

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS URBANOS COM A UTILIZAÇÃO DE ESPECTRORRADIÔMETRO E SUA RELAÇÃO COM AS BANDAS ESPECTRAIS DO SENSOR ASTER

Adenilson Farias ZANINI¹

Elias BURIN¹

Fabiano André MARION¹

Jean Samarone Almeida FERREIRA¹

Renata FERRARI¹

Rudiney Soares PEREIRA²

Resumo

Este trabalho tem como propósito identificar o comportamento espectral de alvos urbanos (asfalto, concreto, basalto, granito e estrada sem pavimentação), utilizando um espectrorradiômetro e estabelecer sua relação com as bandas espectrais do sensor ASTER. Os sensores de média resolução espacial, como o ASTER, não permitem a diferenciação adequada de alvos urbanos, sendo que, o estudo do comportamento espectral destes alvos pode ajudar a minimizar esta limitação. O estudo foi realizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria e na Base Aérea de Santa Maria.

Palavras-chave: Espectrorradiômetro. Sensoriamento remoto. Alvos urbanos. Reflectância. ASTER.

Abstract

Evaluation of the spectral behavior of urban targets with the use of the spectroradiometer and its relation with the spectral bands of ASTER sensor

The purpose of this work is to identify the spectral behavior of the urban targets (asphalt, concrete, basalt, granite and road without pavement), using a spectroradiometer and to establish its relation to the spectral bands of the ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) sensor. The sensors of medium space resolution as the ASTER, do not allow the adequate differentiation of urban targets, however, the study of the spectral behavior of these targets may help to minimize this limitation. The study has been realized at the Federal University of Santa Maria and Air Base of Santa Maria.

Key-words: Spectroradiometer. Remote sensing. Urban targets. Reflectance. ASTER.

¹ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Geomática - UFSM - Avenida Roraima, 1000 - Cidade Universitária - Bairro Camobi - 97105-900 - Santa Maria - RS - Brasil - jean.ferreira@gmail.com

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Geomática - UFSM - Avenida Roraima, 1000 - Cidade Universitária - Bairro Camobi - 97105-900 - Santa Maria - RS - Brasil - rudiney@smail.ufsm.br

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto utiliza-se de modernos sensores, de equipamentos para transmissão e do processamento de dados, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre por meio do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2002). Tem se mostrado cada vez mais importante e prático na obtenção de informações sobre objetos, áreas ou fenômenos que ocorrem sobre a superfície terrestre, os quais são transformados em dados e permitem realizar as mais diversas análises (LILLESAND; KIEFER, 1994).

Em sensoriamento remoto, a assinatura espectral de um alvo compreende um conjunto de valores de reflectância para o mesmo, medido num intervalo específico de comprimento de onda. Meneses e Netto (2001) relatam que a assinatura espectral não é constante para um determinado alvo e depende da relação entre a energia incidente e o ângulo de visada do sensor, dos efeitos atmosféricos e das propriedades físicas do alvo.

Os registros do comportamento espectral dos alvos podem ser obtidos em três níveis (laboratório/campo, aeronave e orbital). Os dados obtidos fora do laboratório sofrem influências de fatores que alteram a sua resposta espectral, devendo ser levado em consideração a altura e a posição do sensor em relação ao alvo, o ângulo de incidência solar, a presença de vapor de água na atmosfera, entre outros (NOVO, 2002; MOREIRA, 2001).

Entre as aplicações, encontra-se o estudo dos alvos presentes nas áreas urbanas, que necessitam de informações precisas, pois o acelerado processo de crescimento das cidades é um fenômeno constante e necessita de um monitoramento permanente de seu cenário. As áreas urbanas são constituídas de uma grande diversidade de alvos, principalmente asfalto, concreto, solos, gramíneas e vegetação, formando uma paisagem heterogênea. O comportamento espectral de cada alvo resulta da combinação do comportamento dos seus elementos constituintes, tendo como consequência uma alta variabilidade entre si e suas reflectâncias.

Entre os instrumentos usados pelo sensoriamento remoto para a obtenção de dados, estão as imagens de sensores orbitais. Para os sensores de alta resolução espacial como o Ikonos e o Quick Bird, o conhecimento do comportamento espectral não é relevante porque o reconhecimento é feito através da forma, textura e arranjo (KUX; SOUSA, 2005). Ao contrário dos sensores de alta resolução, os sensores de baixa e média resolução espacial, como o ASTER, não permitem a diferenciação adequada de alvos urbanos.

Para estudos espectrais que exijam maior detalhamento, os dados podem ser obtidos com a utilização de um espectrorradiômetro, em laboratório ou campo, o qual gera sinais e não imagens. Estes, quando comparados com os dados adquiridos por um espectrorradiômetro embarcado, têm maior precisão, pois a proximidade do sensor com o alvo reduz a atenuação atmosférica.

Para a extração de informações a partir de dados de imagens geradas por sensores remotos é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos alvos estudados e dos fatores que interferem neste comportamento.

O objetivo deste trabalho é identificar, em campo, os diferentes comportamentos de alvos urbanos como asfalto, concreto, basalto, granito e estrada sem pavimentação, com a utilização de um espectrorradiômetro, e estabelecer sua relação com as bandas espectrais do sensor ASTER.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa situa-se no município de Santa Maria, localizado no centro geográfico do Rio Grande do Sul, entre os meridianos $53^{\circ}30'22''$ e $54^{\circ}19'32''$ de longitude oeste e entre os paralelos $29^{\circ}20'28''$ e $30^{\circ}00'16''$ de latitude sul, região onde ocorre a transição entre a Depressão Central Sul-Rio-Grandense e o Planalto Meridional Brasileiro, conforme a figura 1. O município possui uma área total de 1.823 km² e tem importância fundamental como centro polarizador de uma região que possui no seu entorno mais de vinte municípios.

As amostras dos alvos estudados foram coletadas no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e na Base Aérea de Santa Maria (BASM), ambos no bairro Camobi.

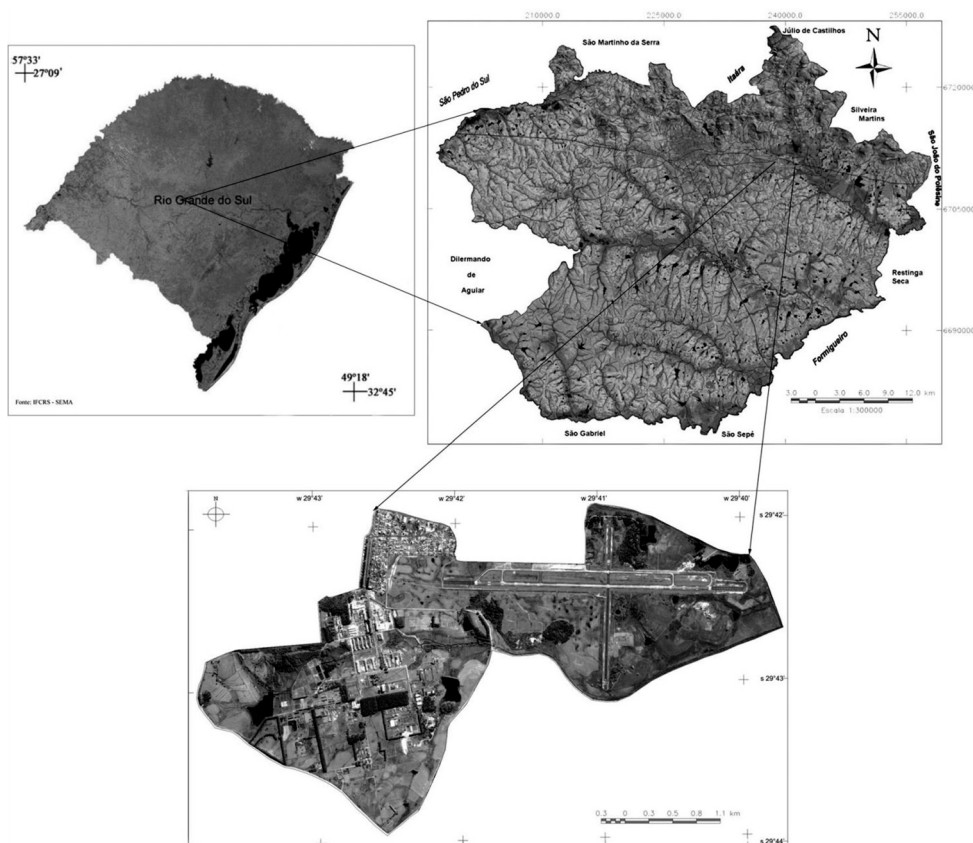


Figura 1 - Estado do Rio Grande do Sul, município de Santa Maria e localização do Campus da UFSM e da BASM

O campus está localizado na Avenida Roraima nº 1000, na Cidade Universitária da UFSM, entre os meridianos $53^{\circ}42'$ e $53^{\circ}44'$ de longitude oeste e entre os paralelos $29^{\circ}43'$ e $29^{\circ}44'$ de latitude sul, com uma área de 917.959 hectares.

A Base Aérea de Santa Maria foi inaugurada em 15 de outubro de 1971 e está localizada junto à RST-287, km 240, destacando-se como um elemento marcante da paisagem local.

CARACTERÍSTICAS DOS ALVOS ESTUDADOS

Para uma melhor interpretação dos resultados obtidos durante a realização do trabalho, organizou-se a tabela 1, contendo algumas características que são relevantes na formação da resposta espectral dos alvos estudados, são elas: a descrição do local específico de coleta da amostra, a cor e tonalidade observada em campo, a estrutura e o estado de conservação.

Tabela 1 – Características dos alvos (pavimentos) estudados

| Tipo | Localização | Cor | Estrutura | Estado |
|------------------------------|--|--------------|---|------------------------------|
| Asfalto (1) | Cabeceira da Pista-N/S | Preto | Pedrisco+ betume | Poeira fina |
| Asfalto (2) | Avenida Roraima | Preto | Brita+ betume | Poeira fina +irregularidades |
| Concreto (3) | Pátio Militar | Cinza-Claro | Areia+ cimento+ brita | Poeira fina |
| Basalto (4) | Em frente CCR-42 | Cinza-Escuro | Quartzo+ piroxênio+ plagioclásio+cálcico | Poeira fina + gramínea |
| Granito (5) | Na avenida G | Rosado | Quartzo+ Feldspato+ plagioclásio+biotita+ anfibólio | Pedrisco + gramínea |
| Estrada sem pavimentação (6) | Continuação da avenida em frente ao planetário | Marrom | Terra+ cascalho | Gramínea + poeira+ umidade |

A localização de cada alvo está discriminada na figura 2, conforme a numeração indicada.

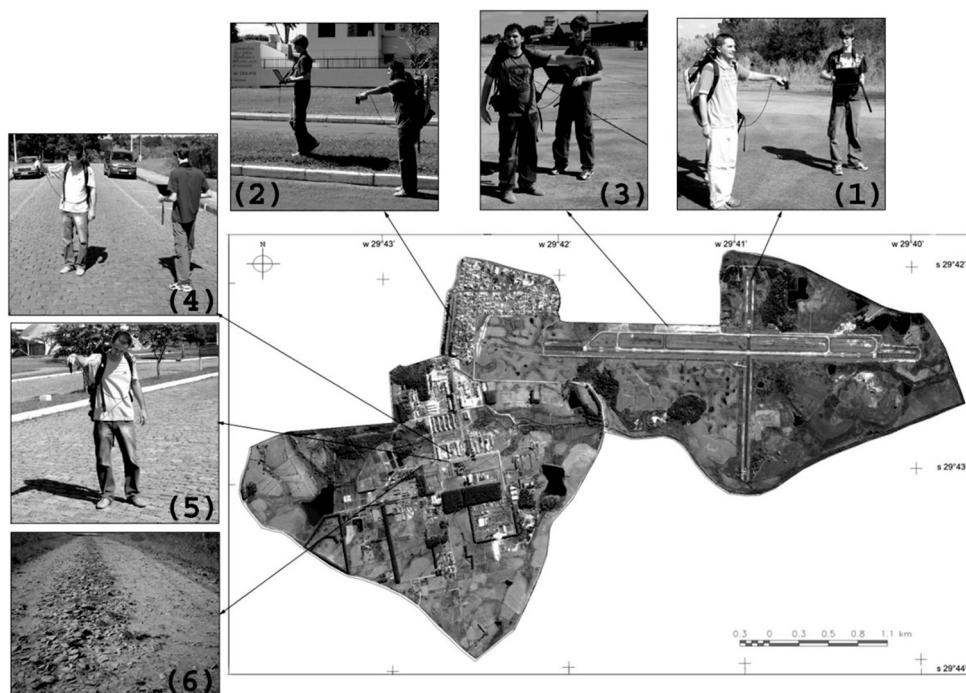


Figura 2 – Locais de coleta das amostras – UFSM e BASM

EQUIPAMENTO UTILIZADO

No trabalho de campo foi utilizado um espectrorradiômetro portátil FieldSpec Pro FR, que possui um FOV (Field Of View) de 25° e opera na faixa de 350 a 2.500 nm do espectro eletromagnético, possuindo resolução espectral de 10 nm e capacidade de coletar até 10 espectros por segundo. A unidade detetora (denominada pistola de mão) está conectada ao instrumento por um cabo de fibra óptica de 1,2m, porém nas novas versões o cabo mede 1,4m de comprimento e possui três sensores: uma malha de fotodiodo de 512 elementos e dois sensores resfriados termoelectricamente (fotodiodos InGaAs) (HATCHELL, 1999). O FieldSpec realiza medições de irradiância e radiância solar. Além dos sensores, o FieldSpec possui: um computador notebook IBM ThinkPad; baterias; interface de comunicação entre o espectrorradiômetro e computador através de porta paralela bidirecional e placa de referência (Spectralon). Também foram utilizados como equipamentos de apoio: GPS Eagle Explorer; câmera digital SONY DSC W-30.

Para o processamento de informações os seguintes aplicativos foram necessários: RS³ 16052 1 - coleta das amostras; ASD ViewSpecPro Versão 4.05; SPRING versão 4.3.2; Corel Draw versão 13.0 e Microsoft Office Excel 2003.

COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras radiométricas de cada alvo foram coletadas com o uso do espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR, através da seqüência descrita a seguir:

O espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR e o notebook foram ligados. Para armazenar as amostras, foi criada uma pasta e dentro desta, subpastas, com o nome dos alvos a serem coletados. Acessou-se o aplicativo RS³ 16052 1 e na barra de menus "Control", o comando "Spectrum Save", a pasta e subpasta referente ao alvo que foi coletado, sendo que, este comando foi repetido toda vez que se iniciou a coleta de dados em um novo alvo. Para obter uma curva estabilizada, apontou-se a fibra óptica para a placa de referência em um ângulo de 90° e a seguir utilizou-se o comando "WR" do aplicativo RS³, para realizar a leitura da placa. Este processo foi repetido a cada 30 minutos de trabalho. Iniciou-se a coleta das amostras radiométricas clicando na tecla "TAB" após a seleção de cada uma delas. Foram extraídas 20 amostras de cada um dos seis alvos pesquisados, totalizando 120 amostras;

A indicação numérica dos alvos descritos abaixo se refere à figura 2. A coleta dos dados radiométricos foi iniciada na BASM, pela pista Norte/Sul, onde foram coletadas as amostras referentes ao alvo asfalto (1), ainda, na BASM, no pátio de aeronaves militares, foram coletados os dados referentes ao alvo concreto (2). Os dados referentes ao alvo asfalto (3) foram coletados na Avenida Roraima antes do pórtico de entrada da UFSM. A quarta coleta de dados foi executada em frente ao prédio 42 do Centro de Ciências Rurais (CCR), sob o alvo basalto (4). Na Avenida G, ao lado do Planetário, foram coletadas amostras de granito (5). A última coleta de amostras foi feita na continuação da avenida, em frente ao planetário, em uma estrada sem pavimentação (6).

Após a coleta e armazenamento das amostras, estas foram convertidas em arquivos no formato texto, por meio do aplicativo ViewSpecPro. Para isto, selecionou-se na barra de menus "Setup" o comando "Input directory" para a localização da pasta e subpasta das amostras de cada alvo e "Output directory" para verificar a pasta de saída dos dados. Na barra de menus "File" selecionou-se o comando "Open" e na janela de diálogo, todas as amostras da subpasta. Na janela do aplicativo, todas as amostras foram selecionadas e então, através da barra de menus "Process", utilizou-se o comando "ASCII Export", e neste, selecionou-se as opções "Field Separator" e "Comma".

TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os dados originais, armazenados no formato de texto (.dat), correspondentes a cada amostra, foram importados no software excel para a remoção de ruídos - distorção da resposta espectral original. Para esta tarefa foi desenvolvida uma macro, - conjunto de comandos que são pré-armazenados e utilizados para automatizar algumas tarefas repetitivas - que percorreu as 20 amostras, sendo que, cada continha 2.152 observações contendo as respostas espectrais de cada um dos seis tipos de alvos pesquisados, removendo os valores maiores que 1 (>1), correspondendo aos alvos com mais de 100% de reflexão. Removidos os ruídos, procedeu-se o cálculo da média das 20 amostras para cada comprimento de onda, verificando-se que, em alguns comprimentos de onda, o espectrorradiômetro coletou somente ruídos. Foi necessária a utilização de interpolação linear (MEIJERING, 2002) para estimar os valores que faltavam. Para executar a interpolação, foi também desenvolvida uma macro, que percorreu as médias e estimou os valores que faltavam, supondo que a mudança entre os dois valores é linear e que a margem de erro é insignificante. Após a interpolação foram geradas as curvas com os dados de comprimento de onda e a respectiva resposta espectral para cada alvo estudado, como visto na figura 3.

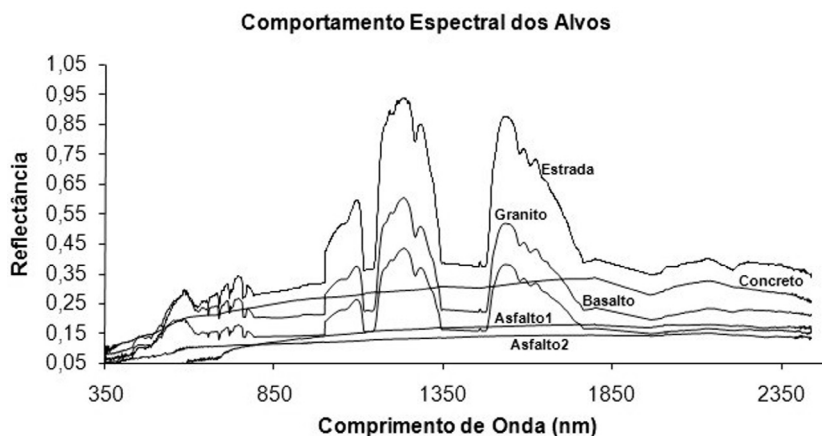


Figura 3 – Comportamento dos alvos urbanos no intervalo espectral do visível ao infravermelho médio

A análise visual das curvas permitiu uma rápida interpretação sobre o comportamento espectral dos alvos. Esta análise inicial, apesar de importante, não garante a correta interpretação, sendo que, para obter uma certeza estatística, utilizou-se o teste de Scheffé (COSTA NETO, 1977), nos níveis de significância 1%, 5% e 10%. Este teste utiliza os dados advindos da análise de variância que aceita ou rejeita a(s) hipótese(s) H_0 de igualdade das médias das respostas espectrais dos alvos. Se H_0 for rejeitada, admite-se que ao menos uma das médias das respostas espectrais é diferente das demais. Portanto, o teste de Scheffé ajuda a identificar, no caso de rejeição de H_0 , quais médias devem ser consideradas diferentes de quais outras.

Outra vantagem de utilizar o teste de Scheffé, é que este pode ser utilizado com amostras de tamanho diferente, no caso, cada amostra refere-se à média da resposta espectral de cada banda do sensor ASTER, conforme a tabela 2.

Tabela 2 – Bandas do Sensor ASTER

| Bandas | Comprimentos de Onda (nm) |
|---------|---------------------------|
| Banda 1 | 520-600 |
| Banda 2 | 630-690 |
| Banda 3 | 760-860 |
| Banda 4 | 1600-1700 |
| Banda 5 | 2145-2185 |
| Banda 6 | 2185-2225 |
| Banda 7 | 2235-2285 |
| Banda 8 | 2295-2365 |
| Banda 9 | 2360-2430 |

Fonte: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/characteristics.asp>

AS JANELAS ESPECTRAIS E O SENSOR ASTER

Ao se projetar um sensor imageador para utilização em órbita satélite, as características de transmissão atmosférica devem ser observadas e consideradas como atenuantes nos resultados do imageamento. Com isso, a maioria dos sensores é desenvolvida para operar em intervalos de comprimento de onda do espectro visível, infravermelho e microondas, pois são regiões onde a atmosfera se deixa melhor transparecer, ocorrendo as denominadas "janelas atmosféricas" - intervalo do espectro eletromagnético onde a energia irradiada pelo sol não sofre ou sofre pouca interferência da atmosfera.

Tendo em vista a curva de irradiância solar e a atenuação desta pela atmosfera, mesmo dentro deste espectro, alguns intervalos de comprimento de onda são desprezíveis, pois a energia refletida pelos alvos não concentra energia suficiente para sensibilizar o sensor, influenciada pela absorção atmosférica, ou melhor, devido à ausência de janelas atmosféricas. Isto ocorre no intervalo de comprimento de onda entre 900 nm e 1600 nm. Neste intervalo ocorre muita absorção de energia causada, principalmente, por partículas de H₂O (vapor d'água ou cristais de gelo) e CO₂ (gás carbônico). A radiação penetra até o nível do mar, somente em pequenos intervalos de comprimento de onda que não compensam a construção de sensores.

O sensor ASTER, instalado no Satélite Terra, possui, nas regiões do espectro visível, infravermelho próximo e médio, nove bandas espectrais distribuídas conforme a figura 4.

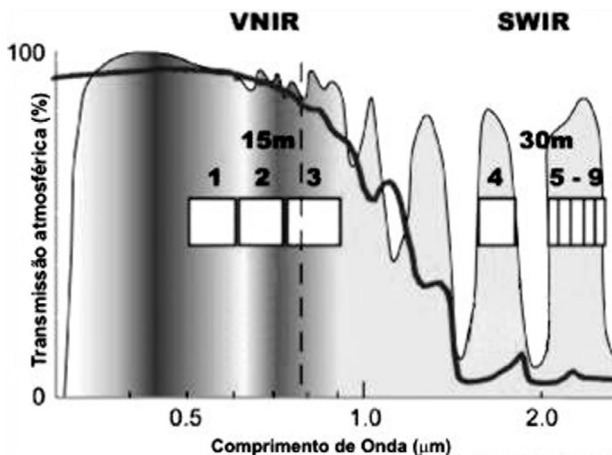


Figura 4 - Bandas do ASTER sobrepostas ao modelo da atmosfera

Fonte: <http://asterweb.jpl.nasa.gov>, alterada pelos autores.

As regiões de forte atenuação atmosférica não são exploradas pelos sensores, pois os retornos de energia radiante dos alvos são extremamente fracos. Sua utilização acarretaria em resultados não satisfatórios ou resultaria em imagens de qualidade duvidosa e de difícil tratamento. Assim, os sensores são desenvolvidos, sempre, com sensibilidade em intervalos onde exista janela atmosférica, ou seja, ocorra pouca absorção da energia irradiada pelo sol e refletida pelos alvos em direção ao sensor.

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DAS BANDAS DO SENSOR ASTER AVALIADO EM ANÁLISE ESTATÍSTICA (TESTE DE SCHEFFÉ)

Os resultados obtidos com o teste de Scheffé são apresentados na tabela 3 e permitem identificar quais alvos tem respostas espectrais diferentes sob os níveis de significância 1%, 5% e 10%. Os índices comparativos que não apresentam diferença significativa (N.S.) indicam que não é possível diferenciar os alvos.

Tabela 3 – Resultados do Teste de Scheffé

| Alvo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------------|---|-----|----|-----|-----|-----|
| Asfalto (1) | - | N.S | 1% | N.S | 10% | 1% |
| Asfalto (2) | | - | 5% | N.S | 5% | 1% |
| Concreto (3) | | | - | 10% | N.S | 10% |
| Basalto (4) | | | | - | N.S | 1% |
| Granito (5) | | | | | - | 1% |
| Estrada sem pavimentação (6) | | | | | | - |

Os alvos enumerados na tabela 3 estão de acordo com as denominações descritas na tabela 1 e localização na figura 2. A amostra referente ao asfalto (1) não apresentou diferença significativa na média, quando comparada com a amostra de asfalto (2) e basalto (4), mas, quando comparada com a amostra de concreto (3), granito (5) e estrada sem pavimentação (6), apresentou diferença significativa na média, respectivamente de 1%, 10% e 1%, ou seja, há 99%, 90% e 99% (confiança) de diferença entre as médias destas amostras.

A amostra referente ao asfalto (2) manteve comportamento semelhante à amostra de asfalto (1), havendo alteração apenas na comparação com a amostra de concreto (3) e granito (5), com índices de significância de 5%, em ambos os casos.

A amostra referente ao concreto (3), quando comparada com a amostra de granito (5), não apresenta diferença significativa na média, mas, quando comparada com basalto (4) e estrada sem pavimentação, apresenta uma diferença significativa na média de 10% para as duas amostras.

A amostra de basalto (4) não apresenta diferença significativa na média, quando comparada com granito (5), já, quando comparada com estrada sem pavimentação, apresenta diferença de 1% na média, ou seja, há 99% (confiança) de diferença entre as médias destas amostras.

A amostra de granito (5), quando comparada com a amostra de estrada sem pavimentação (6), apresenta diferença significativa de 1% na média.

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DAS BANDAS DO SENSOR ASTER BASEADO NA ANÁLISE VISUAL

Os alvos artificiais estudados (concreto e duas amostras de asfalto) são materiais que compõem grande parte das áreas edificadas pelo homem. Estes apresentaram, ao longo do intervalo do espectro pesquisado (350 nm a 2500 nm), menor oscilação na reflectância

que os alvos de composição natural (solo estabilizado, granito e basalto). O alvo concreto, em relação aos alvos asfalto (1) e asfalto (2), apresentou, em seu comportamento espectral, uma reflectância que aumenta conforme o comprimento de onda explicado, principalmente, pela coloração mais clara do concreto em relação as duas amostras de asfalto e também pela composição destes.

Existe similaridade no comportamento espectral dos alvos asfalto (1) e asfalto (2), sendo que, suas curvas iniciam uma ascensão suave, no espectro visível, em direção ao infravermelho, ocorrendo a intersecção delas próximo a 800 nm. Porém, há uma defasagem inicial na resposta de reflectância na comparação destes alvos. O asfalto (1) passa a responder ao sensor a partir de 400 nm, enquanto o asfalto (2) somente passa a apresentar reflectividade no comprimento de onda de 600 nm. Isso se deve a algumas características físicas e de composição dos alvos. O asfalto (1) possui, em sua constituição, uma menor quantidade de pedrisco, sendo formado basicamente por betume combinado com material aderente, o que lhe confere maior homogeneidade em relação ao asfalto (2), ocasionando uma maior reflectância. O asfalto (2), por sua vez, possui menor reflectância no intervalo de comprimento de onda entre 400 nm e 800 nm, devendo-se o fato a sua composição, com grande quantidade de pedrisco e cascalho, dando-lhe aspecto rugoso que, aliado a seu mau estado de conservação, caracterizam-no como uma superfície de alta rugosidade e baixa reflectância. A partir de 800 nm, o asfalto (2) tem uma resposta em reflectância mais forte que o asfalto (1).

Os alvos, estrada sem pavimentação (6) e granito (5), possuem curvas com comportamento semelhante, devido à coloração e textura equivalentes, porém, o alvo (6) apresenta uma reflectância maior em seu comportamento espectral.

Com relação ao granito e ao basalto, ambas as rochas são ígneas e não é possível sua diferenciação devido a sua formação. O basalto é uma rocha extrusiva e a transformação da lava em rocha ocorre de forma rápida e por esse motivo os minerais que a compõem não são perceptíveis a olho nu, ao contrário do granito, que teve sua formação lenta e seus minerais são perceptíveis. O granito, uma rocha de coloração mais clara, é composto, em boa parte, por feldspato, que proporciona a cor avermelhada à rocha, fazendo com que apresente uma reflectância maior no espectro que o basalto, que é uma rocha de coloração escura, uma vez que é composta por grande quantidade de minerais máficos e opacos, como o piroxênio e o plagioclásio cálcico. Segundo Meneses e Netto (2001, p.100), "as feições de absorção, quando ocorrem, estão associadas à presença do íon Fe^{2+} , responsável pela baixa absorção em larga faixa na região do azul e infravermelho próximo a 1000 nm".

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostra que o estudo do comportamento espectral através de espectrorradiometria, possibilita um melhor entendimento das relações entre os alvos urbanos e a formação de suas respostas espectrais.

Foi apresentada de forma prática a metodologia utilizada para a coleta de dados com espectrorradiômetro em campo, a forma de organização dos dados e o tratamento estatístico aplicado. Esta metodologia pode ser reutilizada para o estudo do comportamento de outros alvos que compõem a superfície terrestre.

A estatística utilizada, teste de Scheffé, se mostrou uma ferramenta adequada para a análise dos resultados, visto que, sem este teste, seria impossível identificar os alvos que se diferenciam dos demais. A análise visual das respostas espectrais deve ser utilizada somente para uma interpretação preliminar e nunca definitiva.

Os resultados obtidos revelam a validade do experimento e sugerem a ampliação do mesmo, objetivando minimizar quaisquer distorções e contribuir para a posterior classificação digital das imagens do sensor ASTER.

A fim de melhor caracterizar e identificar os materiais e superfícies do ambiente urbano sugere-se efetuar leituras com o espectrorradiômetro em diferentes datas e estações climáticas, uma vez que, a geometria de aquisição dos dados, os parâmetros atmosféricos e os parâmetros relativos ao alvo, são responsáveis pela interferência direta na resposta espectral dos mesmos. Ainda, como trabalho futuro, executar a classificação digital de imagens do sensor ASTER, utilizando como parâmetros o comportamento espectral obtido neste estudo.

REFERÊNCIAS

- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo, Edgard Blücher, 1977. 264p.
- HATCHELL, D. C. **Analytical Spectral Devices**: Technical guide. Ed.4. USA: Boulder, 1999. 136p.
- KUX, H.J.H; SOUSA, R. C. A. Comportamento espectral de alvos urbanos: simulação com as bandas do satélite CBERS. In: XII SBSR - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia (Goiás). **Anais...** São José dos Campos - SP: INPE, 2005. p. 1099-1106
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 750p.
- MEIJERING, E. A Chronology of Interpolation. From Ancient Astronomy to Modern Signal and Image Processing. **Proceedings of the IEEE**, New York: IEEE, v. 90, n. 3, p. 319-342, 2002.
- MENESES, P. R.; NETTO, J. da S. M. **Sensoriamento Remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, 2001. 262p.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos campos: INPE, 2001. 241p.
- NOVO, Evelyn M.L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto**: Princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 308p.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: Edufu, 1990. 135p.

Recebido em março de 2009

Aceito em agosto de 2009

