

Identificação de solos impregnados com hidrocarbonetos a partir de espectroscopia de reflectância e espectroscopia de imageamento

Rosa Elvira Correa Pabón¹
Carlos Roberto de Souza Filho¹
Lucíola Alves Magalhães¹
Wilson José de Oliveira²
Lis Maria Leoni Rabaco²
Renato Rocha²

¹Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Caixa Postal 6152 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
{jrosa83, beto, luciola}@ige.unicamp.br

²PETROBRAS – ENGENHARIA/IETEG/ETEG/EAMB e CENPES/PDP/MC
Av. Horácio de Macedo 950 - 21941-915 - Rio de Janeiro – RJ
{wilsonjo, lismaria, renator@petrobras.com.br}

Abstract. This study comprises a comparison between reflectance spectra of soils impregnated or not with hydrocarbons in a pilot area, located inside an area with soils impregnated with hydrocarbons. The spectra investigated here were derived by reflectance spectroscopy in laboratory conditions with the FieldSpec Hi-Res sensor (2150 channels in the VNIR-SWIR range) and extracted from imagery pixels generated by imaging spectroscopy, using the ProspecTIR VS hyperspectral sensor (with 357 channels in VNIR-SWIR range). The results indicate a substantial equivalence between the compared spectra, not only as regards a wealth of diagnostic absorption features of mineral components, but also, and mostly important, some specific features related to the presence of hydrocarbon impregnated in the soils. These observations suggest that this technology has great potential for use in environmental monitoring of pipelines and refineries in the country, a notion that is also applicable to hydrocarbon prospecting.

Palavras-chave: reflectance spectra, hyperspectral imaging, diagnostic absorption features, espectro de reflectância, imageamento hiperespectral, feições de absorção diagnósticas.

1. Introdução

O petróleo é uma mistura extremamente complexa de hidrocarbonetos (HCs), predominantemente alcanos normais, isoalcanos, cicloalcanos e aromáticos, além de certos compostos nitrogenados, oxigenados ou sulfurados e pode ser classificado com base no grau API, viscosidade, teor de enxofre ou quantidade relativa dos componentes químicos. Embora existam vários estudos a respeito de sua química, o estudo em solos impregnados com hidrocarbonetos e até mesmo aquíferos tem sido desenvolvido apenas nas últimas décadas.

O petróleo pode ser considerado como um alvo a ser estudado espectralmente por intermédio da interação da radiação eletromagnética (REM) com os seus constituintes. Segundo Hunt (1980), a assinatura espectral de um alvo é definida como uma feição ou conjunto de feições relacionadas a um conjunto de bandas estreitas e adjacentes. Sua representação gráfica descreve a variação da reflectância em função do comprimento de onda ao longo do espectro eletromagnético. A espectrorradiômetria permite conhecer a assinatura espectral do petróleo e identificar a presença dos particulados que o contaminam.

Essa técnica analítica apresenta uma série de atrativos como, por exemplo, a possibilidade de análise sem preparação da amostra; a rapidez para a obtenção dos espectros, cálculos e apresentação dos resultados; o fato de ser um método não destrutivo, permitindo o uso posterior da amostra para outros ensaios ou para ser guardada como testemunho e a possibilidade do desenvolvimento de aplicações em linha através de analisadores de processo.

Paralelamente às possibilidades oferecidas pela espectroscopia, um dos avanços mais significativos ocorridos na história recente do Sensoriamento Remoto foi o desenvolvimento da espectroscopia de imageamento, também conhecida como imageamento hiperespectral. Até recentemente, um número reduzido de especialistas em sensoriamento remoto tinha acesso a imagens hiperespectrais. Ao mesmo tempo, as ferramentas computacionais necessárias para geração de informação e conhecimento a partir dessas imagens eram limitadas e complexas. Em tempos recentes, entretanto, a análise de imagens hiperespectrais vem se tornando uma prática madura, com numerosos resultados de sucesso alcançados com essa tecnologia em aplicações como mapeamento geológico e exploração mineral. Entretanto, as aplicações do sensoriamento remoto hiperespectral na indústria petrolífera ainda são escassas e nunca foram testadas no Brasil.

O óleo, quando misturado a materiais superficiais, tem uma aparência em imagens de sensoriamento remoto que se assemelha e se confunde com compostos saturados em água (Figura 1). Entretanto, é muito provável que a assinatura hiperespectral das coberturas com presença de hidrocarbonetos seja particular e francamente distinta daquelas saturadas em água, independente do substrato ao qual se misturam.



Em síntese, o objetivo desse trabalho foi testar, em última instância e pela primeira vez no país, a possibilidade de detecção remota de superfícies com presença de HCs através de sensoriamento remoto hiperespectral. Esse primeiro estudo de caso foi realizado nas dependências de uma refinaria de petróleo em território nacional.

2. Materiais e Métodos

Os solos da refinaria foram caracterizados espectralmente conforme apresentado abaixo.

2.1 Espectroscopia de Reflectância VNIR-SWIR (*Visible-Near InfraRed –Short Wave InfraRed: 0,35 a 2,5 μm*)

A caracterização espectral das amostras no intervalo VNIR–SWIR foi realizada com auxílio do espectrorradiômetro *FieldSpec 3 High-Resolution*. Dados de reflectância foram gerados a partir de medidas da energia refletida pelo alvo em relação a um material de referência (*Spectralon*) em toda a faixa VNIR–SWIR. As amostras foram coletadas e preparadas considerando-se: (i) amostra de solo com possível impregnação de HCs, adquirida nas proximidades de um tanque de resíduos: amostra 132 (Figuras 2a e 2d), (ii) amostras de solo sem traços de HCs, coletadas nas proximidades de um tanque de resíduo: amostras 131 e 134 (Figuras 2b, 2d e 2e), (iii) amostras de solo de uma área de recuperação ambiental: amostra 127 (Figuras 2c e 2f). As amostras de solo foram colocadas em placas Petri para a realização das determinações espectrorradiométricas. As medidas foram executadas com a fibra ótica do espectrorradiômetro na posição vertical e a distância de 1-2 cm da amostra.

O resultado final na fase laboratorial do trabalho foi a montagem de uma biblioteca espectral que compreende assinaturas espectrais características dos solos coletados na refinaria. Essas assinaturas podem ser comparadas entre si e em relação aos dados de imageamento hiperespectral.

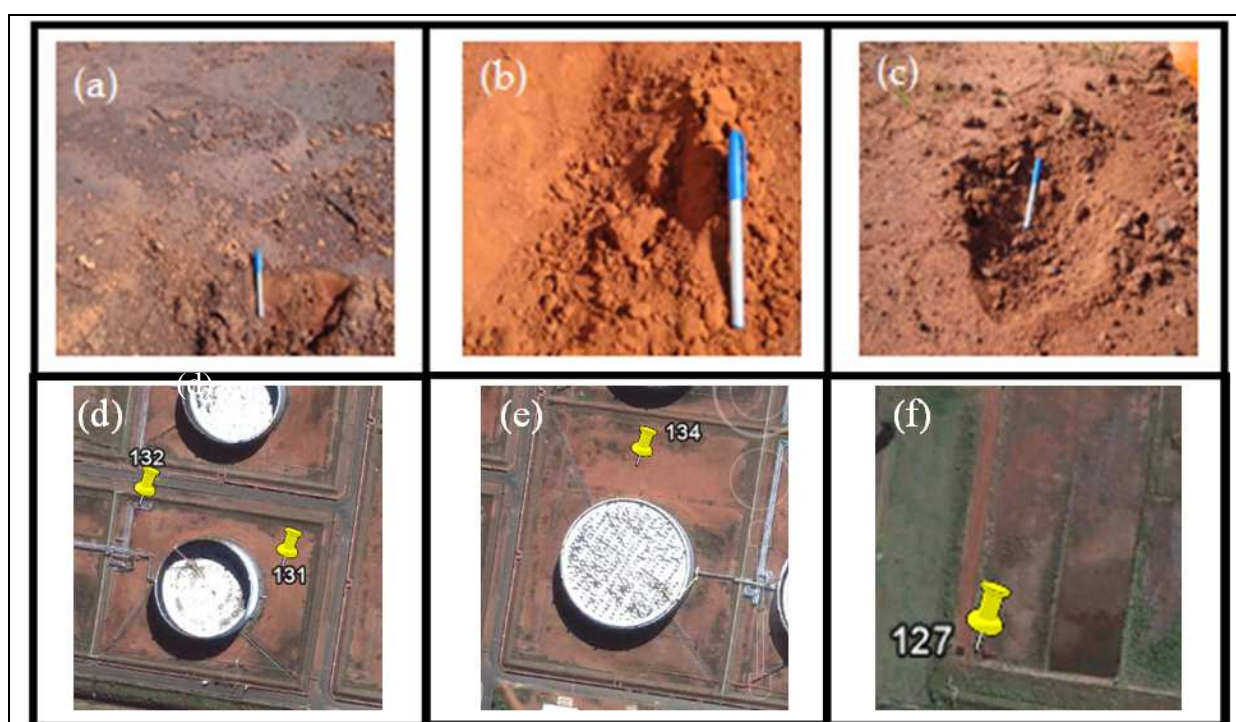


Figura 2. (a) Solo possivelmente impregnado com HCs. (b) Solo aparentemente não impregnado com HCs. (c) Solo coletado numa área de recuperação ambiental. (d) (e) (f) Aspecto dos sítios de coleta das amostras ilustradas em (a), (b) e (c), respectivamente. Fonte das imagens (d) (e) (f): *GoogleEarth*.

2.2 Espectroscopia de Imageamento - Dados ProSpecTIR-VS

A área de estudo (Figura 2) foi imageada com o sensor hiperespectral ProSpecTIR-VS da SpecTIR/FotoTerra. Os dados foram levantados em junho/2010 e entregues no nível 1A de processamento (i.e., convertidos para reflectância), com 357 bandas distribuídas entre as regiões do VIS/NIR (125 bandas entre 398-1000nm) e SWIR (232 bandas entre 1000-2451nm) e duas resoluções espaciais, de 1,0 e 0,6 m.

3. Resultados

3.1 Resultados da Espectroscopia de Reflectância de Solos no VNIR e SWIR

Diversos estudos têm mostrado que os HCs apresentam feições características nas regiões do NIR e SWIR (Clutis 1989; Kühn and Hörig 1996, Ellis et al. 2001; Hörig et al. 2001). Lammoglia e Souza Filho (2009) analisaram as propriedades de reflectância espectral de hidrocarbonetos variados produzidos no Brasil e concluíram que as principais feições de absorção observáveis nesses intervalos espectrais são as seguintes: CH₃ (~1190nm – feição sutil); sobretudo de CH (~1210nm – feição sutil); OH (~1390nm - que pode ser mascarada pela banda de vapor d'água); sobretudo de CH₂ (~1410 nm - que pode ser mascarada pela banda de vapor d'água); CH₃+CH₂ (~1720-1730 nm – feição proeminente e observável); sobretudo de CH₂ (~1750-1760 nm - feição proeminente e observável); CH₃ (2310 nm – feição sutil e observável); CH₃ (~2350nm - feição sutil e observável).

A apreciação dos espectros derivados dos solos na área de estudo (Figura 3) indica que os mesmos apresentam feições diagnósticas no VNIR e SWIR, respectivamente, típicas da presença de óxidos e hidróxidos de ferro e minerais do grupo da caolinita (e.g. Pontual et al. 1997). Essa é uma assinatura típica de latossolos derivados da alteração de basaltos da Formação Serra Geral.

Em relação às feições típicas de HCs, os solos não apresentam nenhuma feição destacada no intervalo do VIS. No intervalo do NIR – SWIR, contudo, algumas feições de absorção principais relacionadas a esses compostos podem ser discriminadas nas amostras dos solos estudados (Figura 3a). Analisando-se as regiões espectrais guias, descritas acima, para a identificação de HCs no espectro eletromagnético, pode ser observado que as amostras 131 e 134 (Figuras 3b e 3c) não apresentam feições de absorção nesta região. Entretanto, o solo aparentemente impregnado com HCs (Figura 3d) mostra feições centradas em torno de 1725 nm e 2310 nm. A amostra 127, presumivelmente deveria ter algum traço de óleo em função das observações realizadas no local de amostragem. Sua assinatura espectral (Figura 3e) na região em torno de 1725 nm mostra feições de absorção sutis; no entanto, em 2310 nm as feições aparecem bem definidas e diferentes das amostras aparentemente sem presença de HCs.

3.2 Resultados do Processamento dos Dados Hiperespectrais ProSpecTIR-VS

As imagens hiperespectrais, mesmo após a correção atmosférica e conseqüente conversão para reflectância aparente, ainda preservam ruídos artificiais, o que inibe a análise e a comparação dos mesmos com espectros de referência. A função *Empirical Flat Field Optimal Reflectance Transformation* (EFFORT Polishing) (Boardman 1998) permite uma transformação linear de pouca intensidade para todas as bandas de uma única cena, a fim de atenuar feições denominadas *sawtooth* (de aspecto dentilhado), que tipicamente aparecem nos espectros extraídos da imagem. Esse método determina estatisticamente, através da média geral dos dados, conjuntos de bandas pixel a pixel consideradas *outliers*, corrigindo-as por regressão linear simples e ajuste empírico de polinômios.

Os dados ProSpecTIR-VS foram aqui submetidos a essa suavização através do algoritmo EFFORT para conseqüente comparação com as assinaturas dos solos determinadas por espectroscopia de reflectância.

A Figura 4a apresenta espectros extraídos de pixels da imagem em coordenadas espacialmente coincidentes aos pontos de amostragem dos solos.

Conforme pode ser observado nos espectros das Figuras 4b e 4c, obtidos de solos aparentemente não impregnados com HCs, as feições espectrais presentes na região do VNIR são equivalentes àquelas observadas em medidas de laboratório e típicas de óxidos e hidróxidos de ferro. Na região do SWIR, especificamente entre 2180-2228 nm, nota-se as

feições em *doublet* (sutis), diagnósticas da presença de caolinita de mais baixo ordenamento estrutural, também análogas as curvas espectrais obtidas com o FieldSpec Hi-Res. Nenhuma feição possivelmente relacionada à presença de HCs foi observada nesses espectros, o que corrobora as observações de campo.

As Figuras 4d e 4e correspondem a espectros extraídos da imagem em locais onde se observou, no campo, evidências da presença de HCs no solo. Nesses espectros são materializadas feições no VNIR e SWIR que correspondem, respectivamente, àquelas características da presença de óxidos e hidróxidos de ferro e de caolinita – ou seja, os pixels que representam esse solo têm feições correspondentes àquelas observadas nos espectros de medidas feitas nas amostras em condições de laboratório e têm a típica assinatura espectral dos latossolos da área de estudo. Entretanto, na região entre 1700-1750 nm e 2300-2350 nm, nota-se uma distinta feição espectral, também observada nos espectros de laboratório, que são diagnósticas da presença de HCs – o que atesta que esse solo é impregnado com essa substância, tal como apontam evidências de campo.

4. Discussões e Conclusões

Os resultados preliminares aqui obtidos a partir dos primeiros levantamentos hiperspectrais feito no Brasil com o sensor ProSpecTIR-VS da SpecTIR/FotoTerra (com 357 bandas, resolução espectral de 5nm no SWIR e resolução espacial de até 0.6m) mostra que é possível identificar assinaturas espectrais típicas de latossolos registrados amplamente no Brasil e seus equivalentes impregnados com hidrocarbonetos.

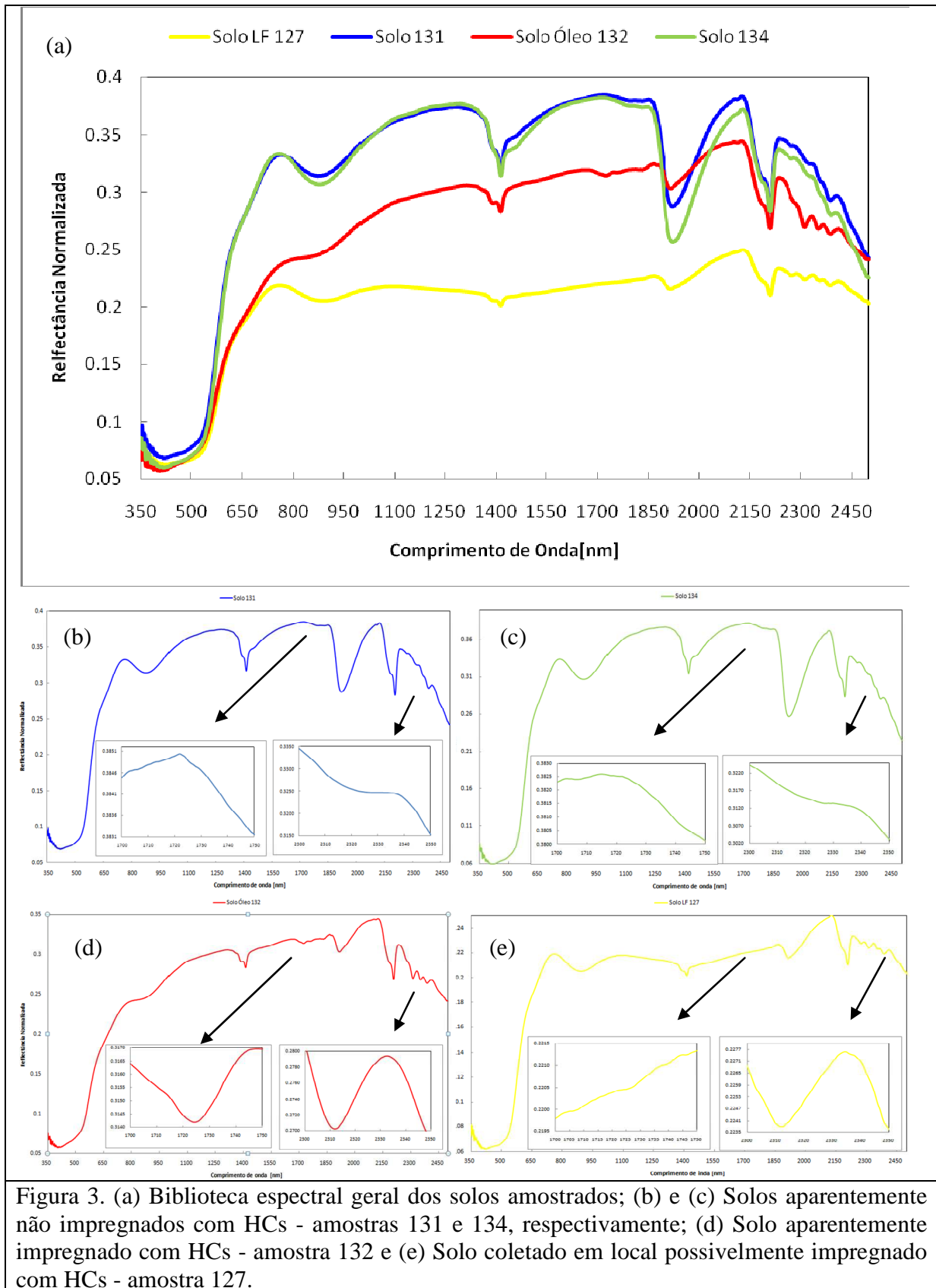
Essas constatações permitem sugerir que essa tecnologia tem grande potencial para uso no monitoramento ambiental de refinarias e dutos de hidrocarbonetos no país, o que é extensível também à prospecção petrolífera.

Agradecimentos

As equipes da FotoTerra e SpecTIR, especialmente aos colegas Guilherme Brechbuhler de Pinho, Jürgen Langenwalter, Conrad Wright e Chris Joyce, pela atenção e competência na realização dos levantamentos hiperspectrais. Ao Programa Tecnológico de Transporte (PROTRAN) – PETROBRAS/CENPES pelo financiamento e apoio ao projeto.

Referências

- Boardman, J. W. Mineralogy and geochemical mapping at Virginia City, Nevada using 1995 AVIRIS: a lesson in accuracy versus precision, in **Summaries of the 7th JPL Airbone Earth Science Workshop**, v.1, p. 53, 1998.
- Clutis, E. A., Spectral reflectance properties of hydrocarbons: remote sensing implications. **Science**, 245, 165-168, 1989.
- Ellis, J. M., Davis, H. H., and Zamudio, J. A., Exploring for onshore oil seeps with hyperspectral imaging, **Oil and Gas Journal**, 99, 49-58, 2001.
- Hunt, G.R.; Electromagnetic radiation: the communication link in remote sensing. In: Siegal, B.S.; Gillespie, A.R. **Remote sensing in geology**. New York: J. Wiley & Sons. p. 5-45, 1980.
- Lammoglia, T., Souza Filho C. R. Caracterização espectral de petróleos de bacias produtoras brasileiras. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal - Rio Grande do Norte. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São Jose dos Campos: INPE, 2009. v. 1. p. 3235-3242, 2009.
- Pontual, S., Merry, N., Gamson, P., **G-Mex Volume 1: Special Interpretation Field Manual**. Ausspec International, Kew, Victoria 3101, 55 p, 1997.



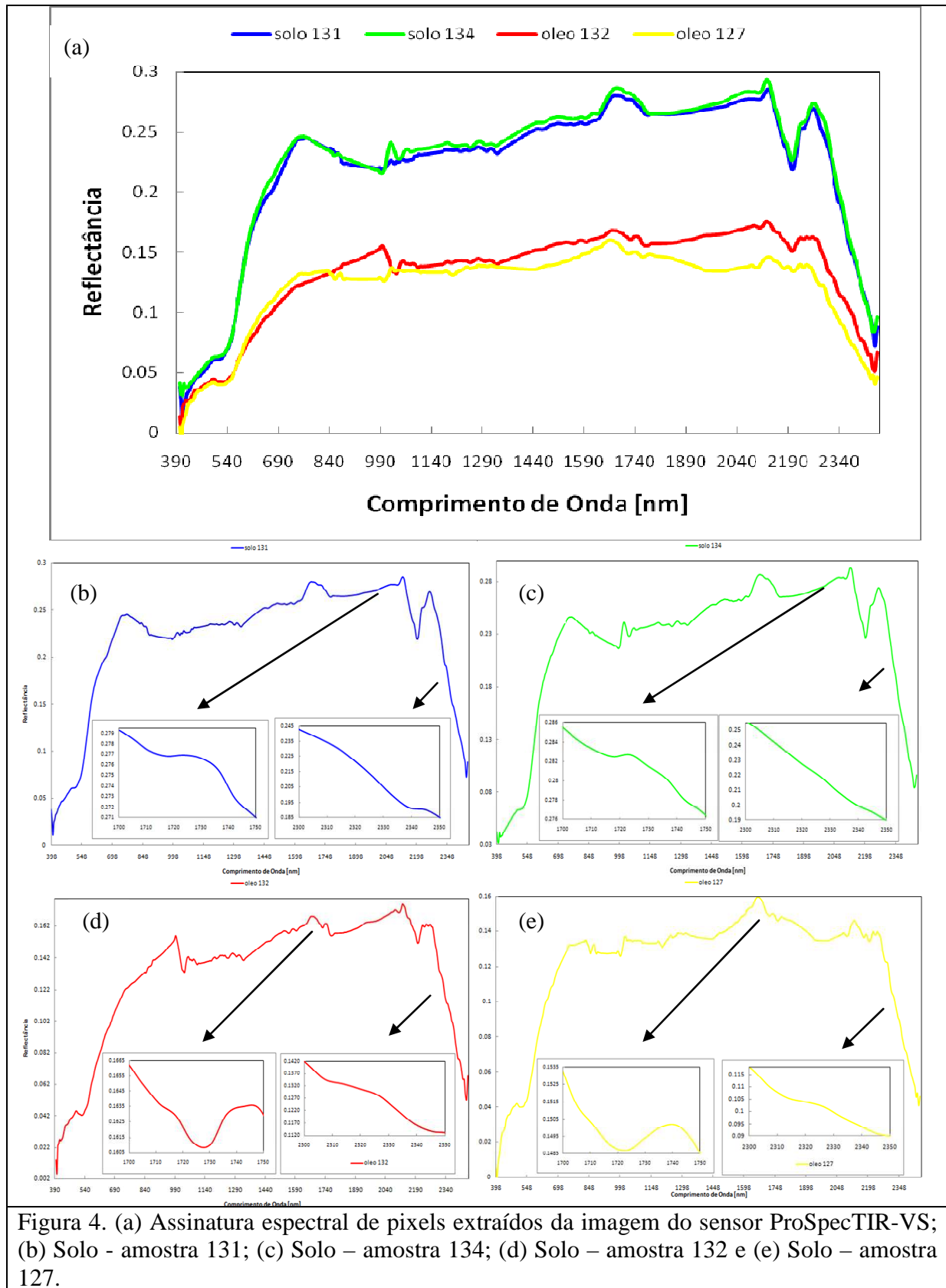


Figura 4. (a) Assinatura espectral de pixels extraídos da imagem do sensor ProSpecTIR-VS; (b) Solo - amostra 131; (c) Solo – amostra 134; (d) Solo – amostra 132 e (e) Solo – amostra 127.