

Discriminação de solos na paisagem urbana de Manaus-AM a partir de imagem do sensor *HSS (Hyperspectral Scanner System)*

Manoel Ricardo Dourado Correia^{1,0}
Rutenio Luiz Castro de Araujo^{2,0}

¹ Sistema de Proteção da Amazônia
Av. do Turismo, 1350, Tarumã, 69049-630 - Manaus - AM, Brasil
manoel.correia@sipam.gov.br

² Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Av. General Rodrigo Octávio, 3000,
Campus Universitário Coroado I, 69.077-000, Manaus-AM
rutenioa@bol.com.br

Abstract. Hyperspectral data collected in northern Brazil, specifically in the northwest and southeast of the city of Manaus (AM) were used to soil the breakdown of features in an urban environment, with images of 3-meter spatial resolution. These images with 37 bands (0.43 to 2.37 μm) were converted from radiance values to surface reflectance using an application (FLAASH) Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube-based radiative transfer model MODTRAN 4. Seeking a better smoothing of curves and elimination of small residual fluctuations, it became necessary to a spectral filtering EFFORT. The discrimination of major soil types present were identified through the method SAM (Spectral Angle Mapper). The results indicated that: (a) the atmospheric correction performed using a software FLAASH was appropriate, despite the difficulties of complete removal of the feature of water vapor in the 0.94 μm band shortwave infrared, near 2,0 μm . Overall, there was consistency in the spectra of the HSS sensor with literature information, (b) was observed spectral good ability to identify with the SAM classifier results enabled the identification of suitable soils. The use of SAM classifier with different angles covering the entire scene image, not only facilitated the identification of soil with the other targets, but also the separation of soils visually similar. Therefore, the results as a whole, demonstrated the potential of imaging spectroscopy, specifically using the HSS sensor for the discrimination of different classes of tropical soils. Therefore, the results as a whole, demonstrated the potential of imaging spectroscopy, specifically using the HSS sensor for the discrimination of different classes of tropical soils in urban environments.

Keywords: R95/HSS sensor, atmospheric correction, classification of soils, R95/HSS, correção atmosférica, classificação de solos.

1. Introdução

Dentre os recursos naturais existentes, o solo possui alto grau de relevância no quesito de desenvolvimento de uma região, pois é dele que derivam vários produtos para alimentar sua população, sendo também uma das evidências de minerais na subsuperfície.

Nas regiões intertropicais, a importância do solo é maior ainda, pois nesta zona climática encontra-se a quase totalidade dos países em desenvolvimento, cuja economia depende da exploração de recursos naturais, especialmente agrícola. Outra característica importante é que os processos que levam à formação dos solos nestas regiões podem levar, também, à formação de importantes recursos minerais.

Os mapas de solos não são utilizados nos planejamentos agrícolas devido a falta de recursos para sua elaboração. Assim, novos mapas precisam ser desenvolvidos e outros melhorados. O custo, porém, é alto, e há necessidade de meios que auxiliem nessa tarefa. O sensoriamento remoto tem sido considerado uma importante ferramenta, nos estudos de solos (NANNI, 2000).

Atualmente, os estudos vinculados ao sensoriamento remoto passam por mudanças de paradigma com o surgimento da espectroscopia de imageamento e dos sistemas sensores hiperespectrais: enquanto o princípio de análise dos dados obtidos pelos sistemas sensores

multiespectrais baseia-se na busca da identificação do alvo, ou seja, se é vegetação, solo exposto, afloramento etc. Com os dados de sensores hiperespectrais a preocupação reside na saúde e no vigor da vegetação, na composição mineralógica do solo exposto e dos afloramentos de rocha, entre outros (BAPTISTA, 2006).

Poucas e restritas coletas de dados ópticos hiperespectrais de caráter científico foram realizadas no território nacional, principalmente na porção setentrional. No intuito de preencher esta lacuna na comunidade científica, o Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, adquiriu um sensor hiperespectral *HSS (Hyperspectral Scanner System)*, instalado numa aeronave R-95 bandeirante e que detém 50 canais que abrangem continuamente a região do visível ao infravermelho termal, na região entre 0,4 a 12,6 μm . Estes canais possuem 12 bits de quantização (4096 Níveis Digitais) e aproximadamente 2,5 metros de resolução espacial (MOREIRA *et al.*, 2005).

Os dados obtidos por esse sistema sensor hiperespectral discriminará os diferentes solos da cena imageada. Nesses dados encontram-se feições espectrais de absorção dos principais componentes dos solos.

A importância da classificação dos solos por meio de sensores remotos deve-se à necessidade de se obter uma visão ampla da área de estudo e uma maior facilidade de se fazer levantamento e o acompanhamento do uso do solo em áreas de difícil acesso, reduzindo custos dos levantamentos, principalmente em regiões tropicais, onde exige maior esforço de logística.

O objetivo do presente trabalho foi mapear a ocorrência feições pedológicas em parte da porção noroeste e sudeste da cidade de Manaus (AM).

2. Material e Método

2.1 Caracterização da Áreas de Estudo

As áreas de estudo situam-se na região metropolitana da cidade de Manaus (AM), especificamente, em dois locais, compreendidos por duas cenas do sensor *HSS* (Figura1). A cena 1 representada na cor azul, situa-se na porção noroeste, localizada próximo à Avenida do Turismo e ao Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), tendo como principal referência, o aeroporto internacional Eduardo Gomes. A cena 2 representada na cor vermelha, localiza-se na porção sudeste, próximo da BR-319.

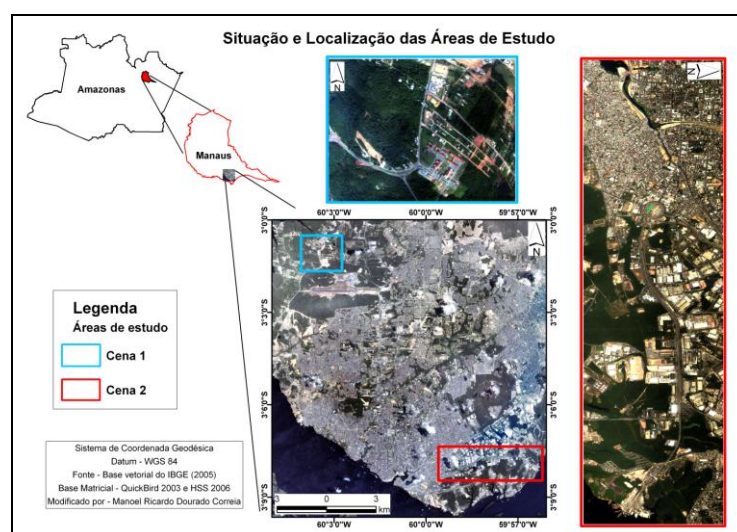


Figura 1. Situação e localização das áreas de estudo.

2.2 Procedimentos Metodológicos

Para discriminação dos solos em áreas urbanas foram utilizadas duas cenas, com 37 bandas, no intervalo espectral de 0,43 a 2,37 μm , as quais foram radiometricamente processadas e atmosféricamente corrigidas antes identificação das classes de solos nas imagens.

A cena 1 foi obtida no dia 16 de dezembro de 2007, às 12:58:00 *GMT* (-3 horas no horário local, no ponto central da cena). A cena 2 foi obtida no dia 06 de junho de 2007, às 15:23:00 *GMT* (-3 horas no horário local, no ponto central da cena). As duas imagens *HSS* foram adquiridas com o *IFOV* de 2,5 mrad, a uma altura de voo de aproximadamente 1192 m sobre o terreno, o que resultou num *GIFOV*¹ médio de 3 m em média ao longo da faixa imageada.

As imagens radiância em $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$ usadas neste trabalho foram obtidas utilizando-se o aplicativo de processamento “*AHS Import Utility Program*” do próprio fabricante do sensor. Através deste aplicativo transformou-se o formato inicial binário para o formato “*BIL*”². Neste processamento se converteu as bandas do espectro refletido ou números digitais para valores de radiância (*Reflective Calibration*), assim como os arquivos auxiliares gravados junto ao arquivo binário da imagem, entre eles, as informações do voo e os parâmetros necessários para correção atmosférica.

Para a correção atmosférica e redução dos dados *HSS* de radiância para reflectância de superfície, foi utilizado o aplicativo *FLAASH* (RESEARCH SYSTEMS, 2000). Este aplicativo utiliza o código de transferência radiativa *MODTRAN+4* (*Moderate Resolution Transmittance*), corrigindo comprimentos de onda no visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, até 3 μm . Neste aplicativo foram utilizados os seguintes parâmetros do imageamento: a coordenada, a elevação do terreno a altitude de voo e o horário. A elevação do terreno nos referidos pontos das cenas, 50 m acima do nível médio do mar, foram obtidas no modelo digital de elevação do *SRTM* (*Shuttle Radar Topography Mission*), e as demais informações foram obtidas com os registros do (Sistema de Posicionamento Global) *GPS* do sensor, todos os parâmetros citados acima estão disponíveis nos arquivos auxiliares das cenas.

Para a identificação das classes de solos nas cenas, foi utilizado o classificador de mapeamento por ângulo espectral – *SAM*, do inglês *Spectral Angle Mapper*. Análise deste mapeamento tem como objetivo identificar os diferentes tipos de solos nas cenas e para ambos os processamentos foram utilizados espectros de referência obtidos com a média de 5 *pixels*, selecionadas visualmente nas cenas.

O Mapeador de Ângulo Espectral (*Spectral Angle Mapper - SAM*) (KRUSE *et al.*, 1993) é um classificador que permite o mapeamento rápido, utilizando um algoritmo que determina a similaridade espectral entre dois ou mais espectros, calculando o ângulo entre os espectros e associando como vetores em um espaço com dimensionalidade igual (*n*-dimensional) ao número de bandas.

Dois espectros do mesmo material, submetidos a diferentes condições de iluminação, estariam posicionados no mesmo eixo, sendo que o mais bem iluminado estaria mais afastado da origem em relação ao outro. Vetores em eixos diferentes representam materiais diferentes, sendo a separação angular entre eles um indicativo da dissimilaridade espectral, ou seja, quanto mais próximos os eixos, mais similares seriam os espectros (MOREIRA, 2008).

¹ Campo de visada instantâneo na superfície (do inglês, *Ground Instantaneous Field Of View – GIFOV*).

² *BIL – Band Interleaved by Line*

3. Resultados e Discussão

Existem possibilidades de correções geométricas no aplicativo “*AHS Import Utility Program*”, tais como: *S-Bend Correction*, *V/H Correction*, *Thermal Calibration* e *Reflective Calibration*. As melhorias apresentadas por estas opções ocorreram no aspecto visual da imagem, mas buscando-se preservar a radiometria da imagem, nenhuma dessas opções foram utilizadas. Ressalta-se que nas etapas de pré-processamento não foram feitas correções geométricas, principalmente o georreferenciamento.

Nesta etapa de conversão de radiância para reflectância de superfície, o algoritmo *modtran4+* do módulo FLAASH, realiza ajustes, principalmente, nos níveis de oxigênio (banda 10), dióxido de carbono (banda 22 e banda 23) e vapor d’água (banda 14, banda 18 e banda 19) para cada *pixel* da imagem. Como resultado, esse método elimina as bandas de absorções causadas pelos gases citados acima, conforme se pode notar nos espectros apresentados na Figura 2, obtidos para o mesmo pixel.

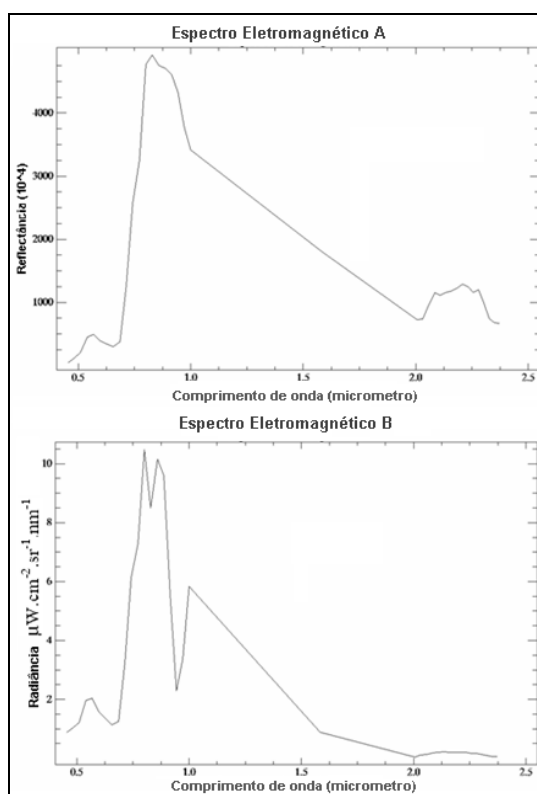


Figura 2. Espectros obtidos a partir dos dados *HSS*. Espectro Eletromagnético A – Reflectância de superfície obtida pelo programa FLAASH, mostrando a remoção das bandas de absorção dos gases. Espectro Eletromagnético B – Radiância ($\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$)

Por causa da variabilidade da concentração atmosférica nas imagens, principalmente em função do vapor d’água causado pela maritimidade³, foram efetuados diversos processamentos com a variação de parâmetros no FLAASH, a fim de obter uma melhor correção atmosférica.

Utilizou-se praticamente os mesmos parâmetros descrito por Moreira (2008) para se obter uma melhor correção atmosférica. As principais diferenças obtidas foram para a correção do vapor d’água, concentração de CO_2 e do não desvio espectral do canal 19.

³ Entende-se por maritimidade neste trabalho, a proximidade de corpos d’água.

Moreira (2008) avaliou que o pico de absorção do vapor d'água deveria ocorrer no canal 18, correspondente à banda de 0,944 μm , entretanto, verificou-se que o pico de absorção ocorreu no canal 19, cujo posicionamento informado na calibração foi de 0,971 μm e, portanto, deveria ser menos susceptível à absorção pelo vapor d'água atmosférico. O desvio espectral encontrado pelo referido autor nas 20 primeiras bandas VNIR são da ordem de 0,017 μm . Segundo Moreira (2008), os aspectos relacionados à manutenção do conjunto óptico do sensor, realizados posteriormente à calibração espectral do fabricante em 2004, podem ter motivado tal desvio espectral.

A correção atmosférica, cujos espectros das cenas que melhor se ajustaram aos espectros de campo, foi obtida com o modelo Tropical de atmosfera e o modelo Urbano de aerossóis, sem a utilização da opção de processamento com a estimativa K-T (Kauffman-Tanré) de aerossóis, ou da estimativa *WR* (*Water Retrieval*) de vapor d'água. Para a correção do vapor d'água foi utilizada a opção de multiplicador *WCM* (*Water Column Multiplier*) com valores 0,45 a 60. Na estimativa de visibilidade da cena, foi assumida a visibilidade inicial de 40 km. A concentração de gás carbônico utilizado está em torno de dois valores, 250 e 390 ppm (parte por milhão) e, por fim, não foi deslocado as 20 primeiras bandas do VNIR, como exposto por Moreira (2008).

Buscando uma melhor suavização das curvas e eliminação das pequenas flutuações residuais observadas na imagem corrigida pós-processada no FLAASH, principalmente flutuações ocasionadas pelo vapor d'água e CO₂, tornou-se necessário uma filtragem espectral *EFFORT*, que apresentou melhores resultados com a utilização de um polinômio de 3ª ordem no segmento delimitado pelas bandas 12 a 20, região de influência do vapor d'água de 0,94 μm , e outro, de 2ª ordem, no outro segmento, do canal 22 a 26, região próxima a 2,05 μm , de influência do CO₂.

Definida uma melhor correção atmosférica com suas respectivas filtragens espectrais, as imagens reflectância foram amplamente exploradas para fins de avaliação dos espectros de alvos da cena, abrangendo alvos naturais, cujas características também serviram como parâmetro de análise qualitativa.

No geral, constatou-se coerência dos espectros do *HSS* com as informações da literatura e dos espectros obtidos em laboratório.

Para a identificação das classes de solos nas cenas, não foram usadas, apenas, os elementos básicos de análise e interpretação, a partir dos quais se extraem informações de objetos. Esses elementos são tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, padrão e localização. Além dos elementos descritos acima, utilizou-se classificadores hiperespectrais que usam espectros médios de referência obtidos da própria cena *HSS*.

Dos classificadores testados na cena 1, o *SAM* foi o classificador que apresentou melhores resultados referentes aos alvos de solos das cenas. Este classificador supervisionado determina a similaridade de um espectro teste para um espectro de referência. O processamento *SAM* foi realizado para todos os alvos de uma só vez, considerando o ângulo médio gerado a partir da área de interesse previamente selecionada *endmembers* (espectros de referência dos solos nas imagens).

Com o intuito de obter uma melhor classificação, optou-se pelo monitoramento dos ângulos nas imagens *rule images* (imagem resultante do *SAM*), sendo posteriormente fatiadas em valores e apresentadas em cores.

Na cena 1, que abrange a área do SIPAM, foram usados três espectros médios de amostras de solos retirados da imagem. As amostras de solos foram adequadamente identificadas na imagem *SAM*, com ângulos 0,1 radianos, como pode ser observado no exemplo da Figura 3, onde a cena da imagem *SAM* (à esquerda) é apresentada ao lado da composição R7G4B1 do *HSS* (à direita).

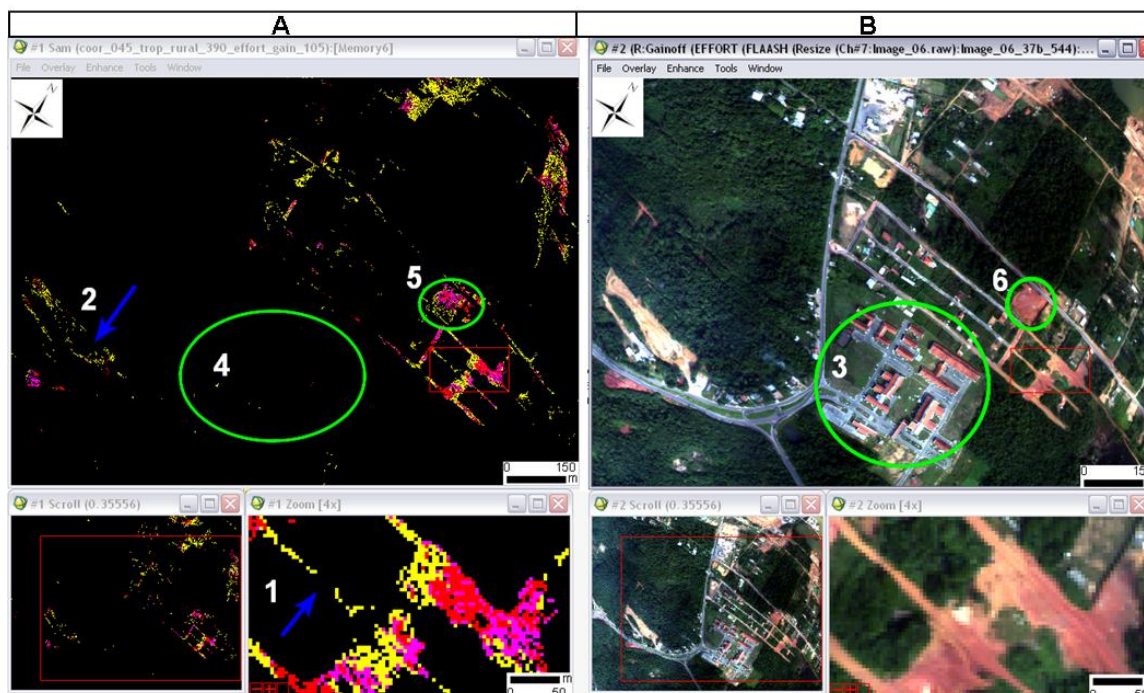


Figura 3. Área próxima do SIPAM. A: imagem SAM (à esquerda) e B: composição R7G4B1 do HSS (à direita)

Verificou-se boa definição entre as classes mapeadas (Figura 3A), na imagem SAM, com os respectivos alvos selecionados na imagem reflectância (Figura 3B). Os alvos de solos⁴ selecionados na imagem reflectância foram Latossolo amarelo com tons avermelhados, classificado na cor vermelha na imagem SAM; Latossolo de cor avermelhada com concreção de nódulos de ferro, classificado na cor magenta na imagem SAM; e Latossolo amarelo, classificado na cor amarela na imagem SAM.

Algumas classes não foram contempladas na classificação, porém, posteriormente, foi realizada análise pontual, onde se constatou a forte influência de *pixels* adjacentes. Esta influência ocorre pelo fato desses solos se situarem numa pequena área, no caso de algumas ruas de dimensões de 8 metros de largura, ou seja, envolvendo, apenas, cerca de três *pixels* (seta azul 1, na Figura 3A).

Outros solos não mapeados ocorrem na borda da cena, local onde ocorre um visível efeito de anisotropia (seta azul 2, na Figura 3A), motivada pela geometria de iluminação e visada – a posição relativa do sensor ao Sol – evidenciada pelo efeito de retroespalhamento da iluminação do Sol.

Porém, outros objetos com material similar aos dos solos, sobretudo telhas de composição argilítica, foram adequadamente diferenciados dos solos, como pode ser constatado com a observação de que os *pixels* do telhado do complexo do SIPAM com telhas argilíticas, Figura 3B (círculo verde 3), não apresentaram classes mapeadas na imagem SAM, (Figura 3A círculo verde 4), enquanto no círculo 6 esse material apresenta boa separabilidade (Figura 3B).

Com o fatiamento adequado, discriminado em cores, verificou-se boa separabilidade dos solos em relação aos outros alvos, porém, algumas manchas de solos expostos não foram mapeadas, evidenciando variação espectral ocasionada por freqüentes modificações (Figura 3A círculo verde), apresentadas ao lado da composição R7G4B1 do HSS (Figura 3B círculo verde 6).

⁴ A unidade pedológica da área consiste, praticamente, de Latossolos amarelados (RADAMBRASIL 1978). Todavia, são encontrados exposições de lateritas (horizontes plínticos) e aterros nos locais mapeados.

Nota-se três classes de solos no círculo verde 5 da Fig. 3A. Avaliações posteriores no campo demonstraram que nesta área ocorreu intensas modificações, sobretudo pela retirada dos horizontes, empregados para uso da construção civil.

Na cena 2 também foi utilizado espectros médios de referência, possibilitando, também, uma separação de alvos de solos.

Na Figura 4 há uma mistura da classe azul com a classe vermelha na imagem SAM. Neste caso há uma mistura de materiais arenosos com materiais argilíticos. Mas apesar da boa discriminação em relação aos solos de texturas diferentes, alguma divergência foi verificada em relação aos *pixels* situados em ruas, avenidas asfaltadas e edificações (Figura 4, setas verdes), possivelmente associadas a espectros de asfalto e construções envelhecidas, com alguma quantidade de areia.

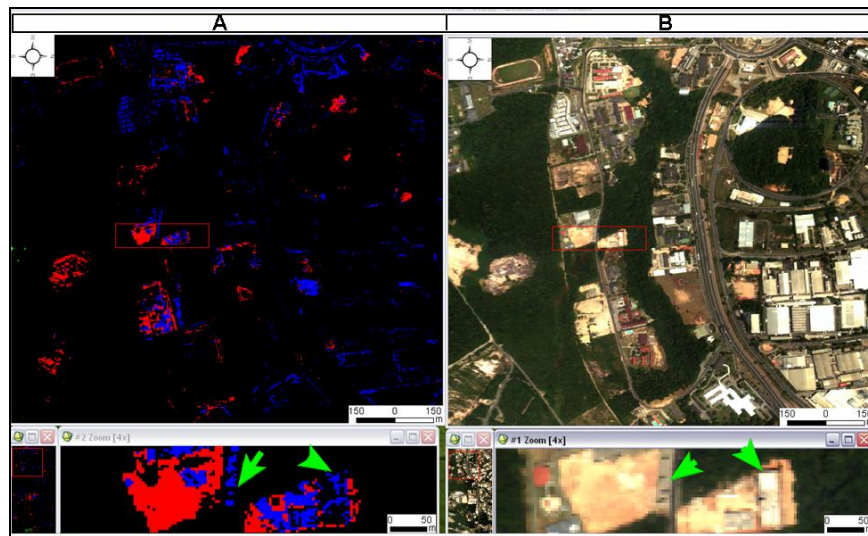


Figura 4. A: imagem SAM (à esquerda) e B: composição R7G4B1 do HSS (à direita).

Na Figura 5 o solo de cor amarela (seta vermelha Figura 5B) foi facilmente separado dos demais alvos na imagem SAM, com ângulo de 0,08 radianos, não apresentando dissensão com os demais solos adjacentes. Este solo, mesmo aparecendo de cor bem esbranquiçada, não foi confundido com a classe azul (textura arenosa), evidenciando-se uma separação espectral e não atribuída a cor.

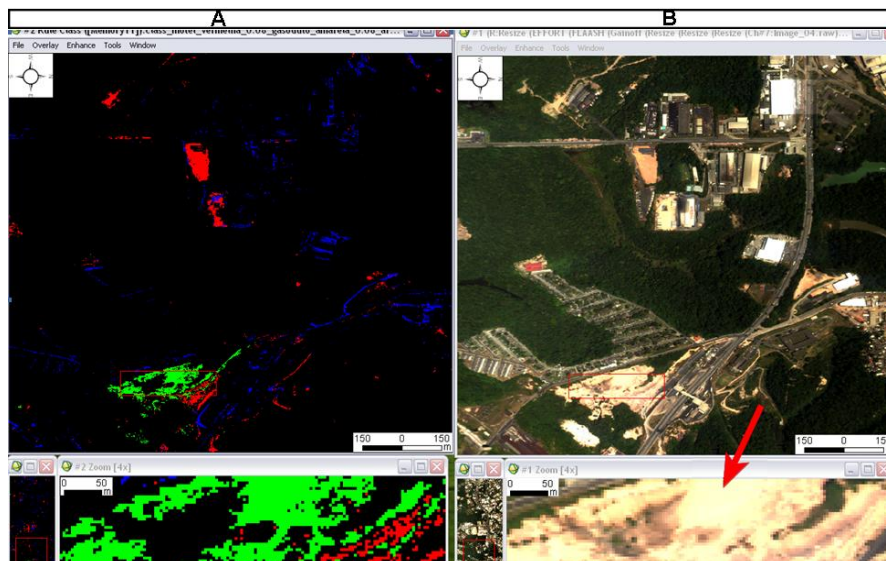


Figura 5. A: imagem SAM (à esquerda) e B: composição R7G4B1 do HSS (à direita).

4. Conclusões

Com relação ao pré-processamento, correção radiométrica e à identificação das classes de solos nas imagens do sensor *HSS*, pode-se concluir que:

A correção atmosférica realizada com o aplicativo *FLAASH* foi considerada adequada, apesar das dificuldades de plena remoção da feição de vapor d'água em 0,94 μm e na faixa do infravermelho de ondas curtas, próximo de 2,0 μm ;

Não foram obtidos resultados adequados com a correção *pixel-a-pixel* do vapor d'água e de aerossóis com as razões de banda *WR* (*Water Retrieval*) e *K-T* (*Kauffman-Tanré*).

No geral, constatou-se coerência dos espectros do sensor *HSS* com as informações da literatura e dos espectros obtidos em laboratório;

Foi observada boa capacidade de identificação espectral com o classificador *SAM* cujos resultados possibilitaram a identificação adequada das classes de solos.

As amostras de solos foram adequadamente identificadas na imagem *SAM*, com ângulos menores 0,1 radianos. Alguns solos não foram mapeados devido a forte influência da geometria de iluminação em virtude do amplo campo de visada (*FOV* de 86°) do sensor *HSS*, verificada principalmente nas bordas da imagem;

A utilização do classificador *SAM*, com diferentes valores angulares, abrangendo toda cena imageada, facilitou não apenas a identificação dos solos com os demais alvos, mas também a separação de solos visualmente parecidos.

Portanto, os resultados demonstraram que as imagens *HSS* podem contribuir na discriminação de classes de solos em ambientes urbanos.

Agradecimentos

Ao Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) e a todos os integrantes da Divisão de Geointeligência (EGI) do Instituto de Estudos Avançados (IEAv).

Referências Bibliográficas

Baptista, G.M.M. **Sensoriamento remoto hiperespectral: o novo paradigma nos estudos de solos tropicais**. Brasília, Universa, 2006. 212p.

Kruze, F.A.; Lefkoff, A.B.; Boardman, J.B.; Heidebrecht, K.B.; Shapiro, A.T.; Barloon, P.J.; Goetz, A.F.H. The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data. **Remote Sensing of the Environment**, v. 44, 1993. 145 - 163.

Nanni, M.R. Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento dos solos. 2000. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.40, n.7, p.697-706, jul. 2005. 366p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

Moreira, R.C. Estudo espectral de alvos urbanos com imagens do sensor *HSS* (Hyperspectral Scanner System). Tese de doutorado - São José dos Campos: INPE, 2008,237p.

Moreira, R.C; Castro, R. M; Espósito, E.S.C; Lucaa, E.VD. Sensor hiperespectral *HSS*: sumário das características técnicas. *In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Anais*, 2005, p.4517-4524.

RESEARCH SYSTEMS INC. **ENVI user's guide**.Lafayette: Better Solutions Consulting, 2000, p. 614.