

Caracterização espectral radiométrica dos litotipos do Grupo Una na sub-bacia de Una-Utinga no Estado da Bahia

Lílian Graicy Lima Morais Lima¹
Washington de Jesus Sant'anna da Franca Rocha¹

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS/PPGM
Av. Transnordestina, S/N – Novo Horizonte – Feira de Santana- BA, Brasil
{graicylima, francarochoa}@gmail.com

Abstract: Analysis of the spectral features observed in the visible and infrared radiation allows the identification of molecular and chemical composition of materials, with special patterns of reflection and absorption along the spectrum. This paper presents the partial results obtained from spectral characterization of rocks in the Una-Utinga sub basin in Bahia State (Brazil). The spectral measurements were acquired by a portable spectroradiometer model FieldSpec 3 (ASD) and they were analyzed semi-automatically by comparing the spectra obtained in the laboratory with the spectra from the USGS (United States Geological Survey) spectral library. The result obtained were a specific spectral library compatible with the descriptions found in the literature, that contain carbonate minerals (calcite and dolomite), iron oxides and minerals containing OH (hydroxyl) molecule.

Palavras-chave: spectral reflectance, remote sensing, image processing, reflectância espectral, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

1. Introdução

As seqüências sedimentares neoproterozóicas do Craton do São Francisco, representadas pelos Grupos Bambuí e Una, hospedam uma diversificada gama de recursos minerais cujo potencial econômico é ainda desconhecido. Dentre as ocorrências minerais encontradas, destacam-se depósitos de diamante, rocha fosfática, rocha calcária, de manganês, de fluorita, de barita, bem como ocorrências de sulfetos de chumbo-zinco, ricos em prata (Misi e Silva, 1994).

O Grupo Una e o Grupo Bambuí mostram-se correlacionados, como demonstram as evidências químico-estratigráficas e geofísicas, sugerindo um evento comum de sedimentação em um ambiente epicontinental (Franca-Rocha, 2001). Contudo, estas seqüências carecem de mapeamento integrado, sendo referidas por subunidades informais com denominações variadas e locais. A grande extensão e as discontinuidades espaciais das seqüências carbonáticas são diretamente responsáveis por estas dificuldades em atribuir uma denominação padrão para as unidades, requerendo uma abordagem com uso de múltiplas técnicas, dentre elas, a espectroscopia de reflectância.

Estudos que envolvem a utilização da informação espectral de minerais nas regiões da radiação visível e infravermelho para detectar associações minerais têm sido realizados desde o início da década de setenta (Crosta, 1993). Com base nessas feições, técnicas de processamento digital de imagens, capazes de extrair e realçar essa informação espectral, têm sido desenvolvidas, tais como: o *Spectral Angle Mapper* (SAM), utilizada para comparar espectros de cada pixel da imagem com os espectros individuais, provenientes de bibliotecas espectrais e o *Mixture Tuned Matched Filtering* (MTMF), técnica de classificação espectral utilizada para mapear a distribuição e abundância de *endmembers* específicos à escala de sub-pixel.

O uso da espectroscopia de reflectância para caracterização mineral em regiões tropicais ainda são insipientes sendo destacados aqui os realizados por Meneses (1986), Crosta (1993),

Lima (2003) e Pedrosa (2010) por terem ligação direta com o contexto geológico da área investigada nesta pesquisa.

Este trabalho apresenta os resultados parciais da caracterização espectral de litotipos da sub-bacia de Una-Utinga no Estado da Bahia. As assinaturas espectrais obtidas serão utilizadas para construir uma biblioteca espectral típica para os sedimentos do grupo Una.

2. Metodologia de Trabalho

A área investigada está inserida no domínio geotectônico da Chapada Diamantina, constituída pelas coberturas sedimentares do Proterozóico Superior (Supergrupo São Francisco). Na Chapada Diamantina, o supergrupo São Francisco é representado pelo Grupo Una, classicamente dividido em duas formações: a Formação Bebedouro (basal), constituída por diamictitos de origem glacial, e a Formação Salitre (topo), constituída por várias litofácies carbonáticas depositadas em ambiente marinho raso com constante agitação de ondas, que ocorrem interdigitadas com depósitos de planície de maré (Dominguez, 1993). Na figura 1 tem-se a localização da sub-bacia de Una-Utinga no Estado da Bahia, com as unidades geológicas encontradas e identificação dos locais de coleta.

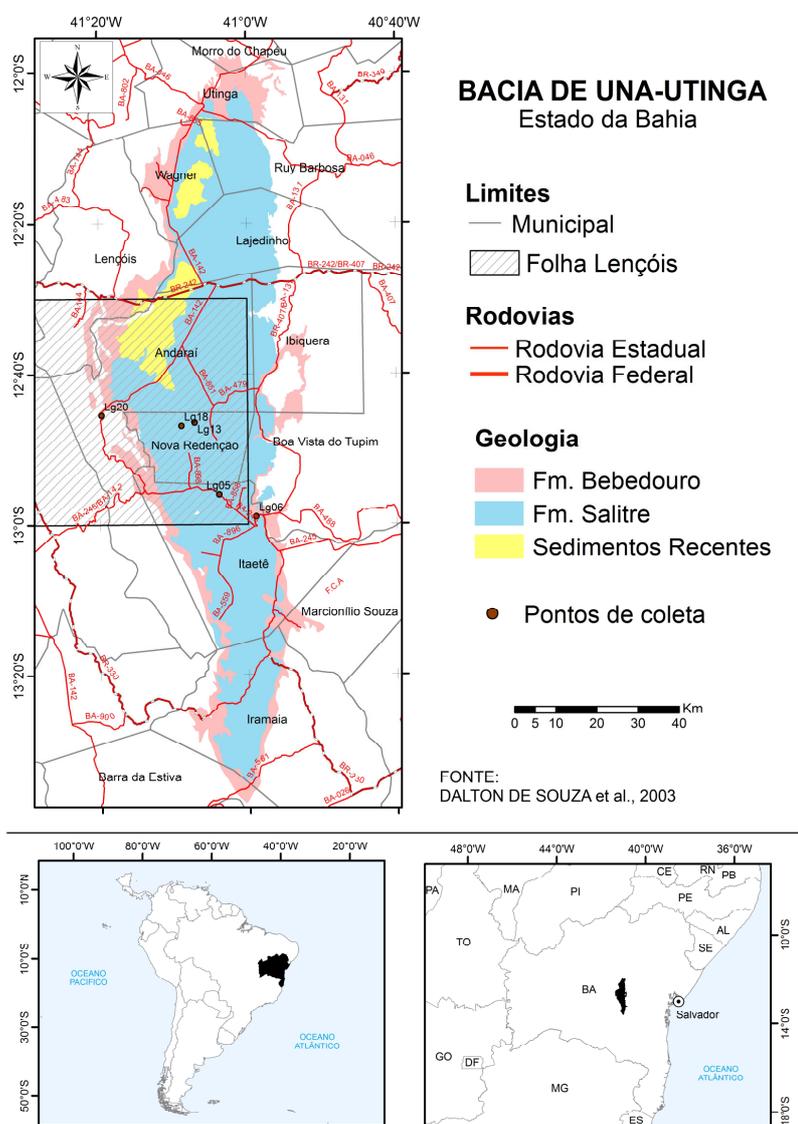


Figura 1- Localização da sub-bacia de Una-Utinga no Estado da Bahia

O trabalho de campo foi realizado de forma a coletar amostras representativas de cada unidade litoestratigráfica da bacia. A seleção foi realizada tomando-se como referência o mapa geológico da Bahia (Dalton de Souza et al., 2003) na escala 1:1.000.000 e a carta geológica Folha Leçóis (SD.24-V-A-V) (Bomfim, 1990), na escala 1:100.000. As amostras coletadas em campo foram separadas em grupos de acordo com o tipo litológico, resumidas na tabela 1.

Tabela 1 – localização geográfica dos pontos de amostragem e identificação da unidade geológica pertencente.

Localização do ponto (UTM)	Unidade Geológica		Descrição
LG20-247209E/8588392N	Fm.Bebedouro	Bebedouro	Diamictitos
LG6 - 257877E/8570043N	Fm.Bebedouro	Bebedouro	Diamictitos
LG5 -275915E/8569165N	Fm. Salitre	Gabriel e Nova América	Calcarenitos/ Calcilutito
LG18 - 266704E/8585992N	Fm. Salitre	Nova América	Sequencia dolomitizada
LG13 - 269903E/8586802N	Fm. Salitre	Nova América	Sequencia olomitizada – zona mineralizada

Para a realização das medidas espectrais foi utilizado um espectrorradiômetro portátil modelo FieldSpec 3 fabricado pela *Analytical Spectral Devices Inc.* (ASD), que equipa o Laboratório de Espectrorradiometria do Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana. O aparelho caracteriza-se por detectar a radiação eletromagnética no intervalo de 350 a 2500 nm, com resolução espectral de 3nm no VNIR e 2nm no SWIR.

Os espectrorradiômetros de reflectância são instrumentos que realizam medidas do Fator de Reflectância (FR) definido por Moreira (2005) como a razão entre o fluxo refletido pela superfície do alvo/amostra e o fluxo refletido, na mesma geometria, por uma superfície padrão lambertiana, irradiada/iluminada da mesma maneira que a superfície do alvo/amostra.

Quando a medida espectrorradiométrica é feita em laboratório, sob condições bastante controladas, os valores de reflectância em cada comprimento de onda são função direta da composição química e física do objeto. O espectro de uma rocha resulta da combinação dos espectros de seus minerais constituintes. Assim, a intensidade e a posição que as feições de absorção ocupam numa curva espectral, são uma “assinatura espectral” daquele material (Meneses e Ferreira Junior, 2001).

Foram realizadas dez medições espectrais utilizando-se uma sonda posicionada próximo a superfície da amostra. Efetuou-se repetidas leituras nos diferentes lados, inclusive com presença de alteração superficial, de modo a obter espectros representativos das misturas mineralógicas. Após a aquisição das curvas, executou-se a correção das imperfeições, ou *gaps*, com a função *Splice correction* presente no sistema de aquisição.

A caracterização espectro-mineralógica foi realizada de acordo com Pontual et al (1997) conforme descrito a seguir: a) seleção do melhor espectro que caracteriza a amostra e aplicação da remoção do contínuo visando acentuar as feições de absorção; b) observação da região do SWIR compreendida entre 2050-2450nm, visto que é nessa região que ocorrem as principais assinaturas espectrais dos minerais; c) identificação da feição de absorção mais profunda nessa região espectral e observação da posição da feição de absorção, tipo de feição (simples, dupla, múltipla), simetria, intensidade, formas e declividades; d) comparação do espectro desconhecido com espectros conhecidos dos grupos espectrais, utilizando uma

biblioteca espectral de referência; e) identificação e comparação de outras feições espectrais entre 1300-2050nm de forma a confirmar a similaridade das curvas e para fazer uma distinção final entre minerais espectralmente similares. Além disso, foi necessário também observar a região do VNIR de forma a identificar minerais ricos em ferro, visto que estes minerais apresentam nessa região espectral as principais feições de absorção.

Para visualização dos espectros e comparação com a biblioteca espectral do USGS foram utilizados os programas ENVI® e SpecMin™ Pro versão 3.1 (versão Demo).

3. Resultados e Discussão

Dentre as associações minerais passíveis de detecção por sensores remotos que adquirem informação nas regiões do visível ao infravermelho, os óxidos e hidróxidos de ferro e os minerais que contêm a molécula O-H (hidroxila) são os que apresentam maior potencial para uso em exploração mineral (Crosta, 1993).

Em sensoriamento remoto, o intervalo do espectro mais usado vai de 400 a 2.500 nanômetros, subdivididos em duas regiões: entre 400 e 1000 (VNIR) e entre 2000 e 2400 nanômetros (SWIR) (Crosta, 1993). Apesar da maioria dos estudos visando discriminação de minerais e rochas estarem restritos às feições de absorção da região do infravermelho de ondas curtas (SWIR), a região do visível ao infravermelho próximo (VNIR) é muito importante para este trabalho, visto que a área de estudo apresenta minerais ricos em ferro. Por este motivo, toda a região espectral coberta pelo equipamento (350 a 2500nm) foi considerada nas medições.

Foram selecionados espectros representativos das diferentes unidades litoestratigráficas encontradas no trabalho de campo. Esses espectros foram agrupados de forma a constituir uma biblioteca espectral para cada tipo litológico encontrado, desse modo, foram criados quatro grupos.

O primeiro grupo contém amostras coletadas na “Lapa do Bode” (LG5) onde foi possível observar afloramento de cor cinza-claro, com laminação paralela e intercalações de material muito fino de cor clara, possivelmente argilas. Observa-se também a presença de nódulos de material silicoso de forma alongada. De acordo com o mapa Geológico da Bahia, o local amostrado encontra-se na Formação Salitre na unidade Gabriel e Nova América.

A curva espectral obtida em laboratório e selecionada para compor este grupo, representada pela cor preta na figura 2, caracteriza-se por apresentar feição espectral bem marcada em $\sim 2.34\mu\text{m}$. Comparando-se com a curva espectral do mineral Calcita da biblioteca do USGS é possível confirmar a presença desse mineral na amostra.

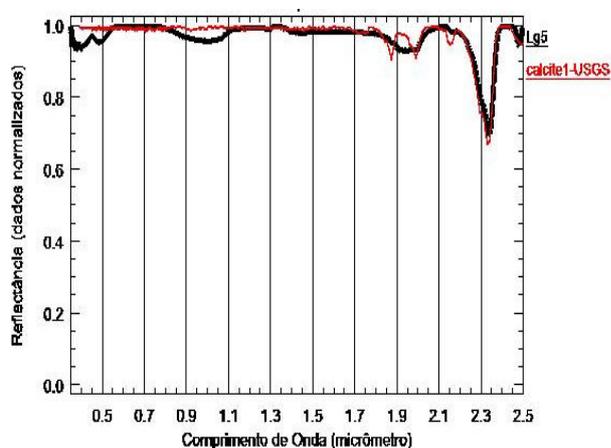


Figura 2 - Curva espectral típica obtida em laboratório da amostra coletada na Lapa do Bode (em preto) e curva espectral da biblioteca de referência para a Calcita tipo 1 (em vermelho).

O grupo dois contém os espectros das amostras coletadas em afloramentos localizados à beira da estrada para Itaeté (LG6) e à beira da estrada para Andaraí (LG20), nos dois casos observou-se rocha de coloração avermelhada com estratificação paralela e cruzada e granulação fina. Segundo o Mapa Geológico da Bahia (Dalton de Souza et al., 2003) e a carta geológica da folha Lençóis (Bomfim, 1990), os locais de amostragem encontram-se na formação Bebedouro.

Nas curvas obtidas em laboratório para este grupo, figura 3, observa-se feição espectral em $\sim 0.53\mu\text{m}$ e $\sim 0.87\mu\text{m}$ (VNIR). Na região do SWIR a principal feição ocorre em $\sim 2.212\mu\text{m}$, mas também em $1.9\mu\text{m}$ e $1.4\mu\text{m}$. As feições do VNIR são características do íon férrico, enquanto que as feições da região do SWIR são características de minerais que contêm moléculas hidroxilas (O-H). Desse modo, estima-se, pelas feições de absorção apresentadas, que exista na amostra hematita e montmorilonita.

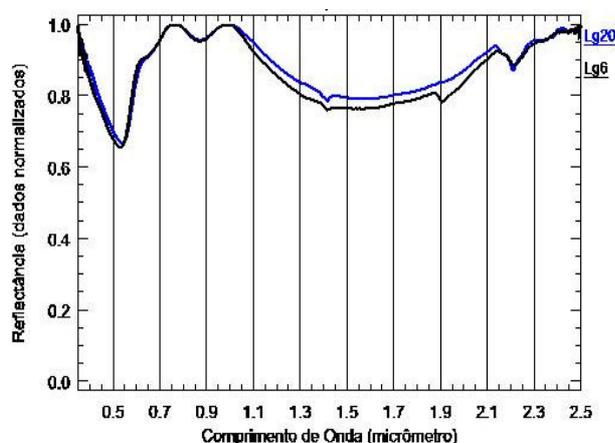


Figura 3- Curvas espectrais típicas coletadas em laboratório para as amostras do grupo II. Em preto amostra Lg6 e em azul amostra Lg20.

Já no grupo três, foram reunidas as amostras coletadas no Poço azul (LG18), onde observou-se afloramento de coloração que varia do rosa ao cinza-azulado e às vezes verde. De acordo com a carta Lençóis o ponto de amostragem, encontra-se na unidade Nova América, seqüência dolomitizada e/ou silicificada da Formação Salitre.

Os espectros obtidos em laboratório mostram uma feição de absorção principal em $\sim 2.32\mu\text{m}$ indicando a presença do mineral dolomita. Além dessa, observa-se feições simples conspícuas em $1.4\mu\text{m}$ e $1.9\mu\text{m}$ indicativa da presença da molécula de água. Na região do VNIR as feições encontram-se em $\sim 0.5\mu\text{m}$ e $0.66\mu\text{m}$ e $\sim 0.97\mu\text{m}$ que são feições típicas da goethita. Na figura 4 observa-se a curva espectral obtida em laboratório (em preto) e a curva espectral de referência (em vermelho) que é uma mistura dos espectros da dolomita e da goethita, obtido a partir da função *spectral math* do ENVI®.

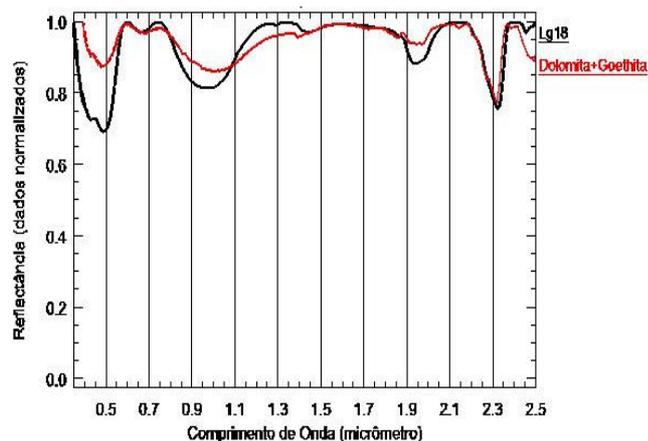


Figura 4 - Curva espectral típica obtida em laboratório da amostra coletada no Poço Azul (em preto) e curva espectral da mistura de Dolomita + Goethita (em vermelho).

O quarto grupo é constituído pelas amostras coletadas numa área no município de Nova Redenção (LG13), onde já foi confirmada a presença de mineralizações de Pb-Zn-Ag, pela CPRM e CBPM (Moraes Filho et al. 2001) as quais ocorrem na unidade Nova América (zona mineralizada). Nesse local observa-se a existência de *gossans*.

As curvas espectrais obtidas em laboratório apresentam feições de absorção na região do VNIR em $\sim 0.52\mu\text{m}$, $\sim 0.68\mu\text{m}$, $\sim 0.94\mu\text{m}$ e na região do SWIR em $\sim 1.4\mu\text{m}$, $\sim 1.9\mu\text{m}$ e $\sim 2.4\mu\text{m}$. As feições na região do VNIR são as mais importantes visto que indicam a presença de minerais com ferro como goethita, hematita e limonita que são minerais constituintes de *gossans*. Na figura 5 visualiza-se a curva espectral típica das amostras coletadas (em preto) e a curva espectral obtida pela função *spectral math* do ENVI® misturando-se os espectros da goethita, da hematita e da limonita.

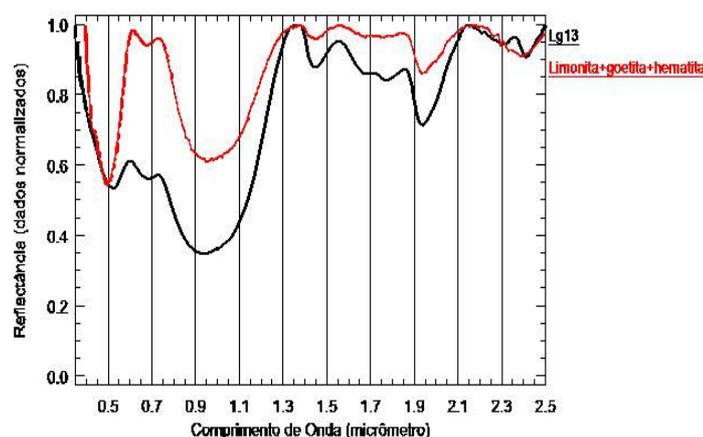


Figura 5 – Curvas espectrais da amostra de gossan (em preto) obtida em laboratório, e da mistura espectral realizada pela função *spectral math* do ENVI®.

4. Conclusões

A espectroscopia de reflectância apresentou resultados satisfatórios para os sedimentos carbonáticos da sub-bacia de Una-Utinga, visto que foi possível separar com exatidão amostras com predominância de calcita das amostras com predominância de dolomita, além da presença dos óxidos de ferro.

Como as bibliotecas espectrais de referência são constituídas por minerais provenientes de regiões temperadas, as curvas espectrais utilizadas como referência nem sempre são coincidentes com as curvas espectrais obtidas em laboratório para as amostras coletadas.

Desse modo, outras técnicas de identificação da composição mineral, sobretudo a difratometria de raio-X (DRX), devem ser utilizadas visando atribuir maior confiabilidade aos dados.

Contudo, é possível afirmar que as bibliotecas criadas apresentam feições de absorção diagnósticas para cada grupo. Desse modo, o grupo I caracteriza-se pela presença do mineral calcita, com feição de absorção principal em $2.34\mu\text{m}$; o grupo II caracteriza-se pela presença de feições em $\sim 0.53\mu\text{m}$ e $\sim 0.87\mu\text{m}$ típicas da hematita e em $\sim 2.212\mu\text{m}$, $1.9\mu\text{m}$ e $1.4\mu\text{m}$ indicando a presença de moléculas com hidroxilas sugerindo a presença de montmorilonita. Por sua vez, o grupo III apresenta feições em $2.32\mu\text{m}$ indicando a presença de dolomita e também em ~ 0.5 , 0.66 e 0.97 indicando a presença de minerais de ferro (goethita/hematita/limonita). O grupo IV, referente a amostra da zona mineralizada, apresenta feições típicas da associação mineral entre goethita, hematita e limonita em $\sim 0.52\mu\text{m}$ $\sim 0.68\mu\text{m}$, $\sim 0.94\mu\text{m}$, indicando tratar-se de *gossans*, corroborando com o que diz a literatura.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a Fapesb pelo apoio à pesquisa com a concessão da bolsa de mestrado.

6. Referências

Bomfim, L. F. C. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**: carta geológica, carta metalogenético/previsional. Escala 1:100.000 (Folha SD-24-V-A-V – Lençóis) Estado da Bahia. Org. por Luiz Fernando Costa Bomfim e Augusto J. Pedreira. Brasília, DNPM/CPRM, 1990.

Crosta, A.P. Caracterização espectral de minerais de interesse à prospecção mineral e sua utilização em processamento digital de imagens. In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba:INPE, 1993. Artigos, p. 202-210. Disponível em marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte@80/.../202-210.pdf. Acesso em 11 de novembro de 2010.

Crosta, A. P. Sensoriamento Remoto Hiperespectral: aplicações na geologia. In: **Geotecnologias: trilhando novos caminhos nas geociências**. Chaves, J. M.; Franca-Rocha, W. J. S. (orgs.). Salvador: SBG, 2006.

Dalton de Souza, J; Kosin, M; Melo, R. C.; Santos, R. A.; Teixeira, L. R.; Sampaio, A. R.; Guimarães, J. T.; Vieira Bento, R.; Borges, V. P.; Martins, A. A. M.; Arcanjo, J. B.; Loureiro, H. S. C.; Angelim, L. A. A.; 2003. **Mapa Geológico do Estado da Bahia** – Escala 1:1.000.000. Salvador: CPRM, 2003. Versão 1.1. Programas Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo e Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Convênio de Cooperação e Apoio Técnico-Científico CBPM-CPRM.

Dominguez, J. M. L.. As Coberturas do Cráton do São Francisco: uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. In: DOMINGUEZ, José Maria Landim; MISI, Aroldo, Eds. **O Cráton do São Francisco**, SBG BA-SE/SGM/CnPq, Salvador, Ba, Brasil, 1993. p.137-159.

Franca-Rocha, W. J. S.. Modelagem Metalogenética na Bacia de Irecê (Ba) através de Sistema de Informações Geográficas (SIG): Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

Lima, V. S. Assinaturas espectrais de gossans associados à mineralizações de Pb-Zn-Ba na Bacia de Irecê (BA): um estudo baseado em dados dos sensores TM e ASTER. Dissertação de Mestrado - UNICAMP, Campinas, SP, 2003.

Meneses, P.R.; Ferreira Júnior, L. G. Comportamento Espectral de Minerais e Rochas In: Meneses. P.R., Madeira Netto, J. da S. (orgs.) **Sensoriamento Remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: UnB;Planaltina:Embrapa Cerrados, 2001.

Meneses, P.R.; Avaliação e seleção de bandas do sensor “Thematic Mapper” do Landsat-5 para a discriminação de rochas carbonáticas do grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe. Tese de Doutorado – USP, São Paulo, 1986.

Misi, A.; Silva, M. da G. **Chapada Diamantina Oriental – Bahia**: geologia e depósitos. Salvador: Secretaria da Indústria, Comercio e Mineração/Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1994.

Moraes Filho, O.; Leal, R. A.; Moraes, L. C. de; **Chumbo de Nova Redenção: estado da Bahia**. Salvador: CPRM, 2001.

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. atual. ampl Viçosa: Ed. UFV, 2005.

Pedrosa, S.A.; Discriminação espectral de variações faciológicas de carbonatos por meio de espectrorradiometria e imagens ASTER na região de Serra do Ramalho-Ba. Dissertação de Mestrado – UNB, Brasília, DF, 2010.

Pontual, S.; Merry, N.J.; Gamson, P. **Practical Applications Handbook**, Vol 1-8, G-Mex spectral analysis guides for mineral exploration. Ausspec International Publications.1997.