71	4,42	1,19	9,18	16,14	13,45	14,51	x	8,33
<b>Inclinação</b>	0,53	0,23	0,57	0,90	0,90	0,22	0,21	0,62	0,45	0,38	0,63	0,60	0,79	0,55	x	0,45
<b>F. PLS</b>	12	8	16	20	20	10	8	16	14	15	13	16	15	16	x	17
<b>Calibração dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Local de Luis Antonio - SP</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,82	0,68	0,81	0,67	0,69	0,36	0,31	0,36	0,33	0,27	0,29	0,52	0,57	0,23	0,31	0,38
<b>RMSE</b>	111,1	30,98	94,09	4,39	2,55	6,15	0,91	7,56	2,25	2,06	8,67	8,92	12,42	14,36	0,47	18,23
<b>Inclinação</b>	0,83	0,69	0,82	0,68	0,68	0,38	0,34	0,38	0,35	0,29	0,31	0,55	0,60	0,25	0,33	0,40
<b>F. PLS</b>	14	12	14	14	14	11	12	9	7	7	7	16	14	7	6	10



Tabela 4.6 – Resultados da validação cruzada dos modelos de estimativa de atributos gerados a partir das Bibliotecas Espectrais: Geral e Regionais

	Areia.	Silte	Arg.	M.O.	C	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	V	pH CaCl <sub>2</sub>	m
	..... g kg <sup>-1</sup> .....		..... mg kg <sup>-1</sup> .....				..... mmol kg <sup>-1</sup> .....					%		%		
<b>Validação dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Geral</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,86	0,51	0,85	0,63	0,63	0,17	0,18	0,4	0,31	0,16	0,46	0,37	0,66	0,3	0,22	0,23
<b>RMSE</b>	102,4	37,5	97,73	4,79	2,73	5,56	1,31	9,26	3,5	4,35	11,48	13,12	14,66	18,84	0,51	22,44
<b>Inclinação</b>	0,87	0,55	0,85	0,65	0,64	0,22	0,24	0,45	0,38	0,28	0,58	0,44	0,7	0,42	0,32	0,39
<b>F. PLS</b>	21	22	20	22	22	22	20	23	18	24	24	25	25	25	24	25
<b>SDE</b>	96,07	37,5	90,27	4,66	2,66	5,56	1,31	9,2	3,5	4,29	11,18	13,03	14,62	18,2	0,49	21,78
<b>ME</b>	-35,54	-2,14	37,58	1,11	0,61	-0,08	-0,04	-1,07	-0,2	0,74	2,65	-1,64	1,13	-4,7	-0,11	5,46
<b>RPD</b>	2,67	1,43	2,58	1,66	1,65	1,10	1,11	1,29	1,21	1,09	1,36	1,50	1,71	1,20	1,14	1,14
<b>Validação dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Regional 01</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,64	0,3	0,67	0,61	0,61	0,3	0,38	0,63	0,51	0,61	0,48	0,66	0,64	0,61	x	0,68
<b>RMSE</b>	42,41	25,93	31,5	2,98	1,73	2,8	0,97	4,54	1,89	2,4	5,83	6,16	7,15	13,49	x	15,44
<b>Inclinação</b>	0,66	0,37	0,68	0,61	0,61	0,32	0,46	0,67	0,54	0,68	0,5	0,7	0,7	0,64	x	0,73
<b>F. PLS</b>	22	25	22	20	20	24	25	25	22	25	25	25	23	25	x	24
<b>SDE</b>	42,06	25,9	31,14	2,97	1,73	2,8	0,97	4,54	1,89	2,4	5,8	6,15	7,1	13,5	x	15,4
<b>ME</b>	5,65	-0,66	-4,7	-0,22	-0,13	-0,22	0,01	-0,22	-0,1	0,02	-0,71	-0,43	-0,96	0,63	x	0,13
<b>RPD</b>	1,66	1,20	1,75	1,61	1,62	1,21	1,28	0,27	1,43	1,60	1,28	1,72	1,67	1,60	x	1,77
<b>Validação dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Regional 02</b>																
<b>R<sup>2</sup></b>	0,78	0,55	0,77	0,65	0,65	0,27	0,06	0,4	0,32	0,33	0,39	0,4	0,52	0,19	x	0,39
<b>RMSE</b>	117,54	33,19	103,46	4,36	2,54	7,33	1,14	7,61	2,33	2,43	9,41	9,96	13,61	16,34	x	18,43
<b>Inclinação</b>	0,81	0,69	0,8	0,64	0,64	0,26	0,18	0,49	0,4	0,42	0,43	0,49	0,54	0,29	x	0,42
<b>F. PLS</b>	19	18	20	17	17	16	10	10	10	18	19	11	11	9	x	16
<b>SDE</b>	117,6	32,4	102,3	4,33	2,52	7,34	1,13	7,5	2,32	2,4	9,02	9,82	13,6	15,9	x	18,4
<b>ME</b>	5,69	7,46	-16,8	-0,6	-0,35	-0,31	0,14	1,3	0,23	0,14	-2,74	1,73	-0,56	4	x	-0,64
<b>RPD</b>	2,13	1,49	2,08	1,69	1,69	1,17	1,04	1,30	1,22	1,23	1,28	1,29	1,45	1,11	x	1,29

Houve variação da qualidade das predições para cada BE Local (Tabela 4.7). Apresentaram excelentes predições para argila e areia os modelos da BE local de Porto Velho, AP e areia da BE local de Luis Antonio, SP. Boas predições para M.O. e Corg., da BE local de Porto Velho, AP, areia, argila, M.O., Corg., CTC e pH CaCl<sub>2</sub> da BE local de Guararapes, SP, M.O., Corg. e CTC da BE local de Goianésia, GO, silte e argila da BE local de Luis Antonio, SP.

A comparação entre os resultados das BE locais (Tabela 4.7) demonstra que de uma maneira geral, as BE's com maior variabilidade de solos apresentaram melhores predições dos atributos físicos e piores predições dos atributos químicos. Segundo Zornoza et al. (2008),

propriedades do solo como CTC e bases trocáveis são principalmente controladas pelos tipos de minerais da fração argila e pelo tipo e conteúdo de matéria orgânica, que possuem grupos funcionais com cargas variáveis responsáveis pela adsorção de diferentes cátions e água. Portanto, a variação de classes de solos provenientes de diferentes materiais de origens implica em variações dos tipos de argilominerais que contribuem na formação da CTC de um solo, esta adsorve os cátions. Cada tipo de argila (óxidos, argilominerais 1:1, argilominerais 2:1) está relacionada a bandas espectrais específicas, logo, se em um determinado solo um atributo está correlacionado a uma banda e em outro solo a outra banda isto leva a “confusões” na elaboração dos modelos de predição. Este fato explica porque em áreas de menor variabilidade de solos os modelos de predição são melhores, porque para a maioria das amostras os atributos estão relacionados às mesmas bandas.

As melhores predições dos atributos químicos foram encontradas em BE's de menor variabilidade de solos e contendo maior amplitude nos teores do atributo (Tabela 4.2) concordando com Dunn et al. (2002), que afirma que a baixa amplitude de variação de um atributo pode levar a modelos de predição ruins. Viscarra Rossel et al. (2008) obtiveram, por exemplo, excelentes modelos de predição de  $\text{Ca}^{2+}$  a partir de um banco de dados cuja amplitude dos teores variava de 1,9 a 313,5  $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ .

Tabela 04.7 – Resultados da validação cruzada dos modelos de estimativa de atributos gerados a partir das Bibliotecas Espectrais Locais

	Ar. Tot.	Silte	Arg.	M.O.	C	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	CTC	V	pH CaCl <sub>2</sub>	m	
	..... g kg <sup>-1</sup> .....			..... mg kg <sup>-1</sup> .....				..... mmol kg <sup>-1</sup> .....					%		%		
<b>Validação dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Local de Porto Velho - AP</b>																	
R <sup>2</sup>	0,77	0,21	0,77	0,62	0,62	0,13	0,55	0,31	0,1	0,58	0,57	0,29	0,56	0,36	x	0,37	
RMSE	72,8	14,33	73,06	4,29	2,49	0,87	0,41	1,06	0,5	2,34	7,79	1,65	8,13	6,04	x	16,98	
Inclinação	0,82	0,28	0,81	0,7	0,7	0,21	0,58	0,49	0,21	0,62	0,66	0,46	0,65	0,45	x	0,46	
F. PLS	19	16	19	16	16	14	17	15	9	16	15	15	16	14	x	14	
SDE	69,53		75,98	4,27	2,48	0,87	0,41	1,07	0,49	2,33	7,78	1,66	8,12	6,05	x	16,92	
ME	22,15		-20,07	-0,48	-0,28	0,01	-0,02	0,03	0,05	-	0,23	-0,73	-0,08	-0,65	0,25	x	-1,89
RPD	2,09	1,13	2,08	1,63	1,64	1,08	1,49	1,21	1,04	1,54	1,52	1,19	1,51	1,25	x	1,26	
<b>Validação dos Modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Local de Guararapes - SP</b>																	
R <sup>2</sup>	0,68	0,21	0,71	0,66	0,66	0,37	0,49	0,56	0,43	0,31	0,54	0,57	0,65	0,55	0,62	0,26	
RMSE	38,39	29,64	27,65	2,25	1,31	3,42	1,05	3,7	1,77	1,19	3,38	5,05	5,38	8,44	0,37	8,36	
Inclinação	0,7	0,28	0,73	0,71	0,71	0,43	0,54	0,71	0,6	0,4	0,56	0,72	0,76	0,63	0,65	0,35	
F. PLS	14	11	17	16	16	20	25	21	24	25	20	19	14	24	21	21	
SDE	38,1	29,2	27,7	2,26	1,31	3,44	1,1	3,64	1,76	1,2	3,38	4,95	5,3	8,32	0,37	8,38	
ME	-5,26	5,5	1,4	-0,07	-0,04	0,18	-0,08	0,68	0,21	-	0,02	-0,32	1,05	0,95	1,53	-0,06	-0,22
RPD	1,77	1,11	1,84	1,72	1,72	1,26	1,41	1,51	1,32	1,21	1,48	1,53	1,73	1,49	1,65	1,17	
<b>Validação dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Local de Goianésia - GO</b>																	
R <sup>2</sup>	0,31	0,1	0,42	0,61	0,61	0,19	0,29	0,53	0,32	0,27	0,27	0,51	0,69	0,42	x	0,34	
RMSE	66,5	38,16	75,63	6,06	3,52	8,54	3,2	11,25	5,17	1,16	11,66	16,83	15,85	16,74	x	8,74	
Inclinação	0,45	0,14	0,49	0,83	0,83	0,36	0,29	0,61	0,38	0,35	0,45	0,62	0,81	0,45	x	0,39	
F. PLS	12	8	16	20	20	10	8	16	14	15	13	16	15	16	x	17	
SDE	66,5	38,3	75,7	5,96	3,5	8,43	3,19	11,15	5,19	1,16	11,55		15,18	16,76	x	8,76	
ME	-5,1	0	5,4	1,16	0,7	1,53	0,36	1,76	0,05	0,04	1,84		4,7	0,92	x	-0,12	
RPD	1,12	1,35	1,32	1,62	1,64	1,12	1,06	1,46	1,21	1,00	1,18	1,31	1,80	1,31	x	1,04	
<b>Validação dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Local de Luis Antonio - SP</b>																	
R <sup>2</sup>	0,77	0,71	0,74	0,54	0,54	0,28	0,23	0,45	0,34	0,22	0,36	0,42	0,49	0,26	0,44	0,26	
RMSE	127,08	30,53	113,22	5,68	3,3	5,79	0,81	7,82	2,14	2,02	8,98	10,76	15,56	14,3	0,37	18,6	
Inclinação	0,83	0,73	0,8	0,65	0,65	0,4	0,36	0,43	0,4	0,32	0,35	0,5	0,5	0,28	0,51	0,42	
F. PLS	14	12	14	14	14	11	12	9	7	7	7	16	14	7	6	10	
SDE	115,6	29,39	103	5,23	3,04	5,81	0,81	7,75	2,15	2,01	8,97	10,71	15,45	14,28	0,37	18,5	
ME	53,6	-8,56	-47,6	-2,23	-1,3	0,01	0,13	-1,23	0,07	0,26	-0,77	-1,28	-2,15	-1,33	0,01	2,29	
RPD	2,07	1,85	1,96	1,49	1,48	1,18	1,15	1,36	1,23	1,13	1,26	1,32	1,41	1,17	1,35	1,16	

#### 4.3.4 Validação das equações de estimativa da Biblioteca Espectral I e de Sub-superfície

Somente a atividade da fração argila apresentou boa predição, nos modelos gerados a partir da BE de sub-superfície (Tabela 4.8 e 4.10). A atividade da fração argila está relacionada a CTC do solo que também apresentou boa predição na BE geral (Tabela 4.6).

Os atributos estimados a partir da BE de sub-superfície são de interesse para a classificação de solos (EMBRAPA, 2006). A alta variabilidade de solos utilizados como base da BE de sub-superfície pode explicar a baixa qualidade dos modelos de predição. Estes atributos são basicamente atributos químicos.

A BE I apresentou excelentes predições corroborando com resultados encontrados por Nanni e Demattê (2006) e Alves (2008). Poucos são os trabalhos na literatura sobre a estimativa desses atributos utilizando técnicas de espectroscopia (JANIK et al. 1995).

Tabela 04.8 – Avaliação dos modelos de calibração da Biblioteca Espectral de Sub-superfície

Calibração dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral de Sub-Superfície								
	Al	Ativ. Arg.	Delta pH	m %	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Silte/Arg.	V %
<b>R<sup>2</sup></b>	0,52	0,73	0,42	0,54	0,48	0,56	0,51	0,58
<b>RMSE</b>	4,14	31,56	0,29	19,38	0,46	0,37	0,14	14,99
<b>Inclinação</b>	0,53	0,73	0,43	0,55	0,47	0,57	0,52	0,58
<b>F. PLS</b>	24	24	21	25	24	23	22	23

Tabela 04.9 - Avaliação dos modelos de calibração da Biblioteca Espectral I

calibração dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Ataque							
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	Ki	Kr
<b>R<sup>2</sup></b>	0,70	0,84	0,77	0,80	0,89	0,80	0,83
<b>RMSE</b>	4,14	4,15	3,32	0,04	0,58	0,20	0,15
<b>Inclinação</b>	0,72	0,85	0,79	0,82	0,89	0,81	0,83
<b>F. PLS</b>	13	16	17	15	20	15	14

Tabela 4.10 – Resultados da validação cruzada dos modelos de estimativa de atributos gerados a partir das Biblioteca Espectral I

Validação dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral Ataque							
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	Ki	Kr
	..... % .....						
<b>R<sup>2</sup></b>	0,69	0,78	0,66	0,77	0,82	0,65	0,72
<b>RMSE</b>	4,05	4,48	3,92	0,04	0,64	0,22	0,16
<b>Inclinação</b>	0,72	0,95	0,74	0,92	0,88	0,77	0,8
<b>F. PLS</b>	13	16	17	15	20	15	14
<b>SDE</b>	4,06	4,51	3,95	0,04	0,64	0,22	0,16
<b>ME</b>	-0,52	-0,19	-0,11	-0,01	0,12	0,06	0,04
<b>RPD</b>	1,82	2,16	1,73	2,25	2,39	1,73	2,00

Tabela 04.11 – Resultados da validação cruzada dos modelos de estimativa de atributos gerados a partir das Biblioteca Espectral de Sub-superfície

Validação dos modelos de estimativa de atributos gerados pela Biblioteca Espectral de Sub-Superfície								
	Al	Ativ. Arg.	Delta pH	m	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Silte/Arg.	V
	... mmol <sub>l</sub> kg <sup>-1</sup> ...			%				%
<b>R<sup>2</sup></b>	0,44	0,66	0,44	0,51	0,39	0,49	0,46	0,57
<b>RMSE</b>	4,89	35,11	0,29	19,89	0,48	0,39	0,13	15,01
<b>Inclinação</b>	0,42	0,67	0,45	0,51	0,43	0,53	0,53	0,58
<b>SDE</b>	4,88	36,14	0,29	19,91	0,48	0,39	0,13	15,01
<b>ME</b>	0,29	3,3	-0,02	-0,16	0,03	0,02	0,01	0,65
<b>RPD</b>	1,33	1,71	1,31	1,43	1,27	1,38	1,38	1,52
<b>F. PLS</b>	24	24	21	25	24	23	22	23

#### 4.4 Conclusões

Em uma Biblioteca Espectral a maior ou menor variabilidade de classes solos, formados a partir de diferentes materiais de origem determina a eficiência dos modelos de predição gerados.

A variabilidade de solos e de materiais de origem numa mesma biblioteca espectral prejudica a precisão da estimativa de atributos químicos e melhora os modelos de predição de atributos físicos

Uma biblioteca espectral com a finalidade de predizer atributos químicos deve conter baixa variabilidade de solos e os dados utilizados na calibração dos modelos devem apresentar alta amplitude dos teores de um mesmo atributo.

Os índices resultantes das análises de ataque sulfúrico podem ser obtidos através do uso de técnicas de sensoriamento remoto, o que diminuiria consideravelmente os resíduos gerados por essas análises.

## Referências

- ALVES, M. R. **Múltiplas técnicas no mapeamento digital de solos**. 2009. 166p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- BEN-GERA, I.; NORRIS, K. Determination of moisture content in soybeans by direct spectrophotometry. **Israeli Journal Agricultural Resources**, Rehovot, v. 18, p124-132, 1968
- BROWN, S.D. “Chemical systems under indirect observation: Latent properties and chemometrics”. **Applied Spectroscopy**, Frederick, v.12, p.14-31, 1995.
- CAMARGO, A.O.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1986. 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CHANG, C.W.; LAIRD, D.A.; MAUSBACH, M.J.; HURBURGH JUNIOR, C.R. Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.480-490, 2001.
- DUNN, B. W.; BEECHER, H. G.; BATTEN, G. D.; CIAVARELLA, S. The potencial of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.42, p.607-614, 2002.
- EMBRAPA. **Procedimentos normativos de levantamento pedológicos**: normas em uso pelo SNLCS. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1995. 101 p.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 217p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.
- FERREIRA, M.M.C. “Multivariate QSAR”. **Journal of Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v.6, p.742-753, 2002.
- FIORIO, P.R. **Dados rediométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos**. 2002. 198p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I. ;FORMAGGIO, A. R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing Environmental**, New York, v.61, p.24-33, 1997.

GALVÃO, L. S.; PIZARRO, M. A.; EPIPHANIO, J. C. N. Variations in reflectance of tropical soils: spectral-chemical compositions relationships from AVIRIS data. **Remote Sensing Environmental**, New York, v.75, p.245-255, 2001.

HATCHELL, D.C. (Ed.). **Analytical Spectral Devices, Inc. Technical Guide** 3rd ed : Boulder: **Analytical Spectral Devices**, 1999. 140p.

HENDERSON, T.L.; BAUMGARDNER, M.F.; FRANZMEIER, D.P.; STOTT, D.E.; COSTER, D.C. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p. 865-872, 1992.

JANIK, L.; SKJEMSTAD, J.O. Characterization and analysis of soils using mid-infrared partial least squares: II. Correlations with some laboratory data. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.33, p.637-650, 1995.

JANIK, L.J., MERRY, R.H., SKJEMSTAD, J.O. Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 38, p.681-696, 1998.

LAGACHERIE, P., BARET, F., FERET, J. -B., MADEIRA NETTO, J., ROBBEZ-MASSON, J. M. Estimation of soil clay and calcium carbonate using laboratory, field and airborne hyperspectral measurements. **Remote Sensing of Environmental**, New York, v. 112, n. 3, p.825-835, 2008.

McBRATNEY, A.B.; MINASNY, B.; VISCARRA-ROSSEL, R.. Spectral soil analysis and inference systems: A powerful combination for solving the soil data crisis. **Geoderma**, Amsterdam, v.136, p.272-278, 2006

McCARTY, G.W.; REEVES, J.B.; REEVES, V.B.; FOLLET, R.F.; KIMBLE, J.M. Mid-infrared and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil carbon measurement. **Soil Science of America Journal**, Madison, v.66, p.640-646, 2002.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A.B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. **Computers & Geosciences**, Oxford, v.32, p.1378-1388, 2006.

NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M. Spectral reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.70, p.393-407, 2006.

ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B. Using AVHRR images for spatial prediction of clay content in the lower Namoi Valley of eastern Australia. **Geoderma**, Amsterdam, p. 237-254, 2000.

PIERNA, J.A.F ; DARDENNE, P. Soil parameter quantification by NIRS as a Chemometric challenge at 'Chimiométrie 2006'. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v.91, p.94-98, 2008



RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.

REEVES, J.; McCARTY, G.; MIMMO, T. The potential of diffuse reflectance spectroscopy for the determination of carbon inventories in soils. **Environmental Pollution**, London, v. 116, p. S277-S284, 2002.

SABIN, G. P. ; FERRÃO, M. F. ; ALCAYAGA, E. A. L. ; COSTA, A. B. ; KIRST, A. .  
Aplicação de métodos quimiométricos no estudo da qualidade da água de poços artesianos da região dos vales do rio pardo e rio taquari, RS, Brasil. **Revista Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 7, n. especial, p.77-88, 2002.

SAYES, W.; MOUAZEN, A. M.; RAMON, H. Potential for onsite and online analysis of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy. **Biosystems Engineering**,Cambridge, v.91, p.393-402, 2005.

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

STEVENS, A.; van WESEMAEL, B.; VANDENSCHRICK, G.; TOURÉ, S.; TYCHON, B.  
Detection of carbon stock and change in agricultural soils using spectroscopy techniques. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, p.844-850, 2006.

THOMASSON, J. A.; SUI, R.; COX, M. S.; Al-RAJEHY. Soil reflectance sensing for determining soil properties in precision agriculture. **Transactons of ASAE**, St. Joseph, n. 44, p.1445-1453, 2001.

VISCARRA ROSSEL, R.A. ParLeS: Software for chemometric analysis of spectroscopic data. **Chemometrics Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v.90, p.72-83, 2008.

VISCARRA-ROSSEL, R.A.; MCcRATNEY, A.B. Soil chemical analytical accuracy and costs: implications from precise agriculture. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 38, p.765-775, 1998.

VASQUES G.M, S. GRUNWALD, AND J.O. SICKMAN. Comparison of multi-variate methods to predict soil carbon using visible/near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v.146, p.14-25. 2008.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; McGLYNN, R.N.; McBRATNEY, A.B. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy, **Geoderma**, Amsterdam, n.137 , p. 70–82, 2006b.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; WALWORT, D.J.J.; McBRATNEY, A.B.; JANIK, L.J.; SKJESMSTAD, J.O. Visible near infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v.131, p.59-75, 2006a.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; JEON, Y.S.; ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B. Using a legacy soil sample to develop a mid-IR spectral library. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v. 46, p. 1-16, 2008

WETTERLIND, J.; STENBERG, B.; SODERSTROM, M. The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale. **Precision Agriculture**, New York, v.9, p. 57–69, 2008.

WILLIAMS, P.C. Variables affecting near-infrared reflectance spectroscopy analysis. In: Near-infrared technology in the agricultural and food industries. (Eds P. Willians, K Norris) p. 143-166. American association of Cereal Chemists: St Paul MN.

WORKMAN, J.J. Junior. Interpretive spectroscopy for near infrared. **Applied Spectroscopy Reviews**, Philadelphia, v. 31, p.251–320, 1996.

ZHAO WU, Y.Z.; CHEN, J.; FENG, J.; TIAN, Q.J.; MIN WU, X. Feasibility of reflectance spectroscopy for the assessment of soil mercury contamination. **Environmental Science & Technology**, Iowa City, v.39, p.873-878, 2005.

ZORNOSA, R.; GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, J.; SCOW, K.M; ARCENEGUI, V.; MATAIX-BENEYTO, J. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Madison, v.40, p.1923-1930, 2008.

## 5 INTERPRETAÇÃO MÚLTIPLA DE ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA (IMER) NA CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

### Resumo

A busca por ferramentas que tornem o levantamento de solos mais rápido e menos oneroso passa pelo desenvolvimento de inovações tecnológicas que auxiliam no processo de classificação do mesmo e na redução dos custos das análises químicas e granulométricas. O sensoriamento remoto tem sido uma das técnicas mais estudadas nesse sentido. No entanto, a técnica tomou duas diretrizes diferentes com o passar do tempo. A primeira é a descrição do comportamento espectral dos solos e a segunda, a estimativa de atributos químicos e físicos utilizando dados espectrais. Sendo que poucos são os trabalhos que as utilizam em conjunto. Ambas as técnicas se baseiam na montagem de um banco de dados espectrais (biblioteca espectral), que serve como referência. O presente trabalho tem por objetivo a determinação da classe de um solo a partir da análise qualitativa e quantitativa dos dados espectrais obtidos em laboratório, por sensor Fieldspec (350 a 2500 nm). Para isso, foram coletadas amostras dos horizontes de 13 perfis, e determinados seus atributos químicos e granulométricas por análise de rotina e por modelos de predições gerados a partir de dados espectrais de solos. Cada curva espectral dos perfis foi avaliada qualitativamente a partir da intensidade, forma, inclinação e presença de feições. Posteriormente foi avaliado o comportamento entre as curvas de um mesmo perfil. Baseado nas análises quantitativas e qualitativas os perfis foram classificados até o 3º nível categórico. Os resultados demonstraram que os principais fatores que afetam o albedo de uma amostra são os teores de  $Fe_2O_3$ , minerais opacos, argila e areia. Um solo não pode ser classificado a partir de uma única curva espectral, sendo que o comportamento entre as diferentes curvas dos horizontes de um perfil apresenta maior correlação com sua classe. A combinação entre técnicas qualitativas e quantitativas de análise espectral promoveu um avanço na classificação de solos por técnicas de sensoriamento remoto.

Palavra - Chave: Classificação do solo; Sensoriamento remoto; Radiometria

## **5 INTERPRETATION OF MULTIPLE SPECTRUM OF REFLECTANCE (IMSR) IN SOIL CLASSIFICATION**

### **Abstract**

The search for tools that support soil surveys and provide faster and cheaper results increase the technological development of techniques that helps in the soil classification process, reducing the costs of chemical and granulometric analysis. The remote sensing techniques has been one of the most studied. However, the technique took two different paths over the time. The first is the spectral behavior description of the soil and second the chemical and physical attributes prediction using spectra, in fact there are few studies that use them together. Both techniques are based on the compilation of a spectra database (spectral library), which serves as reference. This work aims to determine the soil classification from the qualitative and quantitative spectra analysis obtained in laboratory by Fieldspec sensor (350 to 2500 nm). Samples were collected from horizons of 13 profiles, later we determined their physical and chemical attributes by routine analysis and prediction models were generated from soil spectra. Each profile spectrum was assessed qualitatively from the intensity, shape, slope and features presence. After that, the behavior between curves from same profile was evaluated. Based on quantitative and qualitative analysis, profiles were classified in 3rd categorical level. Results indicate that  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , opaque minerals, clay and sand contents are the main factors affecting sample albedo. A soil can't be classified by a single spectrum, different spectrum behaviors in different horizons of a profile shows a greater correlation with their class. The combination of qualitative and quantitative techniques of spectral analysis promoted an improvement in soils classification by remote sensing techniques.

Keywords: Soil Classification; Remote sensing; Radiometry

## 5.1 Introdução

A necessidade de tornar o mapeamento de solos mais rápido e menos oneroso tem levado a busca de inovações tecnológicas que auxiliam no processo de classificação do mesmo e na redução dos custos das análises. O sensoriamento remoto tem sido uma das técnicas mais estudadas na última década visando a classificação de solos. No entanto, a técnica tomou duas diretrizes diferentes com o passar do tempo. A primeira é a descrição do comportamento espectral dos solos e a segunda, a estimativa de atributos químicos e físicos utilizando dados espectrais. Sendo que poucos são os trabalhos que as utilizam em conjunto.

A avaliação da resposta espectral do solo no nível terrestre teve início nas décadas de 60 e 70, com os trabalhos de Obukhov e Orlov (1964) que verificaram a baixa reflectância da curva espectral devido aos ácidos húmicos. Posteriormente, Bowers e Hanks (1965) avaliaram o efeito da matéria orgânica, umidade e tamanho de partícula na reflectância do solo. Outros trabalhos se concentraram na caracterização das curvas espectrais (CONDIT, 1970; STONER E BAUMGARDNER, 1981). Epiphanyo et al. (1992) apresentam curvas espectrais das principais classes de solos do Estado de São Paulo. Já alguns trabalhos demonstram que a avaliação visual de feições nas curvas pode indicar a constituição da fração mineral de uma amostra (MADEIRA-NETTO et al., 1996; DEMATTÊ et al., 1999). Demattê (2002) realizou trabalho indicando a possibilidade de se trabalhar com a análise descritiva (ou qualitativa) de curvas espectrais com a finalidade de classificar solos, utilizando informações de intensidade, inclinação e forma das mesmas. Dalmolin et al. (2005) apresentam revisão bibliográfica relatando os principais fatores que influenciam o comportamento espectral de uma amostra de solo.

Na década de 80, surgiram os primeiros trabalhos quantitativos. Estes buscavam determinar atributos de solos utilizando dados espectrais (DALAL E HENRY, 1986). Posteriormente, vários autores passaram a utilizar dados de sensoriamento remoto terrestre para estimar CTC, pH, saturação por bases, elementos trocáveis (Ca, Mg, K) (DUNN et al., 2002; SHEPHERD E WALSH, 2002; UDELHOVEN; EMMERLING; JARMER, 2003), argila, matéria orgânica, óxidos de ferro, caulinita e índices de intemperismo (CHANG et al., 2001; ISLAM; SINGH; McBRATNEY, 2003, SCHEINOST et al., 1998, MADEIRA-NETTO et al., 1996).

No entanto, embora seja claro o avanço das diversas técnicas, o desenvolvimento de metodologias de aplicação prática dessas diferentes abordagens não tem sido realizado. Ben-Dor et al. (2008) ressalta que é clara a necessidade de uma fusão entre técnicas de espectroscopia (estudo de dados espectrais) e o levantamento de solos. No mesmo trabalho, os autores demonstram a aplicabilidade do uso da técnica na classificação de solos através do uso de um sensor remoto adaptado para coleta de dados espectrais em sub-superfície.

Algo comum em ambas as vertentes (análises qualitativas e quantitativas) é a necessidade de um banco de dados de curvas espectrais de solos, ou seja, bibliotecas. Tais produtos servem de base para a padronização do comportamento espectral dos solos e na geração de modelos de estimativa de seus atributos (SHEPHERD E WALSH, 2002).

Apesar dos avanços, a maior parte dos trabalhos tenta correlacionar uma classe de solo a um tipo característico de curva espectral (STONER E BAUMGARDNER, 1981; FORMAGGIO et al. 1996). Em contrapartida sabe-se que classificar um solo depende de uma série de fatores (textura, cor, gradiente textural e outros) os quais necessitam de informações de mais de um horizonte. Neste aspecto não se tem notícia de trabalho de classificação de um solo utilizando análise simultânea com curvas espectrais de todos os horizontes.

Sendo assim, seria possível classificar qualitativa e quantitativamente uma classe de solo baseada em suas informações refletidas? Partindo desse questionamento o presente trabalho tem por objetivo a determinação da classe de um solo a partir da análise de dados espectrais (350 a 2500 nm) obtidos em laboratório.

Sabendo-se da íntima relação entre a energia refletida e as características do solo, espera-se que cada horizonte apresente um formato espectral típico. Além disso a combinação do comportamento espectral somada às informações quantitativas, devem permitir determinar a classe de solo com maior probabilidade de acerto.

## **5.2 Material e métodos**

### **5.2.1 Coleta de amostras dos perfis**

Foram coletadas amostras de terra dos horizontes de 13 perfis de solos situados nos municípios de Araraquara, SP (3); Piracicaba, SP (4); Andradina, SP (1); Ipaussu, SP (1);

Três Lagoas, MS (3) e Maracajú, MS (1). Todos os perfis foram avaliados e descritos morfologicamente (LEMOS E SANTOS, 1996). Posteriormente foram classificados, até o 3º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Para facilitar a discussão dos dados espectrais, os horizontes de cada perfil foram representados por letras em ordem alfabética e chamados genericamente de camadas. Por exemplo: um perfil contendo os horizontes A, E, Bt e C foi representado como PA, PB, PC e PD respectivamente e na discussão ao se referir a curva espectral do horizonte Bt, se referiu como sendo curva da camada C.

## **5.2.2 Coleta de dados das amostra**

### **5.2.2.1 Análises química e granulométrica**

Para todas as amostras foram determinados carbono orgânico (Corg.), matéria orgânica (M.O.) ( $\text{g kg}^{-1}$ ), P ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), K, Ca, Mg, Al, H+Al ( $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ ), os cálculos de Soma de Bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) (RAIJ et al., 2001). Determinação das frações areial, silte e argila (CAMARGO; MONIZ; VALADARES, 1986). Além disso, foram determinados (somente para os horizontes diagnósticos de sub-superfície) pH (em  $\text{H}_2\text{O}$  e KCl), e os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , MnO,  $\text{Si}_2\text{O}_4$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (%) resultantes do ataque sulfúrico (CAMARGO; MONIZ; VALADARES, 1986). Também foram calculadas a relação silte/argila, a atividade da fração argila, o  $\Delta\text{pH}$  e os índices  $K_i$  e  $K_r$ .

### **5.2.2.2 Obtenção de dados espectrais**

Os dados espectrais foram obtidos em laboratório com o espectroradiômetro FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo.) (HATCHELL, 1999). Trata-se de um sensor cuja resolução espectral é de 1 nm nos comprimentos de onda de 350 a 1100 nm e de 2 nm nos comprimentos que vão de 1100 a 2500 nm. Para a coleta dos dados de reflectância, as amostras secas em estufa à 45°C durante 24 horas (HENDERSON et. al., 1992), em seguida moídas e peneiradas (malha de 2 mm). Cada amostra corresponde à aproximadamente um volume de 15

cm<sup>3</sup> de solo. Essa foi alocada em placa de petri para leitura no sensor. A reflectância de cada amostra foi dada pela média de 100 leituras realizadas pelo sensor. A ponta de captação luminosa do equipamento (entrada do cabo de fibra ótica) foi colocada em posição vertical a 8 cm de distância da amostra, onde foi medida a luz refletida numa área aproximada de 2 cm<sup>2</sup> no centro da amostra. A fonte de iluminação utilizada foi uma lâmpada halógena de 50 W, com feixe não colimado para o plano visado, sendo posicionada a 35 cm da amostra e com um ângulo zenital de 30°. Utilizou-se como padrão de referência, uma placa branca de sulfato de bário, considerada como padrão de 100% de reflectância. A partir dos dados obtidos foram criadas representações gráficas (curvas de reflectância espectral).

### **5.2.3 Técnicas de sensoriamento remoto na avaliação dos dados**

O objetivo foi traçar estratégias de interpretação de curvas espectrais para atingir sua melhor correlação com a classificação do solo. Para tanto, a sequência metodológica descrita a seguir, visou ao desenvolvimento de método IMER – Interpretação Múltipla de Espectros de reflectância. O método baseia-se na premissa de que a interpretação deve ser realizada pelo exame cuidadoso de dados espectrais por meio de técnicas múltiplas (descritivas e qualitativas) e que pela convergência de evidências determine o (ou os) provável (eis) solo (s).

#### **5.2.3.1 Determinação de atributos químicos, granulométricos, índices de intemperismo e mineralogia**

Inicialmente foi criado um banco de dados espectrais de solos de diferentes regiões do Brasil. A partir destas informações foram gerados diferentes modelos de predição de atributos de solo. O capítulo 04 apresenta a descrição completa da criação dos modelos. A aplicação destes modelos aos dados espectrais dos 13 perfis possibilitou a determinação dos teores de areia (g kg<sup>-1</sup>), argila (g kg<sup>-1</sup>), capacidade de troca catiônica (CTC) (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), V%, m% e alumínio trocável (Al) (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

Para a camada C de cada perfil os valores de V%, m%, Alumínio trocável (Al) (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), atividade da fração argila (mmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de argila) e ΔpH foram preditos utilizando modelos criados especificamente para horizontes diagnósticos de sub-superfície, com base nos dados da



Biblioteca Espectral de Sub-superfície (Capítulo 4). Também para a camada C de cada perfil, foram preditos os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%),  $\text{TiO}_2$  (%), índice Ki e índice Kr utilizando modelos específicos gerados a partir dos dados da Biblioteca Espectral I (Capítulo 4). O índice Ki também foi predito utilizando modelo proposto por Madeira-Netto et al. (1996). A fração silte foi calculada por diferença, utilizando os dados preditos de areia e de argila. Também foi calculada a relação silte/argila da horizonte C.

Realizou-se a identificação qualitativa (a partir de feições nas curvas espectrais) da presença ou não de hematita, goethita, gibsitita e caulinita nas amostras. Estas feições são amplamente conhecidas no meio científico uma vez que ocorrem em bandas específicas (MADEIRA-NETO et al., 1996; FONTES E CARVALHO JUNIOR, 2005; DALMOLIN, et al., 2005). A fim de complementar a identificação das feições, foram gerados os gráficos da segunda derivada da função Kubelka-Munk (SCHEINOST et al., 1998; FERNANDES et al., 2004; SELLITO et al., 2009) a partir dos dados espectrais.

### **5.2.3.2 Cor do solo**

A coloração das amostras secas, foi obtida através de Colorímetro Minolta CR 300, adotando-se o sistema Munsell de cores (CAMPOS, DEMATTÊ E QUARTAROLLI, 2003). Devido a cor ser determinada a partir das amostras secas e não úmidas, e o colorímetro determinar matizes em maior grau de detalhe que uma carta de Munsell convencional, foram considerados: solos vermelhos de matiz 5,0YR ou mais vermelha, solos vermelho-amarelos matiz 5,0YR a 7,9YR, solos amarelos com matiz 8,0YR ou mais amarela.

### **5.2.3.3 Avaliação qualitativa das curvas espectrais dos perfis**

A base do sistema adotado foi adaptado de Demattê (2002). A Figura 5.1 apresenta a sequência básica utilizada na avaliação qualitativa das curvas espectrais dos solos. Esta avaliação se baseia em análises visuais da curva espectral de cada horizonte e, em sequência, da comparação entre curvas de horizontes de um mesmo perfil.

A primeira etapa de interpretação refere-se a intensidade da curva espectral (albedo), onde se avalia a reflectância média de uma determinada curva espectral (Figura 5.1a). Em

seguida observam-se aspectos de forma em diferentes faixas de comprimento de onda. Os formatos básicos são plano, convexo e côncavo (Figura 5.1b).

Posteriormente a observação da inclinação geral da curva espectral, onde se detectam aspectos ascendente, descendente ou plano (Figura 5.1c). Posteriormente observam-se possíveis mudanças de inclinação em uma mesma curva espectral. É possível que uma curva espectral apresente aspecto ascendente em uma primeira faixa de comprimento de onda e posteriormente alterá-lo para plano ou descendente (Figura 5.1d).

A quinta etapa consiste na detecção de feições características de determinados atributos mineralógicos da fração argila em específicas faixas de comprimento de onda (Figura 5.1e). A figura 5.2 apresenta as principais feições características de minerais passíveis de serem observadas em uma curva espectral.

Finalmente a última etapa refere-se a comparação das curvas espectrais entre horizontes de um mesmo perfil. Um solo pode apresentar curvas espectrais distintas para cada um dos horizontes e outro solo pode apresentar curvas espectrais semelhantes para cada um dos horizontes do mesmo perfil (Figura 5.1f).

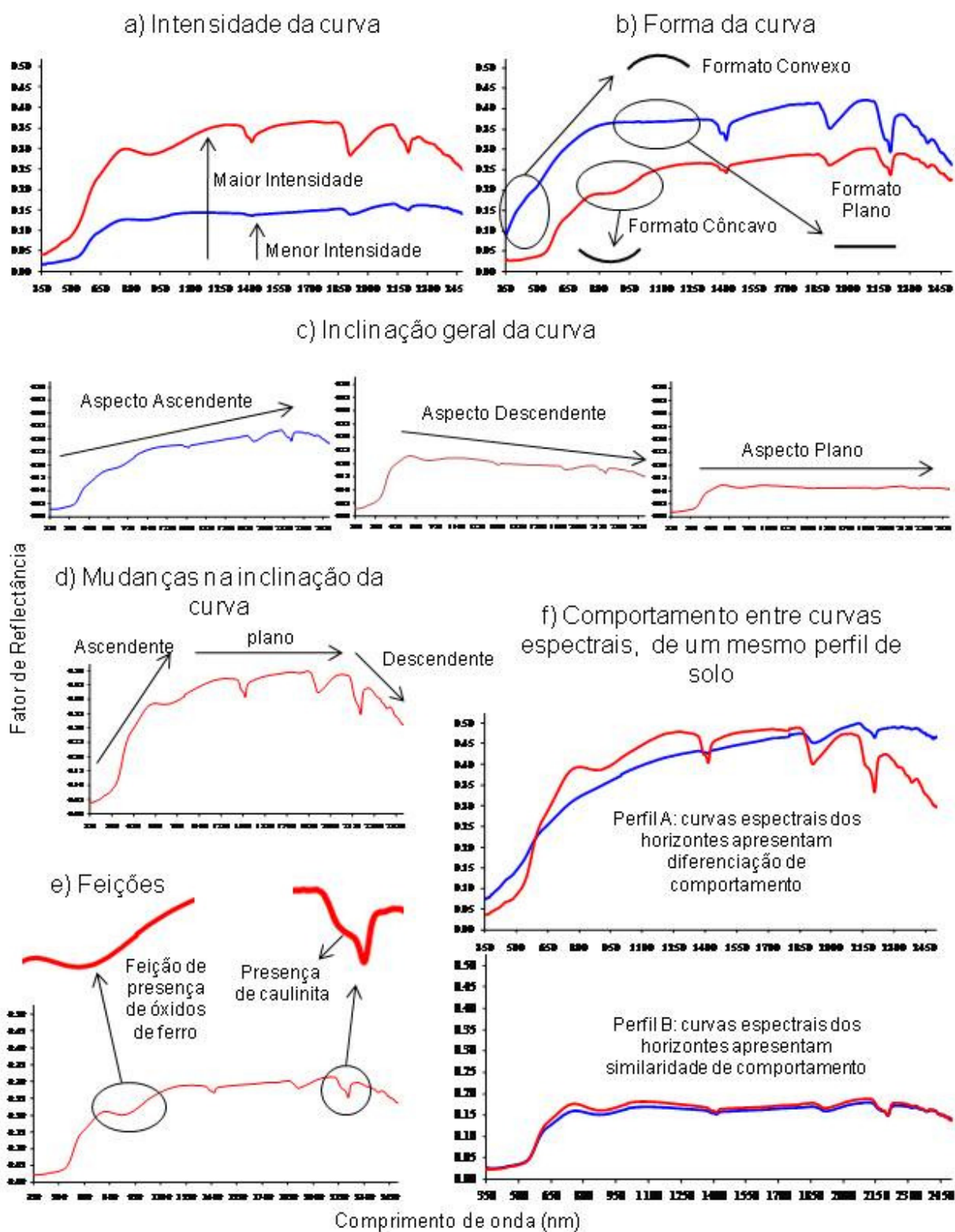


Figura 5.1 – Aspectos da avaliação qualitativa de curvas espectrais de perfis de solo

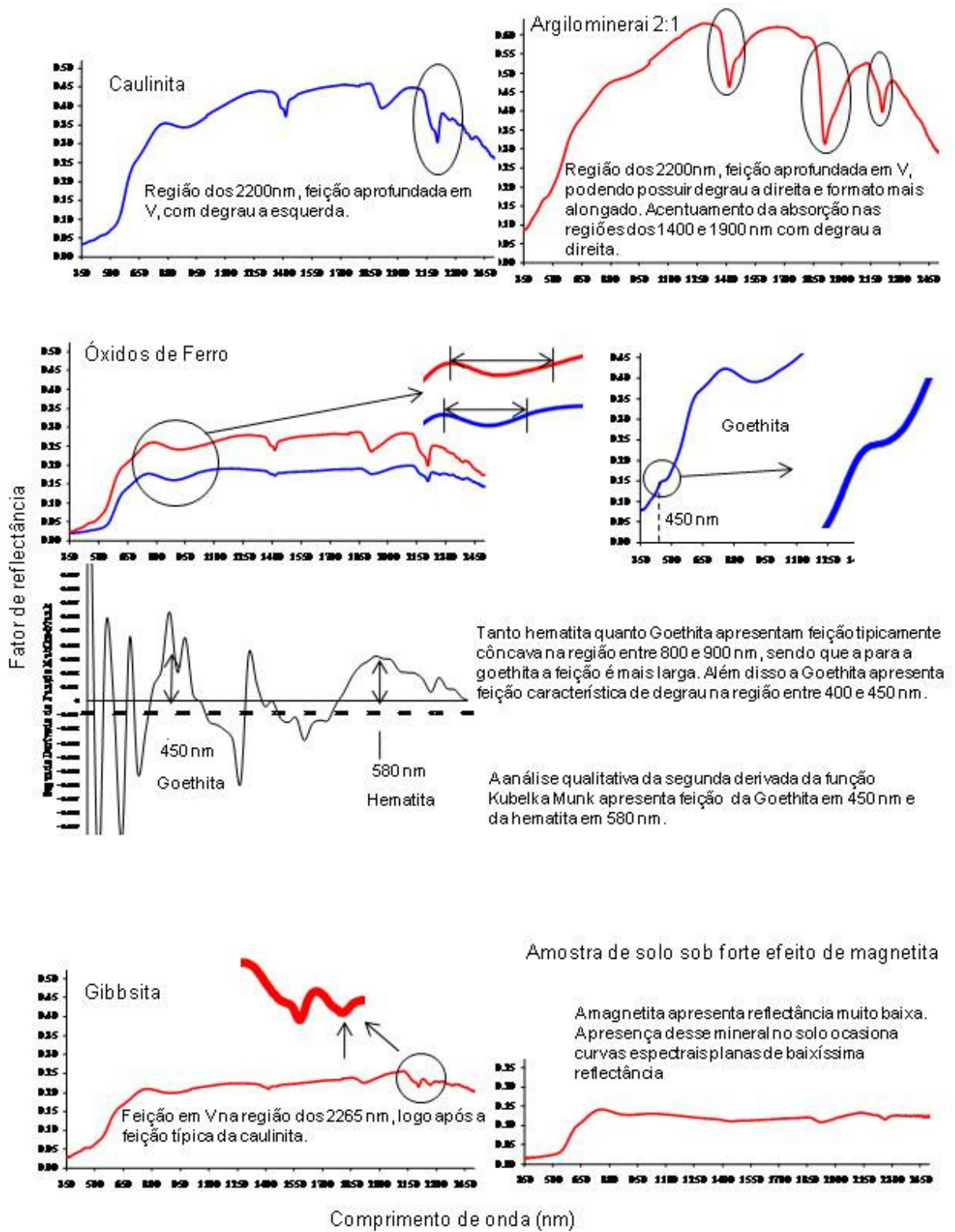


Figura 5.2 – Feições características de atributos do solo

#### 5.2.4 Classificação dos perfis com base em técnicas de sensoriamento remoto

Os 13 perfis foram classificados utilizando a seguinte ordem: a) Avaliação qualitativa das curvas espectrais de cada perfil de solo (intensidade, forma, inclinação geral, mudanças na inclinação em uma mesma curva, feições e comparação entre curvas espectrais dos horizontes); b) Interpretação e classificação da forma das curvas em *tipos 1, 2, 3, 4 e 5* segundo Stoner e Baumgardner, (1981) e *tipo a,b,c e d* segundo Formaggio et al. (1996) c) caracterização dos gráficos de acordo com a Biblioteca Espectral de solos (Capítulo 3); d) Análise dos atributos do solos preditos por modelos de estimativa. A classificação final do perfil foi dada pela convergência dos resultados observados nessas quatro etapas.

Além da classificação por sensoriamento remoto foi realizada uma outra, considerada intermediária, que utilizou dados de atributos provenientes de análise laboratorial de rotina.

Os dados químicos e granulométricos provenientes das análises de rotina foram denominados dados de referência (Ref.). Já os dados estimados pelos modelos de predição foram denominados preditos (Pred.).

#### 5.2.5 Comparação entre classificações

Foram comparadas as duas classificações realizadas para cada perfil com a classificação real. Todas as três classificações seguiram o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), atingindo o terceiro nível categórico. Também foram comparadas as texturas encontradas para cada perfil.

#### 5.2.6 Programas Utilizados

A estimativa dos atributos foi realizada pelo programa quimiométrico *The Unscrambler* 9.7 e em planilha Excel.

## 5.3 Resultados e discussão

### 5.3.1 Classificação por sensoriamento remoto

O perfil 01 (Figura 5.3a) apresentou curvas espectrais das camadas A e B com intensidade média de fator de reflectância de 0,3 e de 0,25 para as camadas C e D, respectivamente. As camadas superficiais apresentaram maior albedo em relação as camadas sub-superficiais, principalmente em comprimentos de onda superiores a 1850 nm. Embora seja conhecido o fato de que maiores teores de M.O. e argila promovam uma diminuição da reflectância de um solo (DALMOLIN et al. 2005; STONER E BAUMGARDNER, 1981; AL-ABBAS ET AL., 1972; DEMATTÊ ET AL. 2003), White et al. (1997) relatam que maiores quantidades de areia no solo promovem um aumento da reflectância, devido ao quartzo, principalmente em comprimentos de onda superiores a 1850 nm. Portanto, os maiores teores de areia das camadas superficiais, levaram à maiores intensidades de reflectância, mesmo estas apresentando maiores teores de M.O (Tabela 5.1).

Quanto a inclinação, as curvas do perfil 01 apresentaram aspecto ascendente, sendo este padrão mais acentuado nas curvas das camadas A e B, concordando com Demattê (2002). O autor observou inclinação ascendente em horizontes superficiais mais arenosos. As curvas C e D apresentaram suave mudança de inclinação a partir dos 2200 nm, tomando um aspecto descendente, enquanto que para as camadas A e B a mudança não foi perceptível.

Constatou-se a feição em degrau da caulinita, na região dos 2200 nm, conforme Matthews et al. (1973), Hauff et al. (1990), Grove et al. (1992), Fontes e Carvalho Junior (2005) e Goetz; Curtiss; Shiley, 2009, sendo esta mais acentuada nas camadas C e D. Observaram-se ainda feições côncavas na região dos 850-900 nm, indicativas da presença de óxidos de ferro, conforme visto por Epiphanyo et al., 1992; Demattê e Garcia, 1999a; Stoner et al.,1980. Esta feição é mais acentuada nas camadas C e D, devido aos maiores teores de argila (Tabela 5.1) e ao mascaramento da mesma provocado pela M.O. das camadas superficiais (Demattê et al. 2003b). A cor Vermelha da camada C (Tabela 5.1) confirma a presença dos óxidos de ferro.

As curvas A e B do perfil 01, foram classificadas como sendo do *tipo 4* e *tipo c*. Já as curvas C e D como sendo *tipo 3* e *tipo d*. Num mesmo perfil de solo houve variação das curvas espectrais quanto ao tipo, corroborando com a conclusão de Formaggio et al. (1996). As curvas

do *tipo 4*, ou afetadas pela matéria orgânica, são curvas com teor elevado de matéria orgânica e textura grosseira. Já as do *tipo c* são as influenciadas por altos teores de M.O. (acima de 20 g kg<sup>-1</sup>). Entretanto, os teores de M.O. encontrado foram intermediários (Tabela 5.1). Já as curvas do *tipo 3* e *tipo d* são curvas consideradas afetadas por óxidos ou intermediárias uma vez que se encontram feições da influência de óxidos de ferro mas não é uma influencia grande.

As características descritas e a comparação com os padrões da Biblioteca Espectral (Capítulo 03) classificaram o perfil 01, como Argissolo.

O perfil 02 (Figura 5.3b) apresentou curvas espectrais das camadas A, B, C e D muito semelhantes com intensidade de reflectância média em torno de 0, 20 para todas as camadas. Este valor de intensidade média a baixa foi causado por teores médio a altos de argila e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Tabelas 5.1 e 5.4.) concordando com Formaggio et al., 1996. Todas as curvas apresentaram um aspecto plano de inclinação causado por teores medianos de areia e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Tabelas 5.1 e 5.4).

Nas curvas do perfil 02 (Figura 5.3b) foram observadas feição dos óxidos de ferro (concauidade na região dos 850-900 nm). Esta feição aparece suavizada na camada A devido aos maiores teores de M.O (Tabela 5.1) (MATHEWS et al. 1973). Foram identificadas ainda, feições da caulinita (2200 nm) e da gibbsita em 2265 nm (MADEIRA-NETTO et al. 1996; FONTES E CARVALHO JUNIOR, 2005).

Quanto aos tipos, as curvas do perfil 02, foram classificadas como *tipo 3* e *tipo d*. Estes tipos são considerados os afetados dos óxidos (STONER E BAUMGARDNER, 1981) ou intermediários (FORMAGGIO et al., 1996), o que concorda com os valore médios a altos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> encontrados. Diferentemente do padrão observado no perfil 01, o segundo perfil não apresentou diferenciação dos tipos de curva entre os horizontes. Portanto, a verificação da mudança ou não, dos tipos de curva entre horizontes de um mesmo perfil, serve como base de diferenciação entre classes de solo.

Com base nas características descritas e na similaridade com perfis da biblioteca espectral (Capítulo 3), o perfil 02, apresentou padrão espectral comportamental de Latossolo ou ainda de um Nitossolo. Podendo ser férrico ou não conforme observado em Epiphanyo et al. (1992). A presença de óxidos de alumínio no solo indica um maior grau de intemperismo (BOUL ET AL., 1997; LEPSCH, 2002), tendo a maior probabilidade de tratar-se de um Latossolo.

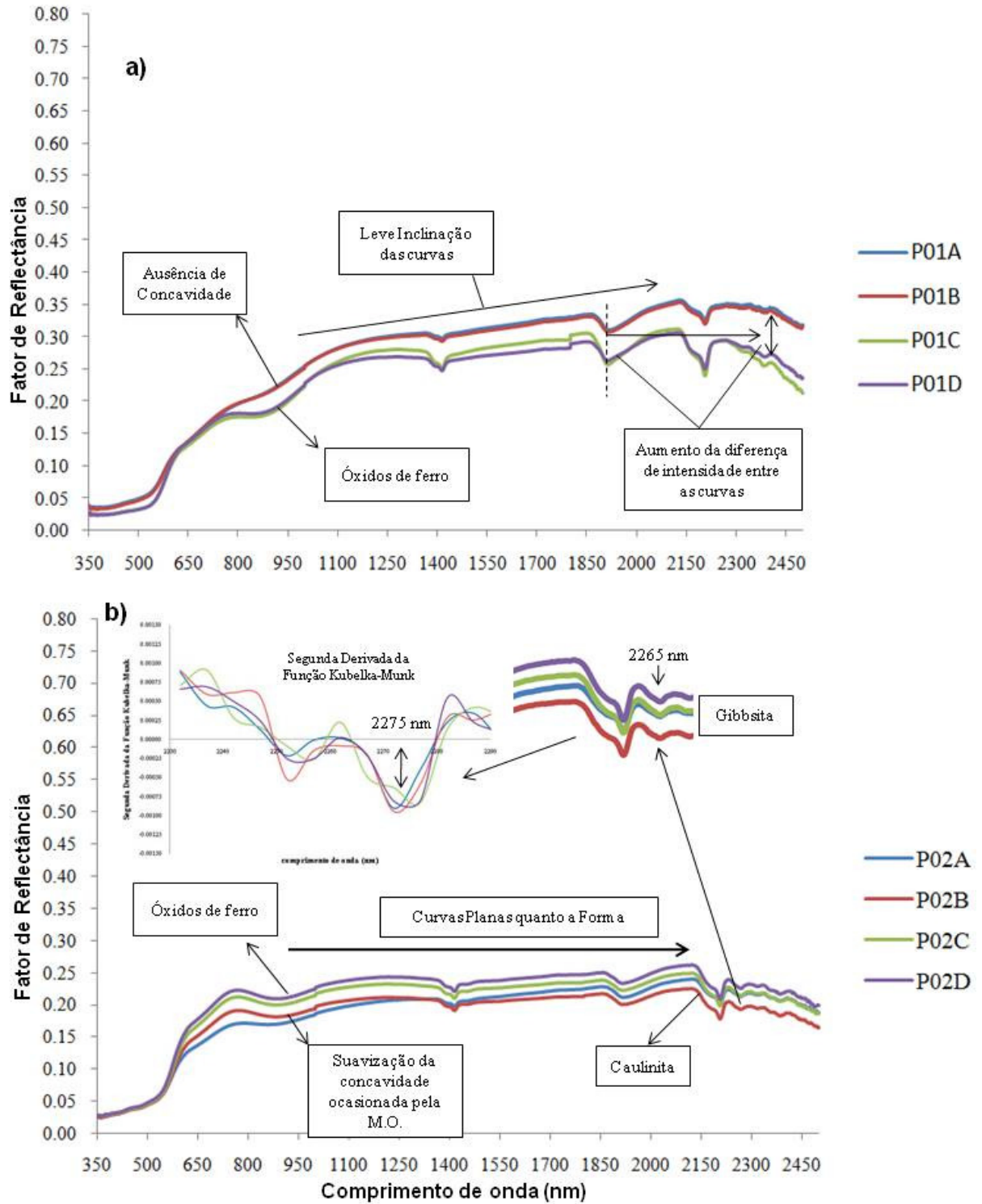


Figura 5.3 – Curvas espectrais dos horizontes dos perfis 01 e 02



Tabela 5.1 – Atributos granulométricos e químicos preditos (Pred.) e de referência (Ref) dos Perfis

Amostra	Horiz.	Profundidade	Granulometria						Química								Cor <sup>3</sup>				
			Areia Total <sup>1</sup>		Argila <sup>1</sup>		Silte <sup>2</sup>		CTC <sup>1</sup>		V % <sup>1</sup>		m % <sup>1</sup>		M.O. <sup>1</sup>		Al <sup>1</sup>		matiz	V	C
			Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.			
			cm		g kg <sup>-1</sup>				mmol kg <sup>-1</sup>		%		mg kg <sup>-1</sup>		mmol kg <sup>-1</sup>						
P01A	AP	0-12	780	687	120	234	100	79	28,0	42,5	64	43	0	21	10,0	17,4	0,0	4,3	4,0YR	3,9	2,7
P01B	E	12 - 32	800	673	120	240	80	87	21,4	38,6	35	51	21	11	13,0	16,5	2,0	2,2	3,8YR	4	2,3
P01C	Bt1	32-100	580	496	340	409	80	95	41,5	44,6	61	40	16	16	8,0	14,5	5,0	3,6	2,1YR	3,8	2,9
P01D	Bt2	100+	680	516	240	399	80	85	17,7	30,3	44	34	48	35	5,0	11,0	7,0	6,1	1,7YR	3,9	3,1
P02A	AP	0-25	650	564	310	427	40	10	55,2	53,7	35	38	5	6	20,0	22,8	1,0	0,9	4,9YR	3,8	2,4
P02B	AB	25-50	600	485	360	484	40	31	42,3	41,2	13	24	60	20	16,0	18,9	8,0	3,6	3,9YR	4	2,6
P02C	BW1	50-115	620	564	340	423	40	13	33,1	27,9	18	24	33	28	13,0	15,6	3,0	-1,1	3,6YR	4,1	2,9
P02D	BW2	115	590	569	370	409	40	22	26,1	25,8	31	23	11	22	12,0	12,8	1,0	2,4	3,6YR	4,1	2,9
P03A	AP	0-30	150	214	710	729	140	57	80,6	58,0	49	38	2	6	33,0	23,7	1,0	1,8	3,9YR	3,5	2,4
P03B	BA	30-55	100	158	750	748	150	94	55,4	61,2	62	35	0	4	22,0	22,1	0,0	2,6	3,2YR	3,8	2,8
P03C	BI	55-110	130	157	770	735	100	108	46,3	48,6	68	33	0	-1	17,0	20,1	0,0	-2,8	3,3YR	3,8	2,5
P03D	C	110+	320	0	430	873	250	127	69,1	92,0	12	46	62	11	9,0	22,5	13,0	3,0	7,8YR	4,6	2,8
P04A	AP	0-20	760	701	200	285	40	14	35,9	34,1	58	37	5	3	18,0	18,4	1,0	-0,5	6,6YR	4	2
P04B	AB	20-45	760	674	200	321	40	5	36,0	29,6	44	27	0	8	15,0	16,2	0,0	0,0	6,3YR	4,1	2
P04C	BW1	45-80	700	636	260	349	40	14	26,7	17,1	51	24	0	5	14,0	14,2	0,0	-5,2	5,8YR	4,3	2,3
P04D	BW2	80	670	653	290	331	40	16	28,4	13,7	44	22	0	11	12,0	12,9	0,0	-0,4	5,8YR	4,3	2,8
P05A	Ap	0-16	130	19	720	842	150	139	72,5	66,7	27	15	26	45	23,0	23,4	7,0	10,6	2,9YR	3,5	2,2
P05B	Bw1	16-90	140	0	710	861	150	139	62,7	68,5	17	20	53	41	18,0	22,5	12,0	10,0	2,7YR	3,5	2,4
P05C	Bw2	90-159	90	120	740	774	170	106	52,4	39,2	5	9	83	60	18,0	15,4	12,0	6,4	1,9YR	3,6	2,4
P05D	Bw3	150+	110	75	730	804	160	122	52,3	48,7	4	25	83	26	13,0	17,1	11,0	6,3	2,0YR	3,5	2,2

<sup>1</sup> Preditos através dos modelos de quantificação da Biblioteca geral do Capítulo 4, exceto V%, m% e Al para camada C que foram preditos usando modelos de estimativa da Biblioteca de Sub-superfície

<sup>2</sup> Calculado por diferença do valor predito de argila e areia total

<sup>3</sup> Através de colorímetro

O perfil 03 apresentou curvas (Figura 5.4a) das camadas A, B e C com intensidade média não superior a 0,15, e camada D com maior albedo, porém inferior a 0,20. A maior intensidade de reflectância da camada D é explicada pelos teores de areia (Tabela 5.1). Todas as curvas apresentaram aspecto descendente de inclinação.

As curvas das camadas A, B e C, do perfil 03, apresentam feições suavizadas da caulinita (2200 nm) e da Gibbsita (2265 nm), além disso, destaca-se a feição côncava (850-900 nm) indicativa da presença de óxidos de ferro. A curva da camada D não apresentou a feição típica da gibbsita, mas apresentou feição, em degrau, da goethita (450 a 480 nm) (DALMOLIN, 2002). O aparecimento da feição da goethita na camada D concorda com a coloração mais amarelada do solo em relação aos demais (Tabela 5.1). O aumento da proporção de goethita promove cores mais amareladas (LEPSCH, 2002).

Quanto a forma, as curvas do perfil 03, foram classificadas como sendo do *tipo 5* e *tipo a*, ou seja os fortemente afetados pelos óxidos de ferro. Estes padrões são típicos de solos formados a partir de rochas máficas como basalto ou diabásio (CLEMENTE ET AL., 2000; FONTES E CARVALHO JUNIOR, 2005). Solos ricos em ferro cristalino apresentam as feições das curvas suavizadas (EPIPHANIO et al., 1992). Isso se deve ao fato destes solos apresentarem em sua constituição minerais opacos (magnetita, ilmenita) que apresentam intensidade de reflectância extremamente baixo (COLEMAN et al., 1991; MADEIRA-NETTO E BAPTISTA, 2000). Tal fato é reforçado pela tabela 5.4, onde o perfil apresenta teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  superiores a  $200 \text{ g kg}^{-1}$ .

Epiphanio et al. (1992), Demattê et al. (1999b), Clemente et al. (2000) e Demattê et al. (2003) observaram um comportamento característico de solos menos desenvolvidos pedogeneticamente, como Cambissolos e Neossolos Litólicos. As curvas espectrais dos horizontes B incipiente ou C destes solos, apresentam maior albedo do que as dos horizontes subjacentes. Isto é devido, normalmente a maiores teores de areia e silte que estes horizontes possuem. Stoner e Baumgardner (1981) apresentaram como sendo curva *tipo 2* as proveninetes de solos minimamente alterados (intemperizados). Este tipo foi o considerado de maior albedo. O comportamento da curva D do perfil 03, quanto a intensidade, adequou-se as características descritas por estes autores. A ausência da feição da gibbsita (2265 nm) e o aparecimento da feição da goethita (450-480 nm) indicaram a camada D como se tratando de um horizonte menos intemperizado (Figura 5.4a). As características descritas somadas a observação dos gráficos da biblioteca espectral (capítulo 03) indicaram o perfil 03 como um Cambissolo

O perfil 04 (Figura 5.4b) apresentou curvas muito semelhantes, com intensidades de reflectância variando entre 0,2 e 0,25. Este resultado é esperado em dados provenientes de solos de textura média e valores intermediários de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabela 5.1 e 5.4) . O padrão de inclinação apresentado foi plano a levemente ascendente. Constatou-se a feição acentuada da gibbsita (2265 nm) e da goethita entre (450-480 nm). O aparecimento acentuado da feição da goethita concordou com as cores mais amareladas encontrados pela determinação colorimétrica (Tabela 5.1). Novamente se verificou-se a atenuação da feição côncava dos óxidos de ferro (850-900 nm), provocada pelos maiores teores de M.O. Baseado nestas evidências o perfil 04 foi classificado como sendo um Latossolo

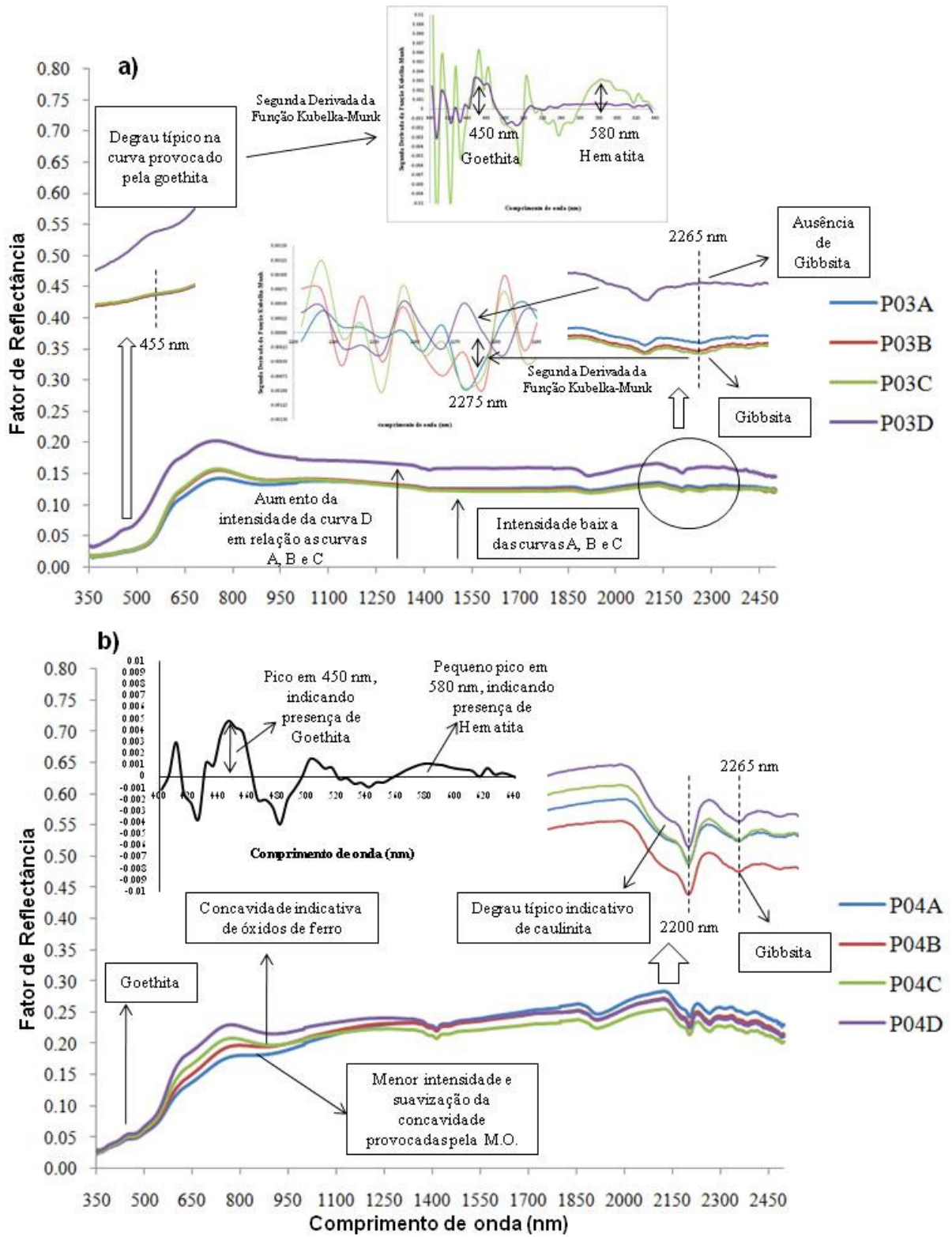


Figura 5.4 – Curvas espectrais dos horizontes dos perfis 03 e 04

O perfil 5 (Figura 5.5a) apresentou as curvas espectrais muito semelhantes, com valores de albedo ao redor de 0,1 em média. Valores muito baixos de reflectância são provocados pela soma de dois fatores: elevados teores de argila e de ferro (principalmente minerais opacos, como magnetita e ilmenita) (STONER E BAUMGARDNER, 1981). Os valores do teor de argila das camadas (Tabela 5.1) confirmam a afirmação dos autores. Entretanto, o teor de  $Fe_2O_3$  obtido pela análise laboratorial de referência foi baixo (Tabela 5.4) enquanto que o valor predito concordou com a observação dos autores, indicando que o resultado predito é mais confiável que o dado de referência neste caso. Cabe resaltar que outros perfis descritos na região (Capítulo 3) apresentavam as mesmas características espectrais que o perfil 5 com teores de  $Fe_2O_3$  semelhantes aos preditos para este perfil.

As curvas do perfil 05 apresentaram padrão plano de inclinação e feições da caulinita (2200 nm) e de óxidos de ferro (850-900 nm). Foi observada neste perfil a forma característica de arco entre 580 e 850 nm (Figura 5.5a). Esta feição é geralmente encontrada em solos férricos (Capítulo 03).

A figura 5.6a demonstra, através da segunda derivada da função Kubelka-Munk, a presença abundante de hematita no perfil 05. A segunda derivada da função Kubelka-Munk para dados espectrais, é capaz de demonstrar as quantidades de goethita e hematita presente em um solo (SCHEINOST et al., 1998; FERNANDES et al., 2004; SELLITO et al., 2009). A maior presença de hematita concorda com a determinação colorimétrica (Tabela 5.1) com cores fortemente avermelhadas do solo. Todas as curvas dos perfis foram classificadas como sendo do *tipo 5* e *tipo a*. O perfil 05 então, foi classificado como sendo um Latossolo Vermelho Férrico.

O perfil 06 (Figura 5.5b) apresentou diferenças em suas curvas espectrais. A camada A apresentou intensidade média de 0,2 e aspecto plano de inclinação, típica de horizontes superficiais de solos férricos (FORMAGGIO et al., 1996), as curvas da camada B e C apresentaram, respectivamente, intensidade média de 0,3 e 0,35, com aspecto plano e mudanças claras na inclinação entre 700 nm e 2200 nm. O aumento acentuado de intensidade na camada B e C em relação a camada A é explicado pelo maior teor de areia na camada C e pela diminuição acentuada dos teores de M.O. de A para B (Tabela 5.2). O aumento repentino na intensidade de reflectância da curva de um horizonte para sua curva subjacente é comportamento espectral característico de solos pouco desenvolvidos, que apresentam horizontes Bincipiente ou C (STONER E BAUMGARDNER, 1981; DEMATTÊ et al., 2003). A diferença drástica de

intensidade de A para B indicou que a camada B trata-se de um horizonte C (EMBRAPA, 2006). Um horizonte C se caracteriza por apresentar mais do que 50% de seu volume com materiais de origem intemperizados, enquanto que em um horizonte Bi esse volume deve ser menor que 50%.

Além da presença das feições da caulinita (2200 nm) e de óxidos de ferro (côncavidade em 950) observadas em todas as curvas do perfil 06, as camadas B e C apresentam ainda feições suaves indicativas da presença de minerais 2:1, nos comprimentos de onda de 1400, 1900 e 2200 nm (GROVE et al., 1992; DEMATTÊ E GARCIA, 1999b; GOETZ; CURTISS; SHILEY, 2009). As curvas das camadas B e C apresentaram ainda feição da goethita (450-480nm).

A curva da camada A do perfil 06 foi classificada como *tipo 5* e *tipo a* (fortemente afetadas por óxidos) enquanto que as das camadas B e C como *tipo 3* e *tipo d* (afetadas por óxidos ou intermediárias). Fica evidente que a indicação de uma classe solo baseada em um único tipo de curva espectral não apresenta resultado satisfatório, uma vez que um mesmo solo pode possuir diferentes tipos de curvas em seus distintos horizontes. Essa informação corrobora com conclusão apresentada por Formaggio et al. (1996) que um mesmo tipo de curva pode ser encontrado em diferentes classes de solo. Entretanto a variação ou não do tipo da curva nos diferentes horizontes de um perfil está mais associada a sua respectiva classe. Com base nessas evidências), o perfil 06 foi classificado como sendo um Neossolo Litólico.

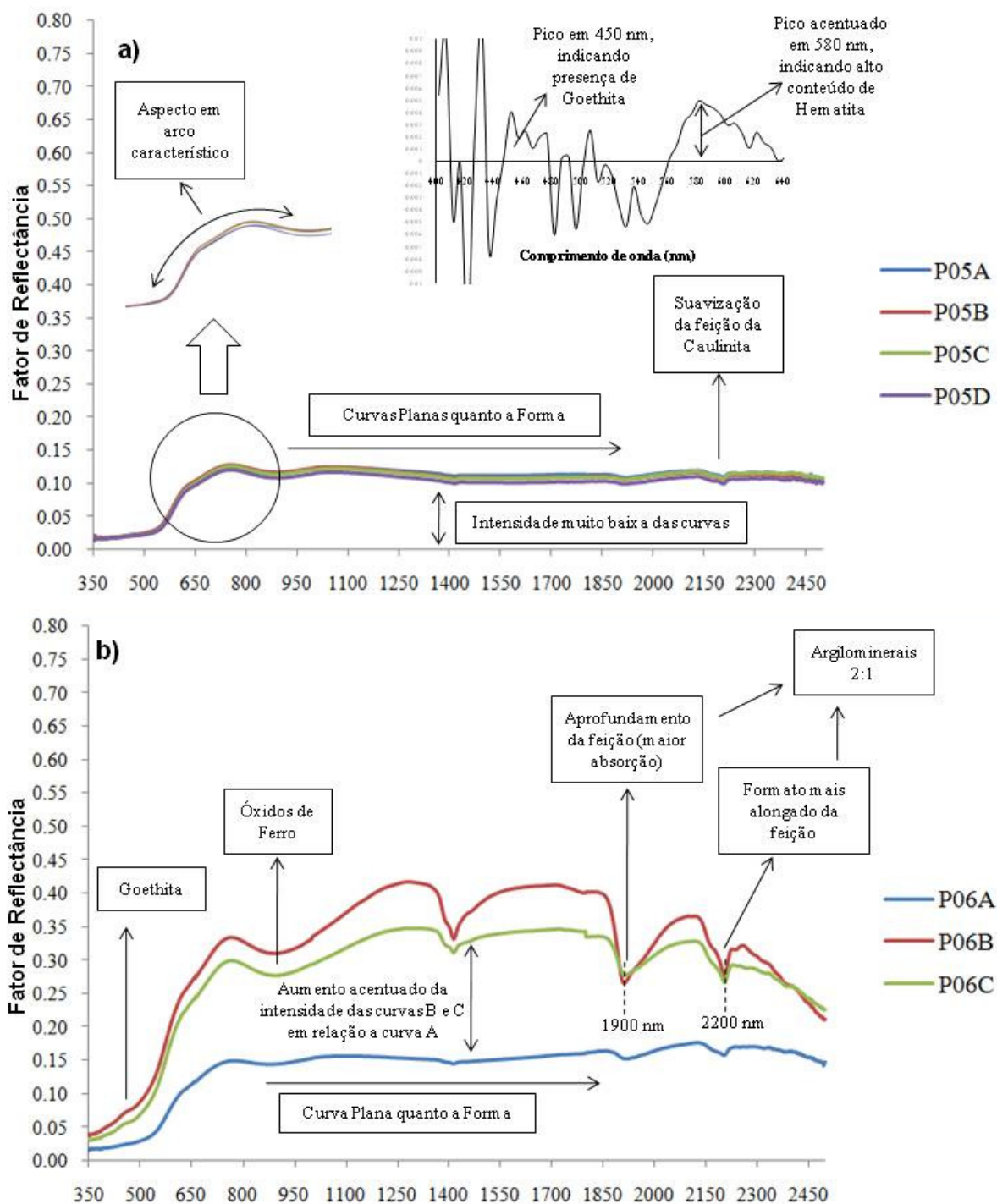


Figura 5.5 – Curvas espectrais dos horizontes dos perfis 05 e 06

Tabela 5.2 – Atributos granulométricos e químicos preditos (Pred.) e de referência (Ref.) dos Perfis

Amostra	Horiz.	Profundidade	Granulometria						Química								Cor <sup>3</sup>				
			Areia Total <sup>1</sup>		Argila <sup>1</sup>		Silte <sup>2</sup>		CTC <sup>1</sup>		V % <sup>1</sup>		m % <sup>1</sup>		M.O. <sup>1</sup>		Al <sup>1</sup>		matiz	V	C
			Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	
cm			g kg <sup>-1</sup>						.. mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ..		..... % .....		.. mg kg <sup>-1</sup> ..		.. mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ..						
P06A	A	0-30	20	276	830	629	150	95	115,6	80,1	64	35	0	12	35,0	27,9	0,0	2,0	4,0YR	3,6	2,4
P06B	B	30-40	20	160	810	624	170	216	81,2	101,3	66	14	0	81	8,0	16,9	0,0	7,5	5,5YR	4,9	3,4
P06C	C	40	460	190	350	654	190	156	81,1	72,2	75	35	0	40	10,0	19,9	0,0	2,4	5,2YR	4,6	3,5
P07A	Ap	0-20	180	58	720	811	100	132	70,8	80,6	56	46	15	14	22,0	26,1	7,0	3,0	4,0YR	3,9	2,7
P07B	Bn1	20-70	140	76	780	843	80	81	48,1	65,4	56	41	16	20	14,0	19,1	5,0	3,9	3,8YR	4	2,3
P07C	Bn2	70-120	200	112	700	772	100	116	36,1	37,4	11	43	55	5	14,0	12,9	5,0	-2,0	2,1YR	3,8	2,9
P07D	C	120+	160	201	730	756	110	43	34,1	46,0	9	24	56	33	11,0	13,3	4,0	5,3	1,7YR	3,9	3,1
P08A	Ap	0-30	780	726	140	196	80	79	53,6	79,4	68	73	5	0	13,0	20,2	2,0	1,4	9,5YR	4,9	2
P08B	AB	30-50	760	730	160	216	80	53	67,4	65,0	45	45	38	31	10,0	12,0	19,0	5,9	9,1YR	5,7	3,3
P08C	Bi	50-95	700	694	200	174	100	132	99,7	70,6	7	57	91	42	8,0	6,4	64,0	25,7	6,7YR	5,7	3,6
P08D	C	95+	710	680	180	188	110	132	83,8	73,9	8	40	91	56	7,0	4,6	72,0	4,4	4,6YR	6	3,7
P09A	A	0-25	780	696	160	216	60	88	46,7	75,2	74	70	8	4	13,0	21,8	3,0	1,1	9,2YR	4,8	1,7
P09B	AC	25-50	760	664	120	229	120	107	65,4	77,6	10	33	88	54	10,0	16,4	45,0	7,5	8,1YR	5,7	3,1
P09C	C	50-80	750	625	120	179	130	196	118,8	92,1	4	64	96	38	6,0	5,6	102,0	27,3	6,0YR	6,1	3,7
P09D	R	80+	760	767	120	77	120	155	67,6	103,5	16	65	83	45	6,0	3,3	50,0	-1,1	6,3YR	6,5	3,3
P10A	Ap	0-30	720	685	120	234	160	80	20,4	25,4	51	44	9	24	8,0	9,6	1,0	1,8	9,6YR	5,7	2,5
P10B	Bt1	30-60	620	681	220	260	160	59	39,4	27,4	75	51	0	13	8,0	9,4	0,0	2,1	8,0YR	5,6	3,9
P10C	Bt2	60+	660	702	180	226	160	72	34,3	18,7	88	43	0	27	7,0	6,2	0,0	3,2	8,0YR	5,9	4,1

<sup>1</sup> Preditos através dos modelos de quantificação da Biblioteca geral do Capítulo 4, exceto V%, m% e Al para camada C que foram preditos usando modelos de estimativa da Biblioteca de Sub-superfície

<sup>2</sup> Calculado por diferença do valor predito de argila e areia total

<sup>3</sup> Através de colorímetro



O perfil 07 (Figura 5.6a) apresentou curvas muito semelhantes com aspecto geral similar as curvas do perfil 02. Entretanto a intensidade é menor, ao redor de 0,18 diretamente relacionada aos maiores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabela 5.4) e argila (Tabela 5.2). Diferente do perfil 02, as curvas não apresentaram de, maneira clara, a feição típica da gibbsita (2265 nm). A constatação da presença de gibbsita só foi possível pela observação dos gráficos da segunda derivada da função Kubelka-Munk (Figura 5.6a). A menor expressão da feição da gibbsita pode indicar um estágio de intemperismo menos avançado quando comparado ao perfil 02, conforme pode ser verificado pela diferença nos valores de  $K_i$  (Tabela 5.4). Valores de  $K_i$  próximos a 2,0 indicam um predomínio de argilominerais 1:1, enquanto que valores próximos a 1,0 indicam maiores proporções de óxidos (BOUL et al., 1997).

Todas as curvas do perfil 07 foram classificadas como sendo do *tipo 3* e *tipo a*. O perfil apresentou coloração vermelha segundo os dados colorimétricos (Tabela 5.2). A soma de todas as características descritas são de Latossolos Vermelhos Férricos ou Nitossolos Vermelhos Férricos. A feição não clara da gibbsita é indicativo de um Nitossolo, porém não se excluiu a possibilidade de se tratar de um Latossolo.

O Perfil 08 (Figura 5.6b) apresentou curvas com altíssima intensidade de reflectância (acima de 0,45 entre os comprimentos de onda de 1100 e 2100 nm). Houve atenuação da intensidade da curva da camada A na faixa dos 350 a 1900 nm pela matéria orgânica. O maior albedo de uma curva é normalmente decorrente de baixos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e argila, ou maiores proporções de areia ou silte. Embora apresentem maiores teores de argila do que as camadas A e B (Tabela 5.2), as camadas C e D apresentam maiores albedos. Este comportamento é característico de horizontes de baixo grau de desenvolvimento pedogenético ou de horizonte B textural de Argissolos desenvolvidos a partir de materiais de origens sedimentares como siltitos e argilitos (DEMATTÊ et al. 2003).

As curvas do perfil 08 apresentaram padrão de inclinação ascendente, porém com mudança de inclinação a partir dos 2200 nm. Observaram-se feições de argilominerais 2:1 (1400, 1900 e 2200 nm) reforçada pelo valor de  $K_i$  superior a 2 (Tabela 5.4). Todas as curvas apresentaram feição da goethita (450 e 480 nm). Somente as camadas C e D apresentaram feições côncavas de óxidos de ferro (850-900 nm). A ausência desta feição nas camadas A e B é característica de horizontes arenosos ou causada por suavização provocada pela M. O..

As curvas das camadas A e B do perfil 08 foram classificadas como sendo do *tipo 4 e tipo b* (arenosas afetadas pela matéria orgânica), já as curvas C e D foram classificadas como sendo do *tipo 2 e tipo d* (intermediárias). Todas as características avaliadas indicaram o perfil 08 como Cambissolo ou Argissolo. Entretanto, a não diferenciação na intensidade acima dos 1850 nm, das curvas superficiais (A e B) para sub-superficiais (C e D), diminuiu drasticamente a possibilidade de se tratar de um Argissolo. Esta afirmação se deve ao fato que uma característica típica de Argissolos, observada na biblioteca espectral (Capítulo 03), é a maior intensidade das curvas superficiais em relação as sub-superficiais após os 1850 nm. A possibilidade de se tratar de um Argissolo é totalmente descartada pelos resultados dos teores de argila (Tabela 5.2), que indicaram não haver relação textural suficiente para enquadrar o perfil nesta classe Argissolo (EMBRAPA, 2006). Neste caso fica evidente que o auxílio de técnicas quantitativas de sensoriamento remoto auxiliam na classificação de um perfil. Portanto o perfil foi classificado como sendo um Cambissolo.

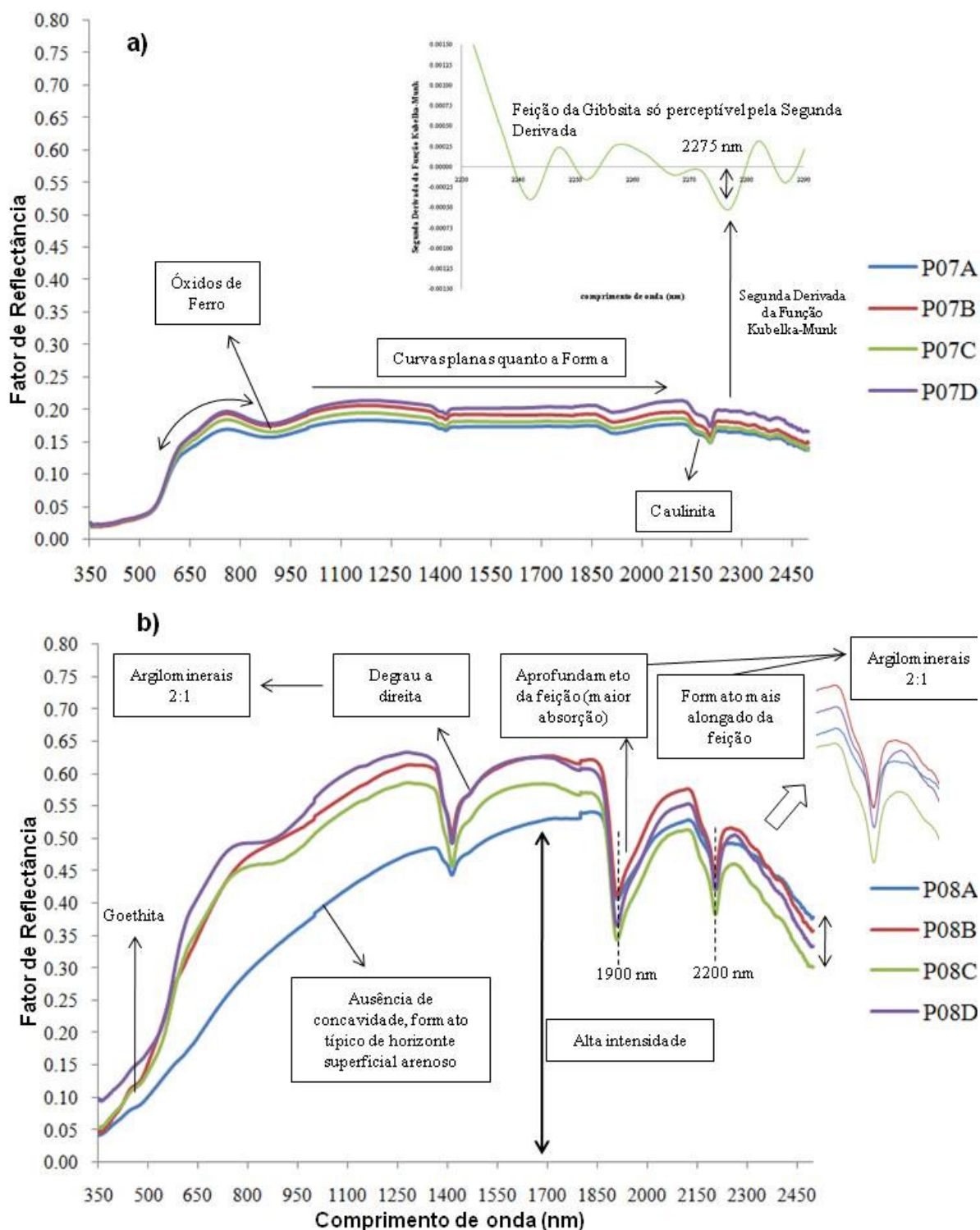


Figura 5.6 – Curvas espectrais dos horizontes do perfil número 07 e 08

O perfil 09 (Figura 5.7a) apresentou descrição semelhante ao perfil 08. Entretanto, no perfil 08 a curva da camada B é similar a da camada A, enquanto que, no perfil 09 a curva da camada B é similar as curvas das camadas C e D. Essa mudança de intensidade e tipo da curva em menor profundidade, indicou o perfil 09 como um solo menos desenvolvido pedogeneticamente do que o perfil 08. Trata-se, portanto, de um Neossolo Litólico. Assim como na classificação tradicional de um perfil, a diferenciação da classe de solo do perfil 08 para o perfil 09 foi em função da profundidade ou espessura dos horizontes. (EMBRAPA, 2006).

O perfil 10 (Figura 5.7b) apresentou curvas de alto albedo com valores máximos de 0,6. Embora a camada A apresente menor teor de argila do que as demais (Tabela 5.2), os valores de albedo foram similares o comprimento de onda de 1850 nm. Horizontes mais argilosos de solos desenvolvidos sobre argilitos ou siltitos de baixos conteúdos de ferro, podem apresentar albedos similares aos dos horizontes mais arenosos (DEMATTÊ et al., 2000; FONTES E CARVALHO JUNIOR, 2005). Entretanto, os maiores teores de areia da camada A, em relação as camadas B e C (Tabela 5.2) levaram a uma maior intensidade da mesma em relação às demais, a partir dos 1850 nm. Esse padrão é característico de Argissolos.

As curvas do perfil 10, apresentaram aspecto de inclinação ascendente. Somente as curvas das camadas B e C apresentam mudança de inclinação após os 1900 nm. A partir desta faixa espectral a inclinação foi descendente (Figura 5.7b).

A segunda derivada da função Kubelka-Munk (Figura 5.7b) demonstra a maior quantidade de goethita (região 450 nm) em relação a hematita no perfil, o que ocasiona solo de coloração amarela, fato esse comprovado pelos dados colorimétricos que indicaram matiz 8,0YR. Fontes e Carvalho Junior et al. (2005) relatam que a hematita possui maior poder de pigmentação do que a goethita. Segundo os autores o valor do teor de goethita por si só não demonstra se um solo é mais amarelado do que outro, mas sim a comparação dos valores da relação goethita/hematita. A curva A do perfil 10, foi classificada como sendo *tipo 4 e tipo b* e as curvas B e C como sendo do *tipo 2 e tipo d*.

As características observadas nas curvas do perfil 10 remetem a um Argissolo Amarelo. É importante ressaltar que os dados preditos não demonstraram haver relação textural suficiente para classificar o solo como sendo Argissolo (EMBRAPA, 2006), entretanto, o valor é próximo ao requisitado.

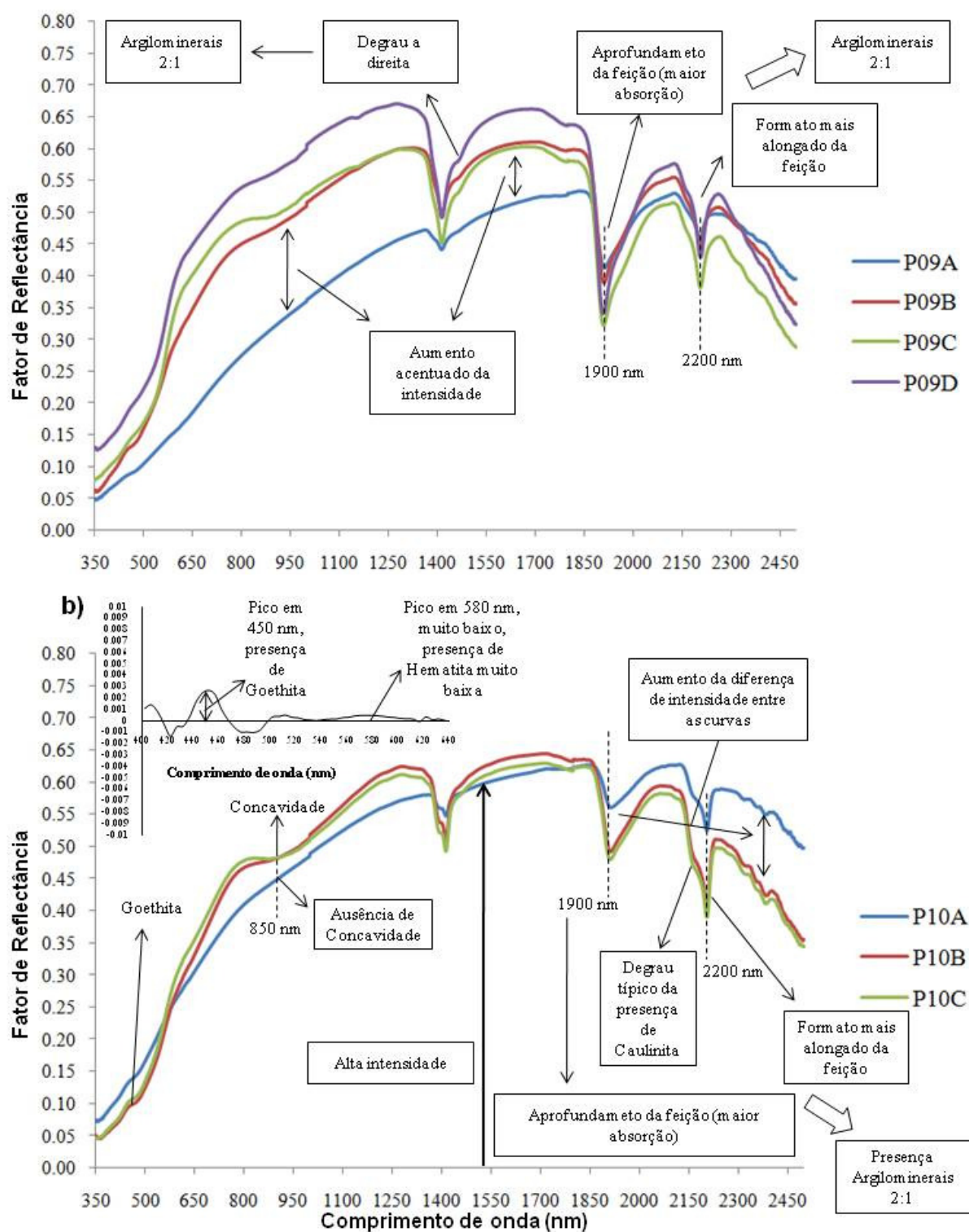


Figura 5.7 – Curvas espectrais dos horizontes do perfil número 09 e 10

O perfil 11 (Figura 5.8a) apresentou curvas com intensidade de reflectância média de 0,4. Este é explicado pelo baixo conteúdo de argila nas camadas (Tabela 5.3). Todas as curvas apresentaram aspecto ascendente de inclinação com mudança a partir do 2200 nm. Uma importante característica observada foi a mudança repentina do grau de inclinação das curvas B, C e D na região dos 900 nm, formando quase um vértice (Figura 5.8a). Esta característica foi observada na Biblioteca Espectral (Capítulo 03) em horizontes com feições hidromórficas.

Observa-se, na região entre 400 e 450 nm, um padrão de convexidade na forma das curvas (Figura 5.8a). Formaggio et al. (1996) também observaram esta característica em curvas de solos gleissados. Todas as curvas apresentaram feição característica da caulinita (2200 nm) e ausência de feição côncava de óxidos de ferro (850-900 nm). A ausência de óxidos de ferro como é comprovada pela análise qualitativa da segunda derivada da função Kubelka Munk das curvas (Figura 5.8a), onde verifica-se a inexistência dos picos característicos da goethita (455 nm) e hematita (580 nm). A ausência da óxidos de ferro solos hidromórficos decorre dos processo de hidromorfismo, onde o ambiente interno do perfil se torna redutor inibindo a formação de óxidos (VAN BREEMEN E BUURMAN, 2002). As curvas do perfil foram classificadas como sendo do *tipo 1* e *tipo b*. Tanto Stoner e Baumgardner (1981) como Formaggio et al. (1996) relatam que solos de regimes áquicos de umidade ou solos gleissados apresentam estes tipos de curvas.

Essas características indicariam que o perfil 11 poderia ser classificado como Gleissolo, Planossolo ou ainda um Neossolo Quartzarênico Hidromórfico. Entretanto, a análise granulométrica (predita ou de referência) (Tabela 5.3) exclui a possibilidade de se tratar de um Neossolo, e indica pouca possibilidade de se tratar de um Planossolo. A classificação, quanto a caráter plânico é fundamentalmente morfológica uma vez que a transição entre horizonte A ou E e B deve ser abrupta (EMBRAPA, 2006; LEMOS E SANTOS, 1996). Ou seja, algo somente visualizado na descrição do perfil. Logo, o perfil 11 foi classificado como sendo um Gleissolo.

O perfil 12 (Figura 5.8b) apresentou curvas semelhantes. Tanto na camada A quanto na B com fator de reflectância médio de 0,3, valor característico de texturas médias e baixas quantidades de  $Fe_2O_3$  (Tabela 5.3). A camada A apresentou, na faixa entre 600 e 1350 nm, redução na intensidade de reflectância causada pelo alto teor de M.O. (Tabela 5.3), corroborando com resultado encontrado por Fontes e Carvalho Junior, 2005.

As curvas do perfil 12 apresentaram aspecto levemente ascendente com mudança na inclinação a partir dos 2200 nm. Ambas apresentaram feições da caulinita (2200 nm) e goethita

(450 a 480 nm). A visualização clara da feição de goethita demonstra que o solo apresenta cores mais amareladas, confirmado pelos resultados colorimétricos (Tabela 5.3). Ambas as curvas foram classificadas como *tipo 3*, sendo a curva A sendo classificada como do *tipo c* e a curva B como do *tipo d*. A classificação da curva A como *tipo c* se deve principalmente a grande suavização provocada pela M.O., no intervalo de 600 a 1350 nm. Formaggio et al. (1996) relatam que curvas do *tipo c* apresentam teores de M.O. superior a 20 g kg<sup>-1</sup>, corroborando com os resultados analíticos da camada A (Tabela 5.3). O perfil 12 foi classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo.

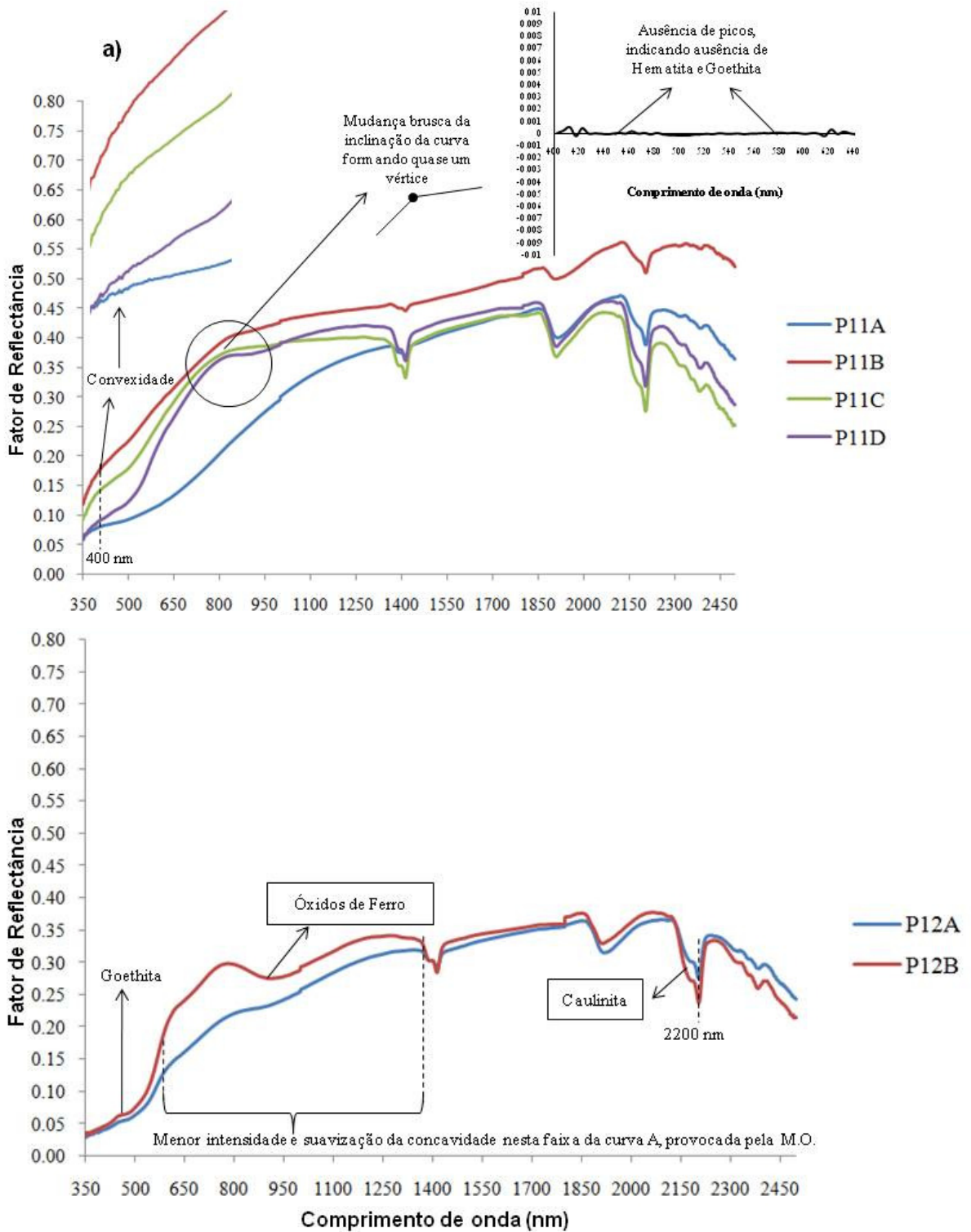


Figura 5.8 – Curvas espectrais dos horizontes do perfil número 11 e 12



Tabela 5.3 – Atributos granulométricos e químicos preditos (Pred.) e de referência (Ref.) dos Perfis

Amostr tra	Horiz.	Profun- didade	Granulometria						Química								Cor <sup>3</sup>				
			Areia Total <sup>1</sup>		Argila <sup>1</sup>		Silte <sup>2</sup>		CTC <sup>1</sup>		V % <sup>1</sup>		m % <sup>1</sup>		M.O. <sup>1</sup>		Al <sup>1</sup>		matiz	V	C
			Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.	Refer.	Pred.			
cm			g kg <sup>-1</sup>						.. mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ..		..... % .....		.. mg kg <sup>-1</sup> ..		.. mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ..						
P11A	Ap	0-40	880	734	100	237	20	29	34,4	54,3	10	37	84	39	7,0	15,0	18,0	10,3	7,8YR	4,3	0,9
P11B	E	40-80	900	751	40	191	60	58	10,1	-3,7	21	36	83	23	6,0	-1,1	10,0	0,7	9,3YR	5,8	1,4
P11C	Bg1	80-100	780	665	180	337	40	-3	25,1	5,1	52	41	19	47	6,0	-3,3	3,0	2,5	7,6YR	5,4	1,7
P11D	Bg2	100-150	780	613	180	358	40	29	32,4	18,9	54	41	29	27	7,0	0,2	7,0	5,6	6,0YR	5,1	2,5
P12A	Ap	0-30	720	570	240	379	40	51	61,5	56,2	38	34	23	38	19,0	27,7	7,0	8,6	6,7YR	4,2	2,3
P12B	Bw	30-100	550	432	390	537	60	31	28,5	20,2	23	26	65	26	9,0	9,7	12,0	-0,2	5,1YR	4,7	3,5
P13A	Ap	0-30	860	730	100	204	40	66	31,3	37,6	11	34	83	39	9,0	18,2	16,0	6,7	4,7YR	4,4	3
P13B	C1	30-110	840	681	100	264	60	55	21,6	29,5	17	28	80	45	10,0	14,1	14,0	8,4	4,1YR	4,3	2,9
P13C	C2	110+	840	628	120	301	40	71	17,1	19,6	12	18	79	54	7,0	8,8	8,0	2,6	3,3YR	4,5	3,5

<sup>1</sup> Preditos através dos modelos de quantificação da Biblioteca geral do Capítulo 4, exceto V%, m% e Al para camada C que foram preditos usando modelos de estimativa da Biblioteca de Sub-superfície

<sup>2</sup> Calculado por diferença do valor predito de argila e areia total

<sup>3</sup> Através de colorímetro

Tabela 5.4 – Atributos mineralógicos e de classificação preditos (Pred.) e de referência (Ref.) dos Perfis

Amostra	Profundidade cm	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>1</sup>		TiO <sub>2</sub> <sup>1</sup>		Ki			Kr <sup>1</sup>		ΔPh <sup>3</sup>		silte/Arg <sup>4</sup>		Atv. Arg. <sup>3</sup>		Mineralogia <sup>5</sup>			
		Ref. .	Pred.	Ref. .	Pred.	Ref. .	Pred. <sup>1</sup>	Pred. <sup>2</sup>	Ref. .	Pred.	Ref. .	Pred.	Ref. .	Pred.	Ref. .	Pred.	Hematita	Goethita	Gibbsita	Caulinita
		%				mmol.kg <sup>-1</sup>														
P01C	32-100	x	22,3	x	3,6	x	1,2	2,0	x	0,7	-1,5	-0,9	0,2	0,2	122	121	sim	sim	não	sim
P02C	50-115	5,8	14,9	0,5	1,8	1,7	0,9	1,3	1,3	0,5	-0,3	-0,4	0,1	0,1	97	68	sim	sim	sim	sim
P03C	55-110	24, 1	28,5	3,0	3,8	0,9	1,0	1,0	0,6	0,5	-0,2	-0,1	0,1	0,1	60	41	sim	sim	sim	não
P04C	45-80	4,6	13,9	0,6	1,6	0,7	0,7	1,1	0,5	0,4	-0,1	-0,3	0,1	0,1	103	97	não	sim	sim	sim
P05C	90-159	0,2	19,3	0,1	2,2	1,3	1,1	1,8	1,2	0,8	-0,9	-0,8	0,2	0,1	71	32	sim	não	não	não
P06C	40+	23, 7	27,0	0,6	3,4	1,5	1,4	1,6	0,9	0,6	-0,2	-0,1	0,5	0,2	232	94	sim	sim	não	sim
P07C	70-120	7,1	22,7	0,8	2,2	1,9	1,4	1,7	1,5	0,8	-0,5	-0,3	0,1	0,1	52	8	sim	sim	não	sim
P08C	50-95	1,5	9,3	0,1	0,9	2,3	2,2	2,5	2,0	1,7	-0,6	-1,4	0,5	0,7	499	287	não	sim	não	não
P09C	50-80	2,1	9,7	0,1	0,9	2,6	2,5	3,2	2,2	1,9	-0,9	-1,5	1,1	1,1	990	323	não	não	não	não
P10C	60+	1,9	9,4	0,1	1,3	1,6	1,3	1,8	1,3	1,0	-0,8	-0,8	0,9	0,3	191	135	não	sim	não	sim
P11C	80-100	x	2,4	x	0,5	x	1,7	2,0	x	1,4	-1,2	-0,8	0,2	-0,0	139	69	não	não	não	sim
P12C	30-100	x	6,4	x	1,5	x	1,6	1,9	x	1,2	x	-0,4	0,1	0,1	73	36	sim	sim	não	sim
P13C	110+	x	13,0	x	2,4	x	1,4	2,0	x	1,0	-0,4	-0,5	0,3	0,2	143	102	sim	não	não	sim

<sup>1</sup> estimado a partir dos modelos de estimativa gerados a partir da Biblioteca Espectral Ataque do capítulo 4

<sup>2</sup> estimado a partir de modelos de estimativa gerados por Madeira Neto et al., 1996

<sup>3</sup> estimado a partir de modelos de estimativa gerados pela biblioteca espectral de sub-superfície do capítulo 4

<sup>4</sup> calculado a partir dos resultados de silte e argila estimados pelos modelos de estimativa gerados a partir da Biblioteca Espectral Geral do Capítulo 04

<sup>5</sup> Detectado pela presença ou não de feições espectrais

x - inexistência do dado de referência

Por último, o perfil 13 (Figura 5.9) apresentou curvas muito semelhantes com intensidade média-alta ao redor de 0,35. Todas as curvas apresentaram aspecto ascendente. Essas características de albedo e inclinação são explicadas pelos altos teores de areia nas camadas (Tabela 5.3). A curva da camada A apresentou suavização de feições causada pela M.O.. As curvas foram classificadas como sendo do *tipo 4* e *tipo c*. Conforme observado em Epiphanyo et al. (1992) e citado por Formaggio et al. (1996) esse comportamento é padrão em horizontes de Neossolos Quartzarênicos ou Latossolos de textura média, com teores de argila inferior a  $250 \text{ g kg}^{-1}$ . Portanto, o perfil 13 foi classificado como sendo um Neossolo Quartzarênico ou ainda um Latossolo Vermelho-Amarelo. Esta dúvida na classificação ocorre, também, em descrição morfológica no campo. É necessário esperar os resultados das análises laboratoriais de rotina para classificar corretamente o perfil. A diferença básica entre as classes está no maior (Latossolo) ou menor (Neossolo Quartzarênico) teor de argila (EMBRAPA, 2006).

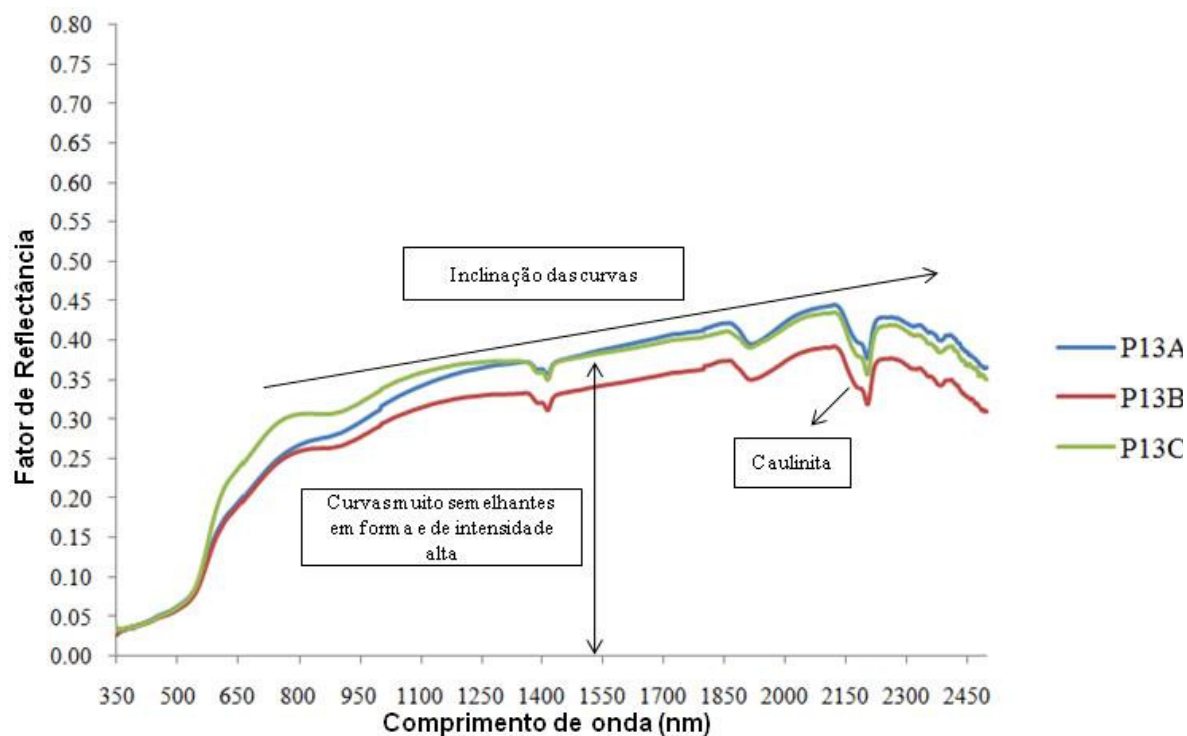


Figura 5.9 – Curvas espectrais dos horizontes do perfil número 13

### 5.3.2 Validação das classificações

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto como ferramentas de classificação apresentou bons resultados (Tabelas 5.5 e 5.6). Quando utilizados somente técnicas de sensoriamento remoto (qualitativas e quantitativas), o índice de acerto, até o segundo nível categórico, foi de 85 %. Este índice subiu para 92% quando utilizado os dados analíticos provenientes de análise laboratorial de rotina.

Ao se verificar as classificações até o segundo nível categórico, percebe-se que os 15% de erro, foi devido a diferenças de classificação dos perfis 07 e 13 (Tabela 5.5). Para o perfil 07 não foi apontada uma única classificação quando usadas técnicas de sensoriamento remoto. Entretanto, se apontou duas possíveis classes, sendo que a classificação indicada como sendo de maior probabilidade (Nitossolo) concorda com a classificação real do perfil. A similaridade entre as características espectrais de perfis de Latossolos e Nitossolos é um fator que contribui para o aumento de erros na classificação. No entanto, a constatação da feição da gibbsita (2265nm) serve como auxílio na diferenciação entre as duas classes. Conforme observado na biblioteca espectral do capítulo 03, há uma tendência de que quando a feição da gibbsita (2265nm) é visível no espectro, a uma maior probabilidade de se tratar de um Latossolo.

Quanto ao Perfil 13 a diferença de classificação, até o segundo nível categórico, foi devida principalmente a diferença nos teores de argila (Tabela 5.1), tanto que quando utilizados os dados de referência houve acerto. Enquanto as análise de referência apontaram textura arenosa para o perfil (120 g kg<sup>-1</sup>) a análise predita apontou textura média (300 g kg<sup>-1</sup>). Cantarella e Abreu (2001) apontam uma diferença de até 20% na determinação de argila em diferentes laboratórios. Esta diferença pode mudar a classificação de um solo, de Neossolo Quartzarênico para Latossolo de textura média, ou ao contrário.

Houve grande aumento dos erros de classificação no terceiro nível categórico quando se utilizou somente técnicas de sensoriamento remoto (Tabela 5.6). Isto foi devido, principalmente, a erros de predição relacionados a atributos químicos, como V% e Al<sup>+3</sup>. O capítulo 04 demonstra que os modelos utilizados para predição dos atributos dos perfis, apresentaram baixa capacidade de estimativa de atributos químicos. Esta baixa capacidade acarretou nos erros de classificação. O desenvolvimento de bibliotecas espectrais regionais pode contribuir para a melhoria das predições dos atributos químicos, o que aumentaria a eficiência das classificações.

Quanto ao caráter férrico somente o perfil 01 apresentou diferença de classificação (Tabelas 5.5 e 5.6). Entretanto, não pode ser considerado efetivamente um erro, devido a inexistência do dado de referência do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  para esse perfil. Os modelos utilizados para estimativa de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dos perfis apresentaram excelente capacidade de predição (capítulo 04). Sellito et al. (2009) e Galvão et al. (2008) apresentam trabalhos que demonstram como técnicas de espectroscopia e de sensoriamento remoto podem ser precisas na determinação de óxidos de ferro e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total. De fato vários trabalhos tem indicado a alta correlação  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e reflectância (CHANG et al., 2001; ISLAN et al., 2003; MORON E COZZOLINO, 2003; BROWN et al., 2006)

Embora a diferença entre valores preditos e de referência seja mais evidente (Tabelas 5.1 a 5.3) a classificação da textura dos solos apresentou bom resultado (Tabela 5.6). Os erros de predições se enquadraram dentro da faixa de variação de teores para cada classe textural, possibilitou o bom resultado. O modelo de predição utilizado para estimativa de atributos dos perfis apresentou bom desempenho na quantificação de argila e areia (Capítulo 04).

A técnica denominada IMER aqui apresentada segue a mesma linha de raciocínio realizada por ocasião da fotopedologia preconizada por França (1968). A técnica é definida como “exame cuidadoso de todos os elementos dos padrões fotográficos, quantitativos e qualitativos, e que através da convergência de evidências, permitem diagnosticar sobre prováveis unidades de solos”(CARVALHO, 2000). Ou seja, no caso a IMER seria o exame cuidadoso de todos os elementos espectrais, quantitativos e qualitativos, e que através da convergência das evidências, permita se diagnosticar uma provável classe de solo. O sucesso da técnica está intimamente ligado ao conhecimento do intérprete (classificador) em pedologia e sensoriamento remoto simultaneamente.

Tabela 5.5 – Comparação entre a classificação real dos solos e a classificação realizada através de técnicas de Sensoriamento Remoto

Perfil	Região de Ocorrência	Classificação real <sup>1</sup>	Classificação por sensoriamento remoto	
			Utilizando Atributos Preditos <sup>2</sup>	Utilizando Atributos de Referência <sup>3</sup>
1	Andradina - SP	Argissolo Vermelho Eutrófico; text. arenosa/média	Argissolo Vermelho Distrófico; text. média/arg.	Argissolo Vermelho Eutrófico; text. arenosa/média
2	Araraquara - SP	Latossolo Vermelho Distrófico; text. arg.	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; text. arg.	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; text. arg.
3	Araraquara - SP	Cambissolo Háptico Eutrófico; text. m. arg.	Cambissolo Háptico Distrófico; text. m. arg.	Cambissolo Háptico Eutrófico; text. m. arg.
4	Araraquara - SP	Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico; text. média	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; text. média	Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico; text. média
5	Ipaussu - SP	Latossolo Vermelho Distrófico; text. m. arg.; álico	Latossolo Vermelho Distrófico; text. m. arg.; álico	Latossolo Vermelho Distrófico; text. m. arg.; álico
6	Maracajú - MS	Neossolo Litólico Distrófico; text. m. arg.	Neossolo Litólico Distrófico; text. m. arg.	Neossolo Litólico Eutrófico; text. m. arg.
7	Piracicaba - SP	Nitossolo Vermelho Distrófico; text. m. arg.; álico	Nitossolo Vermelho Distrófico; text. m. arg. Ou Latossolo Vermelho Distrófico	Nitossolo Vermelho Distrófico; text. m. arg.; álico ou Latossolo Vermelho Distrófico
8	Piracicaba - SP	Cambissolo Háptico Alítico; text. média; distróf.	Cambissolo Háptico Eutrófico; text. média	Cambissolo Háptico Alítico; text. média; distróf.
9	Piracicaba - SP	Neossolo Litólico Distrófico; text. aren.; álico	Neossolo Litólico Eutrófico; text. média	Neossolo Litólico Distrófico; text. aren.; álico
10	Piracicaba - SP	Argissolo Amarelo Eutrófico; text. aren./média	Argissolo Amarelo Distrófico; text. média/média	Argissolo Amarelo Eutrófico; text. aren./média
11	Três lagoas - MS	Gleissolo Háptico Tb Eutrófico; text.média	Gleissolo Háptico Distrófico; text.média	Gleissolo Háptico Eutrófico; text.média
12	Três lagoas - MS	Latossolo Amarelo Distrófico; text. arg; álico	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; text. arg.	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; text. arg; álico
13	Três lagoas - MS	Neossolo Quartzarênico Órtico; text. aren.; distróf.; álico	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; text. média	Neossolo Quartzarênico Distrófico Órtico; text. aren.; distróf.; álico

<sup>1</sup> Classificação tradicional a campo, utilizando dados laboratoriais de rotina

<sup>2</sup> Classificação através da interpretação qualitativa das curvas espectrais e utilizando dados preditos por modelos de estimativa

<sup>3</sup> Classificação através da interpretação qualitativa das curvas espectrais e utilizando dados da análise laboratorial de rotina

Tabela 5.6 – Índices de acerto das classificações utilizando técnicas de sensoriamento remoto

Número de Perfis	Acertos até 1º Nível categórico		Acertos até 2º Nível categórico		Acertos até 3º Nível categórico		Textura		Caráter Férrico	
	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
<b>Utilizando Exclusivamente Técnicas de Sensoriamento Remoto (atributos preditos)</b>										
13	11	85	11	85	6	46	9	69	12	92
<b>Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e Análises de Rotina (atributos de referência)</b>										
13	12	92	12	92	12	92	x	x	x	x

## 5.4 Conclusões

As intensidades de reflectância das curvas espectrais é um importante fator na caracterização de horizontes. E é influenciada principalmente pelos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , presença de minerais opacos, matéria orgânica, argila e areia.

A interpretação de curvas espectrais individualmente não permite uma indicação precisa da classe de solo.

As principais feições que auxiliaram na classificação dos solos foram da gibbsita (2265 nm), da goethita (450-480nm), dos argilominerais 2:1 (1400, 1900 e 2200 nm) e dos óxidos de ferro (concavidade na região dos 850-900 nm).

A combinação de técnicas qualitativas e quantitativas de sensoriamento remoto mostrou ser uma boa ferramenta para classificação de solos.

O desenvolvimento de uma biblioteca espectral proporcionou um avanço na capacidade de técnicas qualitativas de sensoriamento remoto em classificar solos, já que serviu como base de comparação visual.

A aplicação das técnicas de análise qualitativa das curvas espectrais, em alguns casos, apresentou um maior peso na determinação de uma classe de solo do que os resultados quantitativos. Uma vez que, assim como na pedologia tradicional, a experiência do classificador apresenta um peso muito importante.

A obtenção de uma melhor classificação do solo usando técnicas de sensoriamento remoto ainda é limitada pelos modelos de estimativa de atributos químicos. Sendo essa dificuldade passível de ser solucionada através do desenvolvimento de bibliotecas espectrais regionais e de modelos de estimativa mais precisas.

O conhecimento dos princípios de mineralogia e gênese do solo pelo classificador, levam a uma melhor interpretação e entendimento das curvas espectrais dos horizontes de um mesmo perfil.

A interpretação simultânea do comportamento espectral pelo método proposto (IMER), das diversas curvas espectrais de um perfil de solo, apresenta melhor correlação com sua classificação.



## Referências

- AL-ABBAS, A.H.; SWAIN, P.H.; BAUMGARDNER, M.F. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils. **Soil Science**, Baltimore, v.114, p.477-485, 1972
- BEN DOR, E.; HELLER, D.; CHUDNOVSKY, A. A novel method of classifying profiles in the field using optical means. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.72, p.1113-1123, 2008.
- BOUL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J.; Southard, R.J. **Soil genesis and Classification**. 4<sup>th</sup> ed. Ames:Iowa State University Press, 1997. 527p.
- BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflectance of radiant energy from soils. **Soil Science**, Baltimore, v.100, n.2, p.130-138, 1964-1965.
- BROWN, D.J.; SHEPHERD, K. D.; WALSH, M.G.; MAYS, M.D.; REINSCH, T.G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 132, p.273-290, 2006.
- CAMARGO, A.O.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1986. 94p. (IAC. Boletim Técnico, 106).
- CAMPOS, R.C.; DEMATTÊ, J.A.M.; QUARTAROLLI, C.F. Determinação indireta do teor de hematita no solo a partir de dados de colorimetria e radiometria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 4, p. 521-528, abr. 2003.
- CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. Avaliação do desempenho dos laboratórios no ano de 2000. In: REUNIÃO ANUAL DO PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE LABORATÓRIOS COM O SISTEMA IAC DE ANÁLISE DE SOLO, 16., 2001. Campinas.**Anais...** Campinas: IAC, 2001. 65p.
- CHANG, C.W.; LAIRD, D.A.; MAUSBACH, M.J.; HURBURGH JUNIOR, C.R. Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.480-490, 2001.
- CLEMENTE, C.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; MAFRA, A.L.; BENTIVENHA, S.R.P. Reflectância espectral e mineralogia de materiais formados sobre diabásio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.159-168, 2000.
- CONDIT, H.R. The spectral reflectance of American soils. **Photogrammetric Engineering**, Falls Church, v. 36, n. 9, p. 955-968, 1970.
- DALAL, R. C.; HENRY, R. J. Simultaneous determination of moisture, organic carbon and total nitrogen by near infrared reflectance spectroscopy. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.50, p.120-123, 1986.

DALMOLIM, R.S.D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes**. 2002. 151p. Tese (Doutor em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

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

DEMATTÊ, J.A.M.; GARCIA, G.J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 63, n.2, p.327-342, Mar./Apr. 1999a.

DEMATTÊ, J.A.M.; GARCIA, G.J. Avaliação da atributos de Latossolo Bruno e de Terra Bruna Estruturada da região de Guarapuava, Paraná, por meio de sua energia refletida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.343-355, 1999b.

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

DEMATTÊ, J.A.M. Characterization and discrimination of soils by their reflected electromagnetic energy. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p.1445-1458, 2002.

DEMATTÊ, J.A.M.; FIORIO, P.R.; CLEMENTE, C.; NANNI, M.R. Sensoriamento remoto na avaliação da evolução intempérica de solos desenvolvidos sobre granodiorito e gnaisse porfirítico. **Magistra**, Cruz das Almas, v.15, n.1, p.33-43 jan.-jun. 2003

DEMATTÊ J.A.M.; EPIPHANIO, J.C.N; FORMAGGIO, A.R. Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.451-464, 2003b.

DUNN, B. W.; BEECHER, H. G.; BATTEN, G. D.; CIAVARELLA, S. The potencial of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis – a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.42, p.607-614, 2002.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

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

FERNANDES, R.B.A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F.. Quantificação de óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.245-257, 2004.

FONTES, M.P.F.; CARVALHO JUNIOR, I.A. Color attributes and mineralogical characteristics, evaluated by radiometry, of highly weathered tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.69, p.1162-1172, 2005.

FORMAGGIO, A.R.; EPIPHÂNIO, J.C.N.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 467-474, set.-dez. 1996.

FRANÇA, G.V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicadas a solos da região de Piracicaba**. 1968.151p. Tese (Doutor em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

GALVÃO, L.S.; FORMAGGIO, A.R.; COUTO, E.G.; DAR ROBERTS, A. Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography from hyperspectral remote sensing data. **Photogrammetry & Remote Sensing**, Maryland, v.63, p.259-271, 2008.

GOETZ, A.F.H.; CURTISS, B.; SHILEY, D.A. Rapid gangue mineral concentration measurement over conveyors by NIR reflectance spectroscopy. **Minerals Engineering**, Oxford, v.22, p.490-499, 2009.

GROVE, C.I. ; HOOK, S.J. ; TAYLOR, E.D. **Laboratory reflectance of 160 minerals, 0.4 to 2.5 micrometers**. Pasadena : National Aeronautics and Space Administration, 1992, 355p.

HATCHELL, D.C. (Ed.). **Analytical spectral devices. Technical Guide**. 3<sup>rd</sup> ed.: Boulder: Analytical Spectral Devices, 1999. 140p.

HAUFF, P.L.; KRAUSE, F.A.; THIRY, M. Spectral identification and characterization of kaolinite/smectite clays in weathering environments, In: AUSTRALIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 5., 1990, Perth. **Proceedings...** Perth: Environmental Research Institute of Michigan, 1990. p. 898-905.

HENDERSON, T.L.; BAUMGARDNER, M.F.; FRANZMEIER, D.P.; STOTT, D.E.; COSTER, D.C. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p. 865-872, 1992.

ISLAM, K.; SINGH, B.; McBRATNEY, A.B. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 41, n. 6, p. 1101-1114, 2003.

LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.

LEPSH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo : Ed. Oficina de textos, 2002. 178p.

MADEIRA NETTO, J.S. Spectral reflectance properties of soils. **Photo Interpretation**, Paris, v. 34, p.59-70, 1996.

MADEIRA NETTO, J. da S.; BAPTSTA, G. M. de M. **Reflectância espectral de solos**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2000. 55p.

MATHEWS, H.L; CUNNINGHAM, R.L.; PETERSEN, G.W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.37, p.421-424, 1973.

MORON, A.; COZZOLINO, D. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy to analyze soil chemical and physical characteristics. **Journal Agricultural Engineering**, New York, v.140, p. 65-71, 2003.

OBUKHOV, A.I.; ORLOV, O.S. Spectral reflectance of major soil groups and possibility of using diffuse reflections in soil investigations. **Soviet Soil Science**, Washington, v. 1, p. 174-184, 1964.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285p.

SCHEINOST, A.C.; CHAVERNAS, A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Use and limitations of second-derivative diffuse reflectance spectroscopy in the visible to near-infrared range to identify and quantify Fe oxides in soils. **Clays and Clay Minerals**, Lawrence, v.46, p.528-536, 1998.

SELLITTO V.M.; FERNANDES R.B.A.; BARRÓN, V.; COLOMBO, C. Comparing two different spectroscopic techniques for the characterization of soil iron oxides: Diffuse versus bi-directional reflectance. **Geoderma**, Amsterdam, v.149, p.2-9, 2009.

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

STONER, E.R., BAUMGARDNER, M.F. ; BIEHL, L.L. ; ROBINSON, B.F. **Atlas of soil reflectance properties**. West Lafayette : Purdue University, 1980. 75p.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristics variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 6, p. 1161- 1165, Nov. 1981

UDELHOVEN, T.; EMMERLING, C.; JARMER, T. Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectroscopy and partial least-square regression: a feasibility study. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 251, n. 2, p. 319-329, Apr. 2003.

VAN BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil Formation**. 2<sup>nd</sup> ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 416p.

WHITE, K; WALDEN, J.; DRAKE, N.; ECKARDT, F.; SETTLE, J. Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper Data. **Remote Sensing Environment**, New York, v. 62, p.30-39, 1997.