

Proposta metodológica para o estudo da reflectância e da transmitância de uma superfície lambertiana no âmbito do sensoriamento remoto



Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis¹, Cesar Edwin Garcia¹,
Fabrício Brito Silva¹, Kleber Trabaquini¹, Suene Costa Corrêa²

¹*Divisão de Sensoriamento Remoto – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE.*

²*Instituto de Oceanografia - Universidade Federal do Rio Grande–FURG.*

E-mail: likitgb@dsr.inpe.br, cgarcia@dsr.inpe.br, fabricio@dsr.inpe.br,
kleber@dsr.inpe.br, suenecorrea@furg.br

(Received 20 August 2010; accepted 23 March 2011)

Resumo

Diversas áreas científicas exigem a compreensão dos princípios físicos relacionados às propriedades radiométricas envolvidas na aquisição de dados por sensoriamento remoto. O objetivo deste trabalho é de apresentar uma metodologia experimental que proporcione o conhecimento dos princípios físicos referentes à reflectância e transmitância de uma superfície lambertiana. Os dados de radiometria medidos em laboratório foram analisados visando obter os espectros da radiação refletida e o fator de reflectância bidirecional de cada amostra. Pôde-se verificar que a composição dos diferentes alvos avaliados determinou o comportamento espectral em diferentes faixas do espectro eletromagnético, em condições laboratoriais controladas de iluminação e temperatura.

Palavras chave: Radiometria, radiação refletida, fator de reflectância, fluxo incidente e fluxo transmitido.

Abstract

Several areas require scientific understanding of the physical principles related to the radiometric properties involved in the data acquisition by remote sensing. The aim of this paper is to present an experimental methodology that provides the knowledge of physical principles regarding the reflectance and transmittance of a Lambertian surface. The laboratory radiometric measurement data were analyzed in order to obtain the spectra of the reflected radiance and the bidirectional reflectance factor of each sample. It was possible to verify that the composition of the different targets evaluated determined the spectral behavior in different bands of the electromagnetic spectrum, in controlled lab conditions of luminosity and temperature.

Key words: Radiometry, reflected radiance, factor of reflectance, incident flow and transmitted flow.

PACS: 07.60.Dq, 78.40.-q, 42.88.+h, 07.07.Df, 42.79.Qx

ISSN 1870-9095

I. INTRODUÇÃO

Os sensores remotos são instrumentos utilizados para a detecção da radiação eletromagnética (REM) proveniente de um alvo após a sua interação com a radiação emitida por uma fonte. O comportamento espectral de cada alvo depende basicamente de suas propriedades físico-químicas e biológicas, e por isso o seu comportamento depende da região espectral analisada, assim a REM é o meio pela qual a informação é transmitida do objeto ao sensor. Como o presente trabalho faz uso do Sensoriamento remoto, aborda-se o assunto de forma sumarizada nesse item, com o intuito de introduzir o leitor no tema, suportado por uma bibliografia básica, como de [1], [2] e [3].

O conhecimento do comportamento espectral dos diferentes alvos é de grande importância para se obter informações sobre o mesmo. Tais informações podem ser

obtidas a partir de medições de instrumentos óptico-eletrônicos, conhecidos por espectrorradiômetros, os quais são capazes de representar informações sobre a resposta do alvo em forma de curvas espectrais ao longo dos comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Desta forma, podemos conhecer a assinatura espectral de um objeto sob condições controladas, podendo fixar variáveis, tais como ângulo de incidência da fonte luminosa, potência do fluxo incidente, altura do sensor, etc. [2].

Os espectrorradiômetros possuem um sistema de dispersão para decompor a radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, de maneira que possa registrar a radiação refletida em várias faixas espectrais estreitas. Pelo fato destes sensores operarem na faixa refletida do espectro eletromagnético, os dados obtidos correspondem à radiação refletida pelos alvos [3]. Com isso a reflectância bidirecional espectral (RBE) é a grandeza utilizada com

maior frequência na caracterização das assinaturas espectrais dos objetos terrestres, e é comumente substituída pelo fator de reflectância bidirecional espectral (FRBD) [4].

Outra propriedade que pode ser avaliada é a transmitância, e para isso são utilizados filtros espectrais de absorção a fim de remover a radiação indesejável, absorver e transmitir a REM de forma seletiva, ou seja, permitir a passagem da radiação em determinado comprimento de onda, e a verificação do fluxo radiante incidente no espectrorradiômetro.

Neste trabalho serão mensuradas em um laboratório as reflectâncias e transmitâncias sob condições controladas de iluminação e temperatura. Como primeira atividade, pretende-se calcular a reflectância da superfície de diversos alvos, bem como da placa de referência, admitida como superfície lambertiana. Já no tocante à segunda atividade, o objetivo é de determinar a transmitância através de diferentes filtros e suas combinações.

II. REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com [5], a reflectância espectral é definida como a propriedade de um determinado objeto em refletir a radiação eletromagnética sobre ele incidente e é expressa através dos chamados Fatores de Reflectância.

Para [6] a reflectância espectral pode ser definido como a razão entre o fluxo refletido e o incidente, sem considerar a distribuição espacial destes fluxos. A variação de suas amplitudes ocorre em função das interações com a radiação eletromagnética.

É importante conhecer o conceito de reflectância difusa, associada às superfícies lisas e da difusa, relacionada a superfícies rugosas. A reflectância bidirecional é definida a partir dos efeitos bidirecionais em superfícies naturais, ou seja, da anisotropia através das diferentes condições de geometria, iluminação e visada para um determinado comprimento de onda.

Segundo [4], a grandeza radiométrica espectral (RBE) é de difícil obtenção e por isso é geralmente adquirida através do fator de reflectância bidirecional espectral (FRBD). O FRBD ou $\rho(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r, \lambda)$ pode ser definido como a razão entre a radiância do objeto ($L_{refletida/alvo}(\theta_r, \varphi_r, \lambda)$) e a de uma superfície de referência ou lambertiana ideal ($L_{refletida/referência}(\theta_r, \varphi_r, \lambda)$) para uma irradiância colimada na direção θ_i, φ_i , com obtenção da reflectância em diferentes ângulos de visada e de iluminação, conforme o que consta na Equação 1:

$$\rho(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r, \lambda) = \frac{L_{refletida/alvo}(\theta_r, \varphi_r, \lambda)}{L_{refletida/referência}(\theta_r, \varphi_r, \lambda)}. \quad (1)$$

O fator de reflectância espectral $\rho(\theta_i, \theta_r, \lambda)$ nas mesmas condições de iluminação e observação, pode ser expresso pela razão de acordo com o disposto na Equação 2:

$$\rho(\theta_i, \theta_r, \lambda) = \frac{L_{refletida/alvo}(\theta_r, \lambda)}{L_{refletida/referência}(\theta_r, \lambda)}. \quad (2)$$

Deste modo, o FRBD é utilizado para condições em que os ângulos da fonte de REM e do radiômetro variam com relação ao zênite e ao azimute, considerando-se o objeto de estudo como centro de referência [7].

A radiância de uma superfície lambertiana é constante e independente da direção e da visada. Considerando-se que a sensação de brilho de uma imagem é proporcional à radiância, uma superfície lambertiana pode ser observada de modo homogêneo independente do ângulo de visada adotado [8].

As superfícies lambertianas são aquelas que refletem o fluxo incidente de maneira completamente difusa, independente de qual seja o ângulo da radiação incidente [9], ou seja, apresentam reflectância isotrópica e com o valor próximo da unidade para qualquer geometria de iluminação e observação independente do comprimento de onda analisado.

De acordo com [10], como esta superfície é fictícia, a fim de ser obter o fator de reflectância, pode ser utilizada uma placa de BaSO₄ devidamente calibrada em laboratório, através do Spectralon-11, cujo espectro é conhecido. A placa Spectralon-11 é constituída por um material sintético e apresenta reflectância próxima a 100%, justificando a equivalência entre o fator de reflectância e a reflectância de um alvo. Ou seja, quando o objeto é isotrópico, como a placa de BaSO₄, o mesmo reflete a radiância igualmente em todas as direções, não absorvendo ou refletindo praticamente nada. Portanto, para a obtenção do fator de reflectância em experimentos laboratoriais, substitui-se matematicamente a irradiância pela radiância refletida da placa de referência (Equação 2).

Para o cálculo da transmitância (τ), são utilizados os dados medidos em laboratório referentes ao fluxo radiante incidente na superfície e ao fluxo radiante transmitido pelos filtros, segundo a Equação 3.

$$\tau = \frac{\phi_{transmitido/filtro}}{\phi_{incidente/superfície}}. \quad (3)$$

III. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Radiometria do INPE (LARAD), em junho de 2009, e os equipamentos utilizados encontram-se nas Figuras 1 e 2.

A proposta do trabalho foi conduzida aos alunos de pós-graduação em Sensoriamento Remoto, no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Esta área é considerada como multidisciplinar e, de modo geral, envolve alunos de ciências exatas e biológicas. No que se refere ao desenvolvimento das atividades descritas neste trabalho, o grupo inicial de 12 (doze) alunos foi dividido em dois, e passou a ser constituído por um operador do Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR, um relator da seqüência de dados e procedimentos, um processador dos dados e três responsáveis pela montagem dos dispositivos e sistema a ser experimentado.

Os estudantes de pós-graduação possuíam a graduação em física, engenharia, geografia física, matemática, biologia e computação aplicada.

Os equipamentos e materiais utilizados possuem as seguintes funções e características técnicas:

- Clinômetro: utilizado para medir o grau de inclinação das superfícies (Figura 1 (a));
- Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR: constituído por duas unidades, a coletora (Figura 1(b)) e a controladora (Figura 1(f)). A unidade coletora é utilizada para a coleta dos fluxos radiantes dos alvos (Figura 2: (d) a (g));
- Fonte de iluminação halógena: potência de 250 W com fluxos de radiação contínuos e feixes de radiação colimados. Esta fonte de iluminação foi colocada com um ângulo de inclinação de 35° em relação ao zênite (Figura 1(d));
- Placa Spectralon-11: placa de referência com aproximação a uma superfície perfeitamente lambertiana;
- Computador para o processamento de dados: utilizado para a transferência e tratamento de espectros obtidos com o espectrorradiômetro (Figura 1(e));

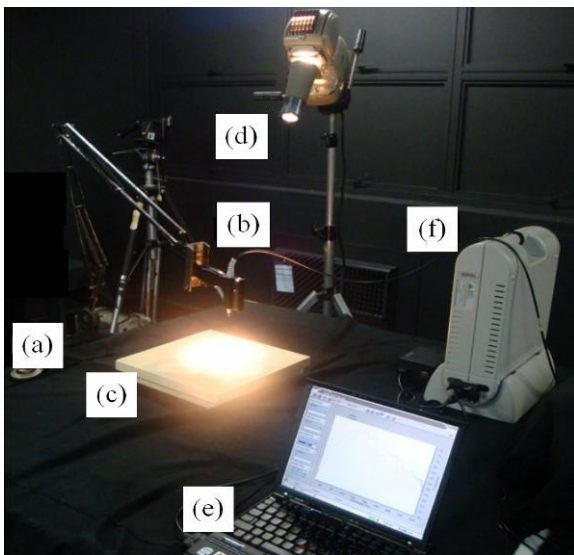


FIGURA 1. Equipamentos utilizados no experimento de radiometria: (a) clinômetro; (b) espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR – unidade coletora; (c) superfície isotrópica; (d) iluminação por lâmpada halógena (250W); (e) computador dedicado ao processamento dos dados; (f) espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR – unidade controladora.

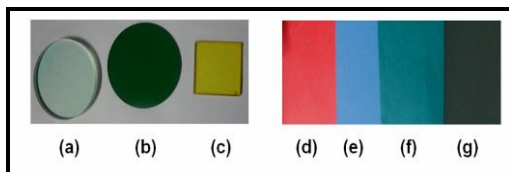


FIGURA 2. Filtros: (a) infravermelho, (b) verde, (c) amarelo; Amostras de papel colorido: (d) vermelho, (e) azul, (f) verde, (g) verde camuflado.

- Filtros (Figura 2: (a) infravermelho, (b) verde, (c) amarelo): utilizados para a verificação do fluxo radiante incidente na superfície e transmitido pelos filtros;
- Amostras de papel colorido (Figura 2: (d) vermelho, (e) azul, (f) verde, (g) verde camuflado).

A área de detecção do sensor foi calculada a partir da distância medida entre o mesmo e a superfície lambertiana, conforme o ilustrado na Figura 3, através das equações 4 e 5.

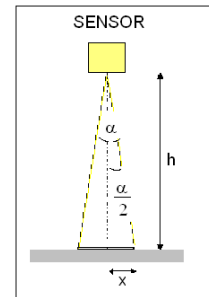


FIGURA 3. Esquema ilustrativo para cálculo da área de detecção.

$$x = \frac{h}{\operatorname{tg}\left(90 - \frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (4)$$

$$A = (2 \times x)^2, \quad (5)$$

onde: x = metade da dimensão lateral da superfície lambertiana;
 h = distância entre o alvo e o sensor;
 α = ângulo de abertura para a visada do sensor;
 A = área de detecção do sensor para uma superfície lambertiana quadrada.

A seqüência de procedimentos descrita em [11] pode fornecer subsídios ao aluno para a sua melhor compreensão durante a coleta, transferência e manipulação dos dados obtidos no espectrorradiômetro.

A execução do experimento foi dividida em duas etapas, sendo a primeira para a obtenção dos espectros de radiança refletida pelas amostras de papel coloridas, e a segunda para os espectros de transmitância dos filtros.

Na primeira etapa, cada uma das amostras de papel coloridas (azul, verde e verde camuflado¹, vermelho), além da amostra vermelha com inclinação horária e anti-horária de 15°, foram posicionadas abaixo do feixe de detecção da unidade coletora do espectrorradiômetro.

Posteriormente, o dado referente à radiança refletida por cada alvo foi mensurado pelo espectrorradiômetro e imediatamente, transmitido ao computador. As planilhas foram elaboradas a partir destes dados, onde foi calculado o fator de reflectância bidirecional de cada uma das amostras nos diversos comprimentos de onda, e em seguida, plotado o gráfico com seus respectivos comportamentos espectrais. Como referência para o cálculo do fator de reflectância, foi

¹ Chamado assim por ser da cor de um material de camuflagem para a Força Aérea e Exército Brasileiro.

mensurada a radiância refletida pela placa Spectralon-11, assumida como lambertiana.

Na segunda etapa, o processo de mensuração ocorreu para a verificação da transmitância através dos filtros. Primeiramente foram dispostos os filtros infravermelho, verde e amarelo isoladamente, para cada detecção, e em seguida a combinação entre eles: verde-amarelo, amarelo-verde, verde-amarelo-infravermelho e infravermelho-amarelo-verde. Após cada disposição, os fluxos radiantes transmitidos pelos filtros foram medidos e transmitidos ao computador. As planilhas foram elaboradas a partir destes dados, onde foi calculada a transmitância através de cada um dos filtros isoladamente e da combinação entre eles, nos diversos comprimentos de onda, e em seguida, plotado o gráfico com seus respectivos comportamentos espectrais. Além disso, a partir das transmitâncias obtidas para os filtros verde e amarelo, foram calculadas as transmitâncias para as suas combinações, a fim de compará-las com as obtidas através da mensuração na área de detecção.

O roteiro com cada um das etapas do experimento pode ser observado no apêndice.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A. Fator de reflectância bidirecional (FRBD)

A partir do processamento dos dados de radiância dos alvos avaliados em laboratório foi construído o gráfico (Figura 3) no qual se observa a curva do comportamento espectral dos alvos ao longo da faixa espectral medida pelo FieldSpec Pro FR.

O alvo Verde Camuflado, em relação aos demais, esboçou um comportamento espectral relativamente constante e com baixos valores de FRBD. No entanto, apresentou suave aumento na região do espectro centrado em 550nm. Como o esse alvo é composto por um material, cujo objetivo é diminuir a refletividade ao sistema visual humano, sua propriedade de reflectância atende a esse objetivo.

O alvo de coloração vermelha apresentou comportamento espectral semelhante em diferentes ângulos de visada do sensor em relação à fonte luminosa, no entanto, é possível distingui-los em regiões diferentes do espectro. O alvo com ângulo de visada, acrescido de 15° em relação ao nadir (sentido horário) pode ser facilmente diferenciado dos demais na região do espectro correspondente a 350nm a 560nm. Próximo a 600nm, na região do espectro correspondente ao vermelho, ao contrário dos demais alvos, ocorre abrupto aumento do FRBD devido a alta refletividade do alvo nessa faixa do espectro. A partir desse comprimento de onda, o seu comportamento é muito semelhante ao alvo com visada ao nadir, dificultando assim a sua distinção ao longo do espectro.

Alterando o ângulo de visada em -15° em relação ao nadir (sentido anti-horário), observa-se que no comprimento de onda de 350nm a 560nm sua resposta espectral é semelhante à resposta ao nadir. No entanto, de 560nm a 2350nm verificou-se uma alteração visual significativa com diminuição no FRBD.

O alvo azul, no comprimento de onda de 350nm a 750nm, apresentou valores máximos de FRBD em torno de 470nm (região do espectro correspondente ao azul). A partir dessa faixa, houve aumento do FRBD seguindo a tendência do alvo verde, porém com valores menores. Após 750nm, os valores foram semelhantes ao alvo vermelho com visada ao nadir.

De forma geral, com exceção do “verde camuflado”, os alvos apresentaram um comportamento espectral semelhante ao da vegetação a partir de 750 nm (infravermelho).

Como os alvos são em essência de papel (celulose), a partir desse comprimento de onda ocorreu baixa absorção da radiação pelos componentes estruturais da célula vegetal, aumentando assim os valores de FRBD.

Deste modo, foi possível demonstrar que a distinção de diferentes alvos pode ser realizada pelo comportamento espectral avaliando seus respectivos FRBD na região do espectro entre 350nm e 750nm.

B. Transmitância dos filtros e de suas combinações

A fim de se determinar o percentual de radiação eletromagnética que pode ser transmitida de um meio para o outro, foram utilizados nesse experimento filtros nas cores amarelo, verde e um filtro especial infravermelho.

Após a obtenção dos valores de transmitância para os filtros amarelo e verde, isoladamente, e de suas combinações (verde-amarelo e amarelo-verde) calcularam-se os valores esperados para a combinação entre esses filtros representado no espectro de cor marrom na Figura 5.

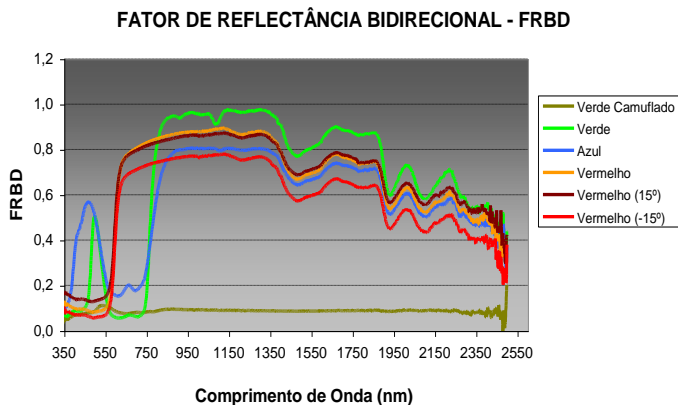


FIGURA 4. Fator de reflectância bidirecional das amostras de papel colorido.

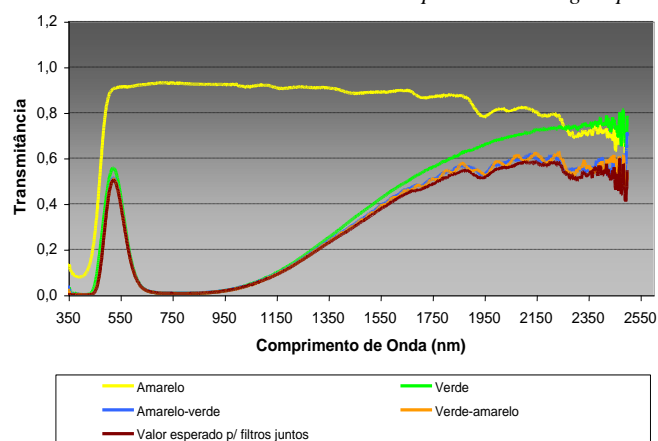


FIGURA 5. Transmitância obtida para os filtros amarelo, verde, amarelo-verde e verde-amarelo, e a calculada para a combinação dos dois filtros juntos.

O filtro amarelo impediu a passagem da radiação do comprimento de onda da faixa do ultravioleta e do azul. O filtro verde, por sua vez, bloqueou a passagem de radiação eletromagnética nas faixas do ultravioleta, azul, vermelho e infravermelho próximo. Estes dois filtros tiveram picos de transmitância na faixa do visível próximo de seus respectivos comprimentos de onda de suas cores, a saber, o filtro amarelo em 580nm (no caso o máximo inicia-se em 527nm e segue constante), e o filtro verde, em torno de 550nm. Isso significa que eles permitiram a passagem de radiação nos comprimentos de onda que estavam próximo da sua faixa espectral.

Ao serem sobrepostos, os filtros verde e amarelo, não importando a ordem dos filtros, em ambos os casos, os valores de transmitância foram bem próximos ao experimento com apenas o filtro verde na região do visível, e obtiveram-se os valores de transmitância inferiores na região do infravermelho, mas seguindo a mesma tendência crescente.

O espectro de transmitância que seria esperado pela combinação dos dois filtros, delineado em marrom na Figura 5, apresentou resultados satisfatórios, pois correspondeu quase totalmente aos valores medidos, ilustrados na Figura 6. O valor esperado foi calculado a partir do produto entre as transmitâncias dos filtros amarelo e verde.

A partir da Figura 6, observa-se que o filtro infravermelho especial permite a passagem de praticamente toda a radiação com comprimentos de onda na faixa do visível. A região do espectro do infravermelho próximo é retida pelo filtro. Na seqüência do espectro, os valores de transmitância elevam-se novamente. Tanto a primeira quanto a segunda combinação entre os três filtros revelaram um espectro de transmitância similar ao experimento com apenas o filtro verde. Portanto, através da utilização dos diversos filtros e de suas combinações, observou-se experimentalmente que o filtro verde foi o responsável pela menor transmissão da radiação eletromagnética.

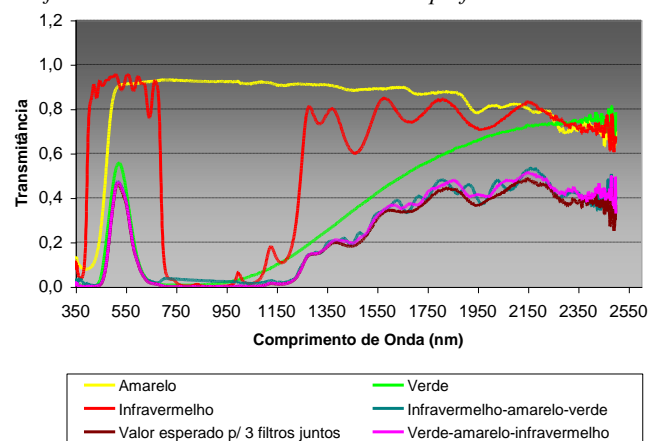


FIGURA 6. Variação da transmitância em função dos filtros amarelo, verde, infravermelho, verde+amarelo+infravermelho, infravermelho+amarelo+verde e calculado para os filtros combinados.

V. CONCLUSÕES

Através da metodologia proposta, os alunos puderam observar os princípios físicos de refletância dos alvos (etapa 1 laboratorial) e transmitância através dos filtros (etapa 2 laboratorial), que são essenciais para o estudo e para a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto.

Primeiramente tais propriedades haviam sido estudadas de modo teórico, e através do experimento, puderam ser verificadas sob condições controladas de iluminação e temperatura.

Essa atividade é muito importante para a total compreensão do comportamento espectral em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Em destaque, aos alunos que futuramente trabalharão em condições não controladas, ou seja, a céu aberto, com influência das condições atmosféricas e de fenômenos naturais aleatórios, pois deste modo podem ter discernimento e compreenderem o que de fato ocorre com o seu respectivo alvo de estudo.

Por fim, verificou-se que o assunto abordado neste trabalho é de tamanha abrangência para o ensino em diversas áreas, entre as quais estão: a física, a matemática, a química e a informática. Deste modo, a abordagem aqui apresentada, para estudantes de pós-graduação em sensoriamento remoto, pode ser adaptada para alunos do ensino-médio. Neste caso, as atividades multidisciplinares seriam destinadas ao estudo das cores em óptica geométrica, do espectro solar, da frequência, do comprimento de onda, da composição das amostras e dos filtros, e à elaboração de gráficos, conforme o que também foi relatado no estudo de [12].

AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos a Prof^a Dr^a Elisabete Caria Moraes, que colaborou imensamente com a realização do experimento laboratorial.

REFERÊNCIAS

- [1] Jensen, J. R., *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, 2nd ed., (Prentice Hall, New Jersey, 2007), p. 592.
- [2] Novo, E. M. L. M., *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*, (Edgard Blücher, São Paulo, 1989).
- [3] Moreira, M. A., *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*, (Universidade de Viçosa, Viçosa, 2003), p. 307.
- [4] Steffen, C. A. *Técnicas radiométricas com o SPECTRON SE-590*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, Anais, São José dos Campos: INPE, 9-14 (1996).
- [5] Ponzoni, F. J., Shimabukuro, Y. E., *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. (Silva Vieira, São Paulo, 2007), p. 135.
- [6] Elachi, C., Zyl, J. V., *Introduction to the physics and techniques of remote sensing*, (John Wiley and Sons, N. Y., 1987), p. 413.
- [7] Alvarenga, B. S., D'Arco, E., Adami, M.; Formaggio, A. R., *O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, Belo Horizonte, Anais, São José dos Campos: INPE, 969-975 (2003).
- [8] Lorenzetti, J. A., *Radiometria*, (apostila não publicada, Curso de Princípios Físicos em Sensoriamento Remoto, Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009), p.12.
- [9] Ashdown, I., *Radiosity: A Programmer's Perspective*, (John Wiley and Sons, New York, 1994), p. 522.
- [10] Moraes, E. C., Nogueira, J. L. M., Ênio, S. C. E., Freire, M. L. F., *Comparação entre placas de referência de sulfato de bário (pintada e prensada)*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, Brasil. Anais, São José dos Campos: INPE, 927-931 (1996).
- [11] Cunha, C. A. H. da *Manual prático para coleta, transferência e manipulação de dados radiométricos utilizando o espectrorradiômetro portátil "SPECTRON SE-590"*, (ESALQ, Piracicaba, 2003), p. 11.
- [12] Sismanoglu, B. N., Hoffmann, C. A., Barbosa, I. M. O *uso do espectrorradiômetro refspect ii-a como ferramenta útil, motivadora e auxiliar no ensino das ciências exatas e implementadora da interdisciplinaridade*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, Belo Horizonte, Brasil. Anais, São José dos Campos: INPE, 805-812 (2003).

APÊNDICE

ROTEIRO PARA A REALIZAÇÃO DO ESTUDO DA REFLECTÂNCIA E DA TRANSMITÂNCIA DE UMA SUPERFÍCIE LAMBERTIANA

Local: Laboratório de Radiometria do INPE (LARAD);

Duração prevista para o experimento: 2 horas;

Equipamentos e materiais utilizados: (1) placa de referência Spectralon-11, (2) Clinômetro, (3) Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR, (4) Fonte de iluminação halógena, (5) Computador para o processamento de dados, (6) amostras de papel coloridos: vermelho, azul, verde, verde camuflado, (7) Filtros: infravermelho, verde, amarelo.

Etapa 1

Objetivo:

Determinação das reflectâncias das amostras de papel de diferentes cores e da placa de referência, admitida como superfície Lambertiana.

Procedimentos:

- Obter os espectros da radiância refletida de amostras de papel azul, verde, verde camuflado e vermelho, através do Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR;
- Repetir o procedimento (a) para a amostra de papel vermelho com as inclinações de 15° no sentido horário e anti-horário;
- A partir dos dados obtidos após a medição nos itens (a) e (b), elaborar a tabela contendo, para cada uma das amostras, o valor de radiância refletida em cada comprimento de onda;
- Utilizando-se dos valores medidos na tabela do item (c) e admitindo-se como referência o valor mensurado da radiância refletida pela placa Spectralon-11, calcular o valor do fator de reflectância bidirecional (FRBD) de cada uma das amostras;
- Construir um gráfico com os diferentes espectros amostrais do FRBD para cada comprimento de onda;
- Comparar os resultados e explicar tecnicamente, com base na literatura estudada, o comportamento espectral de cada uma das amostras.

Etapa 2

Objetivo:

Determinação das transmitâncias através de diferentes filtros e de suas combinações.

Procedimentos:

- Posicionar, isoladamente, cada um dos filtros (infravermelho, verde e amarelo) na área de detecção e obter o respectivo fluxo incidente, através do Espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR;
- Repetir o procedimento (a) para a seguinte combinação entre filtros: verde-amarelo, amarelo-verde, verde-amarelo-infravermelho e infravermelho-amarelo-verde;
- A partir dos dados obtidos após a medição, elaborar a tabela contendo, os valores de transmitância para cada um dos filtros e de suas respectivas combinações, nos diferentes comprimentos de onda;
- Calcular e apresentar na forma de gráfico os espectros de transmitância nos diferentes comprimentos de onda, referente à combinação dos filtros, a partir dos valores obtidos de transmitância de cada filtro isoladamente;
- Construir um gráfico com os diferentes espectros amostrais de transmitância dos filtros e de suas respectivas combinações, nos diferentes comprimentos de onda.