

Determinação de Propriedades Radiativas Espectrais de Peças Cerâmicas Polidas no Infravermelho

Isabel Flesch Laforce

Vicente de Paulo Nicolau

LabTermo - Laboratório de Ciências Térmicas

Departamento de Engenharia Mecânica

CEP 88040-970 Florianópolis/SC - Brasil

Email: isalaforce@gmail.com

RESUMO

As diferentes propriedades radiativas têm grande importância como forma de caracterizar os materiais específicos produzidos na indústria cerâmica. Os valores indicam quais resultados podem ser obtidos com o uso de tais materiais em uma aplicação prática. Portanto, através deste trabalho se apresenta os métodos de medição usados e alguns resultados para propriedades como a refletância espectral e o índice de refração. Nesse caso particular, a medição ocorre na faixa infravermelha do espectro eletromagnético. Através de uma bancada baseada no uso de um espectrômetro do tipo FT-IR (Fourier Transform – Infrared), foram feitas medições de alguns porcelanatos polidos e também de amostras de vidro claro. Além dos resultados, são apresentadas as equações usadas nos cálculos de radiação, bem como um detalhamento da bancada experimental. As medições foram feitas com três ângulos de incidência diferentes, mas através dos modelos seus resultados podem ser ampliados para qualquer ângulo.

Palavras-chave: refletância espectral; radiação térmica; propriedade radiativa; índice de refração.

INTRODUÇÃO

Com o objetivo de obter propriedades específicas de alguns materiais selecionados, foram feitas diversas medições de refletividade na bancada de radiação infravermelha presente no LabTermo-EMC-UFSC. O equipamento utilizado nesta bancada é composto de um espectrômetro FT-IR (Fourier Transform – InfraRed - Oriel Instruments⁽²⁾), com alguns componentes adicionais e pode fazer medições para comprimentos de onda no intervalo de 2 a 17 μ m.

Em trabalhos anteriores, medições de refletâncias e transmitâncias de lâminas de vidro foram usadas para encontrar o índice de refração e também o coeficiente de absorção, como em Nicolau e Maluf (2001)⁽⁷⁾ e Nicolau et al (2003)⁽⁸⁾. Estes apresentam as equações e seu uso na obtenção destas e outras propriedades do vidro, que podem ser aplicadas para diferentes espessuras de amostra e diferentes ângulos de incidência da radiação. Coser et al (2013)⁽⁵⁾ realizaram ensaios no visível e infravermelho próximo, medindo a refletividade de diferentes materiais poliméricos e pigmentos buscando refletores mais eficientes para radiação infravermelha, enquanto Ruiz et al (2012)⁽⁹⁾ determinaram o índice de refração e a interferência de certos aspectos da amostra e do meio em que se realiza o ensaio no cálculo do mesmo. Wiggers et al (2007)⁽⁶⁾ aplicaram polimentos em amostras de porcelanato, medindo a sua influência no brilho, através de um reflectômetro, e na rugosidade superficial.

Este trabalho foi desenvolvido com base em ensaios feitos em três materiais diferentes: vidro claro; porcelanato polido branco e porcelanato polido preto. Através das equações de Fresnel⁽⁴⁾, de Snell⁽⁴⁾, dos valores medidos para a reflexão espectral e para certo ângulo de incidência, determinou-se o ângulo de refração bem como o índice de refração, sendo este uma propriedade do material. Com o índice de refração é possível calcular as reflexões especulares para qualquer ângulo de incidência da radiação, sendo bastante útil nas aplicações do material.

DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

A refletividade espectral é a propriedade que determina a fração da radiação incidente que é refletida por uma superfície, em um certo comprimento de onda. As superfícies podem ser difusoras (onde a intensidade da radiação refletida é

independente do ângulo de reflexão) ou especulares (se toda a radiação refletida estiver em uma direção com ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência).

A refletividade espectral é definida pela equação (A)⁽³⁾:

$$\rho_{\lambda} = G_{\lambda\text{ref}}/G_{\lambda i} \quad (\text{A})$$

sendo G_i é a taxa de radiação incidente sobre a amostra e $G_{\lambda\text{ref}}$ é a taxa de radiação refletida.

De modo similar se tem a transmissividade espectral τ_{λ} , dada pela equação (B)⁽³⁾, envolvendo a fração da radiação que é transmitida pela superfície (no caso de material semitransparente):

$$\tau_{\lambda} = G_{\lambda\text{tr}}/G_{\lambda i} \quad (\text{B})$$

onde $G_{\lambda\text{tr}}$ é a porção de radiação transmitida. Por fim, a absorvidade espectral α_{λ} , dada pela equação (C)⁽³⁾, define quanto da radiação incidente a superfície absorveu, sendo $G_{\lambda\text{abs}}$ a fração absorvida:

$$\alpha_{\lambda} = G_{\lambda\text{abs}}/G_{\lambda i} \quad (\text{C})$$

Portanto, a soma das três parcelas definidas permite obter o balanço de radiação, dado pela equação (D)⁽³⁾:

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

Neste trabalho, para os cálculos finais, foi usada a equação de Fresnel⁽¹⁾:

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

Por sua vez, a equação (E) relaciona a refletividade espectral (ρ_{λ}), o ângulo de incidência (θ) e o ângulo de refração (χ). Em seguida, após determinar este ângulo, obtém-se o índice de refração através da lei de Snell⁽¹⁾:

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

DESCRIÇÃO DA BANCADA EXPERIMENTAL

O espectrômetro FT-IR coleta, em uma varredura, dados relativos a 286 comprimentos de onda diferentes, entre 2µm e 17µm. Dessa forma, todos os cálculos e resultados desse trabalho são em relação a esses 286 dados, na opção escolhida.

Utilizaram-se três amostras diferentes: porcelanato polido branco; porcelanato polido preto e vidro claro, como podem ser vistas na figura 1 abaixo:

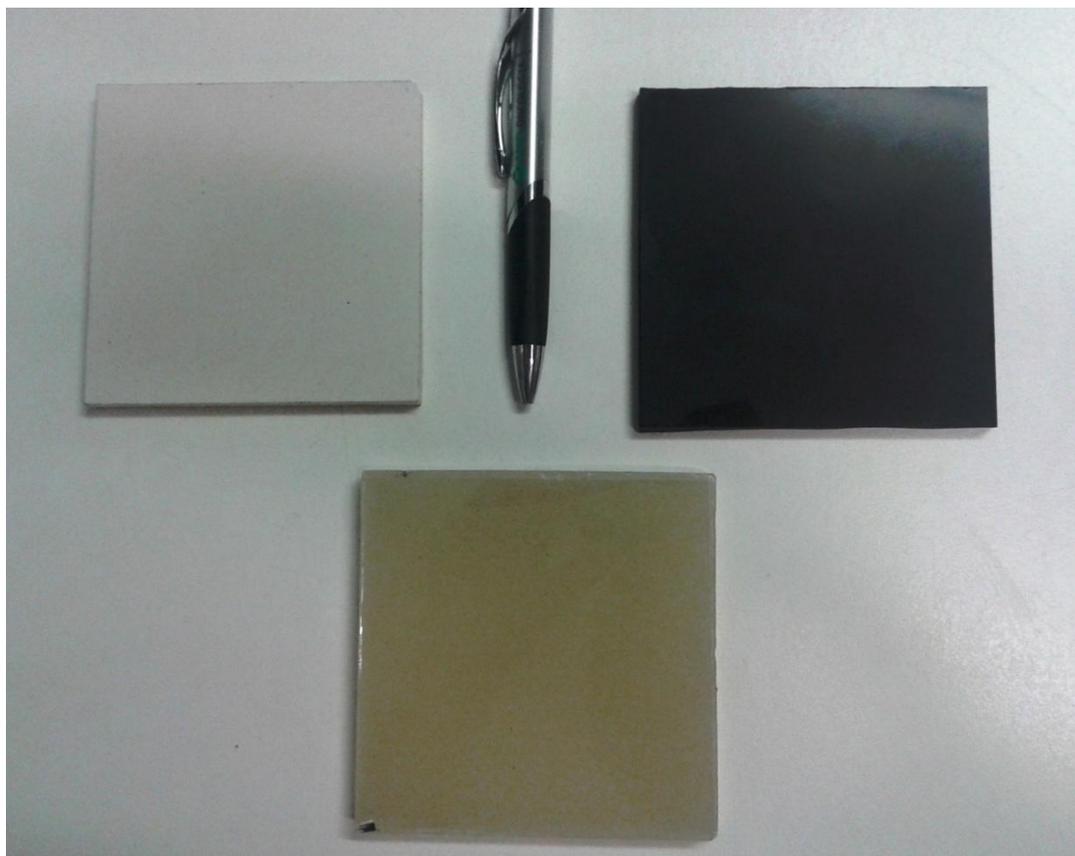


Figura 1 - Amostras do experimento: porcelanato branco no canto superior esquerdo; porcelanato preto no canto superior direito e vidro claro na parte inferior.

Com o objetivo de obter a refletividade espectral da amostra de vidro, na amostra de vidro foi acrescentada uma camada de parafina na superfície de trás,

para reduzir as reflexões internas, como ilustrado na figura 2⁽¹⁾. Como teoricamente a parafina possui um índice de refração semelhante ao vidro, evita-se o retorno dos demais feixes, ficando apenas com a primeira reflexão.

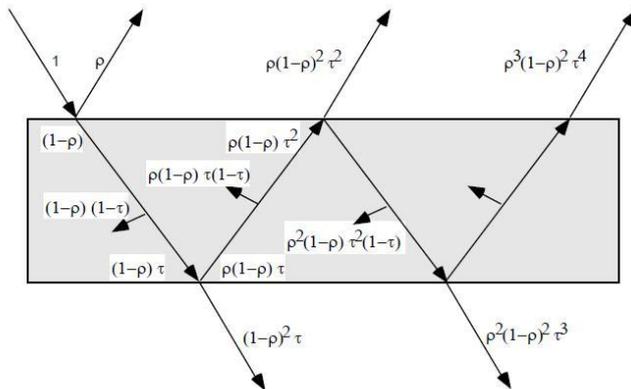


Figura 2 - Reflexões internas em material semitransparente.

As amostras foram testadas com três ângulos de incidência diferentes: 15º; 18º e 21º. Primeiramente é obtido o sinal de fundo, alinhando diretamente a fonte de radiação com o detector MCT (o qual funciona com nitrogênio líquido). Em seguida obtém-se o sinal da refletividade, alinhando a fonte e a amostra de forma que o reflexo esteja alinhado ao espectrômetro para em seguida chegar ao detector. Esses alinhamentos podem ser observados na figura 3, onde a parte do esquema em azul representa a bancada alinhada para a obtenção da refletividade com a amostra posicionada, e também na figura 4, uma foto da bancada de medição.

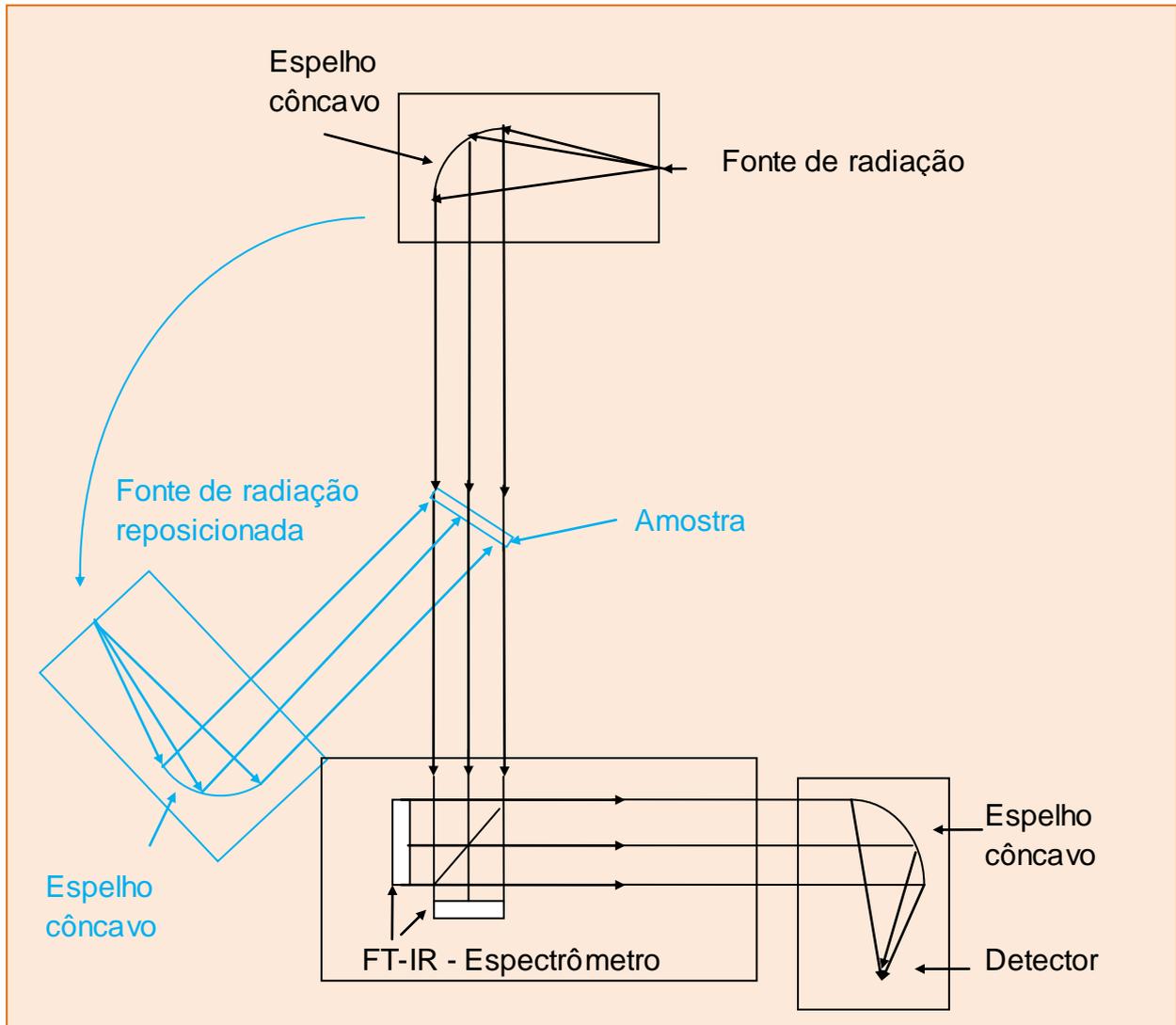


Figura 3 - Esquema da bancada na obtenção do sinal de fundo e do sinal refletido.



Figura 4 – Vista geral da bancada de medição.

Em seguida, divide-se o sinal obtido da refletividade pelo sinal de fundo, como indica a equação (A). Como as amostras são opacas, esse resultado já corresponde

à ρ_λ , e o ângulo de incidência já é conhecido. Com esses dados, através do programa numérico criado para esse objetivo, calcula-se o ângulo de refração através da equação (E) e em seguida o índice de refração com a equação (F). Estes valores são obtidos para cada um dos diferentes comprimentos de onda.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Teoricamente, os valores determinados para o índice de refração não devem depender dos ângulos usados para a incidência da radiação. Portanto, nesse trabalho teve-se como principais objetivos: determinar os índices de refração para cada comprimento de onda de uma faixa do espectro infravermelho e também comparar esses resultados para três ângulos de incidência diferentes.

Na sequência, as figuras 5, 6 e 7 apresentam os resultados das refletividades espectrais das amostras ensaiadas, respectivamente: porcelanato branco; vidro e porcelanato preto. As amostras apresentam comportamentos espectrais bastante similares, com refletividades espectrais baixas, na ordem de 0,02 para comprimentos de onda até 8 μm . Um pico ocorre na sequência, em torno de 9,5 μm , chegando a refletividades de 0,25 para a amostra de vidro e 0,22 para amostras de porcelanato. Para comprimentos de onda maiores os valores diminuem até cerca de 0,13 para subirem em seguida, com certa oscilação.

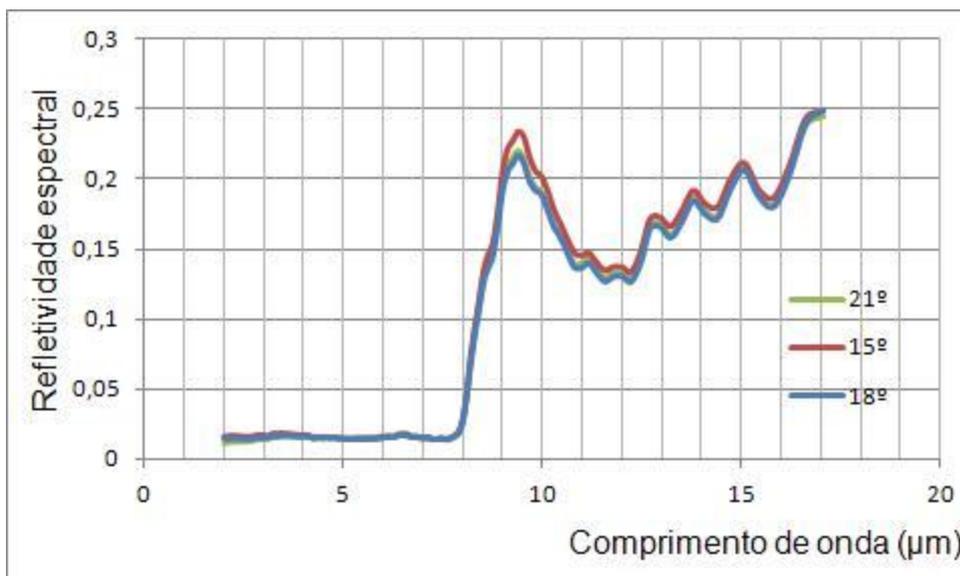


Figura 5 - Refletividade espectral da amostra de porcelanato polido branco.

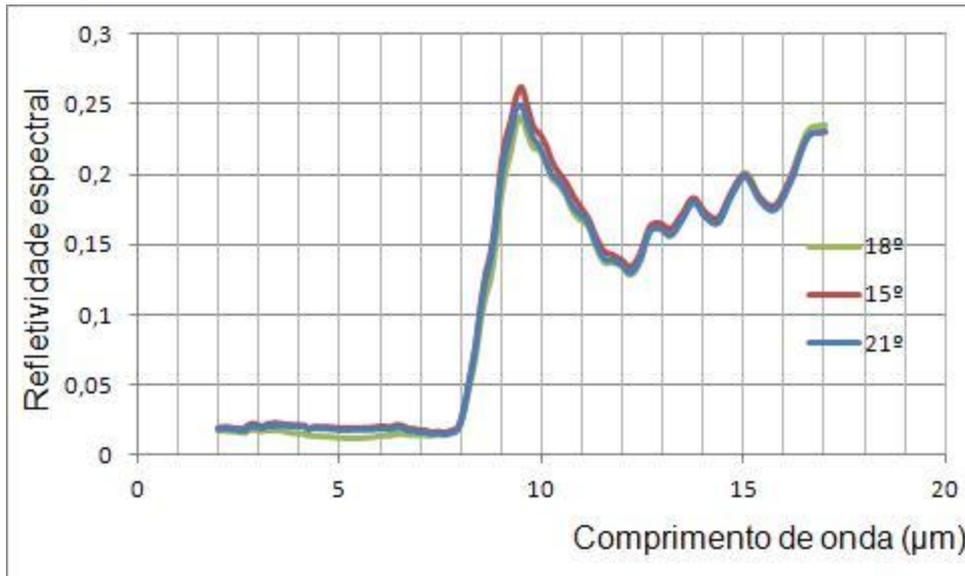


Figura 6 - Refletividade espectral da amostra de vidro claro com parafina.

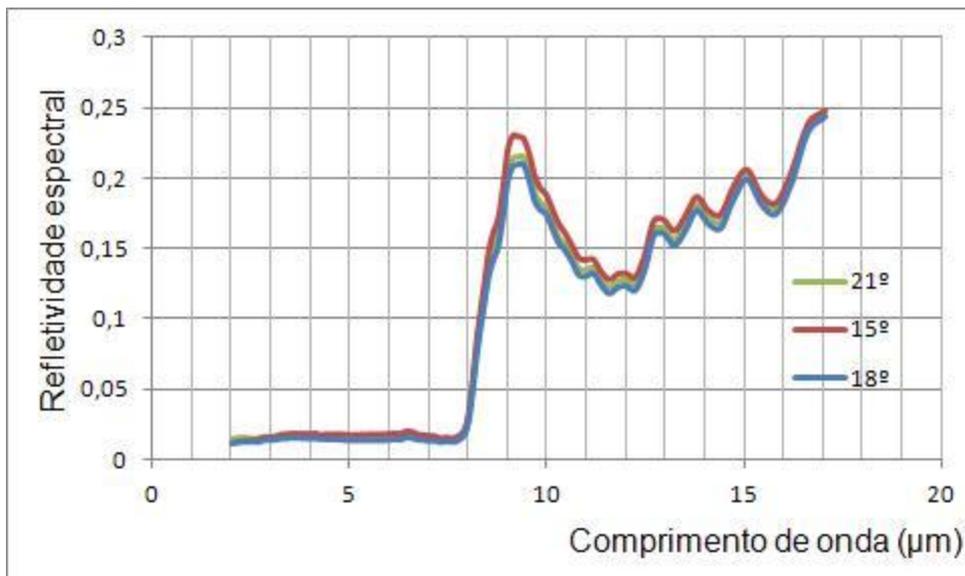


Figura 7 - Refletividade espectral da amostra de porcelanato polido preto.

Destes resultados pode-se ainda obter a absortividade espectral que seria o complemento em relação à unidade, se for feita a consideração de que a reflexão seja perfeitamente especular nas amostras ensaiadas. Assim as amostras apresentariam uma absortividade espectral bastante elevada, acima de 0,75 para qualquer comprimento de onda. Esses valores são esperados uma vez que a literatura informa que, em geral, materiais não condutores elétricos possuem absortividades espectrais elevadas (Siegel e Howell, 1992⁽¹⁾; Incropera et al, 2008⁽³⁾).

Para os índices de refração, os resultados são semelhantes aos da refletividade espectral, uma vez que estão intrinsicamente ligados. As distribuições dos valores do índice de refração em função do comprimento de onda estão representadas nas figuras 8, 9 e 10.

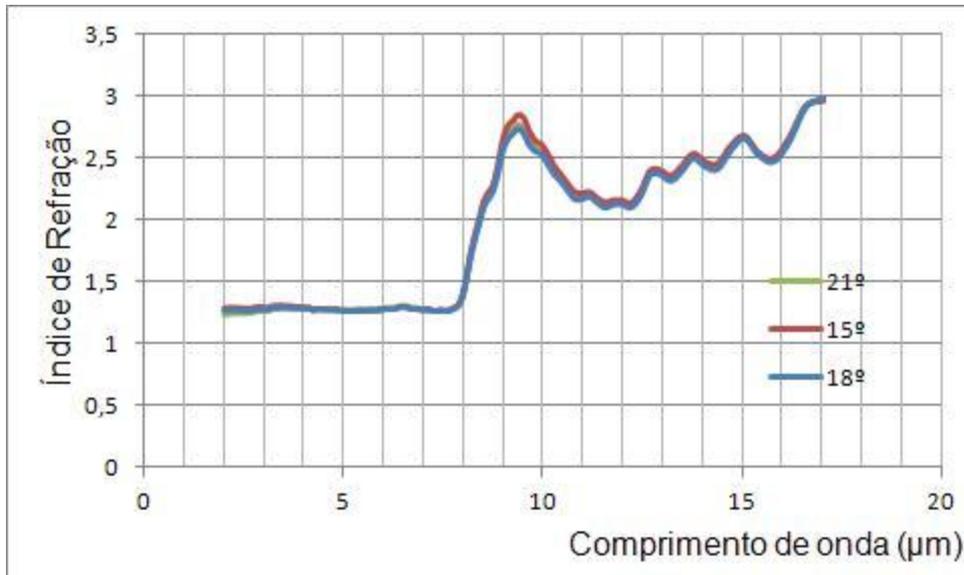


Figura 8 – Índice de refração da amostra de porcelanato polido branco.

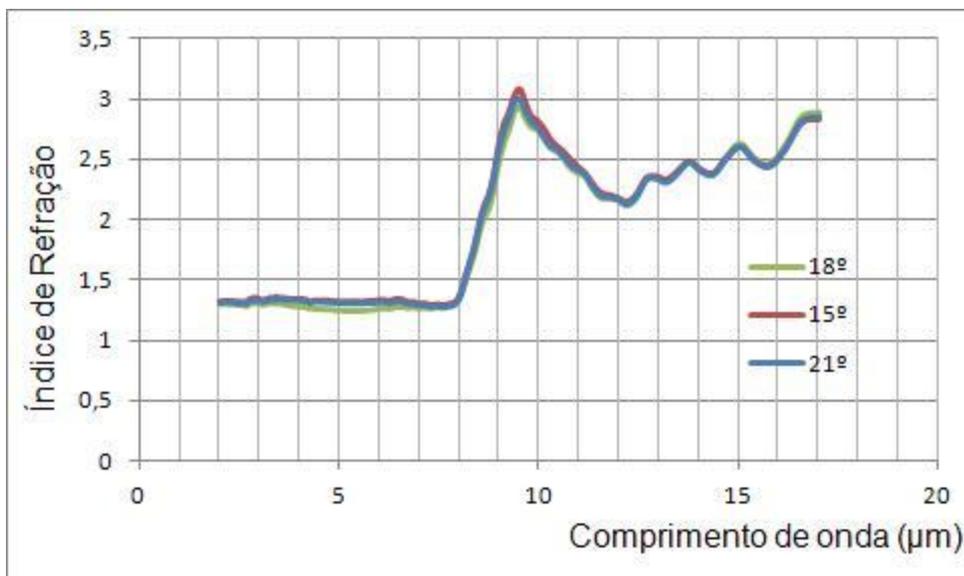


Figura 9 – Índice de refração da amostra de vidro com parafina.

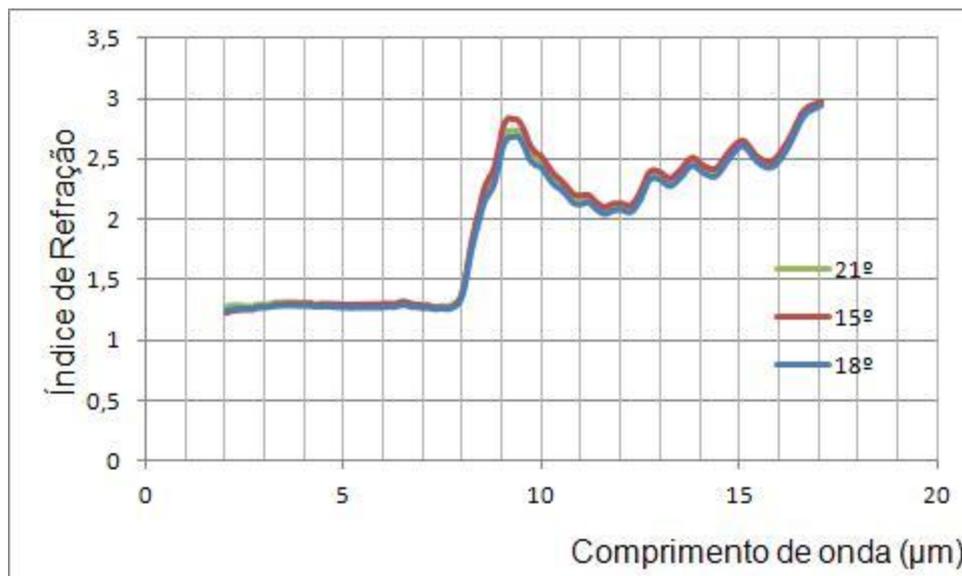


Figura 10 – Índice de Refração da amostra de porcelanato polido preto .

CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, pode-se chegar à conclusão de que, apesar das dificuldades de manuseio da bancada, envolvendo posicionamento das amostras e o alinhamento dos componentes, os valores para os índices de refração ficaram muito próximos, independente do ângulo de incidência usado.

No caso da amostra de vidro claro, chega-se à conclusão de que a parafina colada na superfície traseira simplifica a medição, uma vez que praticamente elimina as reflexões internas sucessivas. Entretanto, para uma confirmação desta técnica, haveria a necessidade de medir a parafina de forma isolada, que apresenta dificuldades de obtenção de uma amostra polida. No momento se tem considerado que a parafina e o vidro possuem índices de refração próximos, mesmo no espectro infravermelho.

Sendo estes os primeiros resultados obtidos com a técnica apresentada, novos resultados para estes materiais e para diferentes materiais também devem ser obtidos para uma comparação mais completa. Pode-se ainda realizar ensaios para ângulos de incidência maiores, embora isto aumente o nível de dificuldade de medição, em razão da geometria da montagem.

AGRADECIMENTOS

Ao programa Jovens Talentos para a Ciência, da Capes, pelo incentivo proporcionado à autora deste trabalho.

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

REFERÊNCIAS

- (1) SIEGEL, R. AND HOWELL, J.R., Thermal radiation heat transfer, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1992.
- (2) Oriel Instruments; The Book of Photon Tools, Stratford, CT, USA, 2001, pp.5.1-5.38.
- (3) INCROPERA, F. P.; DEWITT, 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.
- (4) NICOLAU, V. P. Interação entre a Radiação Solar e Materiais Semitransparentes In: 7º Entac , Florianópolis,1998.
- (5) COSER, E.; MORITZ, V. F.; FERREIRA, C. A. Revestimentos Poliméricos Coloridos Refletores Da Radiação Infravermelha. In: 12º Congresso Brasileiro de Polímeros, Florianópolis, 2013.
- (6) WIGGERS, W. S.; SANTOS, R. A.; HOTZA, D. Evolução da Superfície do Porcelanato ao Longo do Processo de Polimento. Cerâmica Industrial, São Paulo, 12, 1/2, p. 27-30, jan./abr. 2007.
- (7) NICOLAU, V.P.; MALUF, F.P. Determination of Radiative Properties of Commercial Glass. In: 18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA), Florianópolis-SC, 2001, 4p.
- (8) NICOLAU, V.P.; BORGES, M.T.M.; ARAÚJO, L.C. Spectral radiative properties identification of glass and coatings. In: The 6th Brazilian Symposium on Glass and Related Materials and the 2nd International Symposium on Non-Crystalline Solids, Campos do Jordão-SP, PS81. 2003, p8.
- (9) RUIZ, O.; SANMIGUEL, F.; TOLOSA, A.; ALCÓN, N. Determination of the Refractive Index of Ceramic Materials. In: The 12th Global Forum on Ceramic Tile, 2012. Castellón, Spain, 2012, p.1-14.

Determination of Spectral Radiative Properties of Polished Ceramics Samples on the Infrared

ABSTRACT

Radiative properties in general are of great importance as a mean of characterizing the specific materials produced in the ceramic industry. The values indicate which results can be obtained with the use of such materials in a practical application. Therefore, through this work presents the measurement methods used and some results for properties such as the spectral reflectivity and refractive index. In this particular case, the measurement occurs in the infrared range of the electromagnetic spectrum. Through a experimental set-up based on the use of a FT-IR (Fourier Transform – Infrared) spectrometer, measurements were made using polished floor tile and clear glass slab samples. Beyond the results, equations used in calculations of thermal radiation are presented, as well as details of the numerical code. Measurements were made with three different incidence angles, but their results through the models can be extended to any angle.

Keywords: spectral reflectance; thermal radiation; radiative property; refractive index.