

Comparação de métodos de recuperação de emissividade em atmosferas úmidas com dados do infravermelho termal do sensor ASTER

Adriana Coromoto Becerra-Rondón¹
Lucas Ribeiro Diaz¹
Gabriel Horn Pittigliani¹
Cristiano Lima Hackmann¹
Silvia Beatriz Alves Rolim¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM)
Grupo de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Geofísica Aplicada
Laboratório de Sensoriamento Remoto Geológico (LabSRGeo)
Caixa Postal 9.500 – 91501-970- Porto Alegre - RS, Brasil.
{abecerraron@ gmail.com}; lucasdiaz08@hotmail.com; gh.pittigliani@gmail.com;
cristiano.hackmann@ufrgs.br; silvia.rolim@ufrgs.br

The land surface emissivity of (LSE) is an important property in the remote characterization of targets. The estimation of LSE involves the application of an indeterminate function in radiance data contaminated by an atmosphere of complex modeling. Sand dunes, in general, are composed of quartz, whose spectral behavior is well characterized in the Thermal Infrared (TIR) region. In this work three emissivity retrieval methods were evaluated using ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) Thermal Infrared data (10 to 14 bands – 8.125-10.95 μ m): Normalization Emissivity Method (NEM), Reference Channel Method (RCM) and Alpha Residuals Method (α -RM). Emissivity images were generated, whose samples of quartz endmembers were compared with homologous curves from the Johns Hopkins University (JHU) spectral library. The results for NEM and RCM were evaluated by the cosine similarity method, comparing vectors formed by the values of emissivity. In the comparison of the NEM and RCM methods, a minimum difference between the emissivity values was found, with a greater similarity in the vectors referring to NEM. The vectors of MEN and MBR presented values of $\Theta = 0.0108663$ and $\Theta = 0.0108804$, respectively. The α -RM generates only a good estimate of the spectral curve with relative emissivity data of the mineral from a reference emissivity. Regarding future objectives, LSE retrieval tests will be performed on images corrected for atmospheric effects from controlled experiments. Furthermore, methods with adjustments of emissivity values will be tested from endmembers of the spectral library of the study area.

Palavras-chave: MEN, MBR, α -RM, Quartzo. NEM, RCM, α -RM, Quartz

1. Introdução

A emissividade da superfície terrestre (EST) é uma propriedade importante na caracterização remota de alvos. Esta permite estudar o balanço energético da Terra, bem como identificar materiais geológicos que não apresentam feições diagnósticas expressivas entre as regiões do visível e do infravermelho de ondas curtas. A estimativa da EST envolve a aplicação de uma função indeterminada em dados de radiância contaminados por uma atmosfera de complexa modelagem. Além disso, o valor de radiância de um pixel pode conter diferentes temperaturas e emissividades de alvos.

Vários estudos propõem métodos de recuperação da emissividade a partir de dados do infravermelho termal (TIR). Conforme, Li et al. (2013), estes métodos podem ser classificados em três grandes grupos: (1) métodos semi-empíricos (estimava a partir da relação entre bandas do visível, infravermelho de ondas curtas e do infravermelho termal); (2) métodos multicanais de separação de emissividade (diretamente da radiância emitida e mediante algoritmos recuperam a EST) e (3) métodos baseados na física (consideram pressupostos e/ou restrições baseadas na física da interação radiação x atmosfera x alvo, como medidas diurnas e noturnas ou redução de número de incertezas por análise de componentes principais). Dos grupos citados, o (1) e o (3) não requerem, *a priori*, correções atmosféricas

precisas, uma vez que são considerados insensíveis à perturbação atmosférica ou porque os parâmetros atmosféricos são tratados como incógnitas e recuperados, simultaneamente, com a emissividade. Todavia, independentemente do método, todos possuem restrições e são desenvolvidos para aplicações específicas, como tipo do sensor, objetivo do estudo, características e quantidade de alvos em análise, condições de clima, entre outros (Grondona, 2015).

A maioria dos estudos geológicos utiliza métodos multicanais de separação de emissividade para mapeamento remoto, os quais são empregados na recuperação da emissividade para alvos homogêneos e de alto contraste, dentre eles destacam-se:

- *Método de duas temperaturas* (utilizado para superfícies com emissividades invariantes, não requer conhecimento *a priori* do alvo. É utilizado na exploração mineral, podendo ser aplicado também em estudos de vegetação. Resulta em emissividades absolutas) (Watson, 1992).

- *Método da banda de referência* (assume que a emissividade de uma banda possui um valor constante para todos os pixels, gera emissividades absolutas) (Kahle et al., 1980).

- *Método da emissividade normalizada* (assume uma emissividade máxima para todas as bandas, portanto para todos os pixels, gerando emissividades absolutas) (Gillespie, 1985).

- *Método de Separação de Temperatura e Emissividade* (método híbrido de três módulos: método da emissividade normalizada (MEN), razão espectral (RE), e a diferença mínima – máxima (DMM). Assumem uma relação empírica entre a mínima emissividade e o contraste espectral) (Gillespie et al., 1998; Sobrino et al., 2008).

- *Método dos índices espectrais independentes da temperatura* (baseia-se na aproximação da Lei de Potência de Planck, não necessitando do conhecimento *a priori* da emissividade. É um método muito sensível a variações na composição do alvo e gera emissividades relativas) (Becker e Li, 1995).

- *Método dos Resíduos Alpha* (estima o comportamento da emissividade a partir da aproximação de Wien para a equação de Planck, resultando em emissividades relativas, sendo o método que fornece os resultados mais precisos) (Kealy e Gabell, 1990).

Dunas, em geral, são compostas por quartzo, cujo comportamento emissivo é definido pela mudança no comprimento de onda da vibração fundamental Si-O, que ocorre entre 8–10 μm . Fatores como a composição, textura, umidade do solo e visualização de geometria influenciam de forma significativa sobre o valor da EST (García-Santos et al., 2014). Por esta razão, é necessário o conhecimento *a priori* da emissividade do alvo em estudo e as variáveis físicas que influenciam, de tal forma que auxiliem na escolha do método a ser empregado na recuperação deste parâmetro.

Neste trabalho são avaliados três métodos de separação de temperatura e emissividade de alvos de quartzo em dunas móveis no litoral norte do Rio Grande do Sul, a partir de dados do infravermelho termal do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*).

2. Metodologia de trabalho

2.1 Área de estudo

A região costeira do Rio Grande do Sul (RS) estende-se desde Torres até a foz do Arroio Chuí, ao norte e ao sul respectivamente. Representada por cerca de 620 km de costa aberta arenosa, esta região apresenta uma conjunção de fatores que favorecem a formação de dunas: possui topografia de terras baixas (planície costeira), regime de ventos apropriado (velocidade e direção) e um grande estoque de areia quartzosa fina disponível em praias retilíneas expostas à ação das ondas e do retrabalhamento das barreiras arenosas mais antigas, ao longo de múltiplos ciclos de sedimentação (Martins, 1967; Villwock, 1984; Tomazelli e Villwock;

1992; Villwock e Tomazelli, 1995). Ainda que as dunas sejam consideradas pela legislação brasileira (Lei Nº 4.771/65) como Área de Preservação Permanente (APP) do Litoral Norte do Rio Grande do Sul (Portz et al., 2014), elas começaram a desaparecer aceleradamente como consequência da ocupação direta do terreno ou pelo cancelamento do suprimento de areia proveniente da fonte. Contudo, ainda é possível encontrar remanescentes do campo eólico original, possuindo, portanto, um valor inquestionável (Tomazelli, 2001).

A área remanescente que recebe destaque, no presente trabalho, é o campo de dunas móveis de Cidreira (Figura 1), que, cobrindo uma área de aproximadamente 30 km², localiza-se entre os municípios de Cidreira e Tramandaí, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Este alvo possui regiões de inter-dunas que, em geral, apresentam uma vegetação rasteira e abrigam corpos d'água temporários, principalmente nos períodos de inverno, devido à presença próxima do lençol freático (Tomazelli et al., 2008).

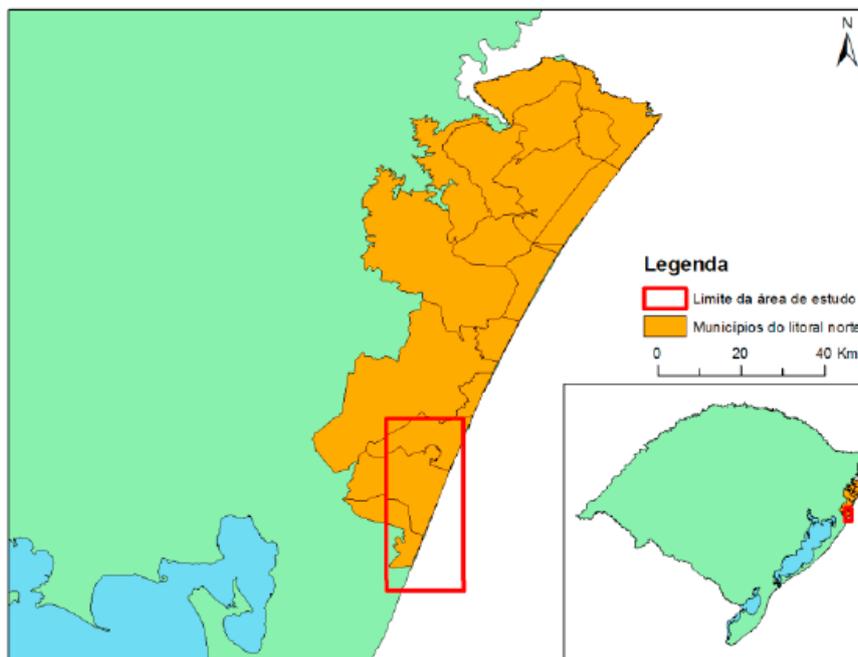


Figura 1. Mapa da área de estudo no Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

2.2 Materiais e Métodos

O comportamento espectral dos minerais no TIR apresenta particularidades importantes, principalmente no que se refere aos silicatos, como o quartzo (SiO₂), constituinte principal das dunas estudadas. Onde feições características relacionadas à ligação Si-O, com mínima emissividade e máxima reflectância (banda *reststrahlen*), tornam a utilização do infravermelho termal um expressivo avanço no mapeamento remoto deste mineral (Hook et al., 1999). Sendo assim, para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizado o subsistema do infravermelho termal (TIR) do sensor ASTER, composto por cinco bandas (de 8,12–11,65 µm) e com resolução espacial de 90 m.

Partindo-se do pressuposto da abundância de quartzo na composição das dunas, aplicou-se a metodologia representada na Figura 2 a uma cena ASTER-TIR com passagem em 29 de setembro de 2015 e nível de processamento L1B (Hook e Ramachandran, 1999), descrita a seguir.

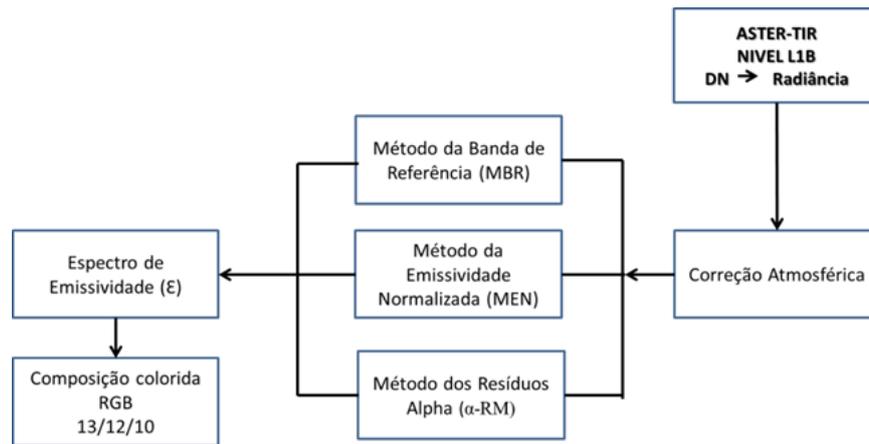


Figura 2. Fluxograma das etapas da metodologia aplicada no estudo.

Foi realizada a correção atmosférica dos dados convertidos de radiância, assumindo-se uma atmosfera uniforme e de comportamento espectral associado a um corpo cinza. Determinou-se o comprimento de onda que exibe a temperatura de brilho máximo, sendo esse utilizado como referência para calcular a compensação atmosférica (Young et al., 2002).

Posteriormente, foram aplicados os seguintes métodos para a recuperação dos valores de emissividade (ϵ):

- Método da Emissividade Normalizada (MEN):

Este método necessita do conhecimento *a priori* do alvo, assumindo um valor de emissividade máxima ($\epsilon_{\text{máx}}$) em todas as bandas. A partir das radiâncias medidas e da emissividade de referência obtêm-se as temperaturas para todos os pixels (Gillespie, 1986). Em cada pixel seleciona-se a temperatura máxima como a temperatura de brilho da superfície e esta é utilizada para calcular a nova emissividade para todas as bandas (Rolim et al., 2016), gerando o espectro de emissividade do alvo. Uma vantagem deste método é que a banda com a máxima emissividade não é especificada e pode ser diferente entre os pixels, tendo assim um desempenho superior ao do Método da Banda de Referência. Por outro lado, necessita de correção atmosférica apropriada, além do fato de que a precisão da emissividade e da temperatura dependerá, em grande parte, do valor máximo atribuído à emissividade.

- Método da Banda de Referência (MBR):

O Método da Banda de Referência assume que, para a obtenção dos valores de temperatura, a emissividade em uma dada banda é constante para todos os pixels. Como a temperatura de superfície é a mesma para todas as bandas, pode-se estimar a emissividade para cada pixel da imagem em função da radiância de cada banda (Kahle, 1992; Andrade, 2011). A seleção desta banda está condicionada ao conhecimento prévio do alvo em análise e sua emissividade (Rolim et al., 2016). Entretanto, este método com uma incerteza de 1% na emissividade na banda de referência pode resultar em um erro de 0,5 K, bem como erros de 1-2% nas emissividades das outras bandas (Li et al., 1999).

- Método dos Resíduos Alpha (α -RM):

O α -RM estima o comportamento da emissividade a partir da aproximação de Wien para a equação de Planck, tornando-se possível linearizar a aproximação com logaritmos. Assim, tem-se uma equação para cada banda, cujos valores da radiância e emissividade são diferentes, enquanto a temperatura é a mesma (Kealy e Gabell, 1990). No entanto, este método depende de informações da cena ou da região analisada (Rolim et al., 2016).

Para fins de aplicação dos métodos MEN, MBR e α -RM na região de estudo, o valor de emissividade assumido foi de 0,96, representando a emissividade máxima dos valores prováveis nas superfícies geológicas compostas de silicatos. Para a análise comparativa dos métodos, foi empregado o método da semelhança do cosseno a fim de verificar a similaridade

entre dois vetores (Curva do Quartzo-MEN e Curva do Quartzo-MBR), considerando que quanto mais próximo de zero for o ângulo, maior a similaridade entre os vetores (Hackmann, 2016). As curvas espectrais das emissividades recuperadas pelos três métodos foram comparadas com o espectro de emissividade do quartzo da Biblioteca Espectral da JHU, reamostrados para as bandas do TIR-ASTER (Salisbury et al., 1991).

3. Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta os espectros de emissividade recuperados para cada método, juntamente com o espectro do quartzo obtido da Biblioteca Espectral da JHU, com os valores reamostrados para as bandas do TIR-ASTER. Os espectros de emissividade obtidos pelo Método da Emissividade Normalizada e Método da Banda de Referência corresponderam ao comportamento espectral do quartzo, conservando as mesmas feições diagnósticas (posição em x e y, e geometria) relativas à banda *Reststrahlen* (identificadas, pelas setas em amarelo). Porém, quando os valores de emissividade são comparados aos do quartzo da Biblioteca Espectral da JHU, os métodos MBR (linha tracejada em negro) e MEN (linha tracejada em amarelo) tendem a superestimar os valores nos comprimentos de onda entre 8,29 μm e 8,90 μm e a subestimar nos comprimentos de onda superiores a 9,07 μm (Tabela 1). Este comportamento nos valores de emissividade coincide com o reportado por Kealy e Hook (1993). Mesmo utilizando-se o conhecimento *a priori* da emissividade (0,96) para o conjunto de dados, este subestimou a temperatura das rochas ricas em silicatos e, conseqüentemente, os valores de emissividade.

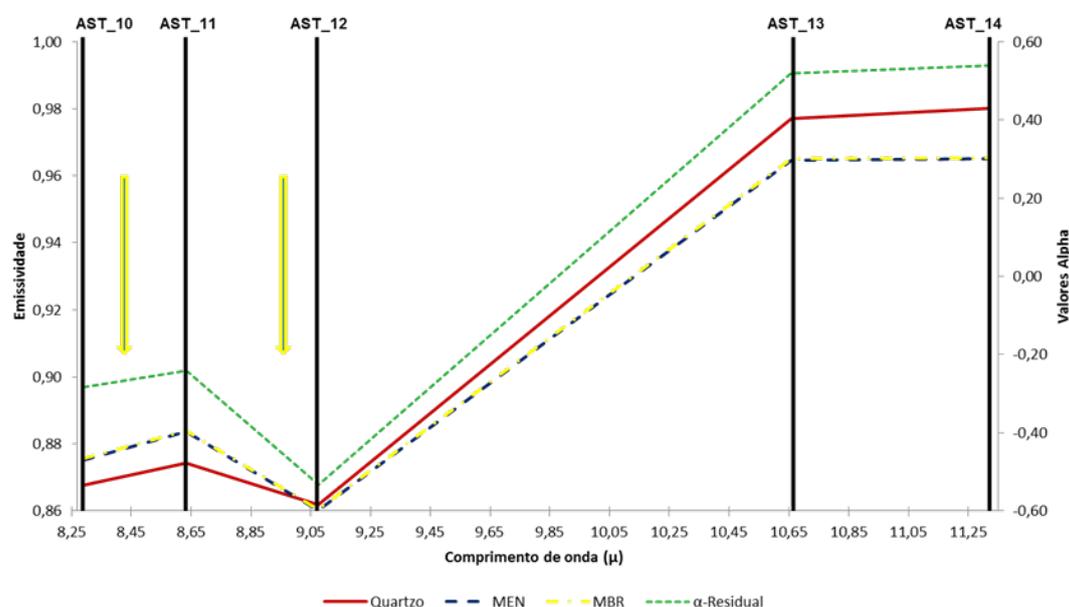


Figura 3. Perfil espectral de um pixel na área das dunas pelo método: (a) Banda de Referência (MBR), (b) Normalizada (MEN), (c) Resíduos Alpha (α -RM) com *offset* dos valores de emissividade, para efeitos comparativos na forma das curvas. Espectro de referência de quartzo (linha vermelha) da Biblioteca Espectral da JHU.

Tabela 1. Valores de emissividade em cada banda para um pixel na área das dunas.

	Comprimento de onda (μ)				
	8,291	8,634	9,075	10,657	11,318
Quartzo	0,86260	0,86920	0,85680	0,97200	0,97500
MBR	0,87060	0,87890	0,85540	0,96000	0,96030
MEN	0,87030	0,87860	0,85510	0,95970	0,96000

Os valores de emissividade recuperados pelo Método dos Resíduos Alpha (Figura 3) foram comparados apenas em termos de geometria da assinatura, pois o método gera valores negativos de “espectro alpha” (Markoski, 2015). Rolim et al. (2016) mencionam que a falta de conhecimento prévio do alvo em estudo possibilita aplicações em estudos qualitativos relacionados à forma da curva espectral.

Na comparação dos métodos MEN e MBR, o método da semelhança do cosseno identificou uma diferença mínima entre os valores de emissividade, com maior similaridade nos vetores referentes ao MEN. Os vetores do MEN e o MBR apresentaram valores de $\Theta=0,0108663$ e $\Theta=0,0108804$, respectivamente. Os valores destes métodos foram muito próximos aos valores reamostrados do quartzo da biblioteca espectral da *Jonhs Hopkins University* – JHU (valores de referência). No entanto, Li et al. (2013) afirmam que o MEN apresenta um desempenho superior ao MBR, pois no primeiro a banda com a máxima emissividade não é especificada e pode ser diferente entre os pixels.

Os valores do α -Residual não foram considerados para a análise quantitativa, uma vez que a curva espectral não considera a amplitude emissiva. Kealy e Hook (1993) mencionam que o desempenho destes três métodos é fortemente dependente das suposições feitas para o conjunto de dados. Por exemplo, se no caso do MBR, o canal selecionado inclui qualquer ruído, relacionando-o diretamente com um erro na temperatura e, portanto, na emissividade. O mesmo acontece com o método α -Residual, onde materiais com menor variação (como vegetação e água) terão erros maiores do que os materiais com variações maiores.

A Figura 4 apresenta composições coloridas RGB 13/12/10 com os resultados de cada método: (a) Banda de Referência (MBR), (b) Normalizada (MEN), (c) Resíduos Alpha (α -RM) (Figura 4). Observa-se que os três métodos tiveram um bom desempenho na individualização dos campos de dunas.

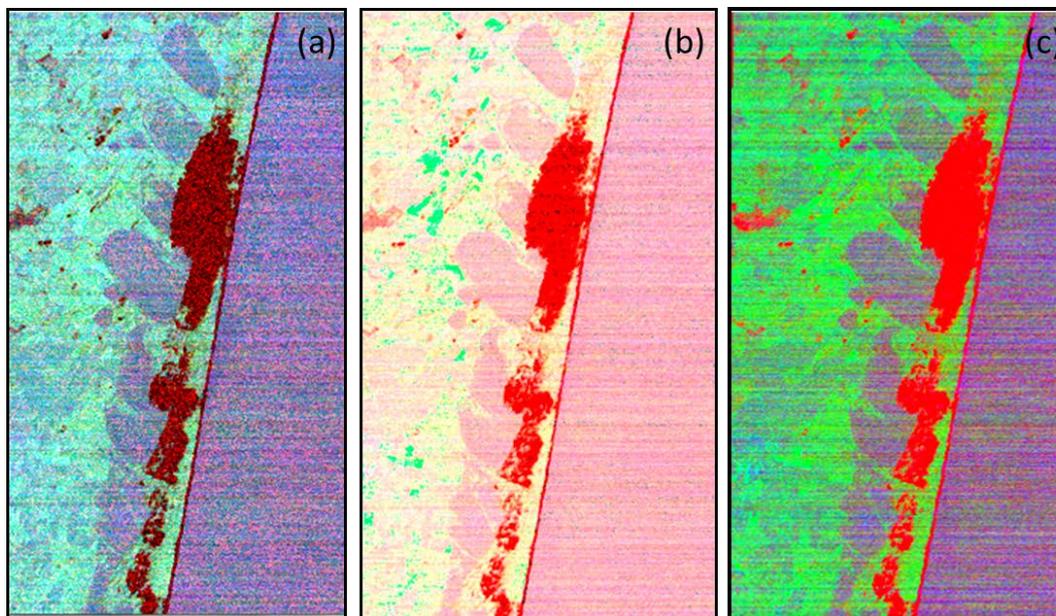


Figura 4. Composição colorida RGB 13/12/10 com as bandas geradas por cada método: (a) Banda de Referência (MBR), (b) Normalizada (MEN), (c) Resíduos Alpha (α -RM). Nesta composição, os campos de dunas móveis são destacados por pixels em tons de vermelho.

4. Conclusões

De modo geral, tendo como conhecimento *a priori* a emissividade máxima do alvo, o MEN é o método que produz o melhor resultado quando comparado com MBR, apesar da diferença ser mínima (0,1 %). O método α -RM gera apenas uma curva espectral com dados de emissividade relativa do mineral a partir de um valor de emissividade de referência.

Os métodos avaliados mostraram-se satisfatórios para aplicações quantitativas (MEN e MBR) e qualitativas (MEN, MBR e α -RM) no que diz respeito à utilização de dados termais para a caracterização e mapeamento remoto do quartzo. Como continuidade desta pesquisa, será realizado experimento de campo com radiossondagens para coletas de dados para modelagem e correção atmosférica adequada a ambientes úmidos e aplicação dos três métodos. Além disso, serão testados outros métodos, levando-se em consideração ajustes de valores de emissividade a partir de *endmembers* da biblioteca espectral da área de estudo (Hackmann e Rolim, no prelo).

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPERGS, CAPES e ao CNPq pelo financiamento do Projeto: 2275-2551/14-1 e bolsas de mestrado e de iniciação científica, respectivamente, e ao Laboratório de Sensoriamento Remoto Geológico (LabSRGeo/UFRGS) pela infraestrutura para o desenvolvimento da pesquisa.

Referências Bibliográficas

Andrade, L.L. **Estimativa de temperatura e emissividade com imagens do sensor HSS (hyperspectral scanner system) e suas relações com materiais urbanos**. 2011. 128 p. (INPE-16962-TDI/1843). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2011.

Gillespie, A. R. Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS. **In Proc. TIMS Data User's Workshop**, Jet Propulsion Laboratory, p. 29–44, 1986.

Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Hook, S. J., Matsunaga, T., & Kahle, A. B. Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document, version 2.4, NASA, 1999.

Rolim, S.B.A.; Grondona, A.E.B.; Hackmann, C.L.; Rocha, C. A Review of Temperature and Emissivity Retrieval Methods: Applications and Restrictions. **American Journal of Environmental Engineering**, v. 6, p. 119-128, 2016.

Grondona, A. **Estimativa da temperatura-emissividade de alvos com base em regressões de dados de sensoriamento remoto proximal**. 2015. 208 p. (UFRGS-00097097). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2015.

Hackmann, C. **A desigualdade de Cauchy-Schwarz na estimação de temperatura e emissividade da superfície terrestre a partir de dados de sensores orbitais**. 2016. 128 p. (UFRGS-000987970). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016.

Hook, S. J., Gabell, A. R., Green, A. A. and Kealy, P. S. "A Comparison of Techniques for Extracting Emissivity Information from Thermal Infrared Data for Geologic Studies" **Remote Sensing of the Environment**, v. 42, p. 123–135, 1992.

Hackmann, C.; Rolim, S.B.A. Cauchy-Schwarz Inequality: A New Approach for T & E Retrieval Methods. No prelo.

Hook, M.A.S.; Ramachandran, B. **ASTER User Handbook Version 2**. Pasadena: JPL/EROS Data Center/NASA, 1999. Disponível em:
<http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_documents/aster_user_guide_v2.pdf>. Acesso em: 23 outubro 2016.

Kahle, A. B., Alley, R. E. Separation of Temperature and Emittance in Remotely Sensed Radiance Measurements. **Remote Sensing of the Environment**, v. 42, p.107–111, 1992.

Kealy, P. S., and Gabell, A. R. Estimation of emissivity and temperature using alpha coefficients. **In Proc. 2nd TIMS Workshop**, Jet Propulsion Laboratory, p. 90-55, 1990.

Li, Z.L; Wu, H; Wang, N; Qiu, S; Sobrino, J.A; Wan, Z; Tang, B.O and Yan, G. Review article: Land surface emissivity retrieval from satellite data. **International Journal of Remote Sensing**. V. 34, Nos. 9–10, p. 3084–3127, 2013.

Martins, L.R. **Aspectos deposicionais e texturais dos sedimentos praias e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, n. 13, p. 1-102, 1967.

Markoski, P. **Modelagem atmosférica (8 - 12 μm) de ambientes úmidos aplicada no processo de correção dos dados de emissividade do sensor ASTER**. 2015. 102 p. (UFRGS- 000975462). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016.

Salisbury, J. W; D’Aria, D.M. and Jarosewich, E. Midinfrared (2.5-13.5 μm) reflectance spectra of powdered stony meteorites. **Icarus**, v. 92, p. 280-297, 1991.

Tomazelli, L.J; Dillenburg, S.R; Guimarães, E; Correa, M.L. Geomorfologia e potencial de preservação dos campos de dunas transgressivos de Cidreira e Itaipava, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. **Revista Pesquisas em Geociências**, Instituto de Geociências da UFRGS, Porto Alegre, v. 32, n. 2, p. 47-55, 2008.

Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. Considerações sobre o ambiente praias e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, v. 19, n. 1, p. 3-12, 1992.

Tomazelli, L.J. **Sistematização dos conhecimentos existentes sobre as dunas móveis do Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAM, p. 25, 2001.

Villwock, J.A e Tomazelli, L.J. **Geologia costeira do Rio Grande do Sul**. Notas Técnicas do CECO-IG-UFRGS. Porto Alegre, v. 8, p. 1-45, 1995.

Villwock, J.A. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **A synthesis. Pesquisas**, v. 16, p. 5-49, 1984.

Young S. J., Johnson, B.R and Hackwell, J. An in-scene method for atmospheric compensation of thermal hyperspectral data. **Journal of Geophysical Research**. V. 107, No. D24, p. 4774. 2002.