

Equipamento e Método de Obtenção de Propriedades Radiativas de Pisos Cerâmicos Polidos e de Vidros.

João Gabriel Amaral

Vicente de Paulo Nicolau

LabTermo - Laboratório de Ciências Térmicas

Departamento de Engenharia Mecânica

CEP 88040-970 - Florianópolis/SC - Brasil

Email: joagabriel_amaral@hotmail.com

RESUMO

O conhecimento das propriedades radiativas de diferentes superfícies e materiais são de grande importância na aplicação dos produtos. Assim, serão abordadas medições de refletividade de materiais cerâmicos e de amostras de vidros, através de uma bancada de medição específica, aplicada à região visível do espectro. A bancada usa um monocromador baseado em rede de difração, detector e sistema de medição particular. Os valores encontrados para a refletividade serão utilizados em um algoritmo desenvolvido, que associado a informações adicionais como ângulo de incidência e espessura da amostra, permite chegar aos valores espectrais de transmitância e de refletância. Com estes valores se pode obter o índice de refração, bem como o coeficiente de absorção, de acordo para o material analisado. Detalhes de funcionamento da bancada e do processo de medição das propriedades serão apresentados e discutidos, juntamente com os valores obtidos para algumas amostras já ensaiadas.

Palavras-chave: refletividade espectral, propriedade radiativa; índice de refração; porcelanato polido.

INTRODUÇÃO

O conhecimento do efeito das propriedades radiativas dos diferentes tipos de materiais é de grande importância na aplicação dos produtos. Neste caso algumas propriedades são obtidas através de uma bancada experimental específica, com base em um goniômetro para medições direcionais e de um monocromador para medições espectrais.

A linha de sequência dos projetos desenvolvidos no laboratório, que já mediu transmitâncias e refletâncias, aborda neste caso medições de refletividade de materiais cerâmicos e amostras de vidro. Pode-se encontrar trabalhos especializados no assunto, como o de Sacadura⁽¹⁾, que discute as medições de propriedades radiativas de uma forma geral e Pfrommmer et al⁽²⁾, relacionado ao cálculo das trocas radiativas. O trabalho de Hsieh e Su⁽³⁾ apresenta resultados para diversas propriedades radiativas de vidros em uma grande extensão do espectro eletromagnético, de 0,32 a 206 μm . Rubin⁽⁴⁾ por sua vez, usa um espectrômetro para medir transmitâncias e refletâncias de diferentes tipos de vidros de janelas. Ruiz et al⁽⁵⁾, usaram um espectrômetro associado a uma esfera de integração para medição na região de 180 a 2000nm, de diferentes pigmentos aplicados na indústria cerâmica.

Neste trabalho são medidas as refletividades espectrais de materiais na região visível e no infravermelho próximo, usando uma bancada baseada em monocromador com rede de difração. São ensaiados materiais como uma amostra de vidro comum, analisando apenas uma de suas faces e amostras de placas de porcelanato polido comercial. Os valores para as refletividades espectrais, em um ângulo de incidência pré-determinado, são medidos. Obtém-se o ângulo de refração particular pela equação de Fresnel⁽⁶⁾ e o índice de refração do material através da equação de Snell⁽⁶⁾.

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Pode-se definir a irradiância espectral G_λ como o fluxo espectral de radiação que incide sobre uma superfície. Resultante da interação entre o feixe incidente e a superfície em questão, parcelas podem ser refletidas, absorvidas ou transmitidas, sendo esta entendida como a parcela que atravessa o material.

Nestes termos, fazendo-se um balanço para o fluxo de radiação que atinge o meio^(6,7), tem-se a Equação (A)

$$G_{\lambda} = G_{\lambda,ref} + G_{\lambda,abs} + G_{\lambda,TR} ; \quad (A)$$

onde G_{λ} representa o fluxo de radiação espectral incidente, $G_{\lambda,ref}$ o fluxo espectral refletido, $G_{\lambda,abs}$ o fluxo espectral absorvido e $G_{\lambda,tr}$ o fluxo espectral transmitido, sendo a denominação espectral associada a um determinado comprimento de onda.

A seguir serão introduzidas propriedades que caracterizam os processos de absorção, de reflexão e de transmissão.

A partir das parcelas definidas na Equação (A), se define as propriedades respectivas^(6,7), como a absorptividade espectral, pela Equação (B), a refletividade espectral, Equação (C) e por último a transmissividade espectral, dada pela Equação (D):

$$\alpha_{\lambda} = G_{\lambda,abs}(\lambda) / G_{\lambda}(\lambda) \quad (B)$$

$$\rho_{\lambda} = G_{\lambda,ref}(\lambda) / G_{\lambda}(\lambda) \quad (C)$$

$$\tau_{\lambda} = G_{\lambda,tr}(\lambda) / G_{\lambda}(\lambda) \quad (D)$$

A partir do balanço de radiação da Equação (A) e das definições apresentadas, tem-se a soma das três parcelas espectrais que se iguala à unidade:

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1 \quad (E)$$

O valor de refletividade espectral para superfícies polidas pode ser obtido pela Equação de Fresnel⁽⁶⁾:

$$\rho_{\lambda} = \frac{1}{2} \frac{\sin^2(\theta - \chi) \cos^2(\theta - \chi)}{\sin^2(\theta + \chi) \cos^2(\theta + \chi)} / \quad (F)$$

sendo θ o ângulo de incidência da radiação sobre a superfície e χ o ângulo de refração. A relação entre os ângulos θ e χ é dada pela lei de Snell⁽⁶⁾, introduzindo o índice de refração n :

$$n = \frac{\sin \theta}{\sin \chi} \quad (G)$$

Desta forma o valor do índice de refração espectral foi obtido através da medição da refletividade espectral na bancada experimental para certo ângulo de incidência θ . Através da Equação (F) e de um algoritmo desenvolvido com base no método de Newton-Raphson, se obteve o valor do ângulo de refração χ . O valor do índice de refração n foi obtido através da Equação (G).

MONTAGEM EXPERIMENTAL

A bancada é mostrada de forma esquemática na Figura 1. A origem do feixe vem de uma fonte de radiação, formada por uma lâmpada halôgena, que emite no visível e no infravermelho próximo. Este feixe é direcionado ao monocromador através de um espelho esférico. O monocromador se baseia no uso de redes de difração para selecionar o comprimento de onda desejado. Assim, na fenda de saída à direita do monocromador tem-se um feixe monocromático, dirigido ao goniômetro por um segundo espelho esférico. Este contém a amostra e um braço rotatório que permite variar o ângulo de reflexão ou de transmissão, conforme o caso a medir. Um terceiro espelho esférico concentra o feixe na entrada do detector, ambos montados sobre o braço.

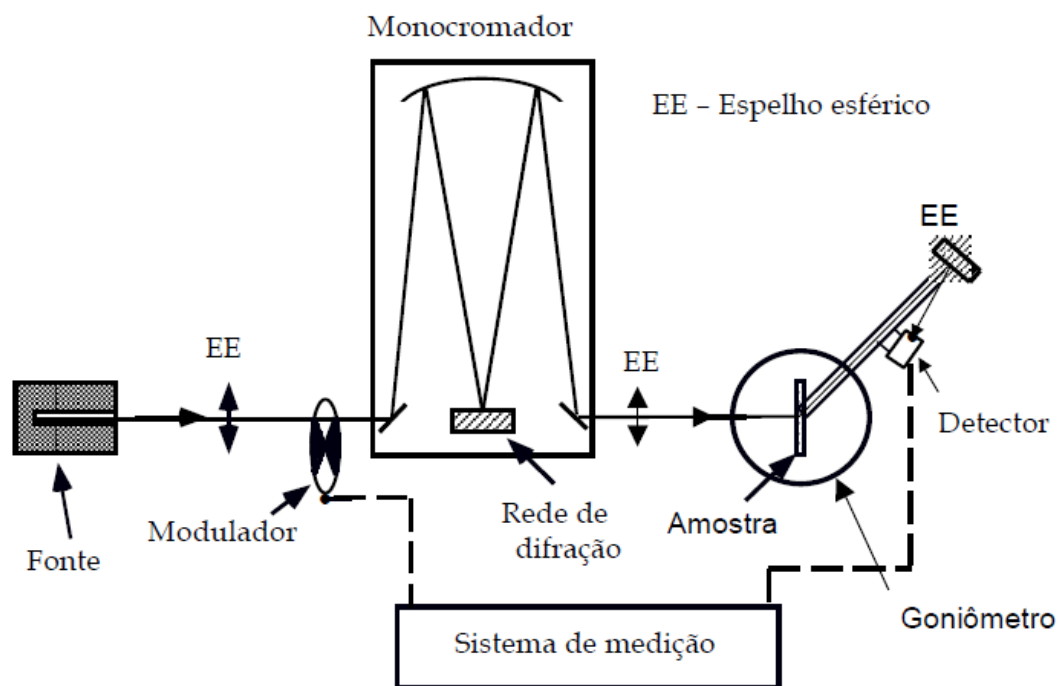


Figura 1 – Desenho esquemático da bancada de medição.

O valor da refletividade espectral, de acordo com a equação (C), é obtido pela divisão do fluxo de radiação refletida pelo fluxo incidente, este obtido com o braço alinhado ao feixe de saída e sem a amostra sobre o goniômetro. O sistema de medição usa um modulador para o feixe, de forma que a medição seja feita na frequência de modulação escolhida.



Figura 2 – Bancada experimental com o braço do goniômetro rotacionado, à direita.

A Figura 2 mostra a bancada e seus vários componentes em detalhes. Durante todo o processo de medição um detalhado e minucioso alinhamento devem ser feitos, ou seja, de espelhos, dos ângulos e da posição do detector, de forma a garantir um sinal adequado, sobretudo na medição da reflexão especular.

A escolha do ângulo de incidência para a realização das medições leva em conta as restrições impostas pelas dimensões dos componentes da bancada. Baixos ângulos de incidência são aconselhados, evitando-se maiores dificuldades com o alinhamento, alongamento da área útil de medição para grandes ângulos e ainda influência das polarizações na reflexão. O ângulo de incidência utilizado para a medição foi de 10° .

MATERIAIS ENSAIADOS

Para a realização dos primeiros ensaios foram usadas amostras de dois materiais cerâmicos similares, obtidas de placas de porcelanatos branco e preto. Uma amostra de vidro plano comum, com espessura de 3 mm, também foi usada. Detalhes das amostras se encontram na Figura 3.



Figura 3 – Amostras utilizadas – porcelanatos branco e preto e vidro com parafina.

Para a medição de refletividade do vidro foi acrescentada uma camada de parafina na sua superfície posterior. Esta adição da parafina tem o objetivo evitar as múltiplas reflexões internas que ocorrem na amostra de vidro (figura 4), e assim o valor medido será apenas o da primeira parcela de reflexão, ou seja, a própria refletividade espectral. A reflexão na face posterior é reduzida na medida em que o material adicionado possui um índice de refração próximo ao do vidro. Por sua vez a face posterior da camada de parafina não é especular e as reflexões são multidirecionais. O espalhamento do feixe também ocorre no interior da própria camada de parafina. Desta forma não há retorno de radiação na direção especular.

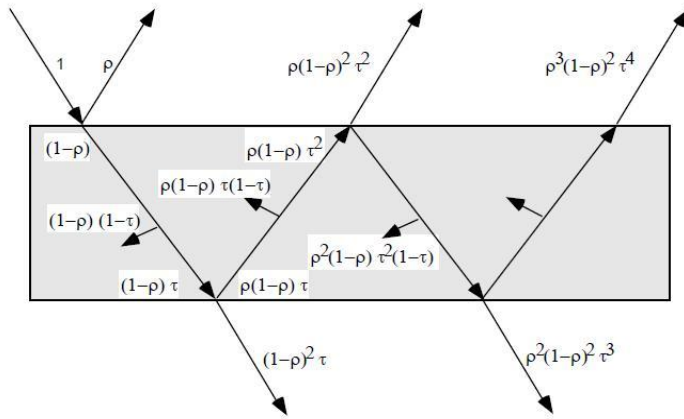


Figura 4 – Múltiplas reflexões internas em um material semitransparente.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Figura 5 mostra o gráfico da refletividade pelo comprimento de onda, medido na faixa de 400 a 1200 nanômetros para a amostra de vidro claro de 3,0 mm de espessura, com a camada de parafina colada na face posterior. Os resultados são comparados com os de Hsieh e Su⁽³⁾. Os resultados são bastante próximos, embora não se tenha uma referência mais completa sobre o tipo de vidro usado nesta referência. Resultados de refletividades espectrais um pouco superiores podem ser encontrados caso não haja boa proximidade entre os índices de refração do vidro e da parafina.

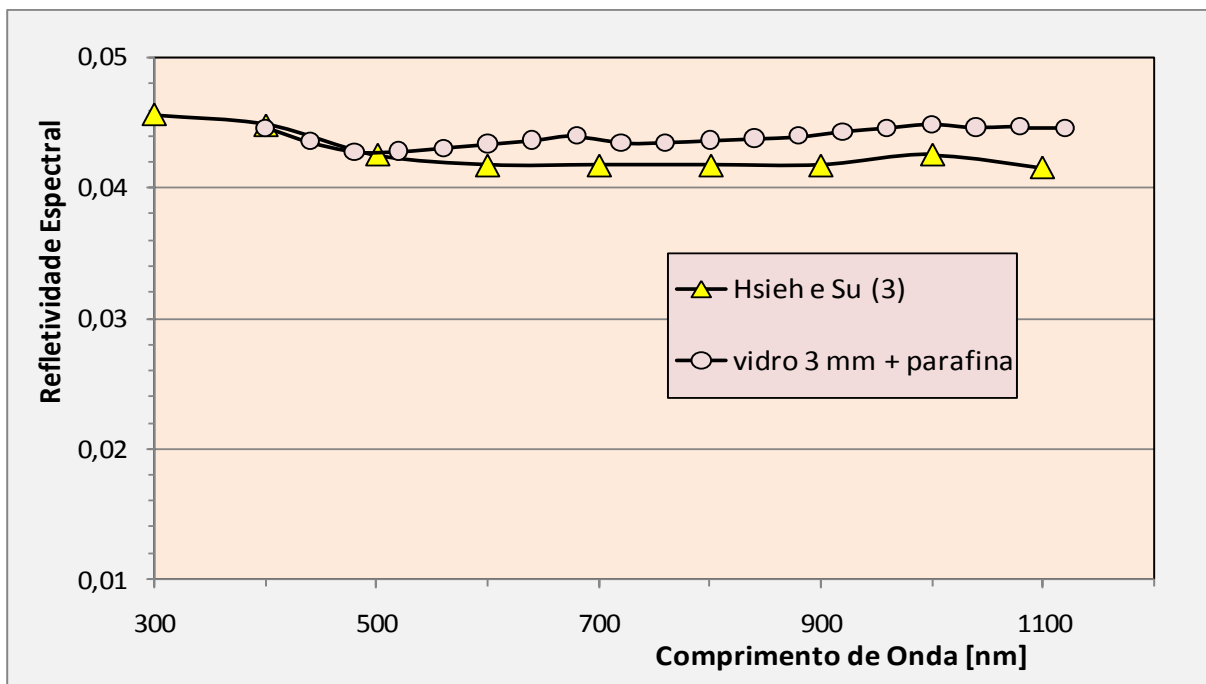


Figura 5 – Refletividades espectrais para amostras de vidro claro com parafina.

Com estes resultados da figura 5 se obtém os valores para o índice de refração, sendo apresentados na figura 6, em comparação com os dados de Rubin⁽⁴⁾. Os valores estão bastante próximos, apresentando o mesmo comportamento visto na figura 5, de valores um pouco superiores aos de referência, à medida que o comprimento de onda aumenta.

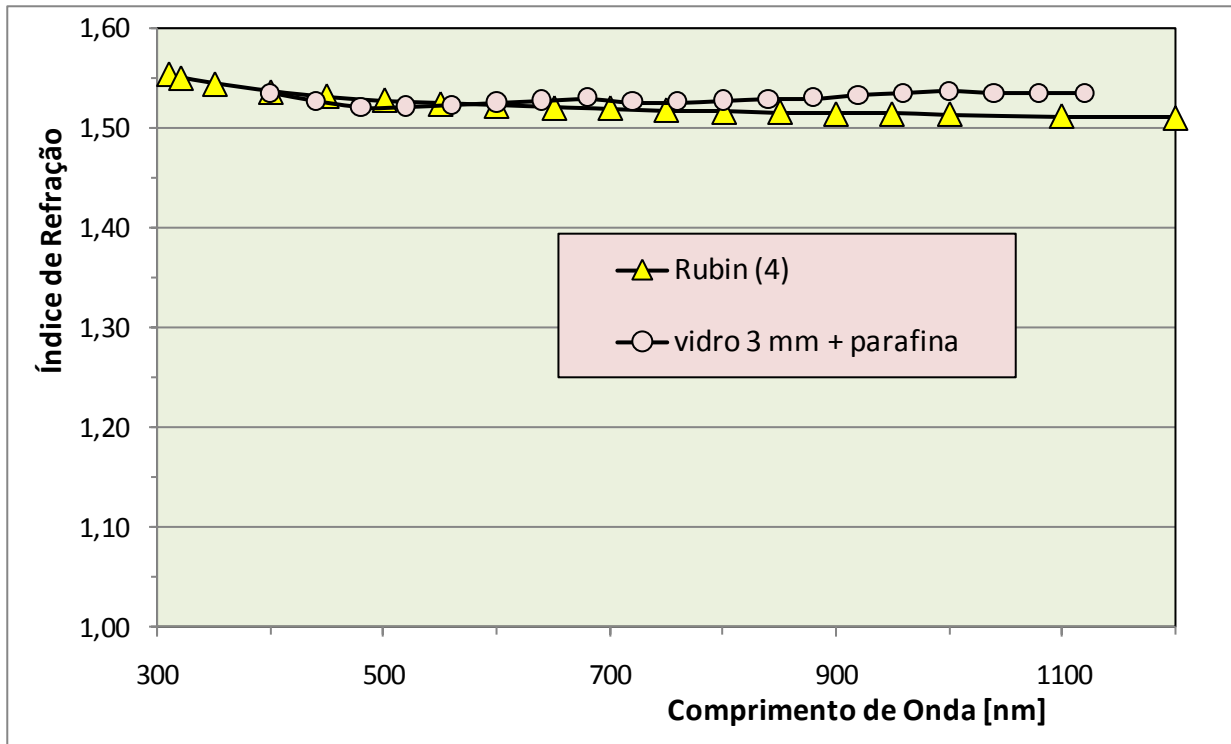


Figura 6- Índices de refração para amostras de vidro claro com parafina.

Na medição das propriedades radiativas dos materiais cerâmicos foi feita uma comparação entre os resultados obtidos para amostras de porcelanatos branco e preto. A figura 7 apresenta um gráfico da refletividade espectral das duas amostras, indicando o material branco como o mais refletor em praticamente toda a região analisada, salvo no início da faixa, onde se situam cores como o violeta. Os porcelanatos são materiais opacos e assim não há preocupação com as reflexões internas como no caso da amostra de vidro.

Na figura 8 são mostradas as distribuições espectrais para os índices de refração, mantendo-se mesmas tendências observadas na figura 7. O material mais refletor possui o maior índice de refração, embora não há uma dependência linear entre estas variáveis entre esta variável e a anterior.

Os valores dos índices de refração são inferiores aos dos vidros, o que deve ser esperado, uma vez que estes refletem mais radiação do que os porcelanatos.

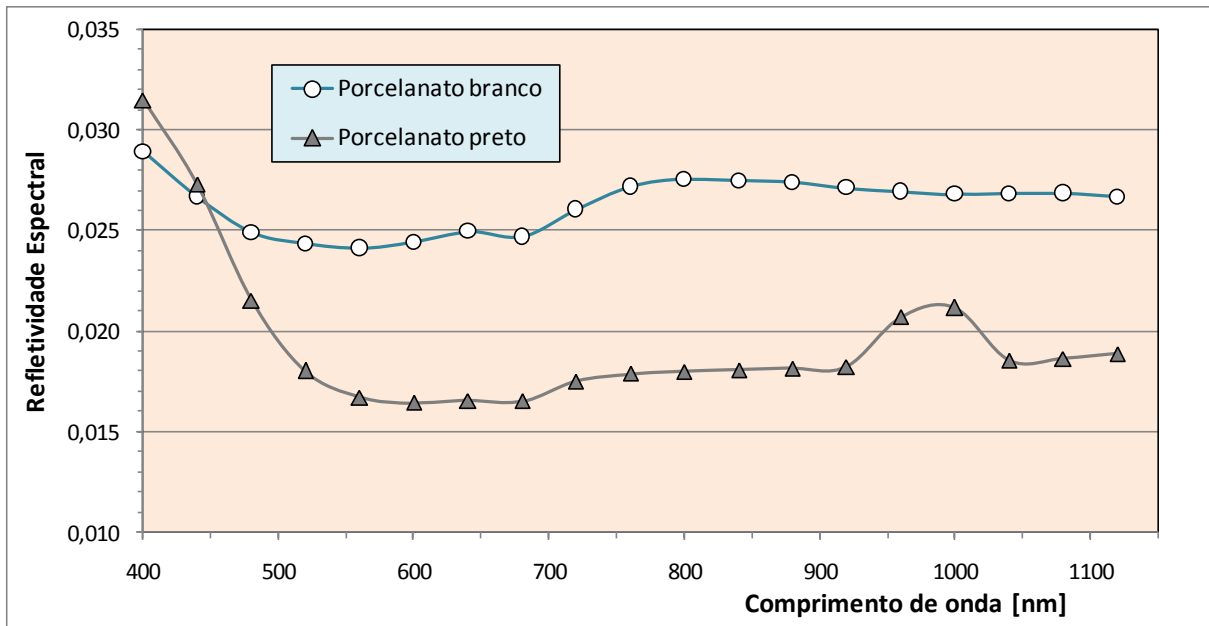


Figura 7 – Refletividades espectrais para os porcelanatos.

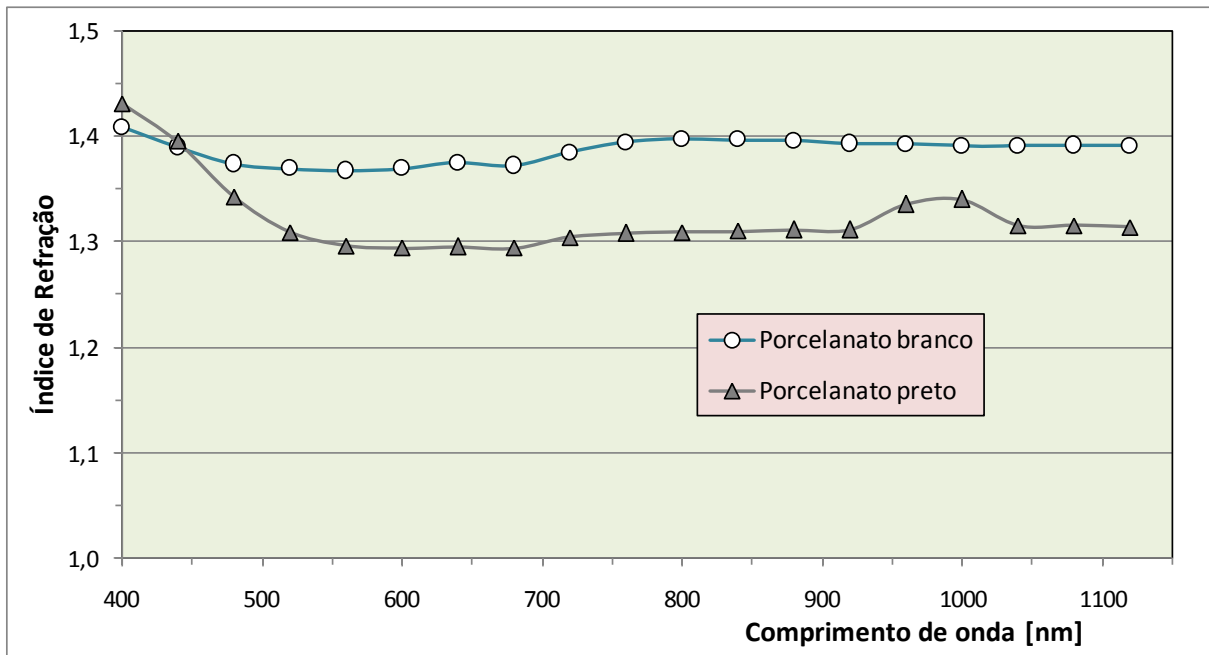


Figura 8 – Distribuição espectral dos Índices de refração para os porcelanatos.

CONCLUSÃO

Através dos gráficos apresentados se pode notar boa concordância entre os valores medidos através da bancada e as referências citadas para o caso da amostra de vidro, mostrando a adequação da bancada para este tipo de medição.

O uso de uma camada de material com índice de refração próximo ao do vidro permite que a medição da refletividade espectral seja feita de forma simplificada, usando apenas a primeira face. O uso de uma amostra simples de vidro com as duas faces em contato com o ar (índice de refração unitário), exige modelos e medições mais complexas, em razão das reflexões internas.

As aplicações para as amostras de porcelanato indicam em seus primeiros resultados, que há também uma facilidade de uso e de cálculo dos valores apresentados. A dificuldade reside na necessidade de um bom alinhamento da bancada, uma vez que a medição trata com superfícies polidas, especulares, onde qualquer desvio angular reduz o valor da medição. Para superfícies não polidas (difusoras), o método de medição encontra dificuldades, função do baixo sinal disponível para cada ângulo de medição.

Os índices de refração são propriedades intrínsecas dos materiais medidos, podendo ser usados, junto com as equações apresentadas, para cálculos de reflexão em qualquer ângulo de incidência.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Ciências Térmicas EMC – UFSC, pela infraestrutura e ao Engº Edevaldo B. Reinaldo pelo apoio ao longo da atividade desenvolvida.

REFERÊNCIAS

- (1) SACADURA, J.F; Measurement techniques for thermal radiation properties; In: Ninth International Heat Transfer Conference, Vol.1; KN-12, Jerusalem, 1990, pp. 207-222.
- (2) PFROMMER, P; LOMAS, K.J.; SEALE, C. AND KUPKE, C., The radiation transfer through coated and tinted glazing; Solar Energy, v. 54, n.5, 1995, p. 287-299.
- (3) HSIEH C K, SU, K. C, Thermal radiative properties of glass from 0.32 to 206 μm , Solar Energy 22 37-43, 1979.

- (4) RUBIN M, Optical properties of soda lime silica glasses, Solar Energy Materials 12 275-278, 1985.
- (5) RUIZ, O.; SANMIGUEL, F; TOLOSA, A.; ALCON, N; Determination of the Refractive Index of Ceramic Material, Qualicer`12, Castellon – Spain, 2012, 14p.
- (6) SIEGEL, R.; HOWELL, J.R., Thermal radiation heat transfer, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1992.
- (7) INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2008.

Equipment and Method for Obtaining Radiative Properties of Ceramic Polished Floor and Glass Samples.

ABSTRACT

The knowledge about radiative properties of different surfaces and materials are of great importance concerning products and respective application. Spectral reflectivity measurements of ceramic and glass samples using a particular setup are executed for the visible and near infrared region of the spectrum. The experimental setup is based on a monochromator with diffraction gratings, source, detector and a particular measurement system. The values found for spectral reflectivity are used to obtain the refractive index of the bulk material. Details about the experimental apparatus and the measurement technique is presented and discussed as well as the values obtained for particular samples.

Keywords: spectral reflectivity, thermal radiation, radiative property; refractive index.