

EMISSIVIDADES DE SUPERFÍCIES NATURAIS NO INFRAVERMELHO TERMAL (8 – 12 μm)

Admilson P. Pachêco

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica,
Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, cidade universitária, 50740-530, Recife, PE, Brasil,
Telefax - (081 2718235), E-Mail - admilpp@npd.ufpe.br

Abstract.

Remotely sensed thermal infrared radiance emitted by a surface is a function of both, its kinetic temperature and its emissivity. The emissivity has been used in remote sensing applications of geology, agronomy and oceanography. It is indispensable to the correction of ground temperatures surveyed by orbital sensors which operate in the thermal infrared. A simple field technique is described for making rapid emissivity measurement in the 8 - 12 μm window with an infrared thermometer. Measurements of surface materials are tested. The experimental results obtained are compared, subsequently, taking into account the data found in literature. In the third step, the relationships of emissivity with the composition of rocks were studied in 101 volcanic samples.

Key Words: infrared thermal and emissivity.

1. Introdução

Medidas radiométricas obtidas, em campo e laboratório, na faixa espectral do infravermelho termal fornecem informações detalhadas sobre os materiais superficiais sensoriados. Os dados são obtidos por sensores portáteis em geometrias de visada da ordem de milímetros ou centímetros. Os dados radiométricos adquiridos em janelas atmosféricas do infravermelho termal, no laboratório e campo, são de extrema utilidade na caracterização de parâmetros e propriedades térmicas de diversas superfícies naturais. Em laboratório, sob condições controladas, as determinações radiométricas no infravermelho termal são amplamente facilitadas. Em campo, entretanto, estas determinações são bem mais difíceis, pois os sinais elétricos detectados pelos sensores são influenciados pelas radiancias emitidas pelos objetos da circunvizinhança da área observada.

A emissividade é um fator que indica a eficiência de uma superfície em emitir energia, quando comparada com um corpo negro à mesma temperatura. O conhecimento da emissividade é um pré-requisito imprescindível na caracterização de materiais a partir da análise de imagens térmicas, como também na estimativa de temperaturas de superfícies obtidas a partir de dados sensoriados no infravermelho termal. De uma maneira geral, as emissividades variam com a composição física, química e biológica das superfícies naturais. Entretanto, a faixa espectral de detecção, a irradiância ambiental e a temperatura cinética são fatores que podem alterar a emissividade. O conhecimento da emissividade é importante não só por ser um parâmetro térmico essencial na determinação de temperaturas de superfícies obtidas por Sensoriamento Remoto, mas também porque é um parâmetro físico importante dentre as propriedades específicas de um

material. A falta de padrões específicos de emitâncias para alvos da superfície terrestre é um fator adicional que tem promovido, nos últimos anos, o desenvolvimento de diversos métodos de determinação de emitâncias no infravermelho termal. Estudos de emitâncias no infravermelho termal foram dinamizados com os trabalhos de Buettner e Kern (1965) e Lyon (1965). Estes trabalhos desencadearam várias pesquisas que envolveram avanços nos aspectos metodológico e experimental da determinação da emissividade de materiais naturais e suas diversas aplicações (Pachêco, 1989). Estudos mais recentes tem demonstrado a predominância da análise da emissividade espectral na caracterização de rochas, minerais e solos a partir de dados obtidos por espectrorradiômetros a nível de campo e aeronave, comparados com imagens aéreas e orbitais (Schmugge et al., 1991; Salisbury & D'Aria, 1992,1994; Kahle & Alley, 1992). Medidas de emitâncias resultantes de experimentos de laboratório / campo, aeronave e satélite, têm sido utilizadas na diferenciação de materiais geológicos (Pachêco, 1995).

Este trabalho tem como objetivo a avaliação de um método determinação de emissividade para campo e a caracterização preliminar de litotipos vulcânicos (ácido, básico e intermediário) da Bacia do Paraná, a partir do relacionamento entre os dados de emissividade obtidos no infravermelho termal (8-12) e os constituintes químicos destas rochas.

2. Metodologia

2.1 Modelo teórico

Baseado no estudo de Pachêco (1989), utilizou-se para a determinação da emissividade uma adaptação do Método da Caixa dos Planos Infinitos de Buettner & Kern (1965). O modelo teórico fundamenta-se na suposição de planos infinitos para o topo e o fundo de uma caixa que se comporta como suporte de isolamento do alvo e como aproximação de corpo negro. A emissividade é determinada a partir da relação entre as densidades de fluxo termal provenientes do alvo investigado, em duas situações distintas: primeiro, quando o plano superior da caixa comporta-se como uma superfície de alta reflectância; e segundo, quando o plano superior da caixa comporta-se como uma aproximação de corpo negro. Considerou-se, no caso, o modelo da aproximação da lei de Stefan-Boltzmann para a energia radiante emitida em todo o espectro, que representa a integração total da função de Planck. Logo:

$$M = \epsilon \tau T^4 \quad (1)$$

onde **M** representa a emitância radiante total hemisférica, **ε** a emissividade total hemisférica e **T** a temperatura cinética e **τ** é a constante de Stefan-Boltzmann.

A emissividade direcional, integrada na faixa espectral de 8 a 12 μm, é obtida a partir da seguinte equação:

$$\epsilon = T_p^4 - T_1^4 / T_p^4 - T_2^4 \quad (2)$$

Onde **ε** é a emissividade da amostra (integrada na faixa espectral de 8 a 12 μm), **T₁** é a temperatura de radiação da amostra quando o plano superior é emissor, **T₂** é a temperatura de radiação da amostra quando o plano superior é refletor, e **T_p** é a temperatura cinética do plano superior (Pachêco, 1989).

2.2 Procedimento experimental

O procedimento experimental envolveu a construção de uma caixa cilíndrica (24 cm de diâmetro e 14 cm de altura) utilizada como suporte para as determinações com o radiômetro PRT-5 (8 – 12 μm) da Barnes. A caixa, que foi construída a partir de um tubo de ferro, possui revestimento interno altamente refletor. A sua parte superior apresenta duas tampas (uma emissora e outra refletora) que ocupam todo o diâmetro disponível, de maneira que a retirada de uma tampa implica na ocupação da outra sobre um encaixe circular interno. Estas tampas apresentam orifícios centrais que permitem a observação radiométrica.

A calibração do sistema foi realizada de acordo com o seguinte procedimento: a caixa com a tampa refletora foi colocada sobre uma superfície de referência (alumínio polido), que ocupava toda o plano inferior da caixa. Nesta posição, o campo de visada do radiômetro PRT-5 observava o alvo padrão. A temperatura da superfície de referência foi mantida constante pelo sistema: resistores (implantados na referência), termopares e controlador de temperatura. A caixa de emissividade nesta situação comporta-se, teoricamente, como uma aproximação de corpo negro. A temperatura radiométrica da superfície de referência foi monitorada e correlacionada com a sua temperatura cinética constante. O coeficiente de correlação obtido foi de 0,99 e a curva de calibração do sistema foi gerada.

A Geometria de visada para a determinação da emissividade foi definida a partir de cálculos trigonométricos baseados no diâmetro do alvo e no ângulo de visada instantâneo (IFOV) do radiômetro utilizado. O radiômetro PRT-5, posicionado sobre a caixa, observa com seu ângulo de visada nominal de 20 graus uma área de 10 cm de diâmetro na superfície do alvo.

A sistemática de determinação da emissividade envolve duas observações radiométricas com o sistema radiômetro/caixa/alvo (com as tampas refletora e emissora, respectivamente, cobrindo o alvo) e uma observação termométrica da tampa superior. As determinações das variáveis são realizadas a cada 2 (dois) segundos. Fixou-se um número de 8 observações para cada variável. Informações complementares deste método encontram-se em Pachêco (1989).

3. Resultados

Medidas de emissividade de diferentes materiais naturais e artificiais foram obtidas em laboratório e campo. Os dados obtidos em padrões artificiais são totalmente concordantes com os existentes na literatura. O processo de avaliação do erro envolvido na determinação da emissividade foi baseado no modelo de Parratt (1961). Os Resultados obtidos em campo apresentaram, em média, valores 4 % maiores, porém a precisão foi muito semelhante à adquirida em laboratório. A **Tabela 1** mostra os resultados obtidos neste experimento. Acredita-se que os maiores valores obtidos nas determinações em campo sejam resultantes dos processos térmicos adicionais da interface terrestre.

Posteriormente ao processo de avaliação do método, medidas de emissividade foram obtidas em laboratório para 101 amostras de rochas vulcânicas da Bacia do Paraná, sendo 54 básicas (toleítos), 33 ácidas (riolitos e riódacitos) e 14 intermediárias (andesitos toleíticos). Os desvios padrões das determinações foram da ordem de 6%. Os dados químicos (elementos maiores) relativos a estas amostras foram obtidos de Piccirillo & Melfi (1988).

Observou-se para o conjunto geral das amostras (básicas, ácidas e intermediárias) as seguintes correlações da emissividade com os seguintes constituintes químicos: SiO_2 (-0,74), (0,73), CaO (0,73), CaO (0,72) e K_2O (-0,74). Separadamente, dentro de cada grupo de rocha, só foi observada correlação significativa com SiO_2 no litotipo básico.

A regressão linear da **Figura 1** evidencia a correlação linear negativa observada entre a emissividade (ϵ) e SiO_2 no conjunto geral das amostras. Observa-se no diagrama da Figura 1 que as rochas básicas apresentam valores de emissividade no intervalo de 0,90 a 0,95, sendo maiores que os valores obtidos para rochas ácidas ($0,83 \leq \epsilon \leq 0,90$). Nota-se, neste diagrama, que existe uma pequena superposição, em torno de 0,90, entre as amostras de rochas básicas e ácidas. Em relação às rochas intermediárias, percebe-se que elas tendem a ter uma superposição maior com as rochas básicas, o que evidencia a tendência básica do litotipo intermediário nas rochas estudadas. Os resultados adquiridos neste estudo são bastante concordantes com os dados da literatura (Pachêco,1995).

As variações dos valores integrados de emissividade observados, estão provavelmente relacionadas com as diferentes composições mineralógicas das rochas estudadas. Acredita-se, porém, que uma avaliação mais criteriosa só poderá ser realizada após a obtenção dos espectros ($8 - 12 \mu\text{m}$) de emissividade destas amostras.

4. Conclusões

Este trabalho caracteriza o aspecto básico de avaliação de uma metodologia para determinação da emissividade em campo e uma aplicação à Geologia. Os Resultados obtidos neste trabalho representam as primeiras determinações de emitâncias obtidas no Brasil. A área do infravermelho termal tem aplicações em diferentes mapeamentos térmicos da superfície da Terra. Parâmetros térmicos tais como emissividade e inércia térmica, que estão diretamente relacionados com as imagens térmicas, podem ser fundamentais na análise de propriedade de rochas, solos e vegetações. Estudos de Sensoriamento Remoto no infravermelho termal, no Brasil, são muito escassos, devido, principalmente, a deficiente resolução geométrica dos sensores orbitais atuais e a carência de pesquisadores na área. Com a melhoria de resolução espacial do Landsat/TM 7 (60 metros) e o surgimento de sensores hiperespectrais de aeronave, a área de pesquisa no infravermelho termal será em breve muito promissora e auxiliará pesquisas em outras faixas espectrais (visível e infravermelho próximo), como também favorecerá os estudos relacionados com o Balanço energético e os mapeamentos térmicos na interface terrestre.

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP) pelos equipamentos e amostras utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Buettner, K. J. & Kern, C. D. The determination of infrared emissivities of terrestrial Surfaces. *Journal of Geophysical Research*, 70 (6): 1329-1337, 1965.
- Cogan, J. L. Remote Sensing of Surface and Near Surface Temperature from Remotely Piloted Aircraft. *Applied Optics*, 24 (7): 1030-1036,1985.
- Davies, J. A.; Robinson, P.J., & Nunez, M. Field determinations of Surface Emissivity and Temperature for Lake Ontario. *Journal of Applied Meteorology*, 10(4): 881-819,1971.
- Fuchs, M., & Tanner, C. B. Infrared Thermometry of Vegetation. *Agronomy Journal*, 58 (6) : 597-601, 1966.
- Kahle, A. B. & Alley, R. E. Separation of Temperature and emittance in remotely sensed radiance measurements. *Remote Sensing. Environmental*. 42: 107-101, 1992.

- Lyon, R. J. P. Analysis of Rocks by Spectral Infrared Emission (8 to 25 microns). *Econ. Geol.*, 60: 715-736,1965.
- Pachêco, A. P. Análise de Métodos de Determinação de Emissividade para Alvos da Superfície Terrestre, na Faixa Espectral de 8 a 14 μm . Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos, (INPE - 4984 - TDL / 394). 1989, 155p.
- Pachêco, A. P. Parâmetros Térmicos de Rochas por Aquecimento Transiente Observado no Infravermelho Termal (8 a 12 μm). Tese de Doutorado, USP/IAG , São Paulo, 1995, 149p.
- Parratt, L. G. Probability and Experimental Eros in Science. New York, Ny, John Wiley, 1961. 255p.
- Piccirillo, E. M., & Melfi, A. J. The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects, Universidade de São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, 1988, 600 p.
- Salisbury, J. W & D'Aria, D. M. Emissivity of Terrestrial Materials in the 8-14 μm Atmospheric Window. *Remote Sensing. Environmental.* 42: 83-106,1992.
- Salisbury, J. W & D'Aria, D. M. Emissivity of Terrestrial Materials in the 3-5 μm Atmospheric Window. *Remote Sensing. Environmental.* 47: 345-361, 1994.
- Schmugge, T. J.; Becker, F.& Li, Z. Spectral Emissivity Variations Observed in Airborne Surface Temperature Measurements, *Remote Sensing. Environmental.* 35: 95-104,1991.
- Vleck, J. Radiometric Determination of Thermal Emissivity in situ In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 5., Victoria, Aug. 1978. Proceedings. s.n.t. pp. 251-254.
- Zhang, Y-W.; Zhang, G. C. & Klemas, V. Quantitative Measurements of Ambient Radiation Emissivity, and truth Temperature of greybody: methods and experimental Results. *Applied Optics*, 25 (20): 3683-3688, 1986. *Remote Sensing. Environmental.* 42: 107-111,1992.

Tabela 1 - Resultados de emissividade e dados da literatura

ALVOS	EMITÂNCIA (8 - 12 μm)	EMITÂNCIA (LITERATURA)	REFERÊNCIAS
Gramma (em campo)	0,97 \pm 0,02	0,99 (8 - 14 μm)	[2]
		0,98 (6 - 20 μm)	[5]
Água	0,98 \pm 0,01	0,972 (8 - 14 μm)	[3]
		0,993 (8 -12 μm)	[1]
Areia	0,92 \pm 0,02	0,90 - 0,92 (8 - 14 μm)	[2]
Areia úmida	0,93 \pm 0,01	0,93 (8 -12 μm)	[1]
Rocha arenítica	0,90 \pm 0,02	0,909 - 0,935 (8 - 12 μm)	[1]
Rocha carbonática	0,90 \pm 0,02	0,929 (8 -12 μm)	[1]
Rocha granítica	0,85 \pm 0,03	0,815 (8 -12 μm)	[1]
Folhelho	0,94 \pm 0,02	-	-
Latossolo vermelho	0,95 \pm 0,02	-	-
Latossolo roxo	0,91 \pm 0,02	-	-
Turfa seca	0,95 \pm 0,01	0,98 (8 -12 μm)	[5]
Alumínio (pintado com tinta preta)	0,95 \pm 0,01	0,956 (8 -13 μm)	[4]
Alumínio com face polida	0,11 \pm 0,02	0,092 (8 -14 μm)	[6]

Observação: [1] Buettner e Kern (1965); [2] Cogan (1985); [3] Davies et al. (1971); [4] Fuchs Tanner (1966); [5] Vleck (1978); [6] Zhang et al. (1986).

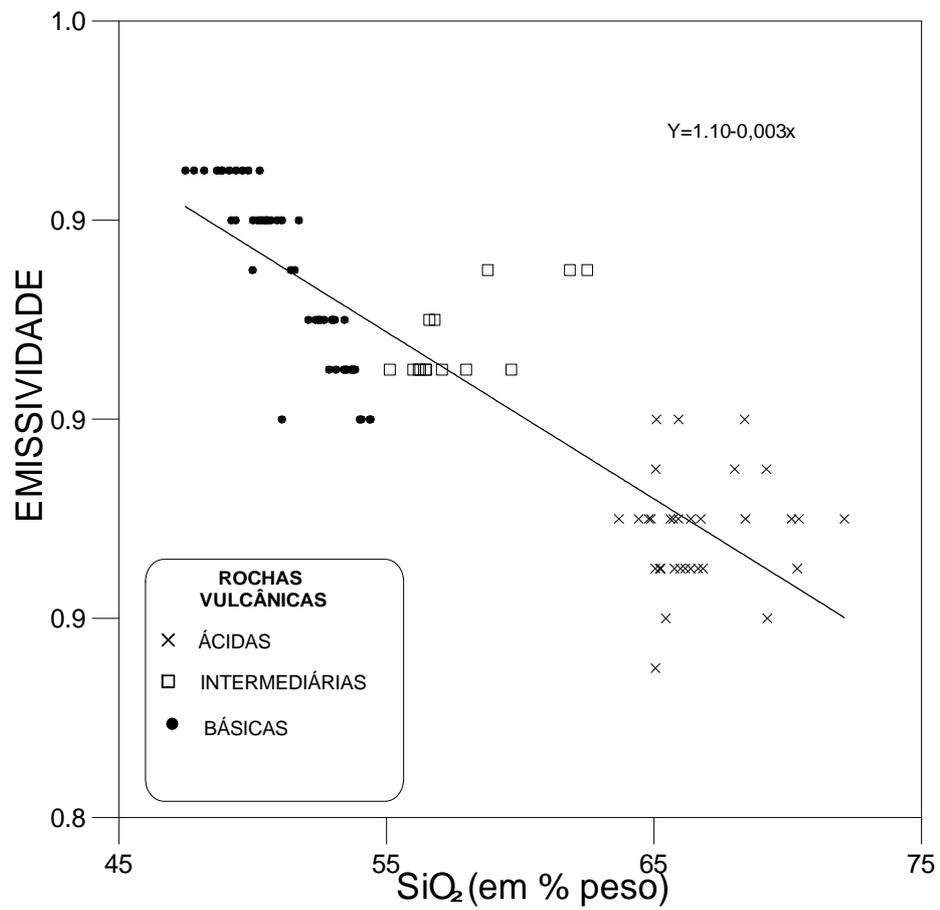


Figura 1 - Diagrama de regressão linear da emissividade com o SiO₂ em litotipos Vulcânicos (ácido, básico e intermediário) da Bacia do Paraná.